

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**RESPOSTA DA SOQUEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR A
APLICAÇÃO DE POTÁSSIO SOB SISTEMA DE CULTIVO
CONSERVACIONISTA E SEUS EFEITOS NA FISIOLOGIA
DA PLANTA**

Valéria Santos Cavalcante

Engenheira Agrônoma

2013

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**RESPOSTA DA SOQUEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR A
APLICAÇÃO DE POTÁSSIO SOB SISTEMA DE CULTIVO
CONSERVACIONISTA E SEUS EFEITOS NA FISIOLOGIA
DA PLANTA**

Valéria Santos Cavalcante

Orientador: Prof. Dr. Renato de Mello Prado

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

2013

Cavalcante, Valéria Santos
C376r Resposta da soqueira de cana-de-açúcar a aplicação de potássio
sob sistema de cultivo conservacionista e seus efeitos na fisiologia da
planta / Valéria Santos Cavalcante. – – Jaboticabal, 2013
x, 57 p.: il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013
Orientador: Renato de Mello Prado
Banca examinadora: Priscila Lupino Gratão, Leônides Castellanos
Gonzáles
Bibliografia

1. Nutrição potássica. 2. Mecanização. 3. Carência. 4. Nutriente. I.
Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.83:633.61

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

VALÉRIA SANTOS CAVALCANTE – nascida em Arapiraca (AL), em 09 de setembro de 1988. Formada pela Universidade Federal de Alagoas em Junho de 2011 no curso de Agronomia. Durante a graduação foi bolsista de pesquisa e extensão durante 18 meses e colaboradora em projetos de pesquisas durante 30 meses, no PIBIT- AÇÃO, com bolsa cedida pela UFAL, sendo também monitora das disciplinas de Lógica, Informática e Comunicação; Matemática, Estatística, Álgebra Linear e Geometria Analítica; Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. No mês de agosto de 2011, ingressou no curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo) na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Câmpus de Jaboticabal, sendo bolsista da CAPES por 24 meses. Realizou atividades de estágio docência na disciplina de Nutrição de Plantas, participou do Grupo de Estudos GENPLANT, atuando como colaboradora em projetos de pesquisa. Além disso, desenvolveu o projeto com nutrição potássica em cana-de-açúcar.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar

A Deus.

Ofereço.

Aos meus queridos pais, Maria José Santos Cavalcante e Cicero Tenório

Cavalcante, pelo apoio incondicional;

A minha irmã, Ana Viviane Santos Cavalcante, pela amizade e companheirismo;

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao programa de pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo), pela oportunidade de ingressar no curso de mestrado;

A CAPES pela concessão da bolsa durante a condução do curso;

Ao Prof. Dr. Renato de Mello Prado, pela orientação no desenvolvimento dos trabalhos durante o mestrado;

A professora Durvalina Maria Mathias dos Santos por disponibilizar o laboratório de fisiologia para as avaliações, como também pela contribuição com sugestões na construção do segundo artigo;

Ao professor Fernando José Zara pelo auxílio na microscopia eletrônica, pela disponibilização do laboratório e reagentes, como também pelo conhecimento transmitido durante a avaliação;

Aos professores Jairo Osvaldo Cazetta, Paulo Guilherme Salvador Wadt, Arthur Bernardes Cecílio Filho, Edson Coutinho, Javier, dentre outros pelo conhecimento transferido durante as aulas ministradas no mestrado;

Aos membros da banca examinadora Renato de Mello Prado, Leónides Castellanos Gonzalez e Priscila Lupino Gratão, pela colaboração na melhoria do trabalho por meio das sugestões e questionamentos;

Aos funcionários do Departamento de Solos (Claudinha, Xerim, Dijair, Mauro, Celinha, Anderson e Luis);

Aos funcionários do Departamento de Biologia Aplicada a Agropecuária (Márcia Fiorese Mataqueiro e Sonia Maria R. Carregari);

Ao grupo Genplant, pela contribuição com sugestões para o experimento durante os seminários apresentados ao longo do curso;

Aos colegas e amigos da UNESP, pelo companheirismo, amizade e incentivo durante o curso, dentre estes: Ricardo, Hilário, Gustavo, Nathália, Luciana, Jandir, Flávio, André, Cid, Leonardo, dentre outros;

Aos meus amigos de graduação que hoje a grande maioria está distante, mas sempre estão presentes nas minhas lembranças, principalmente: Patrícia Ferreira da Silva, Josefa Tatiana Vieira Barbosa e Elenize da Silva Costa.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais.....	1
1.1. Introdução.....	1
1.2. Revisão de Literatura.....	3
1.2.1. Importância da cana-de-açúcar.....	3
1.2.2. Efeito do potássio nos processos fisiológicos das plantas.....	4
1.2.3. Nutrição potássica na cana soca.....	5
1.2.4. Adubação potássica e os sistemas de colheita de cana-de-açúcar.....	7
1.3. Referências.....	8
CAPÍTULO 2 – Nutrição potássica na segunda soqueira de cana-de-açúcar cultivada em sistema conservacionista em um latossolo vermelho.....	13
RESUMO.....	13
ABSTRACT.....	13
2.1. Introdução.....	14
2.2. Material e Métodos.....	15
2.3. Resultados.....	18
2.4. Discussão.....	21
2.5. Conclusão.....	24
2.6. Referências.....	24
CAPÍTULO 3 – Trocas gasosas, crescimento e anatomia foliar da cana-de-açúcar cultivada na carência de potássio.....	28
RESUMO.....	28
ABSTRACT.....	28
3.1. Introdução.....	29

3.2. Material e Métodos.....	30
3.3. Resultados.....	32
3.4. Discussão.....	48
3.5. Conclusão.....	41
3.6. Referências.....	42
CAPÍTULO 4 – Considerações Finais.....	46

RESPOSTA DA SOQUEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR A APLICAÇÃO DE POTÁSSIO SOB SISTEMA DE CULTIVO CONSERVACIONISTA E SEUS EFEITOS NA FISIOLOGIA DA PLANTA

RESUMO - O uso do sistema de colheita mecanizado na cana-de-açúcar proporciona acúmulo da palhada na superfície do solo podendo haver liberação de potássio e diminuição da necessidade do nutriente que é importante na fisiologia e na produção das plantas. Objetivou-se avaliar a resposta da soqueira de cana-de-açúcar a aplicação de potássio sob sistema de cultivo conservacionista e seus efeitos na fisiologia da planta. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram doses de potássio: 32,5; 65; 130; 195 kg ha⁻¹ de K₂O, e um tratamento controle (sem potássio). No solo foram realizadas amostragens aos seis e doze meses nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade para determinação do teor de potássio. Na planta, avaliaram-se o número de perfilhos, a altura e o diâmetro do colmo aos quatro meses após a brotação, aos oito meses foi determinado o estado nutricional para o potássio, aos doze meses o teor e acúmulo de potássio na planta, a produção e a análise tecnológica dos colmos. O segundo experimento foi implantado em casa de vegetação na UNESP- Câmpus de Jaboticabal-SP. O experimento foi desenvolvido em um delineamento inteiramente casualizado com dois tratamentos presença e ausência de potássio em dez repetições. Na décima semana após a aplicação dos tratamentos foi realizada a diagnose visual e as avaliações de crescimento e fisiológicas na planta. A aplicação de potássio não foi importante para a segunda soqueira de cana-de-açúcar, pois não afetou o crescimento, o estado nutricional, a produtividade e a qualidade tecnológica de colmos. As plantas de cana-de-açúcar, cultivadas na ausência de potássio, apresentaram diminuição da transpiração, fotossíntese, teores de clorofilas e crescimento. No entanto, houve incremento do teor de açúcares solúveis totais e de amido nas folhas.

Palavras-chave: carência, mecanização, nutrição potássica, nutriente

POTASSIUM APPLICATION TO RATOON SUGARCANE UNDER CONSERVATION TILLAGE AND ITS EFFECTS ON PLANT PHYSIOLOGY

ABSTRACT - When sugarcane is harvested mechanically, residues are accumulated on the soil surface, from which potassium can be released, decreasing the requirement for this nutrient, which is important for the plant physiology and yield. This study aimed to evaluate the response of ratoon sugarcane to potassium application under conservation tillage and its effects on plant physiology. The experiment was arranged in a randomized block design with five treatments and four replications. The treatments consisted of potassium levels (32.5, 65, 130, and 195 kg ha⁻¹ K₂O) and one control (no potassium). The soil was sampled after 6 and 12 months in the 0-20 and 20-40 cm layers to determine the K content. The plants were evaluated after sprouting: after four months for the number of tillers, height and stalk diameter; after eight months for the nutritional status in terms of K; after 12 months for K content and accumulation in the plant and cane yield, and the stalks were analyzed for technical characteristics. The second experiment was carried out in a greenhouse on the Campus of Jaboticabal - UNESP in a completely randomized design with two treatments: presence and absence of K in 10 replications. In the 10th week after the treatments, the plants were assessed visually and the growth and physiology evaluated. The K application was not relevant for the second ratoon crop, as it did not affect growth, nutritional status, yield, or the technical quality of the stalks. In sugarcane plants grown in the absence of K, decreases were observed in transpiration, photosynthesis, chlorophyll contents, and growth. However, there was an increase in the content of total soluble sugars and starch in the leaves.

Keywords: deficiency, mechanization, nutrient, potassium nutrition

CAPÍTULO 1 - Considerações Gerais

1.1. Introdução

A cana-de-açúcar possui adaptação a climas tropicais e subtropicais. No Brasil destaca-se pela importância econômica e como fonte bioenergética, possuindo área cultivada na safra de 2012/2013 de 8.527,8 ha e produtividade de 70 t ha⁻¹ (SEGATO et al., 2006; SMEETS et al., 2008; CONAB, 2012).

A produção da cana-de-açúcar é dependente da adubação, pois esta cultura é a terceira que mais utiliza fertilizantes no Brasil (ANDA, 2010). Dentre os nutrientes mais exigidos pela cultura está o potássio, que é o segundo mais exigido pela cana-planta e o primeiro pela cana soca (EL-TILIB; ELNASIKH; ELAMIN, 2004).

O potássio desempenha funções vitais para as plantas, em caso de distúrbios no teor desse nutriente ocorre redução no crescimento e na produção. Dentre as funções do potássio destaca-se a ativação de 60 enzimas importantes nos processos fotossintético e respiratório, neutralização de cargas (facilitando o transporte de ânions orgânicos e inorgânicos), translocação de fotossintatos (influenciando indiretamente na fotossíntese), osmoregulação, expansão celular, dentre outras também importantes para o metabolismo das plantas (RÖMHELD; KIRKBY, 2010).

Com isso, quando as plantas são expostas a omissão de potássio ocorre menor fotossíntese devido a inibição de enzimas importantes como a Rubisco (DAMATTA et al., 2008), menor condutância estomática que também influencia na menor fotossíntese e transpiração, redução das clorofilas e acúmulo de açúcares nas plantas (ZHAO; OOSTERHUIS; BEDNERZ, 2001).

Em cana soca o potássio é importante para a manutenção da produtividade, pois durante os ciclos da soqueira ocorre diminuição da longevidade. No entanto, com a implantação do sistema de colheita mecanizado existe a possibilidade de aumentar a disponibilidade de potássio no solo, pois a liberação deste nutriente é rápida. Desta forma, na palhada de cana-de-açúcar a liberação do potássio em campo pode conter cerca de 56 kg ha⁻¹ de K (OLIVEIRA et al., 1999). No entanto,

outros fatores influenciam a disponibilidade do nutriente para as soqueiras, dentre estes os principais são a elevada precipitação e a baixa capacidade de troca catiônica (CTC) do solo que contribui para a lixiviação do nutriente (CAIONE et al. 2011; MENDONZA et al., 2000).

Na literatura alguns estudos demonstram incremento da produtividade da soqueira de cana-de-açúcar com a aplicação de potássio no solo (MOURA et al., 2005; ROSSETTO et al., 2004; GARCÍAS et al., 2000; PEREZ; MELGAR, 1998). Porém outros trabalhos não verificaram o mesmo efeito da adubação potássica na cana soca (ELAMIN et al., 2007; ZAMBELLO JÚNIOR; HAAG; ORLANDO, 1981; ESPIRONELLO, 1981). Vale ressaltar que apesar da resposta diferenciada na literatura em relação à aplicação de potássio os trabalhos ainda são poucos em sistema sem queima da palhada havendo assim a necessidade de mais pesquisas para avaliar a adubação potássica no sistema mecanizado.

Como também há a necessidade de mais informações sobre o efeito do nutriente na fisiologia da cana-de-açúcar, pois os estudos restringem-se a sintomatologia, crescimento e bioquímica. Portanto é importante aprofundar-se nos estudos da omissão de potássio na fisiologia e anatomia foliar de cana-de-açúcar. Diante disto surge a hipótese que o potássio proporciona maior crescimento, produção e qualidade tecnológica na soqueira de cana-de-açúcar tendo efeito na fisiologia da cultura. Objetivou-se avaliar a resposta da soqueira de cana-de-açúcar a aplicação de potássio sob sistema de cultivo conservacionista e seus efeitos na fisiologia da planta.

1.2. Revisão de Literatura

1.2.1. Importância da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) pertence à família das *Poaceae*, sendo originária da Nova-Guiné, apresentando adaptação a climas tropicais e subtropicais, assim encontra excelentes condições de desenvolvimento na América (SEGATO et al., 2006).

Esta cultura na fase inicial de crescimento apresenta abundante perfilhamento, caracterizando-se como uma planta C4, apresentando consequentemente altas taxas fotossintéticas, resultando em alta eficiência de conversão de energia radiante em energia química (MAGALHÃES, 1979).

A área cultivada com cana-de-açúcar na safra de 2012/2013 foi de 8.527,8 mil hectares e produtividade de 70 t ha⁻¹ destinada à atividade sucroalcooleira (CONAB, 2012). Para aumentar ou manter essa produtividade o cultivo de cana-de-açúcar demanda uma grande quantidade de nutrientes, o que caracteriza a cultura como a terceira que mais utiliza fertilizantes no Brasil (ANDA, 2010).

Do ponto de vista ambiental a cana-de-açúcar tem grande relevância, devido sua eficiência em captar energia solar e com isso CO₂ do ar, o que significa que ao se produzir álcool combustível se retira maior quantidade de CO₂ da atmosfera do que é retornado na combustão (URQUIAGA et al., 1991).

O problema da demanda energética pode ser amenizado pela produção de biomassa dessa cultura no sistema de colheita mecanizado, já que o etanol proveniente da cana-de-açúcar é uma alternativa ao uso de combustíveis fósseis reduzindo a dependência especialmente do petróleo e derivados, e ainda pelo fato de estas serem fontes finitas de energia (FLORES, 2009).

Além disso, a produção de biocombustível vem obtendo espaço em nível mundial nos últimos anos devido à necessidade de fontes energéticas que diminuam a poluição. Neste contexto, o Brasil destaca-se como o maior produtor de etanol proveniente da cana-de-açúcar, havendo um projeto para incrementar a produção de

cana, a área e a produção do etanol no período de 2005 a 2016 (SMEETS et al., 2008).

1.2.2. Efeito do potássio nos processos fisiológicos das plantas

O potássio caracteriza-se pela sua elevada mobilidade na planta e concentração no citosol, além disso, não tem função estrutural sendo facilmente permutado. Dentre as principais funções do nutriente, destaca-se a ativação de enzimas, síntese de proteínas, osmoregulação, transporte de fotossintatos no floema e alterações na fotossíntese (HAWKESFORD et al., 2012).

Este nutriente é o segundo mais absorvido pelas plantas, que podem apresentar teor de potássio entre 2 a 10% da matéria seca (ASHLEY; GRANT; GRABOV, 2006). Este fato é importante porque a concentração deste nutriente nos solos cultivados é baixa e a adubação potássica aplicada no solo é menor que às quantidades absorvidas pelas plantas (RÖMHELD; KIRKBY, 2010; ALEMÁN et al., 2011).

Na ausência de potássio ocorre redução na produção de massa seca das plantas e do crescimento da parte aérea e raiz, devido ao efeito do nutriente na expansão celular, e em possíveis alterações no balanço dos hormônios ligados ao crescimento, desta forma, plantas com deficiência de potássio apresentam maior quantidade de etileno e menor auxina (RUBIO et al., 2009; ZHI-YONG et al., 2009; ASHLEY; GRANT; GRABOV, 2006). Além disso, podem apresentar maior acúmulo de açúcares solúveis e amido, possivelmente devido a alterações na translocação de fotossintatos (CAI et al., 2012).

As trocas gasosas nas plantas também podem ser influenciadas pela ausência de potássio, pois este nutriente é fundamental na abertura e fechamento dos estômatos, com isso, na omissão de potássio ocorre menor condutância estomática promovendo redução na assimilação líquida de CO₂. No entanto, com o fechamento dos estômatos fica represado o CO₂ aumentando a concentração intercelular, indicando que houve limitação de ordem não estomática (JIA et al., 2008).

Desta forma, na omissão de potássio a maior quantidade de CO_2 intercelular pode indicar inibição das enzimas Rubisco e PEPcase que são importantes na fotossíntese em plantas C_4 , este fato ocorre por mudanças na translocação de fotossintatos da fonte para o dreno, acumulando-se açúcares nas plantas (DAMATTA et al., 2008).

Com a redução da fotossíntese na ausência de potássio também ocorre menor concentrações das clorofilas, devido às alterações nos cloroplastos (JIA et al., 2008). Zhao, Oosterhuis e Bednerz (2001) observaram menor concentrações de clorofilas e nos cloroplastos havia alguns distúrbios, como acúmulo de grão de amido no estroma impedindo o funcionamento normal da organela.

Apesar da importância do potássio no metabolismo das plantas os estudos com omissão do nutriente em cana-de-açúcar são escassos, restringindo-se às avaliações de crescimento e sintomatologia (HAAG; ACCORSI, 1978; VALE et al. 2011), e bioquímicas (HARTT, 1929; HARTT, 1934) havendo a necessidade de se compreender os efeitos da ausência do potássio e seus distúrbios em processos fisiológicos da cana-de-açúcar.

1.2.3. Nutrição potássica na cana soca

A cana-de-açúcar produz grande quantidade de material vegetal, com isso necessita acumular elevada quantidade de nutrientes. De acordo com Sampaio e Salcedo (1991) a produção de matéria seca e de colmos da cana decresce de um ciclo para o outro, sendo essencial verificar o manejo da adubação na cana soca já que a renovação do canavial ocorre apenas a cada cinco anos, sendo a adubação de grande importância para a produtividade, assim entre os macronutrientes o potássio é o mais removido pela cultura, sendo necessário cerca de 1,5 kg de K_2O para a produção de cada 1 t ha^{-1} de cana-de-açúcar (OLIVEIRA, 2008).

O teor deste macronutriente no solo afeta diretamente a resposta da cana-de-açúcar à aplicação de potássio. Os solos com teores de potássio abaixo de $0,6 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ apresentam aumento de produtividade de até 30% com a aplicação de fertilizante potássico. Em contrapartida solos com teores acima de $4,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de

potássio, possuem maior expectativa de produtividade e dispensam a adubação potássica (BENEDINI; PENATTI, 2008; REIS JUNIOR, 2001).

Neste contexto, quando o teor de potássio no solo é considerado baixo, a palhada deixada pela cana colhida sem queima pode se tornar uma importante fonte do nutriente. De acordo com Schultz et al. (2010) o acúmulo de potássio na palhada pode chegar a 148 kg ha^{-1} . Já a liberação do nutriente da palhada de cana-de-açúcar em campo pode conter cerca de 56 kg ha^{-1} de potássio (OLIVEIRA et al., 1999). Vale ressaltar que existem fatores que interferem na disponibilidade do potássio para as plantas, como a elevada precipitação e a baixa CTC do solo que contribui para a lixiviação do nutriente (CAIONE et al. 2011; MENDONZA et al., 2000).

Segundo Schultz et al. (2010) a não reposição deste nutriente no solo contribui para redução da longevidade e produtividade do canavial. Além disso, o potássio é essencial na recuperação da produtividade de soqueira de cana, Weber et al. (2001) observaram que na terceira soca aplicando-se 100 kg ha^{-1} de K_2O , obtiveram produção de $86,8 \text{ t ha}^{-1}$, na quarta soqueira com a aplicação de 150 kg ha^{-1} de K_2O houve um maior rendimento de colmo com a produção de 95 t ha^{-1} e os tratamentos que não receberam adubação potássica apresentaram rendimento inferior na faixa de $53 \text{ a } 76 \text{ t ha}^{-1}$.

Alguns estudos relatam o efeito da adubação potássica no crescimento, produtividade e qualidade da cana-de-açúcar, dentre estes Moura et al. (2005) verificaram que aplicações de potássio (até a dose de 222 kg ha^{-1} de K_2O) em soqueiras de cana-de-açúcar incrementou com ajuste linear o número, a massa e o comprimento de colmos; teor de sacarose (Pol %) e rendimento bruto de álcool. Rossetto et al. (2004) também verificaram em soqueira de cana-de-açúcar que a adubação potássica (50 , 100 e 200 kg ha^{-1}), promoveu incremento na produção na primeira soqueira ($112 \text{ a } 120 \text{ t ha}^{-1}$), na segunda soqueira ($100 \text{ a } 108 \text{ t ha}^{-1}$) e na terceira soqueira ($61 \text{ a } 68 \text{ t ha}^{-1}$).

Na literatura existem resultados distintos em relação à resposta da soqueira de cana-de-açúcar a aplicação de potássio. Garcías et al. (2000) verificaram no México que a aplicação de potássio até 80 kg ha^{-1} , na cana-de-açúcar (em duas variedades) aumentaram o teor de sólidos solúveis ($^{\circ}\text{Brix}$ em %), pureza e sacarose.

Da mesma forma, Perez e Melgar (1998) na Guatemala constataram que a aplicação de 100 kg ha⁻¹ de K₂O aumentou o teor de açúcar das plantas. El-Tilib, Elnasikh e Elamin (2004) no Sudão observaram maior produção de colmos com as doses de 144 kg ha⁻¹ de K₂O.

Em contrapartida, existem alguns estudos em que a soqueira não respondeu a aplicação de K (ZAMBELLO JÚNIOR; HAAG; ORLANDO, 1981; ESPIRONELLO, 1981), provavelmente porque houve uma influencia das formas de K no solo que tiveram efeito na capacidade de suprimento desse nutriente para as plantas (MENGEL; RAHMATULLAH, 1994).

Assim, a resposta da soqueira de cana-de-açúcar à adubação potássica varia de acordo com as condições edafoclimáticas de cada local, a variedade utilizada e o manejo da adubação. Vale ressaltar que o manejo inadequado da adubação pode alterar a produtividade da cultura, induzindo precocemente à reforma de canaviais em áreas que poderiam apresentar maior longevidade (TEIXEIRA, 2005).

1.2.4. Adubação potássica e os sistemas de colheita de cana-de-açúcar

A legislação ambiental preconiza eliminar a pratica da queima durante a colheita da cultura da cana-de-açúcar. A Única e o Governo do Estado de São Paulo em 2007 assinaram o Protocolo Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro, o acordo prevê que até 2014 a cana seja colhida 100% sem queima.

Este fato é importante, pois os sistemas de colheita podem influenciar as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. O sistema sem despalha a fogo proporciona maior material vegetal sobre a superfície do solo em relação à cana queimada, maior macroporosidade, estabilidade de agregados, teor de água e menores valores de densidade do solo e resistência do solo à penetração, maior teor de matéria orgânica, maior teor de humina nos primeiros 5 cm de solo e condições ideais para o desenvolvimento dos microorganismos (MENDONZA et al., 2000; SOUZA et al., 2005).

Como desvantagens da palha sobre o solo, existem relatos sobre o risco de incêndio, dificuldade de execução de operações de cultivo, retardamento ou falha na brotação, aumento de algumas pragas e nem sempre todos os nutrientes são

liberados rapidamente dependendo da mineralização da matéria orgânica (ROSSETTO et al., 2008).

A adubação potássica pode ser menor em áreas com sistema de cana crua em relação à cana queimada, pois a palhada da cana apresenta na sua composição o potássio que não está ligado a nenhuma molécula orgânica permanecendo no tecido vegetal na forma iônica, desta forma não depende da mineralização para ser liberado, sendo rapidamente transferido para a solução do solo (ROSSETTO et al., 2008). A alta liberação do potássio da palhada implica na redução do fertilizante na proporção de 40 e 60 kg de K_2O para cada 10 e 15 t de palhada, respectivamente (DEMATTÊ, 2005).

Neste contexto observa-se a importância da adubação potássica na produtividade e na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. No entanto, são poucas as informações científicas sobre a nutrição potássica na cultura, seja em sistema de cultivo conservacionista ou estudos específicos sobre os efeitos do nutriente na fisiologia da cultura.

1.3. Referências

ALEMÁN, F.; NIEVES-CORDONES, M.; MARTÍNEZ, V.; RUBIO, F. Root $K^{(+)}$ acquisition in plants: the *Arabidopsis thaliana* model. **Plant Cell Physiology**, Tóquio, v. 52, n. 9, p. 1603-12, 2011.

ANDA 2010: anuário estatístico do setor de fertilizantes. Brasília: Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, 2010. p. 88.

ASHLEY, M. K.; GRANT M.; GRABOV, A. Plant responses to potassium deficiencies: a role for potassium transport proteins. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 57, n. 2, p. 425–436, 2006.

BENEDINI, M. S.; PENATTI, C. P. **Recomendação de adubação da cana-de-açúcar pela estimativa de produtividade**. São Paulo: Coplana, 2008. p. 20-21.

CAI, J.; CHEN, L.; QU, H.; LIAN, J.; LIU, W.; HU, Y.; XU, G. Alteration of nutrient allocation and transporter genes expression in rice under N, P, K, and Mg deficiencies. **Acta Physiologiae Plantarum**, Heidelberg, v. 34, p. 939–946, 2012.

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

CONAB 2012: companhia nacional de abastecimento. Brasília: Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-De-Açúcar. Safra 2012/2013, primeiro levantamento, maio/2011, 2012.

DAMATTA, F. M.; CUNHA, R. L.; ANTUNES, W. C.; MARTINS, S. C. V.; ARAUJO, W. L.; FERNIE, A. R.; MORAES, G. A. B. K. In field-grown coffee trees source-sink manipulation alters photosynthetic rates, independently of carbon metabolism, via alterations in stomatal function. **New Phytologist**, Lancaster, v. 178, p. 348-357, 2008. 10 p.

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

ELAMIN, E. A.; EL-TILIB, M.A.; ELNASIKH, M. H.; IBRAHIM, S. H.; ELSHEIKH, M. A.; BABIKER, E. E. The influence of phosphorus and potassium fertilization on the quality of sugar of two sugarcane varieties grown on three soil series of sudan. **Journal of Applied Sciences**, Singapore, v. 7, n. 16, p. 2345-2350, 2007.

EL-TILIB, M. A.; ELNASIKH, M. H.; ELAMIN E. A. Phosphorus and potassium fertilization effects on growth attributes and yield of two sugarcane varieties grown on three soil series. **Journal Plant Nutrition**, Georgia, v. 27, p. 663-699, 2004.

ESPIRONELLO, A.; OLIVEIRA, H.; LEPSCH, J. F.; NAGAI, V.; PEREIRA, J. C. V. N. A. Efeitos da adubação N-P-K, em três profundidades, em soca de cana-de-açúcar: I. Produção de cana e de açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 2., 1981, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: STAB, 1981. p. 88-109.

FLORES, R. A. **Produção de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) para fins energéticos no cerrado: resposta a adubação nitrogenada e idade de corte**. 2009. 99 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.

GARCÍAS, S. S.; ESCORBA, R. N.; CABRIALES, J. J. P.; BARRA, J. D. E.; LÓPEZ, D. J. P.; HERNÁNDEZ, M. R. S. Respuesta de la soca caña de azúcar a la fertilización NPK. **Agrociência**, Texcoco, v. 34, n. 6, p. 689-698, 2000.

HAAG, H. P.; ACCORSI, W. R. Deficiência de macro e micronutrientes em cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* spp) variedade CB 41-76 cultivada em solução nutritiva. **Anais ESA “Luiz de Queiros”**, São Paulo, 1978.

HARTT, C. E. Potassium deficiency in sugar cane. **Botanical Gazette**, Hanover, v. 88, p. 229-261, 1929.

HARTT, C. E. Some effects of potassium upon the amounts of protein and amino forms of nitrogen, sugars, and enzyme activity of sugar cane. **Plant Physiology**, Glasgow, v. 9, p. 452-490, 1934.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MØLLER, I. S.; WHITE P. Functions of macronutrients: potassium. In: Marschner, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. Amsterdam: Nutrition of plant, 2012, cap. 6, p.178-189.

JIA, Y.; YANG, X.; ISLAM, E.; FENG, Y. Effects of potassium deficiency on chloroplast ultrastructure and chlorophyll fluorescence in inefficient and efficient genotypes of Rice. **Journal Plant Nutrition**, Georgia, v. 31, p. 2105-2118, 2008.

MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M. G.(Ed.). **Fisiologia vegetal**. 2. Ed. São Paulo: Edusp, 1979, p. 331-349.

MENDONZA, H. N. S.; LIMA, E.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, L. A.; CEDDIA, M. B.; ANTUNES, M. V. M. Propriedades químicas e biológicas de solo de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 201-207, 2000.

MENGEL, K.; RAHMATULLAH, R. Exploitation of potassium by various crop species from primary minerals in soils rich in micas. **Biology and Fertility of Soils**, Firenze, v. 17, p. 75-79, 1994.

MOURA, M. V. P. S.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, C. A. V.; NETO, J. D.; AZEVEDO, H. M.; PORDEUS, R. V. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 753-760, 2005.

OLIVEIRA, E. C. A. **Dinâmica de nutrientes na cana-de-açúcar em sistema irrigado de produção**. 2008. 40 f. Dissertação (Mestrado Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural Pernambuco, Recife, 2008.

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

PEREZ, O.; MELGAR, M. Sugar Cane Response to Nitrogen, Phosphorus and Potassium Application in Andisol Soils. **Better Crops International**, Norcross, v. 12, n. 2, p. 20-24, 1998.

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

RÖMHELD, V.; KIRKBY, E. A. Research on potassium in agriculture: Needs and prospects. **Plant Soil**, Crawley, v. 335, p. 155-180, 2010.

ROSSETTO, R.; SPIRONELLO, A.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Calagem para a cana-de-açúcar e sua interação com a adubação potássica. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 1, p. 105-119, 2004.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A. C.; CANTARELLA, H.; LANDELL, M. G. A. Manejo conservacionista e reciclagem de nutrientes em cana-de-açúcar tendo em vista a colheita mecânica. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 124, p. 8-13, 2008.

RUBIO, V.; BUSTOS, R.; IRIGOYEN, M. L.; CARDONA-LÓPEZ, X.; ROJAS-TRIANA, M.; PAZ-ARES, J. Plant hormones and nutrient signaling. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 69, p. 361-373, 2009.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar. V. Balanço de K em quatro ciclos de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 9, p. 1323-1335, 1991.

SCHULTZ, N.; LIMA, E.; PEREIRA, M. G.; ZONTA, E. Efeito residual da adubação na cana-planta e da adubação nitrogenada e potássica na cana-soca colhidas com e sem a queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 811-820, 2010.

SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: 2006, p. 415.

SMEETS, E.; JUNGINGER, M.; FAAIJ, A.; WALTER, A.; DOLZAN, P.; TURKENBURG, W. The sustainability of brazilian ethanol – An assessment of the possibilities of certified production. **Biomass and Bioenergy**, Aberdeen, v. 32, p. 781-813, 2008.

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

TEIXEIRA, C. D. A. **Adubação nitrogenada e potássica em cana-soca, em dois solos do estado do Paraná**. 2005. 56 f. Dissertação (Mestrado em agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

URQUIAGA, B. M. B.; OLIVEIRA, O. C.; LIMA, E.; GUIMARÃES, D. H. V. **A importância de não queimar a palha na cultura da cana-de-açúcar**. São Paulo: EMBRAPA, 1991. (Comunicado Técnico 0103-9407)

VALE, D. W.; PRADO, R. M.; AVALHÃES, C. C.; HOJO, R. H. Omissão de macronutrientes na nutrição e no crescimento da cana-de-açúcar cultivada em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Pernambuco, v. 6, n. 2, p. 189-196, 2011.

WEBER, H.; DAROS, E.; ZAMBON, J.L.C.; IDO, O.T.; BARELA, J.D. Recuperação da produtividade de soqueiras de cana-de-açúcar com adubação NPK. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 2, n. 1, p. 73-77, 2001.

ZAMBELLO JÚNIOR, E.; HAAG, H. P.; ORLANDO FILHO, J. Adubação N-P-K e localização de fertilizante em soqueiras de cana-de-açúcar, variedade CB41-76. **Brasil Açucareiro**, São Paulo, v. 97, p. 45-55, 1981.

ZHAO, D.; OOSTERHUIS, D. M.; BEDNERZ, C. W. Influence of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants. **Photosynthetica**, Czech Republic, v. 39, p. 103-109, 2001.

ZHI-YONG, Z.; QING-LIAN, W.; ZHAO-HU, L.; LIU-SHENG, D.; XIAO-LI, T. Effects of potassium deficiency on root growth of cotton. **Acta Agronomica Sinica**, Pequim, v. 35, p. 718–723, 2009.

CAPÍTULO 2 - Nutrição potássica na segunda soqueira de cana-de-açúcar cultivada em sistema conservacionista em um Latossolo Vermelho

RESUMO - Objetivou-se avaliar o efeito da aplicação do potássio na segunda soqueira de cana-de-açúcar cultivada em sistema conservacionista. Foi instalado um experimento na Fazenda Chapadão, Jardinópolis-SP, em um Latossolo Vermelho Acriférico com cana-de-açúcar variedade IAC SP 93-3046, após o corte da primeira soqueira. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram quatro doses de potássio: 32,5; 65; 130 e 195 kg ha⁻¹ de K₂O, e o controle sem adubação potássica. No solo foram realizadas amostragem aos seis e doze meses nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade e determinou-se o teor de potássio. Na planta, avaliaram-se o número de perfilhos, altura e diâmetro do colmo aos quatro meses após a brotação, aos oito meses foi determinado o estado nutricional para o potássio, e aos doze meses o teor e acúmulo de potássio na planta, a produção e a análise tecnológica dos colmos. A aplicação de potássio não foi importante para a segunda soqueira de cana-de-açúcar, pois não afetou o crescimento, estado nutricional, a produtividade e qualidade tecnológica de colmos.

Palavras-chave: cana-soca, palhada, potássio

ABSTRACT - The aim of this study was to evaluate the effect of potassium addition to the soil in the second ratoon sugarcane cultures by a conservationist system. The experiment was conducted at the State of Sao Paulo, Brazil, in a Acriferric Red Latosol cultured with a IAC SP 93-3046 cane sugar variety after first ratoon cutting. The experimental design in random blocks involved five potassium treatments and four repetitions. The potassium dosages were: 32,5; 65; 130 and 195 kg ha⁻¹ as K₂O and a control without potassium. Six and twelve months after the start of the experiment, soil samples collected at 0-20 and 20-40 cm in depth were analyzed for potassium content. Plants were evaluated, four months after sprouting, by tiller numbers, height, diameter, at eight months was given to the nutritional potassium, at twelve months the content and accumulation of potassium, production and technological analysis of stalks. The application of potassium was not important for the second ratoon cane sugar, it did not affect growth, nutritional status, productivity and technological quality of stalks.

Key words: ratoon cane, straw covering, potassium

2.1. Introdução

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas do Brasil, com uma área colhida na safra de 2012/2013 de 8.527,8 mil hectares e produtividade de 70 t ha^{-1} (CONAB, 2012). O sistema de colheita da cana com despalha a fogo proporciona problemas ambientais, por isso esta sendo feita a alteração do manejo da cultura para o sistema sem despalha a fogo. A Lei Estadual Paulista N° 11.241/2002 e o protocolo agroambiental estabelecem em 2014 à extinção da queima da palha nos canaviais.

Esta mudança no sistema de colheita da cana-de-açúcar propicia acúmulo da palhada que permanece na área variando de 10 a $30 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de material seco (CANTARELLA, 1998), proporcionando incremento no teor de matéria orgânica e melhorando a fertilidade do solo (MENDONZA et al., 2000). Diante da decomposição tem-se a liberação de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo destacando o potássio tendo cerca de 56 kg ha^{-1} de K contido na palhada, com liberação de 85% do inicialmente existente (OLIVEIRA et al., 1999).

Com isso, as possíveis mudanças no agroecossistema com o manejo da colheita sem despalha a fogo exige reformulação da adubação em soqueira de cana, pois na cana soca o potássio é o nutriente mais exigido pela cultura, sendo necessário cerca de $1,5 \text{ kg}$ de K_2O para a produção de cada 1 t ha^{-1} de cana-de-açúcar (OLIVEIRA, 2008).

Os solos tropicais apresentam normalmente baixa disponibilidade de potássio, portanto espera-se maior resposta da cana-de-açúcar com o uso da adubação potássica. Em solo que apresenta teor muito baixo de potássio é sugerido à dose de 130 kg ha^{-1} de K_2O para a produção almejada entre 80 e 100 t ha^{-1} em sistema de colheita que emprega a despalha a fogo (BENEDINI; PENATTI, 2008; REIS JUNIOR, 2001; SPIRONELLO et al., 1997).

O teor insuficiente deste nutriente no solo contribui para redução da longevidade do canavial (SCHULTZ et al., 2010), sendo também essencial na recuperação da produtividade da soqueira de cana (WEBER et al., 2002).

Apesar da importância do potássio na soqueira de cana-de-açúcar, os trabalhos sobre adubação com esse nutriente são restritos a cana-planta ou a

soqueira em sistema de colheita com despalha a fogo. Portanto, devido a pouca informação em sistema de manejo conservacionista que não utiliza queima da palhada. Objetivou-se avaliar o efeito da aplicação do potássio na segunda soqueira de cana-de-açúcar cultivada em sistema conservacionista.

2.2. Material e Métodos

O experimento foi instalado na Fazenda Chapadão, localizada no município de Jardinópolis-SP, com latitude 20°57'748"S e longitude 47°43'991"WO, 704 m de altitude. O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho Acriférico, textura argilosa (EMBRAPA, 2006). Utilizou-se para o experimento a cana-de-açúcar (variedade IAC SP 93-3046) indicada para região do cerrado, após o corte da primeira soqueira.

O clima da região, na classificação de Köppen, é do tipo Aw, clima tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. Os dados meteorológicos (balanço hídrico) foram obtidos da estação mais próxima da área experimental (26 km), de acordo com Araújo et al. (2006) a Organização mundial de meteorologia aceita dados climáticos de até 150 km de distância (Figura 1).

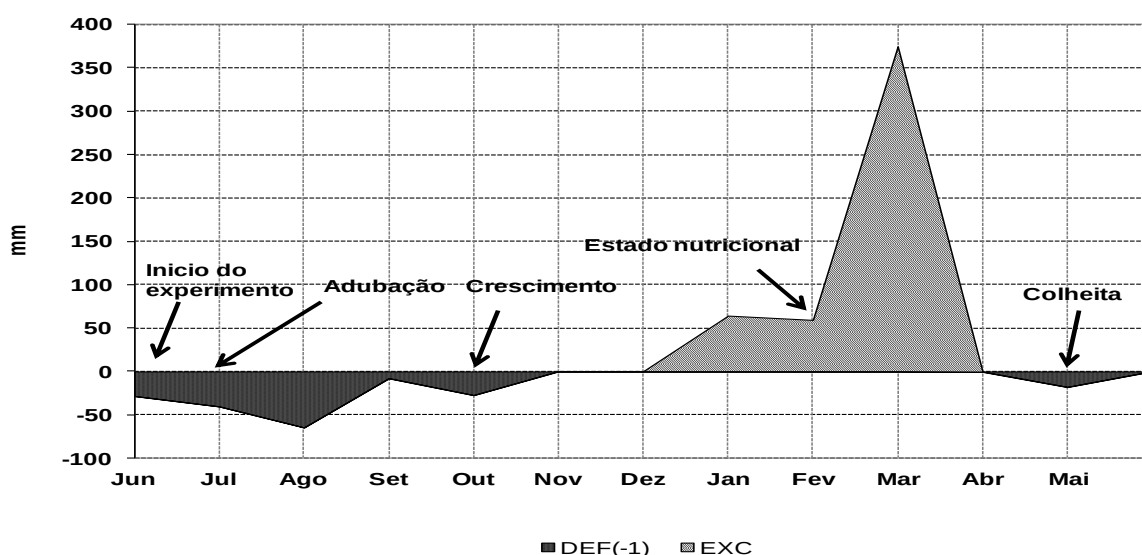


Figura 1. Balanço hídrico do período de 2010-2011 no município de Ribeirão Preto-SP (Fonte: CIIAGRO)

Antes da implantação do ensaio foram coletadas 20 amostras simples do solo da área, que compuseram a amostra composta, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade do solo. Realizou-se a análise química do solo para fins de fertilidade (Tabela 1), de acordo com os métodos descritos por Raij et al. (2001).

Tabela 1. Características químicas do solo da área experimental cultivado com cana-de-açúcar antes da instalação do experimento.

Camada	pH (CaCl ₂)	P	M.O.	K	Ca	Mg	H+Al	T	SB	V
cm		mg dm ⁻³	g dm ⁻³							%
0-20	5,1	7	32	0,4	40	9	47	96,4	49,4	51
20-40	5,0	8	33	0,3	44	10	52	106,3	54,3	51

Na mesma ocasião foi realizada a coleta da palhada da superfície do solo em três pontos aleatórios de 1 m², obtendo-se 20,5 t ha⁻¹ de matéria seca (base seca). Realizou-se a análise química da palhada determinando-se os teores totais de nutrientes na segunda soqueira (N= 5,0; P= 0,3; K= 3,2; Ca= 2,8; Mg= 1,0; S= 1,4 g kg⁻¹), segundo a metodologia descrita por Bataglia et al. (1983).

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com cinco tratamentos e quatro repetições. A unidade experimental foi composta a partir de parcelas, com quatro linhas de 15 m de comprimento (espaçamento 1,4 m entre linhas), as avaliações foram realizadas nas duas linhas centrais na cultura da cana-de-açúcar.

Os tratamentos foram compostos por doses de potássio, empregando-se como referência a dose de 130 kg ha⁻¹ de K₂O indicada para o Estado de São Paulo (SPIRONELLO et al., 1997). Assim, as doses de potássio foram as seguintes: 32,5; 65; 130; 195 kg ha⁻¹ de K₂O correspondendo a 25, 50, 100 e 150% da dose de referência (130 kg ha⁻¹ de K₂O), respectivamente, na forma de cloreto de potássio (60% de K₂O), e um tratamento controle. O fertilizante potássico foi aplicado ao lado das linhas da soqueira da cana-de-açúcar, sem incorporação em plena brotação, conforme indicações de Spironello et al. (1997). Acrescentaram-se adubação nitrogenada e fosfórica conforme as indicações de Spironello et al. (1997), aplicando-os uniformemente em todas as parcelas (30 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de

DAP e 100 kg ha⁻¹ de N na forma de sulfato de amônio). A adubação da cultura foi realizada após 30 dias do corte da primeira soqueira.

Aos 30 dias após a brotação da cana-de-açúcar foi aplicado o herbicida pós-emergente Advance® (hexazinona+diuron p.a), para controle das plantas infestantes, na dose de 3 kg ha⁻¹.

Aos seis e doze meses após a brotação da cana-de-açúcar foi realizada amostragem de solo, próxima à linha da cultura (faixa de adubação), nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade do solo, a partir de 10 pontos aleatórios na parcela. Em seguida foi realizada a análise química do solo e determinada o teor de potássio, conforme os métodos descritos por Raij et al. (2001).

Para as avaliações de crescimento na segunda soqueira de cana-de-açúcar, foi considerado o número de perfilhos, altura e diâmetro do colmo aos quatro meses após a brotação. O número de perfilhos foi determinado pela amostragem de 1,5 metros em cada unidade experimental, a altura da planta foi aferida da superfície do solo até a bainha da folha +1 e o diâmetro dos colmos foi determinado com o uso de paquímetro digital (Starrett 727-2001®) na metade do primeiro colmo em dez plantas por unidade experimental.

O estado nutricional das plantas foi determinado aos oito meses após a brotação da soqueira através de amostragens de 10 folhas por unidade experimental. Para isso considerou-se as folhas +1 (folha mais alta com colarinho visível "TVD"), cortando-se os 20 cm central e excluindo a nervura central, conforme Raij et al. (1997). Após a amostragem das folhas as mesmas foram lavadas, colocadas em sacos de papel e secas em estufa de ventilação forçada de ar, a uma temperatura entre 65 e 70°C, até atingir massa constante. O material vegetal foi moído em moinho tipo Willey (peneira com abertura de malha de 1 mm) para posterior determinação dos teores de K no tecido vegetal, pelos métodos descritos por Bataglia et al. (1983).

Aos doze meses, após a brotação da cana-de-açúcar, foi realizada a colheita nas linhas centrais de cada parcela. Na colheita foi separada a parte aérea da cana-de-açúcar da parcela, em folhas e colmos. Após a pesagem do material fresco, uma porção de 400 g de cada órgão (folhas e colmos) foi seca em estufa (65°C) e realizada a determinação do teor de potássio no tecido vegetal seguindo a

metodologia descrita por Bataglia et al. (1983), e com os dados de matéria seca efetuou-se o cálculo do acúmulo de potássio na parte aérea da planta.

Na colheita foi realizada amostragem de 10 colmos da parcela para a análise tecnológica dos colmos avaliando-se teor de sacarose (Pol% cana), fibra, pureza, concentração de sólidos solúveis (Brix), açúcar teórico recuperável (ATR) e açúcares redutores, determinados conforme a metodologia descrita por Consecana (2006).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e em seguida à análise de regressão polinomial ($P < 0,05$), utilizando-se o software AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2011).

2.3. Resultados

A aplicação de doses de potássio no solo promoveu incremento linear no teor de potássio trocável na camada de 0-20 e 20-40 cm de profundidade aos seis meses após a brotação da segunda soqueira de cana-de-açúcar (Figura 2a). Aos doze meses após a brotação da soqueira a aplicação de potássio no solo proporcionou efeito linear na profundidade de 0-20 cm, não apresentando efeito na camada de 20-40 cm profundidade (Figura 2b).

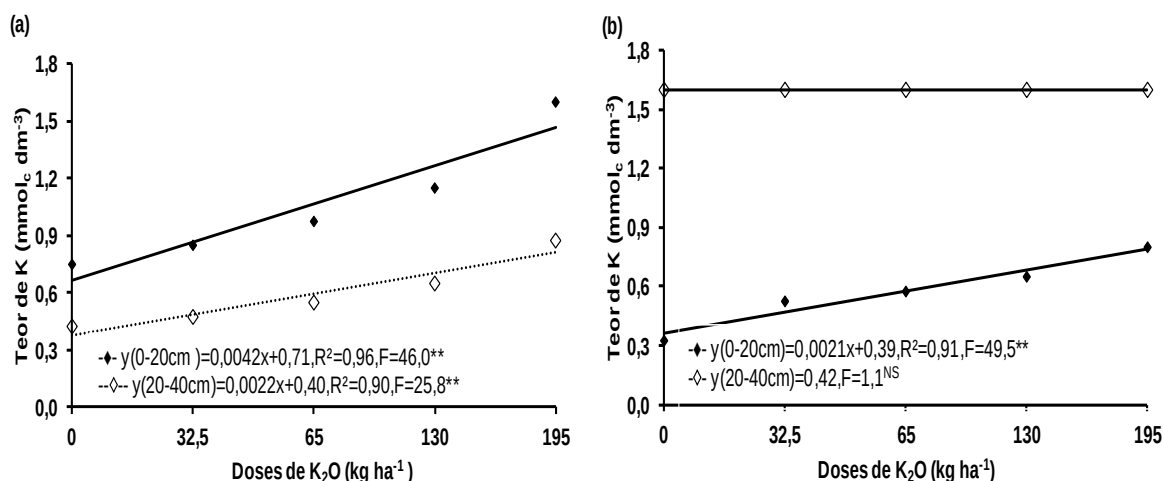


Figura 2. Efeito da dose de potássio no teor de K trocável no solo na camada de 0-20 cm e 20-40 cm aos 6 meses (a) e aos 12 meses (b) após o brotamento da segunda soqueira da cana-de-açúcar, no município de Jardinópolis-SP.
^{ns} e ^{**} - não significativo e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente.

O teor de potássio trocável no solo na camada de 0-20 e 20-40 cm de profundidade atingiu valor máximo de 1,5 e 0,8 mmol_c dm⁻³, respectivamente na segunda soqueira aos seis meses com a aplicação da dose de 195 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 2a). Aos doze meses na camada de 0-20 cm de profundidade o teor de potássio no solo atingiu valor máximo de 0,8 mmol_c dm⁻³ na dose de 195 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 2b).

A aplicação de potássio na segunda soqueira de cana-de-açúcar não promoveu diferença significativa nas variáveis de crescimento (altura, diâmetro e número de perfilhos) aos quatro meses após o brotamento da segunda soqueira (Tabela 2).

Tabela 2. Variáveis biométricas da cana-de-açúcar, em função da aplicação das doses de potássio aos quatro meses após o brotamento da segunda soqueira de cana-de-açúcar.

Tratamentos	Altura	Número de perfilhos	Diâmetro do perfilho
kg ha ⁻¹ de K ₂ O	cm		mm
0	31,77	30,25	16,70
32,5	32,80	33,58	17,70
65	34,97	31,91	17,02
130	33,80	34,33	17,92
195	33,70	32,75	17,42
Teste F	0,43 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,98 ^{ns}
C.V. (%)	11,0	10,2	5,8

^{ns} - não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

A aplicação de potássio no solo proporcionou incremento linear no teor de K na folha +1 aos oito meses na segunda soqueira, atingindo máximo teor de 9,8 g kg⁻¹ com o uso de 195 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 3a). Aos doze meses após o brotamento da soqueira o teor de potássio no colmo teve incremento quadrático, atingindo máximo de 1,9 g kg⁻¹ na dose de 156 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 3b).

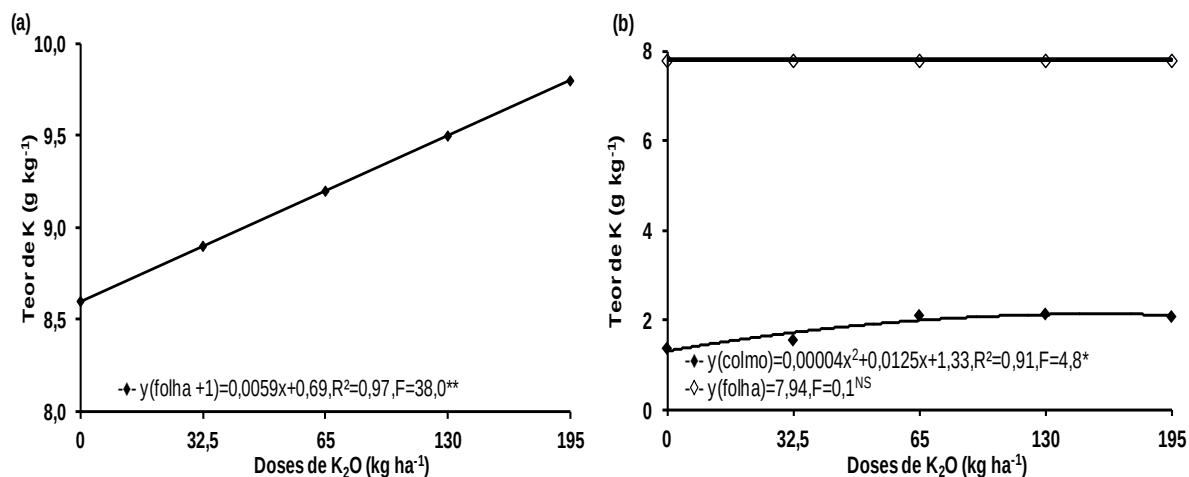


Figura 3. Efeito da dose de potássio no teor de K na “folha +1” aos oito meses (a), nas folhas e colmos aos doze meses (b) após o brotamento da segunda soqueira da cana-de-açúcar, município de Jardinópolis-SP. ^{NS}, ^{**} e ^{*} - não significativo, significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

A aplicação de potássio promoveu ajuste quadrático no acúmulo de K na parte aérea e no colmo da segunda soqueira de cana (Figura 4), atingindo ponto de máximo de 150 e 181,4 kg ha⁻¹ de K para a dose de 131,9 e 64,5 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente.

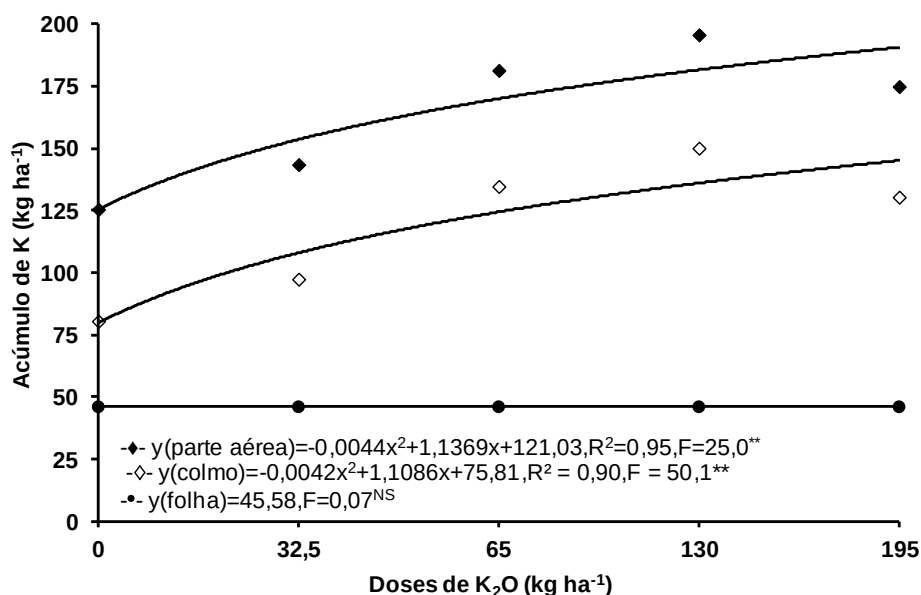


Figura 4. Efeito da aplicação de doses de potássio no acúmulo de K na parte aérea, colmo e folhas aos doze meses após o brotamento da segunda soqueira da cana-de-açúcar, município de Jardinópolis-SP. ^{NS} e ^{**} - não significativo e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente.

Na produção e qualidade dos colmos da cana-de-açúcar não foi observado efeito significativo da aplicação de doses de potássio no solo (Tabela 3).

Tabela 3. Efeitos da aplicação de potássio no solo na produção e qualidade tecnológica do caldo aos doze meses após o brotamento da soqueira da cana-de-açúcar, município de Jardinópolis-SP.

Dose de potássio (K ₂ O)	TCH	Pureza	PC	Pol	AR	Fibra	Brix	ATR
	t ha ⁻¹	-----% cana -----						kg t ⁻¹
0	100,1	91,0	15,3	17,80	0,45	11,08	19,55	151,60
32,5	102,5	90,4	15,5	18,04	0,46	11,26	19,95	153,25
65	103,6	90,5	15,2	17,91	0,46	11,67	19,78	151,07
130	103,9	90,2	15,4	17,94	0,47	11,24	19,89	152,55
195	105,5	90,5	15,3	17,75	0,46	11,08	19,60	151,27
Teste F	0,29 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,61 ^{ns}	2,25 ^{ns}	1,73 ^{ns}	0,44 ^{ns}
C.V. (%)	6,9	0,8	2,0	1,8	4,9	2,9	1,3	1,8

2.4. Discussão

O aumento do teor de potássio no solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm aos seis meses e na camada de 0-20 cm aos doze meses com a aplicação de potássio no solo (Figura 2) foi observado também por Sampaio e Salcedo (1991); Mendonza et al. (2000); Silva et al. (2005); Flores et al. (2012). Este efeito da adubação potássica foi resultado do baixo teor de potássio no solo (camada de 0-20 cm com 0,4 mmol_c dm⁻³ e camada de 20-40 cm com 0,3 mmol_c dm⁻³) antes da implantação do experimento (ROSSETTO et al., 2004). No entanto, a aplicação de potássio no solo não foi suficiente para mudar a faixa do teor do nutriente de muito baixo para médio (RAIJ et al., 1997). Este fato é importante porque solos que possuem teor de potássio menor que 1 mmol_c dm⁻³ apresentam redução na produção (ROSSETTO et al., 2010).

O menor teor de potássio na profundidade de 20-40 cm aos seis meses foi amplamente relatado na literatura, verificando-se menor teor de potássio com o aumento da profundidade do solo, porém aos doze meses o teor de potássio no solo apesar de não ter ocorrido efeito significativo da aplicação do nutriente, aumentou na camada de 20-40 cm provavelmente devido nos últimos quatro meses ter ocorrido elevada precipitação e assim lixiviação do nutriente.

A aplicação de potássio no solo não influenciou no crescimento aos quatro meses após o brotamento da segunda soqueira da cana-de-açúcar (Tabela 2), provavelmente devido à baixa exigência nutricional na fase inicial de desenvolvimento da cultura, pois no início do crescimento da cana-de-açúcar a exigência nutricional é relativamente baixa, aumentando entre 150 e 360 dias após a brotação (FLORES et al., 2012; COELHO; VERLENGIA, 1973).

Outro possível motivo para a ausência dos efeitos do potássio no crescimento na segunda soqueira da cana foi a estiagem que ocorreu durante os meses que precederam a avaliação de crescimento da cana-de-açúcar, havendo deficiência hídrica de 50 mm no período de junho a setembro de 2010 (Figura 1). O caminhamento do K no solo e a sua absorção pela planta é dependente da presença de água em níveis adequados, salienta-se que o déficit hídrico na cultura limita o crescimento inicial da planta, diminuindo a altura de planta e aumentando a mortalidade de perfilhos de cana-de-açúcar (RAMESH; MAHADEVASWAMY, 2000).

Apesar de não ter ocorrido efeito do potássio no crescimento da segunda soqueira de cana, houve aumento do teor foliar de K aos oito meses em função da adubação potássica (Figura 3a), este resultado é amplamente relatado na literatura (ROSSETTO et al., 2004). Aos doze meses foi constatado incremento no teor de potássio apenas no colmo (Figura 3b). Observa-se que o estado nutricional aos oito meses para o potássio na segunda soqueira apresentou teor na folha ($9,8 \text{ g kg}^{-1}$) menor que o considerado adequado segundo Raij (2011) ($10\text{-}16 \text{ g kg}^{-1}$) e Wood e Meyer (1986) ($>12 \text{ g kg}^{-1}$), sendo considerado deficiente de acordo com os autores citados, provavelmente devido à redução da absorção deste nutriente dado à baixa precipitação na fase de crescimento e ao baixo acúmulo nas folhas (Figura 4). Shukla et al. (2009) trabalhando com adubação potássica em soqueira de cana-de-açúcar observaram maior incremento no acúmulo de potássio na parte aérea em relação ao do presente estudo (228 kg ha^{-1}), provavelmente devido ao solo apresentar elevado teor de potássio e as condições climáticas adequadas.

A adubação potássica também não influenciou na produtividade da segunda soqueira de cana (Tabela 3). De acordo com Mathew et al. (2004) a ausência do efeito da adubação potássica na produção é atribuído ao mesmo efeito no crescimento da planta. A falta de resposta da cana-de-açúcar possivelmente foi

devido ao déficit hídrico durante os seis primeiros meses da condução do experimento, chegando a -50 mm, não permitindo assim incrementar as variáveis de crescimento discutidas anteriormente e consequentemente a produção (Tabela 2).

De acordo com Rosenfeld (1989) o estágio inicial de máximo desenvolvimento da cana é o período mais sensível ao déficit hídrico, assim a cana-de-açúcar plantada em fevereiro e junho, o período mais crítico é o de 4 a 8 meses de idade, correspondente ao período de déficit hídrico do presente estudo. Barbosa (2011) verificou que os balanços hídricos com resultados menores que -13 mm causam diminuição significativa na população final de plantas de cana-de-açúcar. Nota-se também que a produção é dependente da disponibilidade de água, portanto representa o fator de extrema importância para a cultura podendo diminuir significativamente o rendimento ótimo da cana-de-açúcar (RIBEIRO; HALSTEAD; JONG, 1984). Dantas Neto et al. (2006) acrescentaram também que um fornecimento apropriado de água nas fases iniciais e de crescimento mais acelerado proporciona uma melhoria no rendimento agrícola e industrial em cana soca.

O potássio necessita de água para ser absorvido pelo processo de difusão, mas com a baixa precipitação inicialmente no experimento houve menor resposta da cultura a adubação, mesmo havendo média CTC do solo (CAIONE et al. 2011; MENDONZA et al., 2000). Este resultado também deve-se em partes a liberação de K da palhada podendo fornecer 56 kg ha⁻¹ de K, pois empregou-se sistema de colheita sem despalha a fogo (OLIVEIRA et al., 1999).

A aplicação de potássio no solo não influenciou na qualidade de colmos da segunda soqueira (Tabela 3), este resultado esta de acordo com alguns estudos na literatura que também não verificaram efeito da adubação potássica na qualidade do caldo em soqueira de cana-de-açúcar (CAIONE et al., 2011; GARCÍAS et al., 2000; FELTRIN et al., 2010). Este fato possivelmente deve-se a baixa precipitação durante a segunda soqueira (Figura 1) e também as características da variedade, o tipo de solo e fertilizante aplicado (ELAMIN et al., 2007). Vale ressaltar também que há uma redução da longevidade da cana-de-açúcar a cada ciclo da cultura, desta forma, a função do potássio seria a de manter a produção e qualidade da soqueira de cana (WEBER et al., 2002).

2.5. Conclusão

A aplicação de potássio não foi importante para a segunda soqueira de cana-de-açúcar, pois não afetou o crescimento, estado nutricional, a produtividade e qualidade tecnológica de colmos.

2.6. Referências

ARAÚJO, S. A; HAYMUSSI, H; REIS, F.H; SILVA, F. E. Caracterização climatológica do município de Penha, SC. In: BRANCO, J. O.; MARENZI, A. W. C. (ed). **Bases ecológicas para um desenvolvimento sustentável: estudos de caso em Penha, SC**. Itajaí, 2006, p. 78-80.

BARBOSA, F. S. Resistência à seca em cana-de-açúcar para diferentes níveis de disponibilidade hídrica no solo. 1989. 71 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JR, W. AgroEstat – Sistema de análises estatísticas de ensaios agronômicos, Versão 1.0, Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 2012.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: IAC, 1983. 48 p. (Boletim Técnico, 78)

BENEDINI, M. S.; PENATTI, C. P. **Recomendação de adubação da cana-de-açúcar pela estimativa de produtividade**. São Paulo: Coplana, 2008. p. 20-21.

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

CANTARELLA, H. Adubação nitrogenada em sistema de cana crua. **STAB: açúcar, álcool e subprodutos**, Piracicaba, v. 16, n. 4, p. 21-22, 1998.

CIIAGRO 2013: centro integrado de informações agrometeorológicas. **Resenha Agrometeorológica**. Disponível: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline>. Acesso em: 16 jan. 2013.

COELHO, F. S.; VERLENGIA, F. **Fertilidade do solo**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973. p. 50.

CONAB 2012: companhia nacional de abastecimento. Brasília: Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-De-Açúcar. Safra 2012/2013, primeiro levantamento, maio/2011, 2012.

CONSECANA 2006: conselho dos produtores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool do estado de São Paulo. Manual de instruções. Piracicaba: CONSECANA, 2006. 110 p.

DANTAS NETO, J.; FIGUEIREDO, J. L. C.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, H. M.; AZEVEDO, C. A. V. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, p. 283-288, 2006.

ELAMIN, E. A.; EL-TILIB, M.A.; ELNASIKH, M. H.; IBRAHIM, S. H.; ELSHEIKH, M. A.; BABIKER, E. E. The influence of phosphorus and potassium fertilization on the quality of sugar of two sugarcane varieties grown on three soil series of sudan. **Journal of Applied Sciences**, Singapore, v. 7, n. 16, p. 2345-2350, 2007.

EMBRAPA 2006: empresa brasileira de pesquisa agropecuária. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos, 2006. 412 p.

FELTRIN, M. S.; LAVANHOLI, M. G. D. P.; SILVA, H. S.; PRADO, R. M. Adubação potássica na produtividade da soqueira de cana-de-açúcar colhida sem queima. **Nucleus**, Ituverava, v. 7, p. 307-314, 2010.

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

GARCÍAS, S. S.; ESCORBA, R. N.; CABRIALES, J. J. P.; BARRA, J. D. E.; LÓPEZ, D. J. P.; HERNÁNDEZ, M. R. S. Respuesta de la soca caña de azucar a la fertilización NPK. **Agrociência**, Texcoco, v. 34, n. 6, p. 689-698, 2000.

MATHEW, T.; KURIAN, T. M.; GEORGE, B.; KURIAKOSE, S. J. M.; SREEKUMAR, K.; JAYAKUMAR, G. Effect of Time and Mode of Application of Potassium on the Growth, Yield and Quality of Sugarcane Ratoon. **Sugar Tech**, Delhi, v. 6, n. 2, p. 81–83, 2004.

MENDONZA, H. N. S.; LIMA, E.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, L. A.; CEDDIA, M. B.; ANTUNES, M. V. M. Propriedades químicas e biológicas de solo de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 201-207, 2000.

OLIVEIRA, E. C. A. **Dinâmica de nutrientes na cana-de-açúcar em sistema irrigado de produção**. 2008. 40 f. Dissertação (Mestrado Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural Pernambuco, Recife, 2008.

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

RAIJ, B. van. Avaliação do estado nutricional das plantas. In: RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. 2. ed. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. cap. 8. p.157-171.

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

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundação IAC, 1997. p. 285.

RAMESH, P.; MAHADEVASWAMY, M. Effect of formative phase drought on different classes of shoots, shoot, mortality, cane attributes, yield and quality of four sugarcane cultivars. **Journal Agronomy & Crop Science**, Malden, v. 185, p. 249-258, 2000.

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

RIBEIRO, M. R.; HALSTEAD, E. H.; JONG, E. Rendimento da cana-de-açúcar e características das terras da microrregião da Mata Norte de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 8, p. 209-213, 1984.

ROSENFELD, U. **Determinação do período crítico de deficiência hídrica para a cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 1989. 88 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; LANDELL, M. G. A.; CANTARELLA, H.; TAVARES, S.; VITTI, A. C.; PERECIN, D. N and K fertilisation of sugarcane ratoons harvested without burning. **International Society of Sugar Cane Technologists**, Sourabaya, v. 27, p. 1-8, 2010.

ROSSETTO, R.; SPIRONELLO, A.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Calagem para a cana-de-açúcar e sua interação com a adubação potássica. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 1, p. 105-119, 2004.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar. V. Balanço de K em quatro ciclos de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 9, p. 1323-1335, 1991.

SCHULTZ, N.; LIMA, E.; PEREIRA, M. G.; ZONTA, E. Efeito residual da adubação na cana-planta e da adubação nitrogenada e potássica na cana-soca colhidas com e sem a queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 811-820, 2010.

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. **European Journal of Agronomy**, Taastrup, v. 30, p. 27-33, 2009.

SILVA, F. C.; BERGAMASCO, A. F.; MONTALI, E. F.; RODRIGUES, L. H.; FARIAS, J. R. B. Avaliação da adubação nitrogenada e potássica em cana-de-açúcar baseada em modelos. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA, 2005, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Potafos, 2005. p. 763-822.

SPIRONELLO, A.; RAIJ, B. V.; PENATTI, C. P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J. L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M. G. A.; ROSSETO, R. Cana-de-açúcar. In: RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Fundação IAC, 1997. p.237-239.

WEBER, H.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; IDO, O. T.; BARELA, J. D. Recuperação da produtividade de soqueiras de cana-de-açúcar com adubação NPK. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 2, n. 1, p. 73-77, 2002.

WOOD, R. A.; MEYER, J. H. Factors affecting potassium nutrition of sugarcane in South Africa. **Proceedings of The South African Sugar Technologists' Association**, South African, p. 198-204, 1986.

CAPÍTULO 3 - Trocas gasosas, crescimento e anatomia foliar da cana-de-açúcar cultivada na carência de potássio

RESUMO - O potássio participa do metabolismo vegetal, sendo determinante para a abertura estomática, na ativação de algumas enzimas e para a movimentação de solutos via floema com reflexos positivos na distribuição dos fotossintatos. Objetivou-se verificar a ausência de potássio nas trocas gasosas, crescimento e na anatomia foliar da cana-de-açúcar. O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação, com ausência e presença de potássio na solução nutritiva. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com dez repetições. Foram avaliadas as trocas gasosas pela transpiração e fotossíntese, o crescimento mediante mensurações da altura, diâmetro do perfilho, densidade radicular e massa seca das partes vegetativas, além da ultraestrutura dos cloroplastos da folha diagnóstica. Ainda, verificaram-se os teores de clorofilas, índice de cor verde, açúcares solúveis totais, amido e presença de potássio nas plantas cultivadas com omissão do nutriente. As plantas de cana-de-açúcar, cultivadas na ausência de potássio, apresentaram diminuição da transpiração, fotossíntese, teores de clorofilas e crescimento. No entanto, houve incremento do teor de açúcares solúveis totais e de amido nas folhas.

Palavras-chave: açúcares, fotossíntese, massa seca, nutriente, *Saccharum* spp, transpiração

ABSTRACT - Potassium participates in plant metabolism, being decisive for stomatal opening, the activation of some enzymes and for the movement of solutes through phloem with positive effects on the distribution of photosynthates. The aim of this study was to verify the absence of potassium in gas exchange, growth and leaf anatomy of cane sugar. The experiment was conducted in a greenhouse, with the absence and presence of potassium in the nutrient solution. The experimental design was completely randomized with ten repetitions. Gas exchange were evaluated by transpiration and photosynthesis, growth by measurements of height, tiller diameter, density and root dry weight of the vegetative parts, besides the ultrastructure of chloroplasts of leaf diagnosis. Still, there were the chlorophyll contents, index green, soluble sugars, starch and the presence of potassium in plants grown with the nutrient omission. The plant cane sugar grown in the absence of potassium, showed reduction of transpiration, photosynthesis, chlorophyll contents and growth. However, there was an increase in the content of total soluble sugars and starch in the leaves.

Keywords: sugars, photosynthesis, dry matter, nutrient, *Saccharum* spp, transpiration

3.1. Introdução

A ausência de potássio (K) compromete as funções vitais das plantas, refletindo na diminuição do crescimento e da produtividade, pois os íons de potássio atuam como soluto mudando o potencial osmótico e o turgor celular, influenciando assim na extensão celular (HAWKESFORD et al., 2012). Este fato é importante porque existem vastas áreas de terras cultivadas com deficiência deste nutriente (RÖMHELD; KIRKBY, 2010). Além disso, doses dos fertilizantes potássicos empregados nas culturas são inferiores às quantidades absorvidas pelas plantas, agravando a desordem nutricional deste nutriente, pois este pode representar cerca de 6% da matéria seca (ALEMÁN et al., 2011).

O potássio apresenta função importante nas plantas para abertura estomática, como agente osmótico na expansão celular, função que pode ser substituído por poucos íons inorgânicos (VERY; SENTENA, 2003), e também na ativação de enzimas, movimentos vegetais, neutralização de cargas, modificações transcricionais e pós-transcricionais (MAATHUIS, 2009). Além disso, o potássio é um agente indispensável na movimentação de solutos via floema (KARLEY; WHITE, 2009), incrementando indiretamente a taxa fotossintética.

A privação de potássio desencadeia o acúmulo de carboidratos nos cloroplastos levando ao declínio da etapa bioquímica da fotossíntese (REDY; ZHAO, 2005; KARLEY; WHITE, 2009). A limitada produção de fotossintatos, decorrente da queda das taxas fotossintéticas e inibição de seu transporte, conduzem ao inadequado suprimento energético de órgãos drenos, com implicações negativas no acúmulo de massa seca, diminuindo o crescimento das plantas.

Os estudos da ausência de potássio em cana-de-açúcar são escassos na literatura. Os relatos de poucos pesquisadores no início do século XX (HARTT, 1929; HARTT, 1934; HAAG; ACCORSI, 1978) se restringem às avaliações bioquímicas, sintomatológicas e de crescimento. Em estudo mais recente, Vale et al. (2011) constataram apenas que o potássio provindo do tolete atende a necessidade inicial da planta.

Os efeitos da ausência de potássio na fisiologia e anatomia foliar de cana-de-açúcar não foram encontrados na literatura, evidenciando a necessidade de estudos

para se compreender os distúrbios gerados por estes efeitos nos processos vitais de cana-de-açúcar. Assim, o objetivo do presente estudo foi verificar a ausência de potássio nas trocas gasosas, crescimento e anatomia foliar da cana-de-açúcar.

3.2. Material e Métodos

O experimento foi realizado em casa de vegetação com a cultura da cana-de-açúcar cv. RB85 5156, na UNESP - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”- Câmpus de Jaboticabal-SP, nas coordenadas geográficas longitude de 21°15'22"W e latitude de 48°18'58"S.

O delineamento adotado foi o inteiramente casualizado, com dois tratamentos e dez repetições. Os tratamentos empregados foram: ausência e presença de potássio.

Foram utilizados toletes de 5 cm de comprimento, com uma gema, os quais foram colocados em copos de plástico, de 500 mL, contendo areia lavada. Após 15 dias da emergência do broto, as mudas foram transplantadas para vasos de polipropileno (8 dm³), contendo solução nutritiva diluída a 50% (HOAGLAND; ARNON, 1950) e mantidas por quatro dias. Após esse período, as soluções nutritivas (sem diluição) foram continuamente aeradas e trocadas semanalmente e, o pH foi ajustado diariamente, para se manter entre cinco e seis, com HCl 0,1 mol dm⁻³ ou NaOH 1 mol dm⁻³.

Ao final do experimento, na décima semana sob efeito da ausência de potássio, foram realizadas as seguintes avaliações fisiológicas na parte aérea da cana-de-açúcar: altura das plantas, medida do colo da planta até a bainha da primeira folha totalmente expandida, e o diâmetro do perfilho, medido na base inferior, com o auxílio do paquímetro digital (Starrett 727-2001®) (Figura 1).

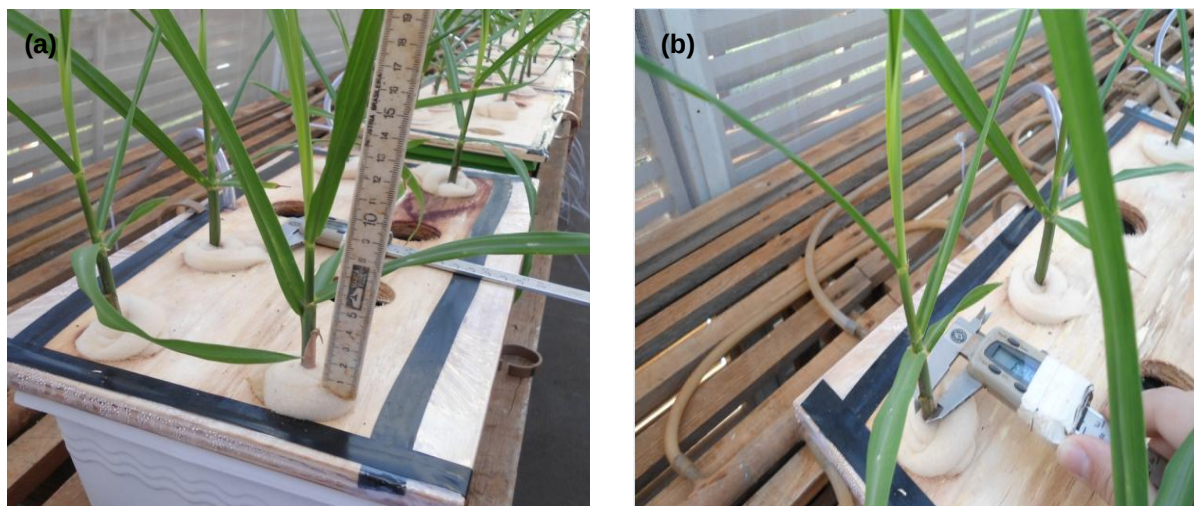


Figura 1. Avaliações de crescimento na cana-de-açúcar no tratamento controle e na carência de potássio, altura da planta (a) e diâmetro dos perfilhos (b).

As raízes foram, cuidadosamente, separadas, condicionadas em frascos contendo solução de álcool a 20% (v/v) e conservadas sob refrigeração, para as posteriores determinações de densidade (mm cm^{-3} solução nutritiva) e massa seca das raízes (g). Para a determinação do comprimento das raízes, foi utilizado o sistema de análise de imagens Delta-T Devices LTD. Para tanto, as raízes de cada planta foram submetidas à coloração com azul de metileno por aproximadamente dois minutos e, em seguida, dispostas sobre uma bandeja com água onde foi realizada a leitura da imagem por um scanner Hewlett Packard modelo 5C.

A imagem de cada sistema radicular foi analisada pelo software Delta-T Scan Root Analysis System, que determinou o comprimento (mm) pelo método de Harris e Campbell (1989). A densidade das raízes foi calculada dividindo-se o comprimento encontrado pelo volume de solução nutritiva (mm cm^{-3} solução nutritiva). Após a mensuração da densidade, as raízes foram colocadas em saco de papel e levadas para secar em estufa de circulação forçada de ar em temperatura de 65 °C até a obtenção da massa constante. Para determinação da massa seca foi utilizada uma balança analítica Denver Instrument Company AA-200, com precisão de 1×10^{-8} g.

As avaliações fisiológicas foram realizadas nas folhas que apresentaram sintomas de deficiência (folha +3), onde foi determinada a assimilação líquida de CO_2 (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e concentração intercelular de CO_2 (C_i , $\mu\text{mol mol}^{-1}$). Portanto foi

utilizado o analisador portátil de fotossíntese, IRGA, modelo Li-6400 Licor (Lincoln, EUA). Neste período foram determinados os teores de clorofilas segundo a metodologia de Arnon (1949), e o índice de cor verde com o auxílio do aparelho CCM200 device (Opti-Sciences).

Nas folhas avaliaram-se as estruturas dos cloroplastos a partir do uso da microscopia de transmissão, realizando-se a coleta do limbo foliar (1 a 2 mm²) no tratamento com ausência de potássio e no controle. Em seguida, procedeu-se ao preparo das amostras com a desidratação e fixação utilizando-se o método descrito por Wullschlegler e Oosterhuis (1987) e foi realizada a visualização das estruturas no microscópio de transmissão.

As avaliações bioquímicas foram realizadas nas folhas da cana-de-açúcar, sendo determinado a concentração de açúcares solúveis totais e amido de acordo com a metodologia de Dubois et al. (1956).

Na coleta do experimento a parte aérea e a raiz foram separadas, lavadas e secas em estufa de circulação forçada de ar (65 °C), em seguida foi realizada a determinação do teor de potássio no tecido vegetal seguindo a metodologia descrita por Bataglia et al. (1983). Com os dados de massa seca efetuou-se o cálculo do acúmulo de potássio na parte aérea e raiz da cana-de-açúcar.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando-se o software AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2011).

3.3. Resultados

A omissão de potássio causou diminuição acentuada das trocas gasosas e crescimento, mas aumentou a concentração interna de CO₂, açúcares solúveis totais e amido, em comparação às plantas em presença de potássio.

O acúmulo de potássio foi menor tanto na parte aérea como na raiz da cana-de-açúcar submetidas à carência de potássio em relação ao controle (Figura 2a e 2b). A menor absorção de potássio nas plantas no tratamento deficiente em K⁺ induziu o surgimento inicial de manchas no limbo e nervura central na décima

semana após a emergência dos brotos da cana-de-açúcar, seguido de clorose nas bordas das folhas mais velhas das plantas (Figura 3).

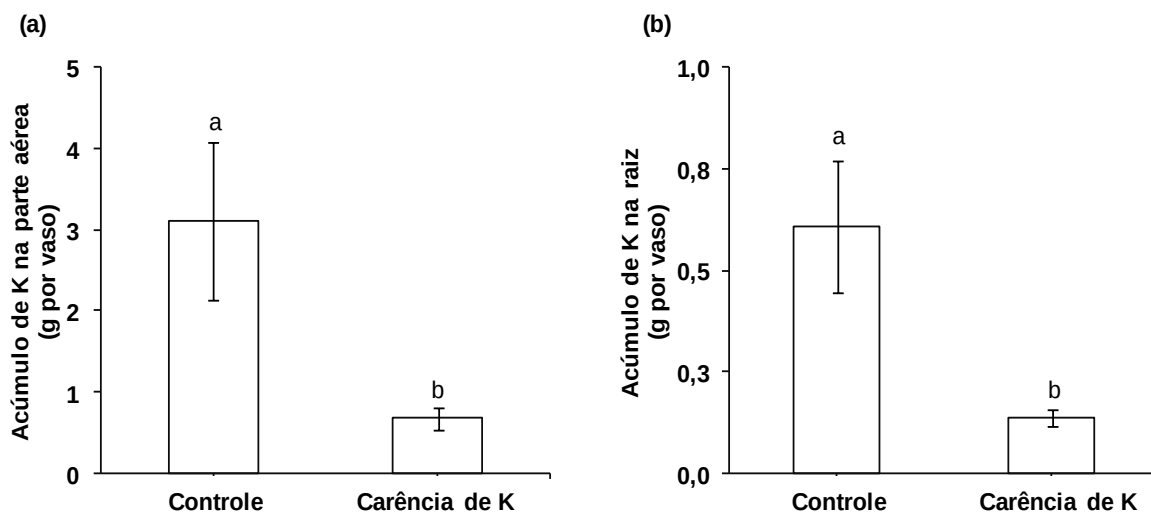


Figura 2. Acúmulo de potássio em cana-de-açúcar sob carência de K em relação ao controle, na parte aérea (a) e raiz (b). Médias $\pm$ dp. n=10. DMS acúmulo de potássio na parte aérea= 0,65, DMS acúmulo de potássio na raiz= 0,1.

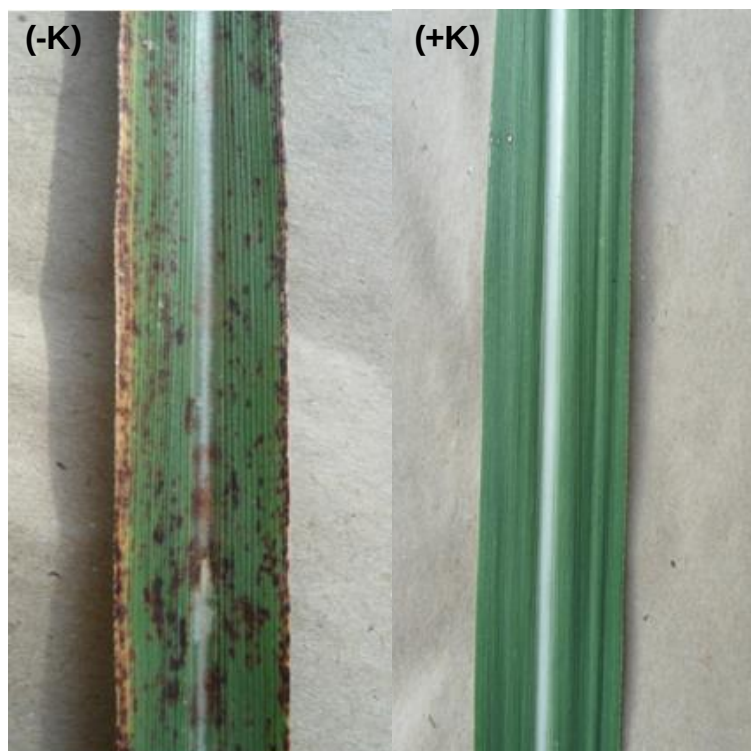


Figura 3. Sintomas de carência de potássio (-K) em relação ao controle (+K) em folhas (+3) da cana-de-açúcar.

A altura das plantas, o diâmetro do perfilho e a densidade radicular, foi menor nas plantas submetidas à ausência de K (Figuras 4a, 4b e 4c), e refletiu na menor massa seca da parte aérea e da raiz (Figura 4d).

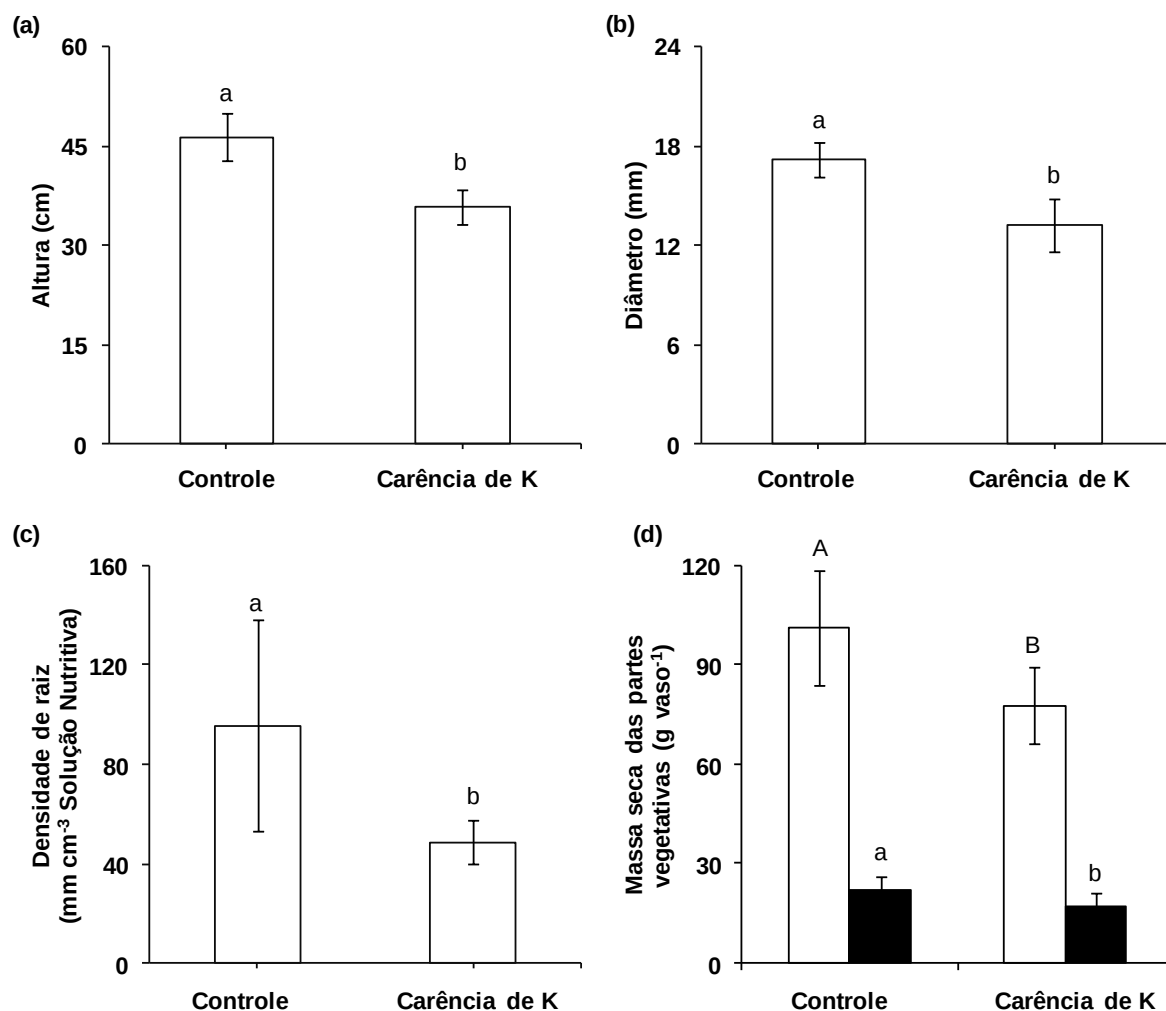


Figura 4. Crescimento da cana-de-açúcar sob carência de potássio em relação ao controle, altura (a), diâmetro do perfilho (b), densidade de raiz (c) e massa seca da parte aérea e raiz (d). A matéria seca na parte aérea e na raiz foi representada pelas cores branca e preta, respectivamente. Letras maiúsculas comparam a massa seca da parte aérea e as letras minúsculas comparam a massa seca da raiz. Médias $\pm$ dp. n= 10. DMS altura= 3,00, DMS diâmetro= 1,26, DMS densidade de raiz= 28,77, DMS massa de matéria seca da parte aérea= 13,84, DMS massa de matéria seca da raiz = 3,80.

A ausência de K proporcionou menor assimilação líquida de CO₂, transpiração e condutância estomática (Figuras 5a, 5b e 5c). Entretanto, a concentração

intercelular de CO_2 foi maior na carência de potássio em comparação ao tratamento controle (Figura 5d).

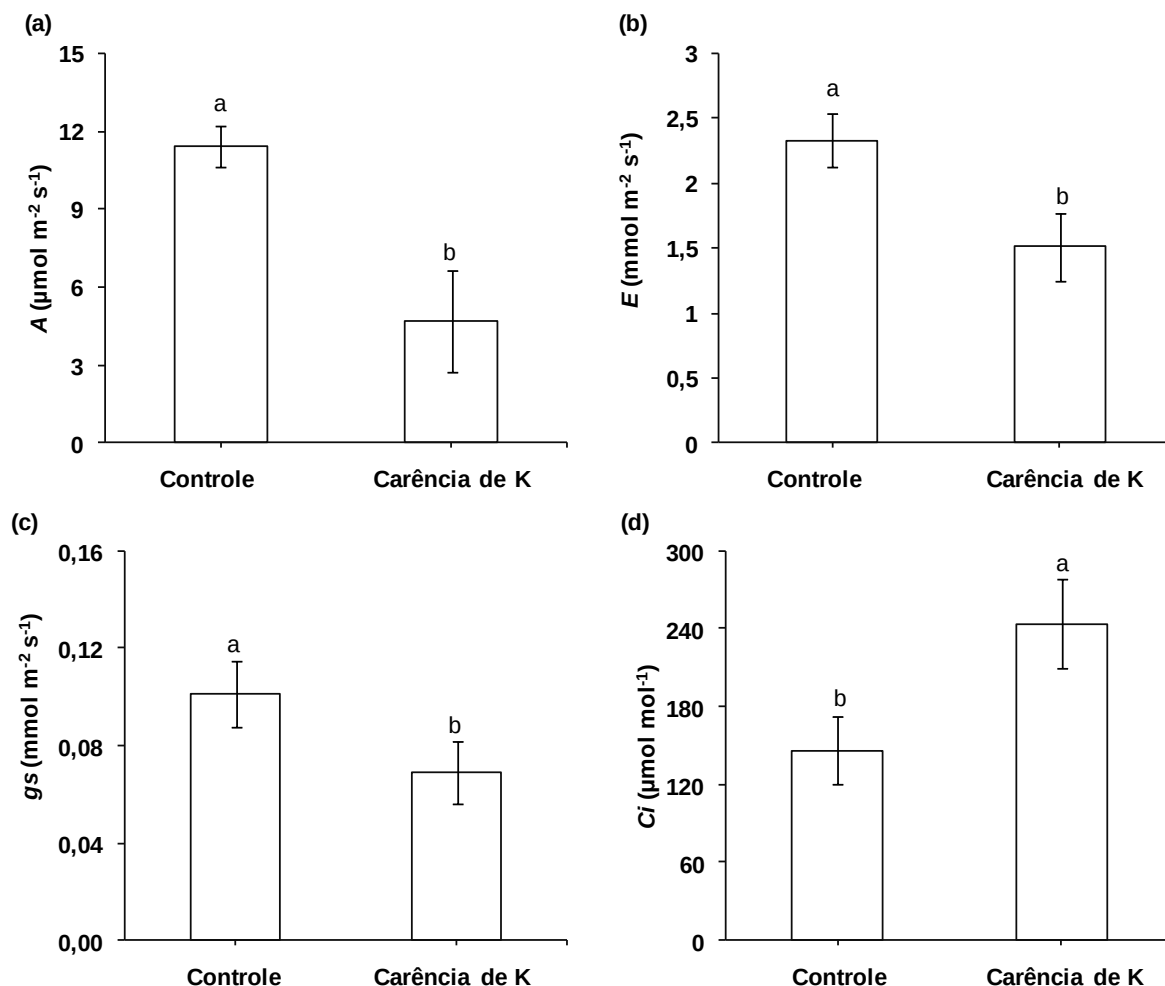


Figura 5. Trocas gasosas da cana-de-açúcar na carência de potássio em relação ao controle, assimilação líquida de CO_2 (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (a), transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (b), condutância estomática (g_s , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (c), e concentração intercelular de CO_2 (C_i , $\mu\text{mol mol}^{-1}$) (d). Médias $\pm$ dp. $n=10$. DMS assimilação líquida de $\text{CO}_2= 1,39$, DMS transpiração= $0,21$, DMS condutância estomática= $0,01$, DMS concentração intercelular de $\text{CO}_2= 28,60$.

Na carência de potássio houve menores teores de clorofila a e b , e índice de cor verde nas folhas de cana-de-açúcar (Figuras 6a, 6b e 6c). Este efeito no menor teor de clorofila da cana-de-açúcar na omissão de potássio contribuiu com a diminuição da fotossíntese (Figura 5a).

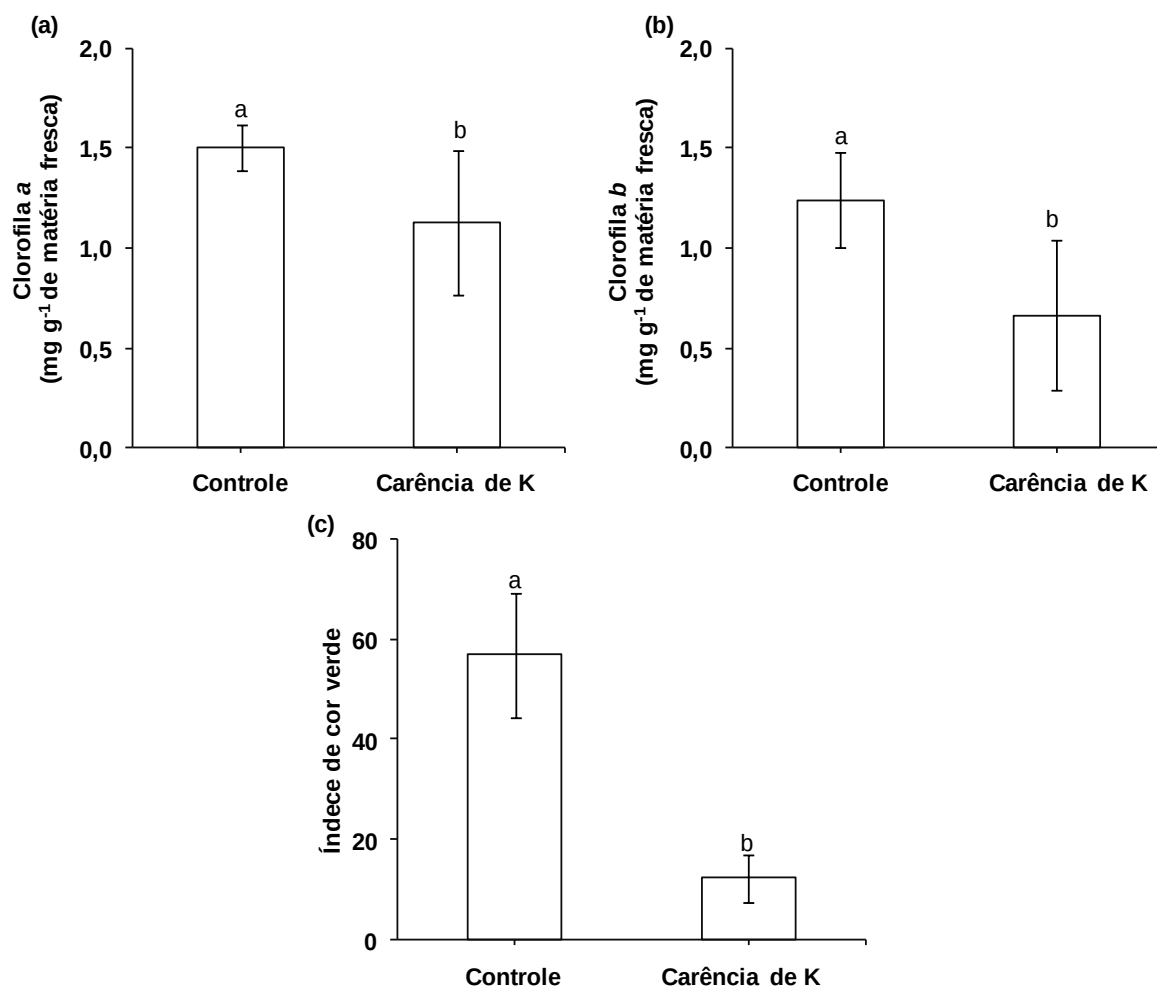


Figura 6. Teores de clorofilas da cana-de-açúcar na carência de potássio em relação ao controle, clorofila *a* (a), clorofila *b* (b), e índice de cor verde (c). Medias $\pm$ dp. $n=10$. DMS clorofila *a*= 0,20, DMS clorofila *b*=0,29, DMS Índice de cor verde= 8,93.

Na ausência de K foi verificado maior teor de açúcares solúveis totais (Figura 7a) e amido (Figura 7b) em comparação ao tratamento controle.

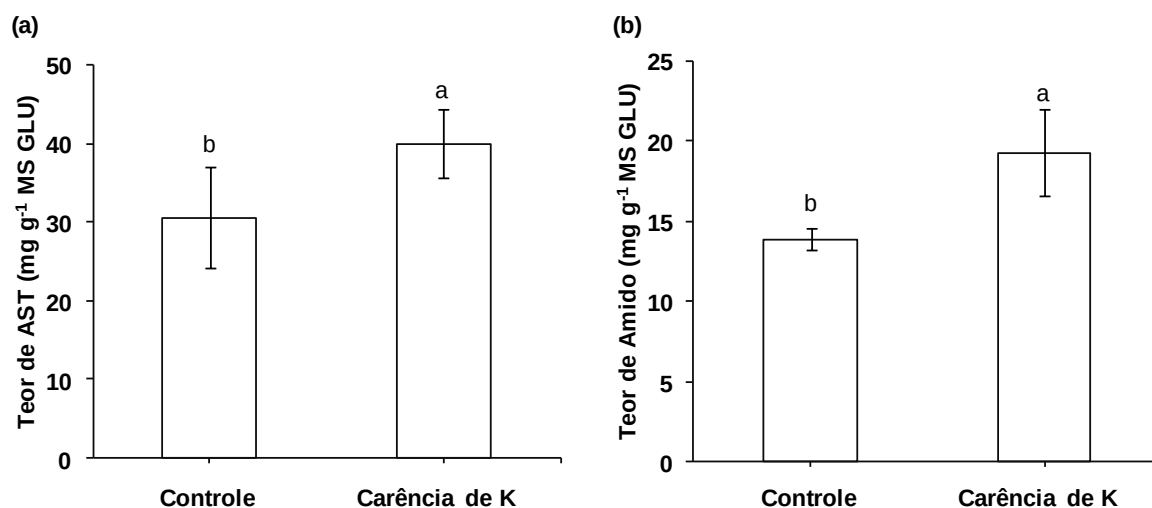


Figura 7. Teor de carboidratos da cana-de-açúcar na carência de potássio em relação ao controle, teor de açúcares solúveis totais (AST) (a) e amido (b). Médias $\pm$ dp. n=10. DMS açúcar solúvel total= 5,12, DMS amido= 1,82

O cloroplasto da folha de cana-de-açúcar com sintomas de deficiência de potássio apresenta grãos de amido arredondados e disperso pelo estroma (Figura 8b), enquanto que no tratamento controle os cloroplastos não apresentaram grãos de amido (Figura 8a).

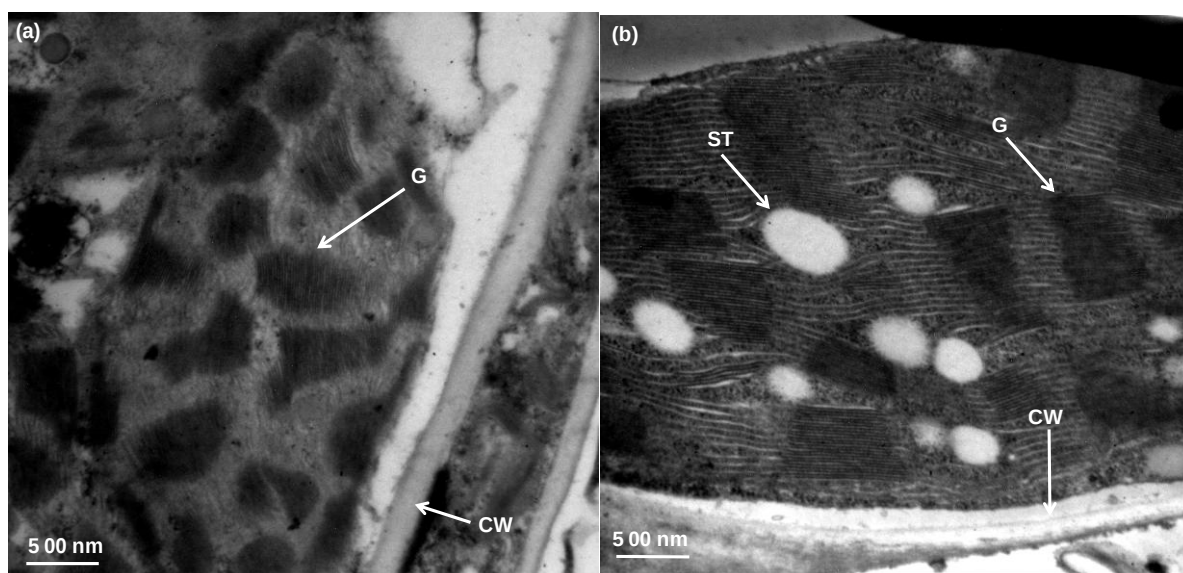


Figura 8. Ultraestrutura dos cloroplastos em folhas de cana-de-açúcar no controle (a) e na carência de potássio (b). ST: grão de amido, G: grana, CW: parede celular.

3.4. Discussão

O menor crescimento e produção de massa seca da cana-de-açúcar na carência de potássio são reflexos do baixo acúmulo de potássio na cultura (Figura 2 e 4), pois este nutriente desempenha importante função principalmente na ativação de enzimas, potencial osmótico e translocação de carboidratos nas plantas (LEIGH; JONES, 1984). O principal efeito da omissão de potássio no crescimento está associado à incapacidade das plantas deficientes em translocar fotossintatos às estruturas vegetativas que se comportam como dreno, pois é atribuído a este nutriente a função de auxiliar no transporte de assimilados entre fonte e dreno (CAKMAK, 1994; HAWKESFORD et al., 2012).

Deve-se considerar, também, que o potássio por ser componente osmótico causando aumento do turgor celular é fundamental para a expansão da célula. Rubio et al. (2009) relatam que o potássio pode estar relacionado com o transporte polar e acúmulo das auxinas na região de crescimento celular. Alguns estudos evidenciam que a omissão de potássio promove um desbalanço hormonal em que os níveis de auxinas decrescem ao passo que aumenta a síntese de etileno induzindo diminuição no crescimento tanto da parte aérea como do sistema radicular (ZHI-YONG et al., 2009; ASHLEY; GRANT; GRABOV, 2006). Inclusive, o etileno está envolvido nas respostas das plantas com ausência de potássio e em baixas concentrações este nutriente induz a expressão de diversos genes que controlam a biossíntese do etileno (RUBIO et al., 2009).

Além disso, a ausência de potássio promove menor densidade da raiz (Figura 4c) devido ao potássio nas células ser um componente osmótico, por isso, alterações na sua concentração proporciona menor turgescência celular, principalmente no floema, e no transporte entre a fonte e o dreno por intermédio do gradiente de pressão de turgescência (KRASAVINA et al., 2005). Na literatura algumas pesquisas relatam o efeito do potássio no incremento do crescimento na fase inicial da cana-de-açúcar (KHOSA, 2002; EL-TILIB; ELNASIKH; ELAMIN, 2004).

Apesar do menor crescimento da parte aérea e da raiz nas plantas submetidas à ausência de K, a proporção de massa seca entre a raiz e parte aérea

não foi afetada (Figura 4d), evidenciando o crescimento proporcional dessas estruturas, embora o acúmulo de potássio, independentemente da estrutura, seja diferente em ambos os tratamentos na fase inicial de crescimento, sendo menor na ausência de potássio (Figura 2a e 2b). Esta redução do crescimento pode ser atribuída a alterações na planta devido à função do potássio no transporte de fotossintatos e componente osmótico.

O baixo acúmulo de potássio na parte aérea e na raiz no tratamento com omissão de potássio deve-se a este nutriente ser o segundo mais absorvido pela cana-de-açúcar, pois mesmo havendo reserva de K^+ no tolete, o teor de potássio foi insuficiente para suprir as necessidades das plantas submetidas à carência de K (NG; KWONG, 2002). Na literatura é relatado o menor acúmulo do nutriente na parte aérea e raiz na deficiência de potássio (BEDNARZ; OOSTERHUIS, 1999; JORDAN-MEILLE; PELLERIN, 2008; VALE et al., 2011).

Alguns estudos reportam o efeito da omissão de K nas trocas gasosas em plantas (JIA et al., 2008), em particular sobre a condutância estomática (PENG; WENG; XU, 2006) e atividade da RUBISCO (WENG et al., 2007). No presente estudo fica evidente que a redução da condutância estomática (Figura 5c) impôs limitações na difusão de CO_2 promovendo acentuada redução na assimilação líquida de CO_2 (Figura 5a) e menor transpiração (Figura 5b), fato também constatado por Pervez, Ashraf e Makhdum (2004). Em moderada deficiência de potássio ocorre fechamento dos estômatos protegendo as plantas do estresse hídrico (BENLLOCH-GONZÁLEZ et al., 2012). A menor fotossíntese também pode ser atribuída a não abertura dos estômatos na carência de potássio, já que este nutriente tem papel importante no turgor celular das células-guardas influenciando no fechamento e abertura dos estômatos. Além disso, a ausência de potássio pode interferir no transporte de CO_2 das células do mesófilo para as células da bainha, proporcionando redução da fotossíntese em plantas C4, pois este transporte intercelular é essencial para estas plantas (HUBER, 1985).

Entretanto, a carência de potássio aumentou significativamente a concentração intercelular de CO_2 (Figura 5d). Neste caso, é provável que tenha sido um efeito indireto do nutriente, visto que a abertura estomática é dependente do acúmulo de potássio nas células guardas. Com a ausência de potássio, os

estômatos se fecham represando o CO_2 que pode ter sido oriundo do processo respiratório. A PEPcase utiliza este carbono no ciclo C4 que caracteriza o metabolismo fotossintético da cana-de-açúcar. Contudo, o processo fotossintético foi reduzido em comparação com as plantas com potássio, pois a quantidade de CO_2 intercelular, apesar de ter aumentado, não foi suficiente para resultar em maior fotossíntese.

As mudanças na atividade de muitas enzimas podem estar associadas às alterações no metabolismo das plantas através de “feedback negativo” (AMTMANN; ARMENGAUD, 2009), por exemplo, o acúmulo de açúcares, devido às alterações na relação fonte-dreno ou da omissão de K, promove a redução da fotossíntese, não pelo mecanismo estomático, mas por inibir a atividade da Rubisco (KARLEY; WHITE, 2009; GERARDEAUX et al., 2010). Além das limitações estomáticas (diminuição na condutância estomática) e menor atividade da Rubisco, a redução da fotossíntese, também, está relacionada com a diminuição dos teores dos pigmentos clorofilianos, clorofilas *a* e *b* e índice de cor verde (Figuras 6a, 6b e 6c). De fato, o decréscimo de clorofilas indica que houve desordens bioquímicas e funcionais nos cloroplastos decorrentes da omissão de K em plantas (JIA et al. 2008). O consumo de ATP e NADPH pelo ciclo de Calvin é reduzido ou nulo, possibilitando a geração de radicais livres no aparato fotoquímico pelo fato de não haver um acceptor final de elétrons oxidado (NADP^+), bem como moléculas de adenosina mono ou difosfato gerando, portanto, espécies reativas de oxigênio as quais promovem a degradação dos pigmentos cloroplastidiais (HAWKESFORD et al., 2012).

Os sintomas iniciais de deficiência de potássio foram verificados por Zhao, Oosterhuis e Bednerz (2001), que constataram redução da condutância estomática, transpiração, fotossíntese e maior concentração intercelular de CO_2 . Estes resultados corroboram com os do presente estudo, apesar de que as avaliações foram realizadas em plantas que estavam se aclimatizando à solução nutritiva sem potássio. Nestas os sintomas da falta de potássio somente foi evidenciado nas folhas mais velhas, provavelmente, devido a menor redistribuição de potássio nestas folhas.

Plantas cultivadas na ausência de potássio apresentaram aumento nos teores de açúcares solúveis totais e de amido (Figuras 7a e 7b). De fato, foi constatada

maior presença de amido nos cloroplastos das plantas cultivadas na omissão de potássio que nas cultivadas na presença de potássio (Figuras 8a e 8b). Este resultado é peculiar, pois os processos metabólicos na conversão de amido são inversos aos processos metabólicos na conversão de açúcares solúveis, isto é, a conversão de amido no cloroplasto, a partir da triose fosfato, depende de enzimas específicas e diferentes da conversão da triose fosfato em sacarose no citosol. Como este metabolismo está atrelado à quantidade de ortofosfato, pode-se supor que a omissão de potássio altera a disponibilidade ou concentração do fósforo, proporcionando maior conversão da triose fosfato a amido que à sacarose.

Considerando, também, a redução da fotossíntese este resultado sugere que ocorreu uma redução nos compostos orgânicos solúveis, aminoácidos e incorporação insuficiente de carbono em proteínas (AMTMANN; TROUFFLARD; ARMENGAUD, 2008; HAWKESFORD et al., 2012). O acúmulo de açúcares solúveis quanto ao de amido nas plantas cultivadas na omissão de potássio pode, também, ter ocorrido por alguma alteração no carregamento do floema ou durante o próprio transporte de fotossintatos. Estes resultados contrapõem-se aos efeitos negativos na fotossíntese de plantas sob omissão de potássio, encontrados no presente trabalho. É muito provável que, plantas com ausência de potássio tenham reduzido a fotossíntese pelo aumento da resistência do mesófilo e menor condutância estomática, e o aumento dos açúcares deve ter ocorrido por fatores inibitórios do carregamento e descarregamento do fluxo floemático. Zhao, Oosterhuis e Bednerz (2001) constataram que, a omissão de potássio em plantas de algodão provoca redução na translocação de sacarídeo, maior acúmulo de amido nos cloroplastos e diminuição da fotossíntese.

3.5. Conclusão

As plantas de cana-de-açúcar, cultivadas na ausência de potássio, apresentaram drástica redução da transpiração, fotossíntese, teores de clorofilas e crescimento. Por outro lado, houve incremento do teor de açúcares solúveis totais e de amido nas folhas.

3.6. Referências

- ALEMÁN, F.; NIEVES-CORDONES, M.; MARTÍNEZ, V.; RUBIO, F. Root K^{+} acquisition in plants: the *Arabidopsis thaliana* model. **Plant Cell Physiology**, Tóquio, v. 52, n. 9, p. 1603-12, 2011.
- AMTMANN, A.; ARMENGAUD, P. Effects of N, P, K and S on metabolism: new knowledge gained from multi-level analysis. **Current Opinion in Plant Biology**, Amsterdam, v. 12, n. 3, p. 275-283, 2009.
- AMTMANN, A.; TROUFFLARD, S.; ARMENGAUD, P. The effect of potassium nutrition on pest and disease resistance in plants. **Physiologiae Plantarum**, Lund, v. 133, n. 4, p. 682–691, 2008.
- ARNON, D. I. Cooper enzymes in isolated chloroplast polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, Glasgow, v. 24, n. 1, p. 1-15, 1949.
- ASHLEY, M. K.; GRANT, M.; GRABOV, A. Plant responses to potassium deficiencies: a role for potassium transport proteins. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 57, n. 2, p. 425–436, 2006.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JUNIOR, W. **AgroEstat: sistema para análise estatística de ensaios agronômicos**. Versão 1.0. Jaboticabal: FCAV/Unesp, 2011.
- BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. IAC, Campinas, 1983, 48p. (Boletim Técnico 78).
- BEDNARZ, C. W.; OOSTERHUIS, D. M. Physiological changes associated with potassium deficiency in cotton. **Journal of Plant Nutrition**, Georgia, v. 22, n. 2, p. 303-313, 1999.
- BENLLOCH-GONZÁLEZ, M.; GARCÍA, J.; GARCÍA-MATEO M-J.; BENLLOCH, M.; FOURNIER, J-M. K^{+} starvation causes a differential effect on shoot and root K^{+} (Rb^{+}) uptake in sunflower plants. **Scientia Horticulturae**, Mission, v. 146, n. 15, p. 153–158, 2012.
- CAKMAK, I. Activity of ascorbate-dependent H_2O_2 -scavenging enzymes and eaf chlorosis are enhanced in magnesium- and potassium-deficient leaves, but not in phosphorus-deficient leaves. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 45, n. 9, p. 1259–1266, 1994.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, Urbana-Champaign, v. 28, n. 3, p. 350-356, 1956.

EL-TILIB, M. A.; ELNASIKH, M. H.; ELAMIN, E. A. Phosphorus and potassium fertilization effects on growth attributes and yield of two sugarcane varieties grown on three soil series. **Journal of Plant Nutrition**, Georgia, v. 27, n. 4, p. 663–699, 2004.

GERARDEAUX, E.; JORDAN-MEILLE, L.; COSTANTIN, J.; PELLERIN, S.; DINGKUHN, M. Changes in plant morphology and dry matter partitioning caused by potassium deficiency in *Gossypium hirsutum* (L.). **Environmental and Experimental Botany**, Paris, v. 67, n. 3, p. 451-459, 2010.

HAAG, H. P.; ACCORSI, W. R. Deficiência de macro e micronutrientes em cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* spp) variedade CB 41-76 cultivada em solução nutritiva. *Anais ESA “Luiz de Queiros”*, Piracicaba, v. 35, p. 125-167, 1978.

HARRIS, G. A.; CAMPBELL, G. S. Automated quantification of roots using a simples image analyser. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, p. 935-938, 1989.

HARTT, C. E. Potassium deficiency in sugar cane. **Botanical Gazette**, Chicago, v. 88, p. 229-261, 1929.

HARTT, C. E. Some effects of potassium upon the amounts of protein and amino forms of nitrogen, sugars, and enzyme activity of sugar cane. **Plant Physiology**, Glasgow, v. 9, p. 452–490. 1934.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MØLLER, I. S.; WHITE, P. Functions of macronutrients: potassium. In: MARSCHNER, H. (ed). **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3 ed. Amsterdam, 2012, p. 178-189.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. L. (1950) The water culture methods for growing plants without soil. **Circular**, California, v. 347, n. 2, 1950, 32 p.

HUBER, S. C. Role of potassium in photosynthesis and respiration. In: MUNSON, R. D. (ed). **Potassium in Agriculture**, Madison, 1985, p. 369-391.

JIA, Y.; YANG, X.; ISLAM, E.; FENG, Y. Effects of potassium deficiency on chloroplast ultrastructure and chlorophyll fluorescence in inefficient and efficient genotypes of Rice. **Journal of Plant Nutrition**, Georgia, v. 31, n. 12, p. 2105–2118, 2008.

JORDAN-MEILLE, L.; PELLERIN, S. Shoot and root growth of hydroponic maize (*Zea mays* L.) as influenced by K deficiency. **Plant Soil**, Crawley, v. 30, n. 1-2, p.157–168, 2008.

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

KHOSA, T. M. Effect of different levels and sources of potassium on growth, yield, and quality of sugarcane. **Better Crops International**, Norcross, v. 16, n. 1, p.14-15, 2002.

KRASAVINA, M. S.; BURMISTROVA, N. A.; FESHCHENKO, N. F.; NOSOV, A. V. Potassium in the apoplast of the root sink region. **Russian Journal Plant Physiology**, Moscou, v. 52, n. 5, p. 591–599, 2005.

LEIGH, R. A.; JONES, R. G. W. Hypothesis relating critical potassium concentrations for growth to the distribution and functions of this ion in the plant cell. **New Phytologist**, Lancaster, v. 97, n.1, p. 1-13, 1984.

MAATHUIS, F. J. Physiological functions of mineral macronutrients. **Current Opinion in Plant Biology**, Amsterdam, v. 12, n. 3, p. 250-258, 2009.

NG, K. E. E.; KWONG, K. F. The effects of potassium on growth, development, yield and quality of sugarcane. In: BENBI, D. K.; BRAR, M. S.; BANSAL, S. K. (ed) **Potassium for Sustainable Crop Production**, Horzen, 2002, p. 430–444.

PENG, H. H.; WENG, X. Y.; XU, H. X. Effects of potassium deficiency on photosynthesis and photo-protection mechanisms in rice plants. **Chinese Journal of Rice Science**, Hangzhou, v. 20, n. 6, p. 621-625, 2006.

PERVEZ, H.; ASHRAF, M.; MAKHDUM, M. I. Influence of potassium nutrition on gas exchange characteristics and water relations in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Photosynthetica**, Praga, v. 42, n. 2, p. 251-255, 2004.

REDY, N. R.; ZHAO, D. Interactive effects of elevated CO₂ and potassium deficiency on the photosynthesis, growth, and biomass partitioning of cotton. **Field Crop Research**, Bonn, v. 94, n. 2-3, p. 201-213, 2005.

RÖMHELD, V.; KIRKBY, E. A. Research on potassium in agriculture: Needs and prospects. **Plant Soil**, Crawley, v. 335, p. 155-180, 2010.

RUBIO, V.; BUSTOS, R.; IRIGOYEN, M. L.; CARDONA-LÓPEZ, X.; ROJAS-TRIANA, M.; PAZ-ARES, J. Plant hormones and nutrient signaling. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 69, n. 4, p. 361-373, 2009.

VALE, D. W.; PRADO, R. M.; AVALHÃES, C. C.; HOJO, R. H. Omissão de macronutrientes na nutrição e no crescimento da cana-de-açúcar cultivada em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Pernambuco, v. 6, n. 2, p. 189-196, 2011.

VERY, A. A.; SENTENA, H. Molecular mechanisms and regulation of K⁺ transport in higher plants. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 54, p. 575–603, 2003.

WENG, X. Y.; ZHENG, C. J.; XU, H. X.; SUN, J. Y. Characteristics of photosynthesis and functions of the water–water cycle in rice (*Oryza sativa*) leaves in response to potassium deficiency. **Physiologiae Plantarum**, Lund, v. 131, n. 4, p. 614–621, 2007.

WULLSCHLEGER, S. D.; OOSTERHUIS, D. M. Electron microscope study of cuticular abrasion on cotton leaves in relation to water potential measurements. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 38, n. 4, p. 60-67, 1987.

ZHAO, D.; OOSTERHUIS, D. M.; BEDNERZ, C. W. Influence of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants. **Photosynthetica**, Czech Republic, v. 39, n. 4, p. 103-109, 2001.

ZHI-YONG, Z. QING-LIAN, W.; ZHAO-HU, L.; LIU-SHENG, D. XIAO-LI, T. Effects of potassium deficiency on root growth of cotton. **Acta Agronomica Sinica**, Pequim, v. 35, n. 4, p.718–723, 2009.

CAPÍTULO 4 - Considerações Finais

A nutrição potássica é importante para o crescimento, produção e qualidade da cana-de-açúcar, no entanto, os estudos são restritos. O presente trabalho vem a contribuir com informações sobre o efeito da adubação potássica na segunda soqueira de cana-de-açúcar e o efeito do potássio na fisiologia da planta.

No primeiro experimento foi observado que devido ao déficit hídrico durante os primeiros meses de condução do trabalho a aplicação de potássio no solo não influenciou no crescimento, no estado nutricional, na produção e na qualidade da segunda soqueira de cana-de-açúcar. Desta forma, nesta condição a adubação potássica no sistema de colheita mecanizada não contribuiria para melhorar a qualidade da cana. No entanto, mais estudos devem ser desenvolvidos para compreensão do efeito da aplicação de potássio no solo e da liberação deste nutriente pela palhada que permanece no campo no sistema de colheita mecanizado, como também devem ser consideradas as demais características ambientais do local para verificar o comportamento em diferentes condições.

No segundo experimento as avaliações foram realizadas na décima semana de cultivo da cana-de-açúcar quando iniciou o sintoma de deficiência de potássio, esta demora no aparecimento do sintoma foi devido à reserva do nutriente no tolete. Os resultados indicam que houve distúrbios fisiológicos na planta que contribuíram para a redução do crescimento e produção de matéria seca. Porém, mais estudos devem ser desenvolvidos para se aprofundar no efeito da carência de potássio na fisiologia analisando-se o efeito nas enzimas relacionadas à fotossíntese e na produção de amido e açúcares solúveis totais.