

PEDRO HENRIQUE PINTO RIBEIRO

**ADUBAÇÃO POTÁSSICA EM SOQUEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA E
EM SEQUEIRO**

Botucatu

2018

PEDRO HENRIQUE PINTO RIBEIRO

**ADUBAÇÃO POTÁSSICA EM SOQUEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA E
EM SEQUEIRO**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

Orientador: Prof. Dr. Glauber José de Castro Gava

Botucatu

2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

P659a Ribeiro, Pedro Henrique Pinto, 1990-
Adubação potássica em soqueira de cana-de-açúcar irrigada e em sequeiro / Pedro Henrique Pinto Ribeiro. - Botucatu: [s.n.], 2018
83 p.: grafs. color., ils. color., tabs.
Tese (Doutorado)- Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2018
Orientador: Glauber José de Castro Gava
Inclui bibliografia
1. Cana-de-açúcar - Adubação. 2. Fertirrigação. 3. Irrigação por gotejamento. 4. Sequeiro. I. Gava, Glauber José de Castro Gava. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Titulo.

Elaborada por Ana Lucia G. Kempinas - CRB-8:7310

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

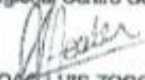
TÍTULO: ADUBAÇÃO POTÁSSICA EM SOQUEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA E EM SEQUEIRO

AUTOR: PEDRO HENRIQUE PINTO RIBEIRO

ORIENTADOR: GLAUBER JOSÉ DE CASTRO GAVA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. GLAUBER JOSÉ DE CASTRO GAVA
APTA - Regional Centro Oeste / SAA/SP


Prof. Dr. JOÃO LUIS ZOCOLER
Departamento de Fiossonidade, Engenharia Rural e Solos / UNESP - Faculdade de Engenharia de Ilhe Solteira


Prof. Dr. MARCONI TATISTA TEIXEIRA
Depto de Agronomia / Instituto Federal Goiano - Câmpus Rio Verde


Prof. Dr. LUIZ FABIANO PALARETTI
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. JOÃO CARLOS CURY SAAD
Depto de Engenharia Rural / UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu

Botucatu, 25 de maio de 2018.

A minha querida avó Corina Elias da Silva, aos meus queridos pais, Fabiano Pinto Ribeiro e Sandra Gomes da Trindade, aos meus irmãos, Fabiana Gomes Ribeiro e José Vitor Pinto Ribeiro e a todos da minha família pelo amor, carinho, dedicação e incentivo moral.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A **DEUS** todo poderoso, único e digno, por sempre estar ao meu lado e me guiar pelos caminhos mais difíceis e jamais me abandonar;

Ao meu Orientador Dr. **Glauber José de Castro Gava**, pela oportunidade de trabalharmos juntos e toda ajuda oferecida;

Ao Prof. Dr. **João Luis Zocoler**, por todo apoio e dedicação;

Ao Prof. Dr. **Marconi Batista Teixeira**, por nunca me abandonar e sempre me apoiar, hoje mais que nunca somos amigos;

Ao Prof. Dr. **Luis Roberto Almeida Gabriel Filho e sua esposa Dra. Camila**, pelas noites acordadas e ajuda incondicional para o trabalho e a amizade adquirida;

Aos membros que compõem a banca examinadora deste trabalho, muito obrigado a todos;

Aos meus pais **Fabiano Pinto Ribeiro e Sandra Gomes Ribeiro**, pela coragem e luta;

Aos meus irmãos, **José Vitor Pinto Ribeiro e Fabiana Gomes Ribeiro**, pela perseverança e nunca desistirem de seus sonhos;

Aos meus Avós **Pedro Vicente da Silveira e Corina Elias**, por ser meu porto seguro e sempre me apoiar;

Ao meu grande “amor” Vô **João Gomes da Trindade**, por me fazer ver as coisas de uma forma diferente e ver como trabalhar é digno e gratificante;

Aos meus Avós **José Ribeiro e Dirce Pires Ribeiro**, por me ajudar e apoiar;

A minha Bisavó **Dorcelina Elias da Silva**, por me dar a simplicidade e como é bom ter um colo, amar e me dar tanta alegria;

A minha Tia **Sirlei Gomes da Trindade e Celso Gomes da Trindade**, no que precisar; estarei pronto para ajudar;

A minha Tia **Amanda**, pelo carinho, amor, dedicação e cuidado;

Aos Professores: **Hans Raj Ghyei, Claudio Uyeda, Nildo Dias, Frederico Soares, Admilson Coneglian, Lucia Helena Chaves, Edmar José Scaloppi, Eusímio Fraga, Silvia Wilkler, Dinival Martins, Milton Sergio Dornelles, Lucas Carvalho Azevedo, André Castro, Ednaldo Rocha, Leandro Salomão, Ademilson**

Coneglian, João Saad, Rodrigo Manzione, Sergio Campos e Fernando Broetto pelos conselhos, ajuda e amizade adquirida, sem dúvidas pessoas que sempre vou levar comigo, muito obrigado a todos vocês;

A direção da **FCA/UNESP**, ao diretor João Saad e ao Paulo Diretor técnico acadêmico por tudo que me ajudaram e contribuíram;

A **Pós-Graduação em Agronomia**, por me ajudar e facilitar os tramites: Debora, Jaqueline, Adriana, Taynã, Sandra;

A **Coordenação da PG em Irrigação e Drenagem**, Prof. Dr. Rodrigo Máximo Sánchez Román;

A todos os funcionários da **FCA** a qual tive contato e amizade;

A **CAPES** pela concessão da Bolsa de estudos;

A **IRRIGA**, Rafaela Vizenzzotto, por todo apoio e auxilio, muito obrigado;

Aos funcionários do departamento de Engenharia Rural: **Gilberto, Fabiana, Israel**, pela ajuda no que precisei;

Aos funcionários do departamento de Proteção de Plantas: **Adriana e Nivaldo**;

Aos funcionários do departamento de informática: **Jaime Laperuta**;

Aos funcionários do departamento de transportes e patrulha: **Moises, Silvio, Alcion, Márcio**;

A Agencia paulista de tecnologia dos agronegócios **APTA/Jaú – SP**: Jean, Gabriela, Silmara, Geraldo, Valdir, João, Fabio, Marcos, Valmira, Ezequiel, Mario, e aos estagiários: Gisele, Wilian, Carlos, Franciane, Fernanda e Melissa;

Aos alunos da **PG – Irriga** e a todos os alunos da PG que pude conviver e estar junto seja na disciplina, como no laboratório.

A **Rain Bird Brasil** pela doação dos materiais de irrigação que foram utilizados durante a pesquisa, André Beltrão, Marcelo, Frederico Haun, José Giacoia, Jair, e Mario Eugenio;

Aos grandes amigos, **Adolfo, Elizabete Piancó, Henrique Oldoni, Patricia e Alef**, que sem dúvida contribuiu com a pesquisa e a tese para que ela fosse realizada;

A minha segunda família **Vera e Amauri Ferreira**, mãe e pai pelos quais terei muito carinho e os levarei comigo por onde for;

Agradeço as instituições de ensino pelo qual passei nesta caminhada, sendo professor substituto e professor convidado; Universidade Estadual de Goiás (**UEG –**

Ipameri/GO) e Universidade Federal de Uberlândia (**UFU**), **IF Goiano** – Câmpus Rio Verde/Pólo Quirinópolis, **UNIUBE** – Polo Quirinópolis, em nome do Prof. Dr. Adilson Pelá; Iracilda; Gisele; Prof. Dr. Beno e Dr. Magno agradeço a todos;

Agradeço a Universidade José do Rosário Vellano – **UNIFENAS**, pela contribuição final para a conclusão da tese;

Aos meus grandes amigos da pesca esportiva;

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (**CAPES**) - Código de Financiamento 001;

A todos que contribuíram de forma direta e indireta para que esse trabalho fosse realizado o meu muito obrigado e desculpas se esqueci de citar algum nome.

“Nenhum cientista pensa com fórmulas” – **(Albert Einstein)**.

RESUMO

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas exploradas no Brasil devido sua grande importância socioeconômica, utilizada para a obtenção de vários subprodutos e responsável por grande parte dos biocombustíveis utilizados no mundo. A água e a adubação são fatores limitantes para produtividade das culturas quando se busca obter o máximo potencial de rendimentos, entretanto a cana-de-açúcar tem sido cultivada em condições irrigada e de sequeiro. O suprimento hídrico, quando fornecido via sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, fornece água e fertilizante de forma controlada, permitindo a maior eficiência destes insumos. O potássio é um dos nutrientes mais frequentemente aplicados via fertirrigação e o mais exigido pela cana-de-açúcar, sendo responsável por aumentos consideráveis da produtividade da cultura. Assim, objetivou-se quantificar a resposta da cultura da cana-de-açúcar durante o terceiro ciclo de cultivo (soqueira) quanto à aplicação de doses de potássio, utilizando-se o sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial. O experimento foi desenvolvido em parcelas subdivididas utilizando-se o esquema fatorial 2 x 4 (duas disponibilidades hídricas x quatro níveis de adubação potássica). As plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum* Sp. variedade RB 92-579) foram cultivadas sob 3 níveis de potássio (70; 140; e 210 kg ha⁻¹ de K₂O) em condições de irrigação e sequeiro. As análises dos resultados indicam que a condutância estomática foi significativamente maior em ambiente irrigado em todas as doses de potássio, exceto para o tratamento sem adubação potássica aos 235 e 393 DAC. O índice SPAD não apresentou diferença significativa entre as condições irrigado e sequeiro em todos os níveis de adubação potássica em todas as épocas de avaliação. O índice de área foliar apresentou diferença significativa entre o ambiente irrigado e de sequeiro apenas quando se aplicou a dose de 140 kg ha⁻¹ de K₂O aos 340 DAC. A porcentagem de fibra, sacarose da cana-de-açúcar, toneladas de colmo de cana-de-açúcar por hectare e toneladas de pol por hectare não apresentaram variação significativa com o aumento das doses de potássio, mas entre os ambientes irrigado e sequeiro, tiveram diferença significativa, mostrando que o ambiente irrigado é superior que o sequeiro.

Palavras-chave: *Saccharum* Sp; Fertirrigação; Gotejamento subsuperficial.

ABSTRACT

Sugarcane is one of the main crops explored in Brazil because of its great socioeconomic importance, used to obtain several by-products and responsible for much of the biofuels used in the world. Water and fertilization are limiting factors for crop productivity when it seeks to achieve maximum yield potential, however sugarcane has been cultivated under irrigated and watery conditions. The water supply when supplied via subsurface drip irrigation system provides controlled fertilizer and, allowing the highest efficiency of these inputs. Potassium is one of the most frequently applied nutrients via fertirrigation and the most demanded by sugarcane, being responsible for considerable increases in crop productivity. Thus, it was intended to quantify the response of sugarcane culture during the third crop cycle (knuckles), as to the application of potassium doses, using the subsurface drip irrigation system. The experiment was developed in subdivided parcels using the factorial scheme 2 x 4 (two water availability x four levels of potassium fertilization). Sugarcane Plants (*Saccharum* Sp. Variety RB 92-579) were cultivated under 3 levels of potassium (70; 140; and 210 kg ha⁻¹ of K₂O) in irrigation and water conditions. Results analyses indicate that conductance stomatal was significantly higher in irrigated environment in all potassium doses, except for treatment without potassium fertilization at 235 and 393 DAC. The SPAD index did not show a significant difference between irrigated and lighter conditions at all levels of potassium fertilization at all times of evaluation. The Foliation area index showed a significant difference between the irrigated and the watering environment only when the dose of 140 kg ha⁻¹ of K₂O was applied to the 340 DAC. The percentage of fiber, sugar cane sucrose, tonnes of sugar cane thatch per hectare and tonnes of pol per hectare did not show significant variation with the increase in potassium doses, but between irrigated and lighter environments, they had significant difference.

Keywords: Fertigation; Subsurface drip; *Saccharum* Sp.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição das parcelas e tratamentos na área experimental.	41
Figura 2 - Aplicações da fertirrigação durante o experimento 2015/2016.	42
Figura 3 - Curvas de temperatura mínima, máxima e média durante a realização do experimento e utilizadas no manejo da cana-soca. Medido pela estação meteorológica da FATEC de Jaú/SP.	43
Figura 4 - Detalhamento do espaçamento entre fileiras duplas e entre os tubos gotejadores dentro da parcela experimental. Artes gráficas: Batista e Teixeira (2013).	44
Figura 5 - Balanço Hídrico durante a realização do experimento out15/nov16 para o sistema irrigado. Onde, Etc = Evapotranspiração da cultura; P = Precipitação; I = Irrigação; DEF = Deficiência hídrica.	45
Figura 6 - Balanço Hídrico durante a realização do experimento out15/nov16 para o sistema sem irrigação (sequeiro). Onde, Etc = Evapotranspiração da cultura; P = Precipitação; DEF = Deficiência hídrica.	45
Figura 7 - Índice SPAD medido aos 115, 235, 340 e 393 dias após a colheita em plantas de cana-de-açúcar cultivadas em ambiente irrigado e de sequeiro (sem irrigação). Diferentes letras representam diferença significativa entre valores médios ao nível de 10% de significância.	54
Figura 8 - Condutância estomática medida aos 115, 235, 340 e 393 dias após a colheita em plantas de cana-de-açúcar cultivadas em ambiente irrigado e de sequeiro (sem irrigação). Diferentes letras representam diferença significativa entre valores médios ao nível de 10% de significância.	56
Figura 9 - Condutância estomática (gs) medida aos 115 e 340 dias após a colheita da cana-de-açúcar (A e B, respectivamente) em função de diferentes doses de potássio. **, * e †: significativo ao nível de significância de 1, 5 e 10% respectivamente; ns: não significativo.	57
Figura 10 - Condutância estomática (gs) medida aos 393 dias após a colheita da cana-de-açúcar em função de diferentes doses de potássio em cada ambiente de cultivo [sequeiro (S) e irrigado (I)]. Diferentes letras em mesma dose de potássio representam diferença significativa entre valores médios ao nível de até 10% de significância. **, * e †: significativo ao nível de significância de 1, 5 e 10% respectivamente; ns: não significativo.	58
Figura 11 - Temperatura foliar medida aos 115, 235, 340 e 393 dias após a colheita em plantas de cana-de-açúcar cultivadas em ambiente irrigado e de sequeiro (sem irrigação). Diferentes letras representam diferença significativa entre valores médios ao nível de 10% de significância.	60
Figura 12 - Temperatura foliar medida aos 115 dias após a colheita da cana-de-açúcar em função de diferentes doses de potássio. **, * e †: significativo ao nível de significância de 1, 5 e 10% respectivamente; ns: não significativo.	61
Figura 13 - Índice de área foliar (IAF) medido aos 115, 235, 340 e 393 dias após a colheita em plantas de cana-de-açúcar cultivadas em ambiente irrigado e de sequeiro	

(sem irrigação). Diferentes letras representam diferença significativa entre valores médios ao nível de 10% de significância. 62

Figura 14 - Índice de área foliar (IAF) medida aos 115 dias após a colheita da cana-de-açúcar em função de diferentes doses de potássio. **, * e †: significativo ao nível de significância de 1, 5 e 10% respectivamente; ns: não significativo. 63

Figura 15 - Fibra, sólidos solúveis totais (SST), Pol e PCC, (A); pureza e ATR, (B), determinados de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em ambiente irrigado e de sequeiro. 65

Figura 16 - Fibra, PCC e ATR em função de diferentes doses de potássio em cada ambiente de cultivo [sequeiro (S) e irrigado (I)]. Diferentes letras em mesma dose de potássio representam diferença significativa entre valores médios ao nível de até 10% de significância. **, * e †: significativo ao nível de significância de 1, 5 e 10% respectivamente; ns: não significativo. 67

Figura 17 - Toneladas de cana-de-açúcar por hectare (TCH) e TPH, determinados de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em ambiente irrigado e de sequeiro. 69

Figura 18 - Toneladas de açúcar por hectare (TPH) em função de diferentes doses de potássio. **, * e †: significativo ao nível de significância de 1, 5 e 10% respectivamente; ns: não significativo. 70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultado da representação das análises físicas do solo da área experimental, nas camadas de 0 - 20, 20 - 40 e 40 - 60 cm, realizadas pelo Laboratório de Física do Solo da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Botucatu – SP.	39
Tabela 2 - Resultado da representação dos macronutrientes das análises químicas do solo da área experimental, nas camadas de 0 - 20, 20 - 40 e 40 - 60 cm, realizadas pelo Laboratório de Fertilidade do Solo da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Botucatu – SP.	40
Tabela 3 - Resultado da representação dos micronutrientes das análises químicas do solo da área experimental, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, realizadas pelo Laboratório de Fertilidade do Solo da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Botucatu – SP.	40
Tabela 4 - Resumo das análises de variância para o índice SPAD medido aos 115, 235, 340 e 393 dias após a colheita (DAC) em plantas de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes ambientes (irrigado e “sequeiro – sem irrigação”) em diferentes doses de potássio.	53
Tabela 5 - Resumo da análise de variância para a condutância estomática medida aos 115, 235, 340 e 393 dias após a colheita (DAC) em plantas de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes ambientes (irrigado e “sequeiro – sem irrigação”) em diferentes doses de potássio.	55
Tabela 6 - Valores médios da condutância estomática medida aos 115, 235, 340 e 393 dias após a colheita (DAC) em plantas de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes ambientes (irrigado e “sequeiro – sem irrigação”) em diferentes doses de potássio.	57
Tabela 7 - Resumo da análise de variância para a temperatura foliar medida aos 115, 235, 340 e 393 dias após a colheita (DAC) em plantas de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes ambientes (irrigado e “sequeiro – sem irrigação”) em diferentes doses de potássio.	59
Tabela 10 - Valores médios de Fibra, Brix, Pol, Pureza, PCC e ATR determinados de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes ambientes (irrigado e “sequeiro – sem irrigação”) e diferentes doses de potássio.	66
Tabela 11 - Resumo da análise de variância para os dados de TCH (Toneladas de cana-de-açúcar por hectare), TPH (Toneladas de açúcar por hectare), RBAÇ (Rendimento bruto de açúcar), RBAL (Rendimento bruto de álcool), EUA_{TCH} e EUA_{TPH} de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes ambientes (irrigado e “sequeiro – sem irrigação”) em diferentes doses de potássio.	68

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Açúcar total recuperável.....	48
Equação 2 - Açúcar recuperável.	49
Equação 3 - Pol da cana corrido (PCC)	49
Equação 4 - Coeficiente de transformação da pol do caldo.....	50
Equação 5 - Açúcares redutores cana	50
Equação 6 - Açúcares redutores na cana (AR% cana)	50
Equação 7 - Pureza do caldo	51
Equação 8 - Fibra	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	25
2	OBJETIVO	28
2.1	Objetivo geral.....	28
2.2	Objetivos específicos.....	28
3	REVISÃO DE LITERATURA	29
3.1	Cultura da cana-de-açúcar.....	29
3.2	Irrigação subsuperficial	29
3.3	Necessidades hídricas	31
3.4	Deficiência hídrica (DH)	32
3.5	Exigência nutricional	33
3.6	Potássio na cultura da cana-de-açúcar.....	35
3.7	Fertirrigação potássica.....	36
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	39
4.1	Descrição da área de estudo, delineamento experimental e irrigação	39
4.2	Determinações das variáveis avaliadas	46
4.2.1	Avaliações fisiológicas	46
4.2.1.1	Conteúdo de clorofila aparente via clorofilômetro	46
4.2.1.2	Condutância estomática e temperatura foliar	47
4.2.3.4	Índice de área foliar (IAF)	47
4.2.4	Produção de colmos.....	47
4.2.5	Qualidade industrial.....	48
4.2.5.1	Açúcar total recuperável (ATR).....	48
4.2.5.2	Pol% cana	49
4.2.5.3	Açúcares redutores cana	50
4.2.5.4	Pureza do caldo e Brix do caldo	51
4.2.5.5	Fibra	51
4.3	Análise dos resultados	52
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
5.1	Variáveis fisiológicas	53
5.1.1	Conteúdo de clorofila aparente (Índice SPAD)	53
5.1.2	Condutância estomática (gs).....	54
5.1.3	Temperatura foliar	59
5.1.4	Índice de área foliar (IAF)	61
5.2	Qualidade industrial.....	63
5.3	Produtividade (colmos e açúcar)	67
6	CONCLUSÕES	71
	REFERÊNCIAS.....	73

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é cultivada predominantemente em áreas subtropicais, entre as latitudes de 15° e 30°, mas podendo se estender até a latitude de 35°, tanto norte como sul, em altitudes que variam desde o nível do mar até cerca de mil metros. É produzida comercialmente em mais de 79 países, ocupando uma área de cerca de 26,4 milhões de hectares, com destaque para países como Brasil, Cuba, Índia, México, China, Filipinas, Austrália, África do Sul, Estados Unidos da América (principalmente Havaí) e República Dominicana. A área de produção da cultura e a produtividade diferem amplamente de país para país. Segundo a CONAB (2016) o Brasil tem a maior área cultivada (9,05 milhões de ha), ao passo que a Austrália tem a maior produtividade média (85,1 t ha⁻¹).

Para Oliveira (2011), diversos fatores influenciam no rendimento e na maturação da cultura da cana-de-açúcar como a interação edafoclimática, o manejo da irrigação e de fertilizantes, bem como a cultivar escolhida. Os principais fatores ambientais que influenciam na conversão de energia em açúcar na cana-de-açúcar são a intensidade e qualidade da energia solar; a concentração de CO₂; a temperatura; a disponibilidade de água e de nutrientes (MARAFON, 2012).

A cana-de-açúcar, cultura típica de regiões tropicais, possui elevada evapotranspiração, fator que corrobora com a necessidade continuada de água para seu pleno crescimento. No Brasil segundo Silva et al. (2014), a cana-de-açúcar possui alto valor agregado devido aos subprodutos e fonte energética que os mesmos fornecem, entretanto o que vêm afetando sua produtividade agroindustrial é o déficit hídrico causado pela irregularidade de chuvas em algumas regiões.

A limitação hídrica caracteriza-se como um dos estresses ambientais mais relevantes para a agricultura. A frequência e a intensidade da deficiência hídrica interferem na produção de diversas culturas, assim há uma maior iniciativa com o intuito de melhorar a produtividade de cultivos agrícolas sob condições de seca (CATTIVELLI et al., 2008). Exceto em locais que utilizam a prática de irrigação, a disponibilidade hídrica é proveniente das águas pluviais e subterrâneas, acondicionadas por retenção e drenagem. Mesmo com o avanço da tecnologia e a difusão das técnicas de irrigação, essa prática em sua forma plena em cana-de-açúcar ainda é pouco difundida, porém os benefícios à cultura são inúmeros (GAVA et al.,

2011). A irrigação ameniza déficit hídrico das culturas, no entanto, para obtenção de resultados satisfatórios, é necessário associá-la a outras práticas culturais como, por exemplo, o manejo da irrigação, a adubação e o manejo da fertirrigação (DALRI & CRUZ, 2008).

Dentre os métodos de irrigação utilizados para o cultivo da cana-de-açúcar, destaca-se o localizado, devido ao menor consumo de água e energia, que está ligado a eficiência de aplicação (menor perda por evaporação) e potência energética do conjunto eletrobomba (menor pressão de serviço). Desta forma, o sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial (IGS) adequa-se ao cultivo da cana-de-açúcar, pois permite o fornecimento de água de forma controlada e, ainda o uso parcelado dos fertilizantes, que resulta em maior eficiência na aplicação dos fertilizantes (DELLABIGLIA, 2016). Assim, pode-se afirmar que a aplicação localizada apresenta vantagens quanto à eficiência agrícola do fertilizante (CÓ JÚNIOR, 2008).

Com isso, estudos atuais procuram soluções para desperdício de água, mediante a utilização de métodos irrigação mais eficientes, como o gotejamento subsuperficial, e da reutilização da água tratada do esgoto em cultivos irrigados (SZUSTER, 2010).

Quintana (2010) diz que, a utilização do gotejamento subsuperficial na cultura da cana-de-açúcar é recente, mas já empregado em outros países como na África do Sul. Entretanto, pelo fato das condições de clima, solo, tratamentos culturais, mecanização e mão-de-obra utilizada no Brasil são necessárias adaptações, assim como conhecer a adaptabilidade e o comportamento da cultura em resposta ao seu uso.

O sistema de gotejamento subsuperficial ou também chamado como gotejamento subterrâneo apresenta uma grande vantagem que é a retirada das tubulações da superfície do solo, melhorando o tráfego e os tratamentos culturais, também aumentando a vida útil do material utilizado (MANTOVANI; SALASSIER; PALARETTI, 2009). Como a área molhada na superfície é quase inexistente, isso faz com que diminuam as perdas de água por evaporação direta do solo. Entretanto, esse sistema apresenta desvantagens como dificuldade de detecção de possíveis obstruções ou reduções nas vazões dos gotejadores (FRIZZONE, 2010).

Em relação à exigência nutricional, a cana-de-açúcar utiliza-se de 13% do total de fertilizantes aplicados anualmente no Brasil, equivalente a 2,9 milhões de toneladas (Mt), perdendo apenas para as culturas de soja (7,4 Mt) e milho (4,4 Mt) (LIMA, 2012). O Cloreto de Potássio é o principal fertilizante potássico utilizado no Brasil contendo

em média 60% de K_2O (Óxido de Potássio). Segundo Malavolta (1982) o Potássio (K), seguido do Nitrogênio (N), são os nutrientes mais absorvidos pela cana-de-açúcar, de modo que para cada 100 t ha^{-1} de colmos, são exportados cerca de 150 kg ha^{-1} de K_2O .

De acordo com Rosolem et al. (2006), dependendo de fatores como: volume de chuva, lâmina de irrigação sobreposta, dose de nutriente e textura do solo, o potássio na forma de K_2O pode ser fortemente percolado causando interferência direta no perfil do solo. Existem interações entre a deficiência hídrica e o K sobre a interceptação de luz e produtividade primária bruta. A deficiência hídrica, frequentemente está associada a uma perturbação na homeostase de íons de K^+ intracelular, porque a seca aumenta tanto as exigências de K como diminui a absorção de K (ODDO et al., 2014, SHABALA e POTTOSIN, 2014). A alguns trabalhos de pesquisas, sugerem que a adubação com K pode aliviar os efeitos adversos do estresse hídrico, desde que o efeito positivo sobre a regulação estomática não seja compensado posteriormente por um maior uso da água (TAULYA, 2013).

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Avaliar as análises fisiológicas, rendimento e a qualidade da cana-de-açúcar (RB 92579) sob diferentes doses de potássio, em condições irrigadas e de sequeiro.

2.2 Objetivos específicos

Caracterização fisiológica das plantas em função da aplicação do nutriente K_2O ; determinação da produção em função dos ambientes de produção; determinação da qualidade industrial dos colmos e interação do K_2O nos dois ambientes de produção.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Cultura da cana-de-açúcar

Atualmente, a cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma das culturas mais importantes no cenário socioeconômico brasileiro e no mundo, condição que é obtida pela adaptação da cultura as diversas regiões brasileiras e a evolução do melhoramento vegetal de plantas, fazendo com que as plantas se adaptem as condições edafoclimáticas mais variáveis. De acordo com Vieira Júnior et al. (2008), o cultivo desta cultura no Brasil concentra-se nas regiões Sudeste e Nordeste, porém nos últimos anos vêm ocorrendo expansão da cultura para outras regiões, principalmente a Centro-Oeste.

Para se atingir seu pleno desenvolvimento vegetativo se faz necessário conhecer as condições do clima, da planta e do solo. O Brasil é considerado o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, atingindo na safra 2016/2017 uma produção de 657,2 mil toneladas de colmos sendo o estado de São Paulo é o maior produtor nacional, sendo responsável por 53,8% da produção nacional na safra 2015/2016. Segundo ainda a CONAB (2016), essa imensa produção de cana-de-açúcar se deve a importância de seus subprodutos dentre os quais, se destacam o açúcar (alimento), o etanol que é empregado como combustível e a energia que é proveniente da queima do bagaço; outros produtos também muito importantes são a cachaça, a rapadura e o plástico e o papel.

Da destilação do Etanol e da cachaça é gerada a vinhaça, um efluente líquido oriundo a partir da destilação do vinho, um importante efluente líquido (LOPES et al., 2011).

3.2 Irrigação subsuperficial

A American Society of Agricultural Engineers (1997), define irrigação por gotejamento subsuperficial como sendo: “a aplicação de água abaixo da superfície do solo através de emissores com taxa de descarga semelhante à irrigação por gotejamento superficial”.

Frizzone (2010) ressalta que, o fato da aplicação de água abaixo da superfície do solo ser realizada por meio de tubos gotejadores com vazões muito baixa, gera uma garantia de manutenção da umidade da superfície do solo (de 0 à 60 cm de profundidade), propiciando menor evaporação; aumento da vida útil da tubulação; maior distribuição de umedecimento do solo para um mesmo volume de água aplicado, o que eleva a eficiência do uso da água; redução da incidência de plantas invasoras, diminuindo dessa maneira o uso de herbicidas; tornando-se além de atrativo, uma opção preferida de muitos irrigantes.

Considerando-se que no sistema IGS (irrigação por Gotejamento Subsuperficial), a aplicação de água é diretamente na zona radicular, ou seja, abaixo da superfície do solo, esse sistema é eficiente na redução das perdas por evaporação, bem como na redução do potencial de contágio humano quando se usa água residuária. Outra vantagem apresentada pela irrigação por gotejamento subsuperficial se refere à menor probabilidade de aparecimento de problemas fitossanitários (DALRI, 2004).

De acordo com Haguenauer (2016), a utilização de sistemas por gotejamento subsuperficial vem sendo aplicado bastante atualmente, principalmente por causa da economia de água, fertilizantes e energia oferecidos. Por ser um sistema automatizado oferece maior controle da quantidade de água aplicada, permitindo o aumento da produtividade, conservação do solo e melhoria da qualidade do produto final (TESTEZLAF, 2011). Entretanto existem algumas desvantagens desse sistema, como: i) por se tratar de um sistema fixo a instalação do mesmo pode apresentar elevados custos e a demanda por profissionais especializados tendem a impossibilitar o uso desta técnica; ii) Outro fator de desvantagem são os gotejadores, que podem apresentar problemas como entupimento, sendo necessário instalar um sistema de filtragem, (HAGUENAUER, 2016); iii) Para linhas laterais instaladas a baixa profundidade, pode haver dificuldade no cultivo do solo, resultando em dano mecânico aos tubos gotejadores, Sorensen et al. (2001).

Marques et al (2006) ressaltam que, o elevado custo com a instalação de IGS pode ser suprido pela diminuição dos gastos com produtos químicos, redução da manutenção do sistema IGS e diminuição dos danos mecânicos. De acordo com Dalri (2004), em relação ao dimensionamento dos sistemas, o fundamento principal da hidráulica do gotejamento superficial é diferente do gotejamento subsuperficial pelo fato de que, este sistema exige que seja instalada válvula antivácuo em maior quantidade nos setores da área irrigada, com o intuito de amenizar o succionamento

e a entrada de partículas solo no interior do labirinto dos emissores, diminuindo a vazão deles.

3.3 Necessidades hídricas

Brunini (2016) ressalta que a cana-de-açúcar é uma planta de ciclo perene e adaptada á climas subtropicais e tropicais. As variáveis para uma maior expressão de produtividade da planta são: temperatura (16 °C a 33 °C), alta incidência de radiação solar e disponibilidade de água no solo, ou seja, ela é considerada uma planta essencialmente tropical (CONAB, 2015). O que pode também afetar são os fatores ambientais, como: luz, temperatura, umidade e nutrientes (SCARPARI; BEAUCLAIR, 2004). Para o cultivo da cana-de-açúcar utiliza-se grandes quantidades de água para atender suas necessidades hídricas; cerca de 30% de sua massa total é representada pela matéria seca e, 70% pela água, variando de acordo com o estágio fenológico (SEGATO; MATTIUZ; MOZAMBANI, 2006).

Wiedenfeld & Enciso (2008) citam que, para a utilização eficiente da água pela cana-de-açúcar, é essencial identificar a necessidade hídrica responsável pelas máximas produções. Freitas et al (2009) relata o consumo anual de água pela cultura fica em torno de 1.500 a 2.500 mm, entretanto, ainda é difícil determinar uma relação direta entre a produção e consumo de água pela cana-de-açúcar, devido às variações de localização, clima, variedades e solo. A disponibilidade de água para a cana-de-açúcar pode ser considerada como o principal fator climático causador da variabilidade de produtividade, ciclo após ciclo da cultura (ARGENTON, 2006).

Santos (2005) definiu quatro estágios de desenvolvimento da cultura, indicando que os dois primeiros estágios (brotação e perfilhamento) são os mais críticos ao déficit hídrico. O terceiro estágio (desenvolvimento) responde à lâmina aplicada, mas o déficit hídrico não causa prejuízos significativos à produtividade quanto os dois primeiros. O quarto estágio (maturação) responde positivamente ao déficit hídrico. Entretanto, o estágio que apresentou um maior consumo diário de água foi o terceiro ao comparar aos dois primeiros, o motivo seria o maior índice de área foliar.

Muitos pesquisadores têm obtido resultados positivos com o uso da irrigação para o aumento da produtividade de colmos e de açúcar (DIAS et al., 1999; LEIVA &

BARRANTES, 1998; GUAZZELLI & PAES, 1997; BATCHELOR & SOOPRAMANIEN, 1995; ELLIS & LANKFORD, 1990; SCARDUA & ROSENFELD, 1987; VIEIRA et al., 1983; LEME et al., 1984; SOUSA, 1976a; SOUSA, 1976b).

Bittencourt et al. (1990) constataram a interação dos fatores de fertilidade do solo e clima na cana-de-açúcar e afirmaram que o clima e o manejo mais apropriado têm uma maior influência sobre a produtividade final da cana-de-açúcar do que a fertilidade do solo. Esses autores observaram que, enquanto a fertilidade do solo foi responsável por um decréscimo da ordem de 39% a 20% de acordo com o período estudado, o clima chega a proporcionar uma redução na produção na ordem de 72% a 64%.

Vieira et al. (1983), ao estudar o comportamento da cana-de-açúcar irrigada por IGS e sulcos de infiltração em Piracicaba, verificaram que, o sistema de gotejamento mostrou-se tecnicamente viável em cana-de-açúcar, por que permitiu produtividade elevada e as parcelas irrigadas por esse sistema atingiram maturação trinta dias antes daquelas irrigadas por sulcos, possibilitando um aumento de produtividade de 18% em relação ao tratamento não irrigado, isso em condições de alta pluviosidade e boa distribuição de chuvas.

Bui & Kinoshita (1985) em 1959, testaram a eficiência do gotejamento na cana-de-açúcar, e concluíram que espaçamento duplo era usado em 80% do total da área irrigada por gotejamento, fazendo uma economia de tubos gotejadores por área irrigada, pois os tubos ficavam dispostos no centro das linhas de menor espaçamento.

Magar (1995), em experimento com cana-de-açúcar irrigada na Índia, afirmou que a irrigação por gotejamento subsuperficial gerou uma economia ao comparar com os outros métodos, já em relação a produtividade da cana foi obtido um aumento médio de 30%.

3.4 Deficiência hídrica (DH)

A deficiência hídrica na fase inicial atinge a produtividade da cana-de-açúcar, reduzindo o tamanho das plantas, em geral, e algumas variáveis como a produção de perfilhos, número, altura e diâmetro de colmos industrializáveis, área foliar e finalmente o peso individual dos colmos (RAO et al., 2005). A redução da disponibilidade de água também pode promover alterações no número de folhas

verdes; no comprimento e na largura das folhas; na área foliar e massa foliar específica; e alterações no acúmulo de matéria seca da parte aérea e das raízes (PINCELLI, 2010).

A cana-de-açúcar precisa de uma grande quantidade de água durante o estágio vegetativo, com o intuito de apresentar um rendimento adequado. Castro (2000), informa que para a produção de 1 kg de massa seca. Pequena redução do potencial de água no solo afeta a divisão e o alongamento celular em cana-de-açúcar, tal fato reduz o acúmulo de matéria seca, conseqüentemente, a taxa de crescimento e o índice de área foliar (INMAN-BAMBER, 2004; INMAN-BAMBER & SMITH, 2005); o déficit hídrico conseqüentemente afeta vários aspectos do crescimento vegetal, os efeitos mais óbvios do estresse hídrico se referem a redução do tamanho das plantas, de sua área foliar e da produtividade da cultura (TAIZ & ZEIGER, 2013).

Entretanto, diversas pesquisas mostraram que, em cana-de-açúcar sob deficiência hídrica, a maior produtividade foi obtida nos cultivares que mantiveram os melhores resultados nos atributos biométricos (fisiológicos) (SILVA et al., 2008, OLIVEIRA et al., 2016). ROSENFELD (1989), concluiu em seu estudo sobre o período crítico de deficiência hídrica para cana-planta cultivada na região Centro-Sul, que o início do estágio de máximo desenvolvimento apresentou ser mais sensível a déficit hídrico. Para cana plantada de fevereiro a junho, o período que mostrou ser mais crítico foi 4º ao 8º mês de idade; já para a cana plantada em outubro, o período mais crítico é do 8º ao 11º mês (QUINTANA, 2010).

Algumas destas respostas fazem parte de estratégias que visam reduzir os efeitos deletérios promovidos pela deficiência hídrica, constituindo, portanto, em mecanismos de tolerância à seca. Também, tais características morfofisiológicas modificadas pela deficiência hídrica são consideradas de grande importância para se obter elevada produtividade vegetal (INMAN-BAMBER & SMITH, 2005; GHANNOUM, 2008; TAIZ & ZEIGER, 2009).

3.5 Exigência nutricional

A demanda de potássio para o máximo crescimento das plantas está entre 2 a 5% da matéria seca, variando em função da espécie e do tecido avaliado. Essa substância é o segundo nutriente mais exigido pelas plantas, perdendo somente para o Nitrogênio

(Malavolta et al, 1997). As plantas produtoras de amido, açúcar e fibras são particularmente exigentes em potássio (Malavolta, 1980).

O potássio tem o papel de ativador enzimático, ressaltando as sintetases, oxiredutases, desidrogenases, transferases, quinases e aldolases (PRADO, 2008). Ele atua direta e indiretamente na síntese de proteínas, visto que, plantas com baixos teores deste nutriente apresentam acúmulo de compostos de baixo peso molecular como aminoácidos, amidas, aminas e nitratos. O potássio também é responsável no controle osmótico das células, por que a sua deficiência em plantas promove a abertura e fechamento dos estômatos de forma irregular e a diminuição no turgor e expansão celular. Este macronutriente atua também na retenção de água, de modo que, os seus suprimentos adequados deixam as plantas mais resistentes a secas e geadas. (MENGEL; KIRKBY, 1978; MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA et al., 1997).

Almeida (2013) constatou que elevados teores de K nos tecidos de vegetais, estimulou a síntese e o acúmulo de compostos fenólicos, e que os mesmos tiveram a função de inibir o ataque de insetos e fungos. Com isso as plantas que apresentam um bom estado nutricional em potássio apresentam diminuição na incidência (PERRENOUD, 1990).

Vegetais com teores potássio adequado, possuem maior síntese de material para a formação da parede celular. Geralmente, as paredes celulares são mais espessas em virtude da maior deposição de celulose, componentes fibrilares e outras substâncias estruturais como: lignina; hemicelulose e proteínas, resultando em maior estabilidade e elevação da resistência das plantas ao acamamento e as infestações de pragas e doenças (PRETTY, 1982; BERINGER; NOTHDURFT, 1985).

O potássio tem papel fundamental no transporte da sacarose e dos fotossintetizados das folhas para os órgãos de armazenamento. Neste processo, os produtos fotoassimilados passam por três sistemas os quais, são: a difusão no simplasto e espaço livre; transporte ativo através da membrana citoplasmática para o floema e fluxo passivo pelos tubos crivosos (ALMEIDA, 2013). Marschener (1995) ressalta que, no ultimo sistema a função do K é manter o pH alto nos tubos crivosos, favorecendo o transporte da sacarose. Portanto, uma boa administração deste nutriente eleva a síntese de carboidratos em função da maior taxa fotossintética, melhorando assim, a eficiência de translocação desses compostos.

Menor assimilação de CO₂ nos cloroplastos das folhas ocorrido pela redução de turgescência das células guardas foi constatado por Vasconcelos (2016), quando plantas foram expostas em um ambiente com deficiência do nutriente potássio.

3.6 Potássio na cultura da cana-de-açúcar

A cultura da cana-de-açúcar consome aproximadamente 13% do total de fertilizantes utilizados anualmente no Brasil, com um total de 2,9 Mt, inferior somente ao consumido pelas culturas de soja (7,4 Mt) e milho (4,4 Mt) (LIMA, 2012). O principal fertilizante com K utilizado no Brasil é o KCl, que contém aproximadamente 60 % de K₂O (LIMA et al, 2012).

Nos solos da região tropical, os teores de K normalmente são baixos (normalmente inferiores a 1,5 mmol_c dm⁻³), sendo necessário a utilização de fertilizantes (BENITES et al., 2010). O K, seguido pelo nitrogênio, é o nutriente mais absorvido pela cana-de-açúcar. Para cada 100 t ha⁻¹ de colmos, são exportados cerca de 124,5 kg ha⁻¹ de K (MALAVOLTA, 1982), embora em solos com teores elevados de K a exportação pelos colmos possa atingir 285 kg ha⁻¹ de K₂O (FRANCO et al., 2008). O K do solo é formado pelo K da solução, K trocável, K não trocável (fixado) e o K estrutural, e o suprimento de K para as plantas advém da solução e dos sítios de troca dos coloides do solo, que estão em equilíbrio com o K não trocável e com o K estrutural dos minerais (SPARKS, 2000).

A maneira com que o potássio se liga aos componentes sólidos do solo, assim como a energia dessas ligações, dá origem a várias formas de potássio no solo, como o potássio não trocável e potássio precipitado. O K não trocável do solo e o K dos restos vegetais podem contribuir consideravelmente para a nutrição das plantas cultivadas (ROSOLEM et al., 2006). O teor trocável é a principal fonte de reposição do K para a solução (RAIJ, 2001), o qual, por sua vez, pode ser absorvido pelas plantas, adsorvido às cargas negativas do solo ou perdido por lixiviação. Portanto, é recomendado fazer a aplicação desse nutriente conforme as plantas se desenvolvem, com o intuito de reduzir as perdas no sistema solo-planta e aumentar a eficiência de utilização desse nutriente (OTTO et al., 2010). Entretanto, no setor sucroalcooleiro a aplicação do K normalmente é feita de uma única vez, na ocasião do plantio, com dose que varia de 80 a 140 kg ha⁻¹ de K₂O (LANA et al., 2004).

Com ampla utilização de nutrientes pela cultura da cana-de-açúcar, por causa da grande produção de biomassa por área e da retirada da grande parte dessa massa vegetal no processo de colheita, tem acarretado a uma revisão periódica das adubações, que vem aumentando à medida que acaba a fertilidade natural dos solos ou que se impõe a necessidade ou a conveniência do aproveitamento de áreas de baixa fertilidade natural (ALVAREZ et al., 1991).

Uma das fontes potássicas que podem ser aplicadas na adubação desta cultura é o resíduo da indústria sucroalcooleira, como a vinhaça, e fertilizantes potássicos, como o cloreto de potássio, amplamente utilizado na cultura da cana-de-açúcar. Mas, a utilização da vinhaça vem sendo restrita as propriedades próximas às usinas por causa do alto custo de transporte para as regiões afastadas, portanto, não viável economicamente, conseqüentemente para as regiões distantes o uso de KCl como fertilizante potássico se torna mais viável (KORNDÖRFER et al., 1999).

Schultz et al. (2010) ressaltam que, se não repor o potássio no solo faz com que haja uma redução da duração e produtividade do canavial, além disso, o potássio é fundamental na recuperação da produtividade de soqueiras da cana-de-açúcar. Weber et al. (2001) certificaram que a aplicação de 100 kg ha^{-1} de K_2O na terceira soqueira promoveu a obtenção de 87 Mg ha^{-1} de colmos, na quarta soqueira, com a aplicação de 150 kg ha^{-1} de K_2O obteve um maior rendimento, com a produção de 95 Mg ha^{-1} , já nos tratamentos que não receberam adubação potássica o rendimento de colmos ficou na faixa de 53 a 76 Mg ha^{-1} , ficando bem inferior as produções obtidas com o fornecimento de adubo potássico.

3.7 Fertirrigação potássica

Com o uso da fertirrigação, a adubação pode ser fracionada em pequenas parcelas e aplicada ao longo do ciclo da cultura. O fracionamento de doses elevadas de K é conveniente porque, além da possibilidade de reduzir, em certos solos, as perdas por lixiviação, contribui para evitar excessiva concentração de sais nas proximidades dos toletes (ALVAREZ & FREIRE, 1962). Esses autores comentam que o êxito do parcelamento da adubação potássica é atribuído ao fato de que boa parte do sistema radicular da cana localiza-se nas camadas superficiais do solo.

Para Villas Bôas et al. (2001), a utilização da tecnologia da fertirrigação está diretamente associado às culturas de alto valor comercial e às regiões de bom nível de desenvolvimento em agricultura irrigada, mas, a prática da aplicação de fertilizantes via água de irrigação não é uma tecnologia onerosa, pelo fato que os injetores de fertilizantes têm preços bem inferiores aos implementos agrícolas de aplicação de adubo. Além disso, o uso eficiente do método promove a redução dos custos operacionais como mão de obra e energia para aplicação., além de minimizar as perdas dos fertilizantes, pois preconiza o controle e a precisão da aplicação, beneficiando de forma contundente aumentos de produtividade e qualidade do produto agrícola (UCKER et al., 2013).

De acordo com a literatura, a fertirrigação consiste na aplicação de fertilizantes em estado líquido, juntamente com a água de irrigação. Biscaro et al. (2011) ressaltam que, a utilização da fertirrigação é um método econômico e eficiente para aplicação de fertilizantes diretamente na região de maior concentração de raízes das plantas, permitindo o fracionamento das doses e o aumento na eficiência da adubação. Fazendo a comparação entre fertirrigação por gotejamento com a aplicação de fertilizantes pelo método convencional, Biscaro et al. (2011) afirmam que, o método por gotejamento promove um aumento na eficácia de aproveitamento de nutrientes no primeiro método, despendendo-se 20 a 50% menos fertilizantes que com o método convencional, devido a melhor distribuição do fertilizante no campo, redução dos custos, redução da compactação do solo, maior flexibilidade de aplicação, possibilidade de aplicação em épocas críticas e redução de danos mecânicos à cultura.

Para uma boa aplicação do fertilizante, Pizarro (1996) recomenda que os fertilizantes sejam solúveis em água e que não reajam entre si, formando precipitado, o que levaria a obstruções dos emissores. De acordo com Costa et al. (1986), a limitação que este método apresenta está relacionada à corrosão dos equipamentos de irrigação, causada pelos fertilizantes químicos, cuja magnitude depende do fertilizante e do equipamento utilizado.

Existem diversos métodos de irrigação para aplicar fertilizantes, mas, os melhores são os pressurizados, por que permitem ter maior controle das aplicações os tornando-os mais eficaz em relação aos outros métodos (MEDINA SAN JUAN, 2000). Além destes benefícios citados pelos autores, a possibilidade da aplicação de

adubo via água de irrigação é outra vantagem, trazendo benefícios indiretos ao planejamento da cultura da cana-de-açúcar.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição da área de estudo, delineamento experimental e irrigação

O experimento de campo foi desenvolvido na Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento Hélio de Moraes, pertencente à Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), Jaú, SP, localizada nas coordenadas WG 84, Latitude: 22° 15' S e Longitude: 48° 34' E, com altitude média de 580 m sobre nível do mar.

O experimento teve duração de 393 dias após o corte / DAC – segundo ciclo da cana soca, no intervalo de período de 07/outubro/2015 a 03/novembro/2016. O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho (SILVA et al., 2014) com textura média na camada superior e argilosa nas camadas de 20 a 60 cm e densidade média de 2,75 g cm⁻³ como apresentado na (Tabela 1) e com caracterização da fertilidade do solo, apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 1 - Resultado da representação das análises físicas do solo da área experimental, nas camadas de 0 - 20, 20 - 40 e 40 - 60 cm, realizadas pelo Laboratório de Física do Solo da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Botucatu – SP

Camadas - cm	Areia	Silte	Argila	Textura	CE
	g kg ⁻¹				µs cm ⁻¹
0 - 20	638	90	272	Média	102
20 - 40	552	80	368	Argilosa	97
40 - 60	531	79	390	Argilosa	99

**Análise realizada segundo metodologia da EMBRAPA, (1997).

Tabela 2 - Resultado da representação dos macronutrientes das análises químicas do solo da área experimental, nas camadas de 0 - 20, 20 - 40 e 40 - 60 cm, realizadas pelo Laboratório de Fertilidade do Solo da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Botucatu – SP

Camadas - cm	pH	M.O.	P _{resin} a	S	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CT C	V%
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³				mmol _c dm ⁻³					
0 – 20	5,5*	15	28	10	0	24	0,7	21	13	35	60	59
20 – 40	4,2	11	23	50	5	56	0,2	11	5	17	73	23
40 – 60	4,1	10	14	49	6	63	0,2	15	5	20	83	24

*Análise realizada segundo metodologia de RAIJ (2001).

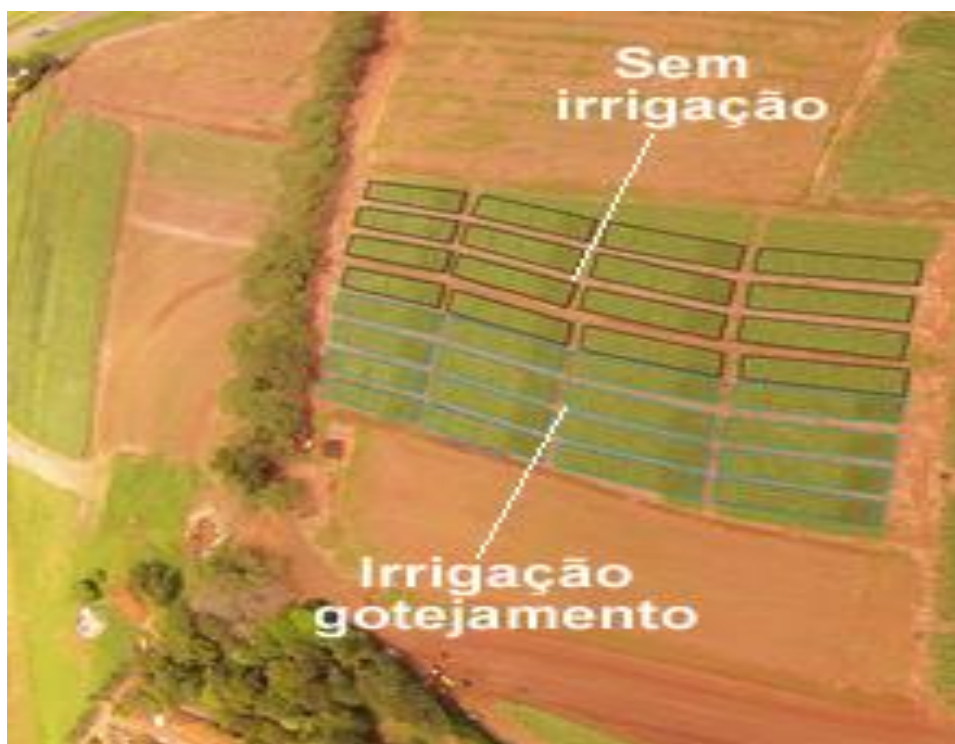
Tabela 3 - Resultado da representação dos micronutrientes das análises químicas do solo da área experimental, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, realizadas pelo Laboratório de Fertilidade do Solo da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Botucatu – SP

Camadas - cm	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg dm ⁻³				
0 - 20	0,18	2,9	17	14,0	1,3
20 - 40	0,30	3,1	15	13,1	0,7
40 - 60	0,27	2,6	11	11,5	0,6

*Análise realizada segundo metodologia de RAIJ (2001).

O delineamento experimental empregado foi o de parcelas subdivididas, sendo empregado dois manejos hídricos, um irrigado (SIR) e outro não irrigado (SNI), e quatro níveis de disponibilidade do K₂O via fertilizante (0, 70, 140, 210 kg ha⁻¹), com quatro repetições (Figura 1). As parcelas foram formadas de dez linhas de 8 m de comprimento, sendo utilizados para avaliação apenas os 6 linhas centrais, onde as laterais serviram como bordadura, com plantio em linha dupla (ou em "W" com 0,40 m entre linhas), espaçamento de 1,80 m entre as linhas duplas e sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial. A parcela experimental totalizou 281,6 m² (9 m largura x 32 m comprimento) e foi composta de 5 linhas duplas, conforme a Figura 1.

Figura 1 - Distribuição das parcelas e tratamentos na área experimental



A variedade de cana-de-açúcar empregada no experimento foi a RB92579. Essa variedade apresenta hábito de crescimento ereto, e gema tipo triangular; ótima brotação na cana-planta e na cana soca manual. Elevado perfilhamento, ótimo fechamento de entrelinhas, floresce pouco, crescimento lento, alta produtividade e ciclo de médio a tardio (RIDESA – Rede interuniversitária para o desenvolvimento do setor sucroenergético, 2010).

Todos os tratamentos receberam uma dose de 210 kg de N. A fonte de N-fertilizante utilizada foi à ureia. A adubação potássica foi realizada via aplicação de cloreto de potássio branco. Nos tratamentos irrigados a aplicação de N e K_2O foram realizadas ao longo do crescimento da cultura via fertirrigação, como apresentado na Figura 3.

Durante o ciclo da cultura a temperatura média anual mínima ficou em 17,53 °C e a máxima em 29,03 °C, tornando o ambiente favorável e propício a cultura conforme apresentado na Figura 2.

Para os tratamentos sequeiro, a ureia e o cloreto de potássio foram aplicados em uma única vez, e para os tratamento irrigados a aplicação foi feita fracionadamente conforme Figura 3 após o corte da soqueira (DAC) para sistemas de plantio SIR (SIR – Sistema irrigado) e SIN (SIN – Sistema não irrigado) respectivamente. As duas aplicações de N e K₂O foram realizadas abrindo-se pequenos sulcos laterais à linha de plantio com enxada, após este procedimento os sulcos laterais foram rapidamente fechados evitando-se assim possíveis perdas de N por volatilização.

Figura 2 - Aplicações da fertirrigação durante o experimento 2015/2016

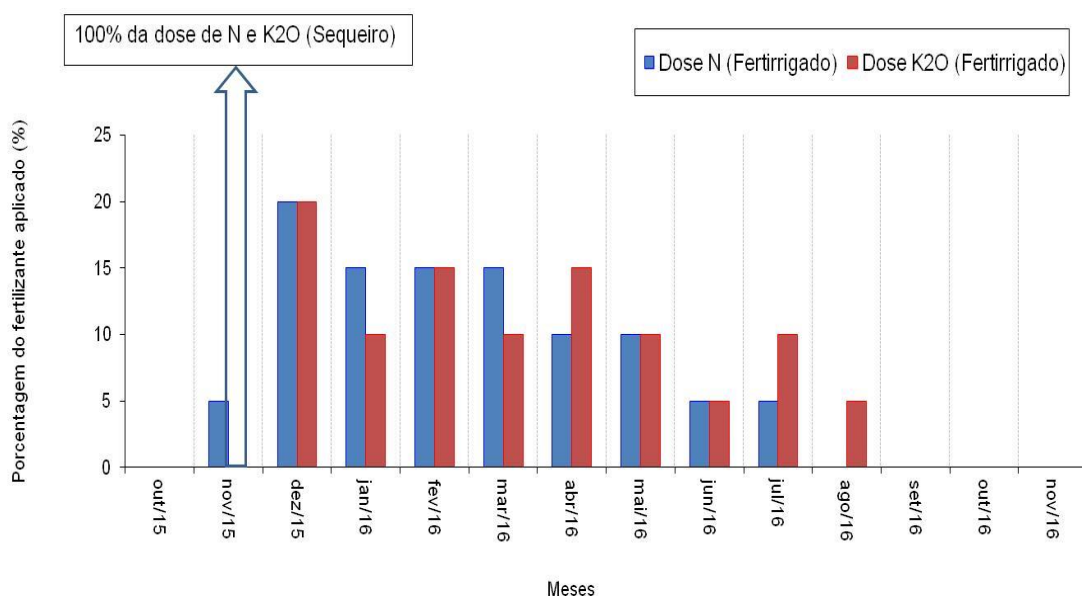


Figura 3 - Curvas de temperatura mínima, máxima e média durante a realização do experimento e utilizadas no manejo da cana-soca. Medido pela estação meteorológica da FATEC de Jaú/SP

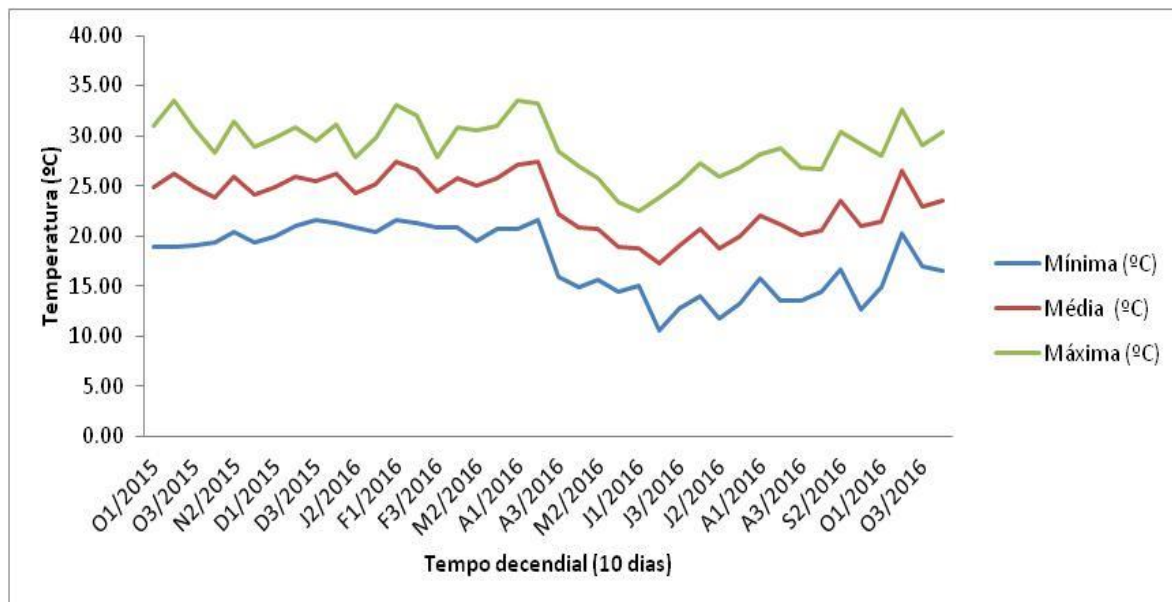
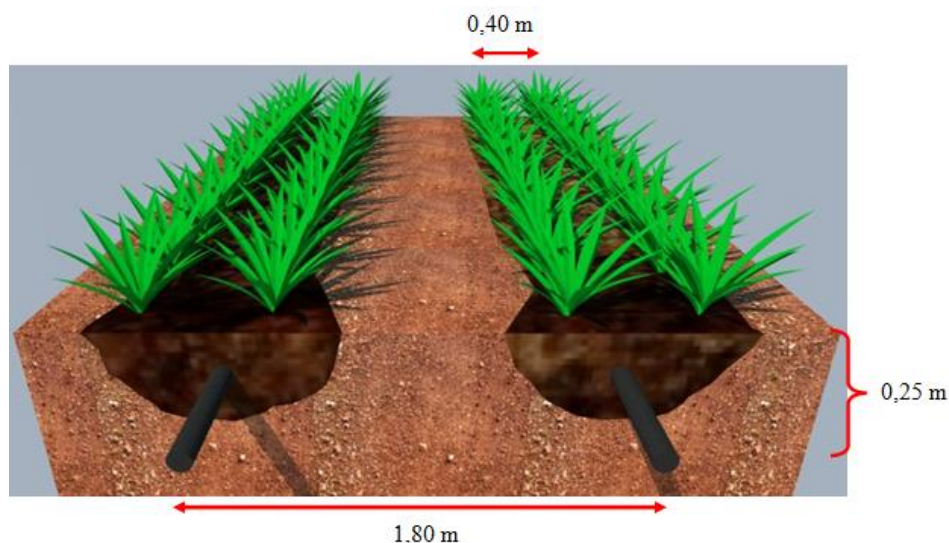


Figura 4 - Detalhamento do espaçamento entre fileiras duplas e entre os tubos gotejadores dentro da parcela experimental. Artes gráficas: Batista e Teixeira (2013)



O controle da irrigação foi realizado pelo cálculo da evapotranspiração segundo Penman-Monteith (FAO), descrito por SMITH (1991) e multiplicando pelo K_c da cultura objetivando uma lâmina de água em mm, próxima de 100% da evapotranspiração da cultura por ciclo de crescimento conforme trabalhos realizados por Gava et al. (2011) e Dellabiglia (2016), onde obtiveram os dados climatológicos através da estação meteorológica completa da FATEC/JAU localizada a 10 km de onde o experimento foi realizado.

Os valores dos coeficientes de cultura (K_c), nos diversos estádios de desenvolvimento das culturas são importantes, pois permitem converter os valores de E_{To} em E_{Tc} , valor este fundamental para a realização do balanço hídrico conforme apresentados nas Figuras 5 para o ambiente irrigado e a Figura 6 para o sequeiro (não irrigado) e, conseqüentemente, para o manejo da irrigação. A lâmina de irrigação deve variar com os períodos de crescimento da cana (DOORENBOS & KASSAM, 1994). Os valores de coeficiente de cultivo (K_c), que relacionam a E_{Tc} com a E_{To} para os respectivos períodos de crescimento da cana-de-açúcar, foram adaptados do Boletim 33 da FAO.

Figura 5 - Balanço Hídrico durante a realização do experimento out15/nov16 para o sistema irrigado. Onde, Etc = Evapotranspiração da cultura; P = Precipitação; I = Irrigação; DEF = Deficiência hídrica

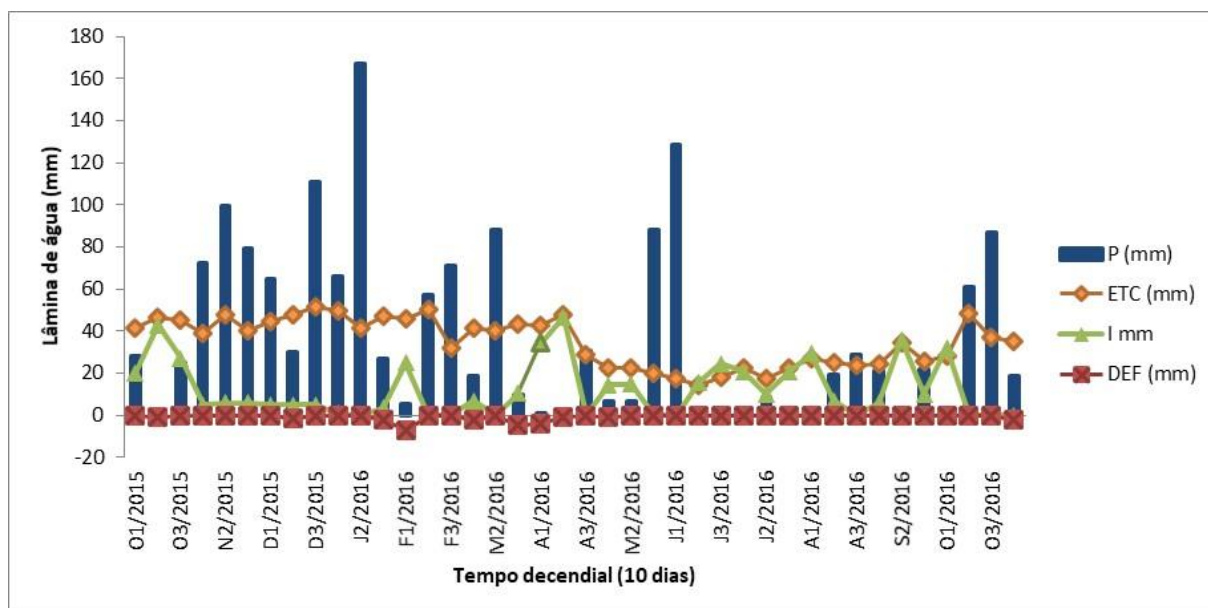
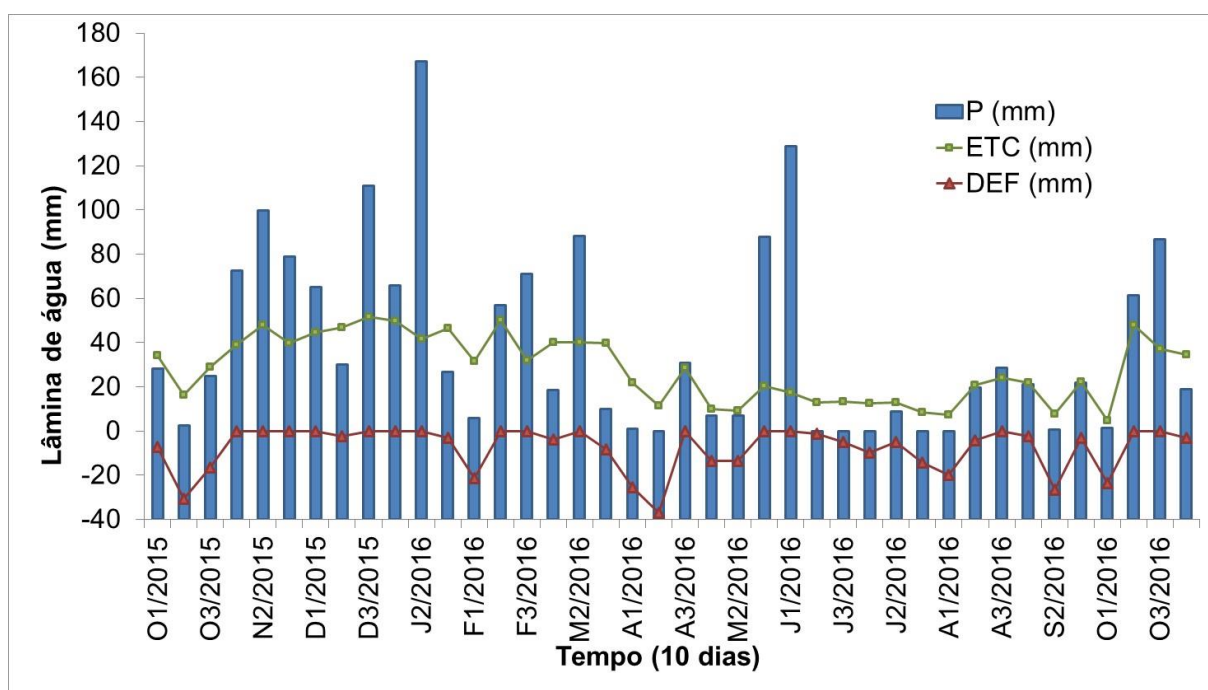


Figura 6 - Balanço Hídrico durante a realização do experimento out15/nov16 para o sistema sem irrigação (sequeiro). Onde, Etc = Evapotranspiração da cultura; P = Precipitação; DEF = Deficiência hídrica



A precipitação total ocorrida durante o ciclo de desenvolvimento da cultura (outubro/2015 a novembro/2016) foi de 1555,0 mm, e a lâmina de água aplicada ao longo do ciclo, por meio da irrigação foi de 491,5 mm, repondo 100% da evapotranspiração da cultura (ETC), segundo o método de Penman-Monteith (HOWELL; EVETT, 2004). A frequência de irrigação foi realizada contabilizando-se o suprimento de água no solo, pela precipitação (P), e a demanda atmosférica pela evapotranspiração da cana-de-açúcar (ETC) que para o ambiente irrigado teve ETC igual a 1401,8 mm e para o ambiente não irrigado teve ETC igual a 1127,9 mm; considerando uma capacidade de água disponível do solo (CAD) de 70 mm. Desse modo foi estimado o balanço hídrico a cada decêndio e calculada a deficiência hídrica (DEF), tanto para o tratamento irrigado com 26,5 mm (Figura 6), quanto para o tratamento não irrigado com 300,4 mm (Figura 5), através da diferença entre a evapotranspiração potencial (ETP) e a evapotranspiração real (ETR). A deficiência hídrica calculada para o período foi de 326,9 mm.

4.2 Determinações das variáveis avaliadas

As avaliações fisiológicas e morfológicas foram realizadas na cana-soca safra 2015/2016 e em diferentes fases fenológicas, dos 115 aos 393 dias após o corte, constituindo-se de quatro avaliações (A₁, A₂, A₃ e A₄) no ciclo. Na colheita final (A₄) foram realizadas as avaliações qualitativas e quantitativas, aos 393 dias após o corte.

4.2.1 Avaliações fisiológicas

4.2.1.1 Conteúdo de clorofila aparente via clorofilômetro

A estimativa do conteúdo de clorofila foi determinada usando um clorofilômetro (modelo SPAD– 502, Konica Minolta, New Jersey, EUA). A leitura da parcela foi obtida por meio da média de 15 leituras realizadas na folha +3 (terceira folha apical completamente expandida), assumindo diferentes perfilhos em cada época de avaliação, aos 115, 235, 347 e 393 DAP.

4.2.1.2 Condutância estomática e temperatura foliar

A condutância estomática (gs) foi obtida através de aparelho porômetro (Leaf Porometer - Decagon Devices). As leituras foram tomadas na região mediana da folha +1 e realizadas pela manhã antes das 10:00h, assumindo diferentes perfilhos em cada época de avaliação, aos 115, 235, 340 e 393 DAC. Os valores de temperatura foliar foram obtidos através de aparelho porômetro (Leaf Porometer - Decagon Devices). Os valores de temperatura foram obtidos simultaneamente às leituras de condutância estomática, utilizando-se a mesma região mediana da folha +1 e realizadas pela manhã antes das 10:00h, assumindo diferentes perfilhos em cada época de avaliação, aos 115, 235, 340 e 393 DAC.

4.2.3.4 Índice de área foliar (IAF)

O parâmetro IAF foi determinado com o uso de um Ceptômetro. As leituras em cada parcela foram tomadas às 14:00h abaixo do dossel foliar nas épocas de avaliação após a implantação dos tratamentos. O IAF foi determinado por meio da diferença entre leituras de PAR acima e abaixo do dossel foliar.

4.2.4 Produção de colmos

De cada parcela foram obtidas as massas totais de colmos por meio de balança tipo célula de carga graduada em 500g. Em seguida foi obtida a produtividade de colmos, em tonelada de cana por hectare (TCH), por meio da relação com a área da parcela. A produção de colmos industrializáveis foi determinada no final do ciclo. Os colmos industrializáveis de cada parcela foram pesados. subamostras de 15 colmos foram retiradas, passadas em picadeira de forragem, subamostradas e analisadas quanto aos teores de sacarose, aos açúcares redutores, a fibra e a pureza do caldo, seguindo método descrito por Caldas (1998) e Consecana (2003).

4.2.5 Qualidade industrial

Durante a colheita final da cana-de-açúcar, foram amostrados 15 colmos por parcela, para efetuar a quantificação dos perfis industriais de cada ambiente. As amostras foram encaminhadas para o laboratório de tecnologia da Associação dos Produtores de Cana-de-açúcar de Jaú (ASSOCICANA) – Jaú - SP, para as análises e obtenção dos valores de Brix° %, PCC %, Pureza %, Pol %, Fibra % e Açúcar Total Recuperável (ATR) conforme Consecana (2003).

4.2.5.1 Açúcar total recuperável (ATR)

O açúcar total recuperável (ATR) constitui um dos parâmetros do sistema de pagamento de cana implantado no estado de São Paulo a partir da safra de 1998/1999, e reflete o resultado da diferença entre o ART (açúcares redutores totais) da cana-de-açúcar e as perdas na lavagem de dela, no bagaço final, na torta do filtro ou prensa e as “indeterminadas”, considerando a eficiência média padrão, ou seja, representa a quantidade de açúcares (na forma de açúcares invertidos ou ART) que são recuperados na usina, assumindo perdas de 12% nos processos citados (FERNANDES, 2003).

O cálculo do ATR, dado em quilograma de açúcar por tonelada de cana-de-açúcar, foi realizado através da equação 1 (E1), regulamentada pelo CONSECANA em 1999:

$$\text{ATR} = 10 * 0,88 * 1,0526 * \text{PCC} + 10 * 0,88 * \text{ARC} \quad (\text{E1})$$

Em que:

O fator 10, refere-se à transformação de kg Pol/100 kg cana (%) em kg Pol t⁻¹ cana;

O fator 0,88, refere-se à eficiência industrial de lavagem, extração e tratamento caldo, ou seja, coeficiente de recuperação, para uma perda industrial de 12%;

O fator 1,0526, refere-se ao fator que transforma a Pol em AR, ou seja, coeficiente estequiométrico para a conversão de pol em açúcares redutores, conforme equação 2 (E2);

ARC

$$AR = (9,9408 - 0,1049 * Pureza) * (1 - 0,01 * Fibra) * (1,0313 - 0,00575 * Fibra) \quad (E2)$$

Em que:

Primeiros parênteses: Regressão que correlaciona Pureza da cana com teor de AR;

Segundo parênteses: Regressão que transforma a AR do caldo para AR da cana;

Terceiros parênteses: Regressão que corrige a extração da prensa para extração real.

4.2.5.2 Pol% cana

A Pol% cana (PCC) representa a porcentagem aparente de sacarose contida numa solução de açúcares. Para o caldo de cana madura o teor de glicose e frutose é geralmente baixo, menor do que 0,5%, comparado ao teor de sacarose, que pode estar acima de 16%, na média da safra, fazendo com que seu valor se aproxime bastante do teor real de sacarose, sendo normalmente aceito como tal. A sacarose, um dissacarídeo, é o principal parâmetro de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar; refere-se ao açúcar diretamente cristalizável no processo de fabricação (FERNANDES, 2003). Obtida através da equação 3 (E3):

$$PCC \text{ (Pol\% cana)} = \text{Pol\% caldo} * (1 - 0,01 * Fibra) * C \quad (E3)$$

Em que:

C = coeficiente de transformação da pol do caldo extraído em pol do caldo absoluto, calculado pela equação 4 (E4):

$$C = 1,0313 - 0,00575 * F \text{ (fibra)} \quad (E4)$$

4.2.5.3 Açúcares redutores cana

Os açúcares redutores (AR) referem-se ao termo utilizado para designar os açúcares monossacarídeos, glicose e frutose, principalmente. Os açúcares redutores são produtos precursores de cor no processo industrial, isto é, participam de reações que aumentam a cor do açúcar, depreciando a qualidade do produto. Durante a maturação da cana-de-açúcar, à medida que o teor de sacarose se eleva os açúcares redutores decrescem de aproximadamente 2,0% para valores abaixo de 0,5%, entre março/abril e setembro/outubro no hemisfério Sul, podendo chegar a 0,2%. Esse comportamento torna importante a análise do teor de açúcares redutores para acompanhamento e julgamento da maturação, principalmente nos primeiros meses de safra (FERNANDES, 2003). Os açúcares redutores (AR) por cento cana foram determinados pela equação 5 (E5):

$$ARC \text{ (AR\% cana)} = AR * (1 - 0,01 * F) * C \quad (E5)$$

Em que,

- C foi descrito anteriormente;
- F refere-se à fibra cana;
- AR representa os açúcares redutores do caldo. O AR pode ser calculado pela equação 6 (E6):

$$AR\% \text{ caldo} = 3,641 - 0,0343 * P \quad (E6)$$

Em que, P representa a pureza aparente do caldo, expressa em porcentagem.

4.2.5.4 Pureza do caldo e Brix do caldo

A pureza reflete a porcentagem de sacarose contida nos sólidos solúveis, sendo denominada “pureza real”, entretanto quando esta determinação é realizada numa solução açucarada impura, diz-se “pureza aparente”. A pureza expressa quantos por cento dos sólidos solúveis (°Brix) são representados pela sacarose (pol) (FERNANDES, 2003). Determinada através da equação 7 (E7):

$$P \text{ (Pureza)} = (\text{Pol\% caldo} / \text{Brix\% caldo}) \times 100 \quad (\text{E7})$$

O Brix% caldo refere-se aos sólidos solúveis por cento do caldo e foi determinado em refratômetro digital de leitura automática.

4.2.5.5 Fibra

A fibra é a matéria insolúvel em água contida na cana. No colmo de cana, as fibras do parênquima são de estrutura mais frágil e fina, e formam as células isodiamétricas de estocagem do caldo de alto teor de sacarose (FERNANDES, 2003). No sistema de pagamento de cana pelo teor de sacarose (PCTS) a fibra é estimada em função do peso de bagaço úmido da prensa, conforme a equação 8 (E8). É determinada pelo método da prensa hidráulica, conforme determinado no Ato 13/83, de 21/04/1983 – IAA, citado por Mutton (1984) e atualizações semestrais do CONSECANA.

$$F = 0,08 * \text{PBU} + 0,876 \quad (\text{E8})$$

Em que:

F é a fibra% cana;

PBU refere-se ao peso do bagaço úmido da prensa, em gramas.

4.3 Análise dos resultados

Os resultados das variáveis de resposta foram analisados estatisticamente utilizando-se a análise de variância (ANOVA) através do teste F, ao nível de 5% de probabilidade, e as médias dos tratamentos qualitativos (irrigado ou sequeiro) foram comparadas através do teste Tukey ($p < 0,05$). E a análise de regressão polinomial linear e quadrática nos dados referentes às doses de potássio (tratamentos quantitativos) foram realizados quando se houveram efeitos significativos dos tratamentos isolados ou em sua interação, com o uso o Software SISVAR 5.3.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Variáveis fisiológicas

5.1.1 Conteúdo de clorofila aparente (Índice SPAD)

Para a variável SPAD (Tabela 4) houve efeito significativo aos 235 DAC para o ambiente e aos 340 DAC para os blocos, mas em nenhuma avaliação para as interações entre os fatores estudados tiveram significância (ambiente x doses), sendo que a superioridade do tratamento irrigado frente ao sequeiro, neste caso, foi de 9%.

Tabela 4 - Resumo das análises de variância para o índice SPAD medido aos 115, 235, 340 e 393 dias após a colheita (DAC) em plantas de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes ambientes (irrigado e “sequeiro – sem irrigação”) em diferentes doses de potássio

		Índice SPAD				
		GL	DAC			
			115	235	340	393
			Fc			
Ambiente	1		0,05 ^{ns}	6,65 [†]	1,48 ^{ns}	2,50 ^{ns}
Bloco	3		0,17 ^{ns}	0,15 ^{ns}	7,69 [†]	1,50 ^{ns}
Resíduo 1	3		-	-	-	-
Dose	3		0,74 ^{ns}	0,12 ^{ns}	1,95 ^{ns}	1,20 ^{ns}
Ambiente x Dose	3		0,13 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,11 ^{ns}	1,14 ^{ns}
Resíduo 2	18		-	-	-	-
CV 1 (%)			6,18	7,34	3,17	10,66
CV 2 (%)			6,85	5,14	4,67	6,83
			Médias			
Sequeiro			42,94 a	34,74 b	35,08 a	33,99 a
Irrigado			43,15 a	37,15 a	35,56 a	36,08 a

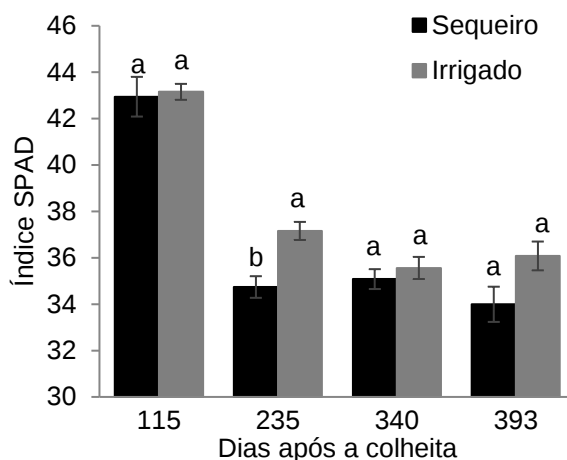
^{**}, ^{*} e [†]: significativo ao nível de significância de 1, 5 e 10% respectivamente; ns: não significativo.

Diferentes letras em mesma coluna representam diferença significativa entre valores médios ao nível de até 10% de significância. Fc – F calculado.

Segundo Torres Netto et al. (2005), leituras SPAD inferiores a 40 indicam o início da deficiência de clorofila, o que afeta o processo fotossintético. Apesar de não haver influência dos tratamentos nesta variável, a tabela 4 e figura 7 mostram que o índice SPAD ficou abaixo do esperado a partir dos 235 DAC, evidenciando um possível estresse hídrico durante o resto do experimento mesmo quando as plantas foram irrigadas, mesmo os dados apresentados nas figuras 5 e 6 contrapondo essa afirmativa. A degradação da clorofila é um dos agravantes na cultura em virtude da

deficiência hídrica, que resulta no baixo teor da cor verde nas folhas (LONG et al., 1994). O uso dessa técnica também é de fácil obtenção e vem se mostrando confiável para diferenciar entre plantas tolerantes e susceptíveis à deficiência hídrica (O'NEILL et al., 2006).

Figura 7 - Índice SPAD medido aos 115, 235, 340 e 393 dias após a colheita em plantas de cana-de-açúcar cultivadas em ambiente irrigado e de sequeiro (sem irrigação). Diferentes letras representam diferença significativa entre valores médios ao nível de 10% de significância



5.1.2 Condutância estomática (gs)

Para variável condutância estomática (gs) (Tabela 5) houve um efeito significativo dos ambientes estudados (irrigado e sequeiro) para todas as avaliações, porém só houve efeito significativo isolado do K₂O nas avaliações de 115, 340 e 393 DAC. Havendo somente significância da interação Ambiente x Doses aos 393 DAC.

Quanto ao efeito das doses de potássio nos tratamentos, somente aos 340 DAC se constaram diferenças. Logo aos 340 DAC, tanto no tratamento irrigado quanto no sequeiro, maiores doses acarretaram maior condutância. Nos demais períodos que apresentaram diferenças (115 e 235), eles ocorreram somente no tratamento irrigado, ocorrendo comportamento semelhante.

Tabela 5 - Resumo da análise de variância para a condutância estomática medida aos 115, 235, 340 e 393 dias após a colheita (DAC) em plantas de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes ambientes (irrigado e “sequeiro – sem irrigação”) em diferentes doses de potássio

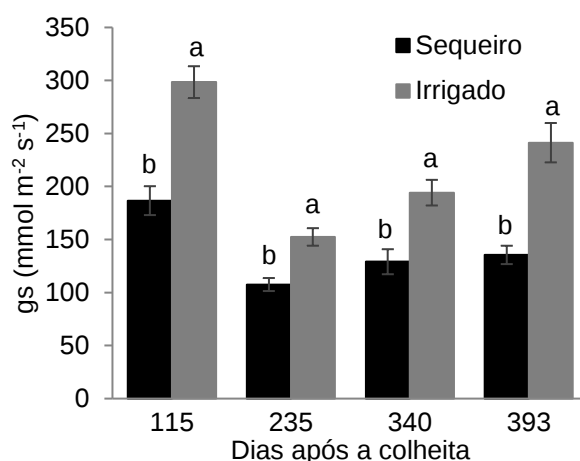
Condutância estomática						
		GL	DAC			
			115	235	340	393
			----- Fc -----			
Ambiente	1		41,84**	16,73*	39,13**	137,33**
Bloco	3		0,55 ^{ns}	1,66 ^{ns}	1,49 ^{ns}	1,38 ^{ns}
Resíduo 1	3		-	-	-	-
Dose	3		3,53*	1,97 ^{ns}	12,59**	12,56**
Ambiente x Dose	3		0,47 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,09 ^{ns}	6,04**
Resíduo 2	18		-	-	-	-
CV 1 (%)			20,15	23,87	18,21	13,56
CV 2 (%)			22,23	20,16	20,58	19,15
			----- Médias -----			
Sequeiro			186,67 b	107,57 b	129,08 b	135,48 b
Irrigado			298,43 a	152,44 a	194,19 a	241,32 a
Sequeiro	F regre 1º		-	-	-	0,15 ^{ns}
	R² (%)		-	-	-	2,29
	F regre 2º		-	-	-	3,38†
	R² (%)		-	-	-	54,09
Irrigado	F regre 1º		-	-	-	18,57**
	R² (%)		-	-	-	37,69
	F regre 2º		-	-	-	29,52**
	R² (%)		-	-	-	97,60

**, * e †: significativo ao nível de significância de 1, 5 e 10% respectivamente; ns: não significativo. Diferentes letras em mesma coluna representam diferença significativa entre valores médios ao nível de até 10% de significância. Fc – F calculado.

A superioridade da variável no tratamento irrigado em comparação ao sequeiro foi de 59,5% em média ($111,8 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) para 115 DAC, 41,4% ($44,8 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) para 235 DAC, 55,0% ($65,1 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) para 340 DAC e 78,0% ($105,8 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) para 393 DAC (Figura 8). Fatos que podem ser justificados pelo decréscimo na disponibilidade de água no solo que ocasiona a queda no potencial da água nas folhas

das plantas, levando à perda de turgescência e à redução da condutância estomática (SHALHEVET, 1983). A redução da taxa de assimilação de CO₂ durante o estresse hídrico se deve à redução na disponibilidade de CO₂ no interior da folha, causada pelo fechamento dos estômatos em resposta à redução da disponibilidade de água no solo (ROSA et al., 1991). Esse aumento da resistência à difusão gasosa e a diminuição na taxa de assimilação de CO₂ determina menor perda de água por transpiração, além de poder afetar a fotossíntese.

Figura 8 - Condutância estomática medida aos 115, 235, 340 e 393 dias após a colheita em plantas de cana-de-açúcar cultivadas em ambiente irrigado e de sequeiro (sem irrigação). Diferentes letras representam diferença significativa entre valores médios ao nível de 10% de significância



Na Tabela 6 estão apresentados os valores do desdobramento das doses em relação aos dois ambientes estudados, nota-se que a maior dose de adubação potássica (210 kg ha⁻¹) incentivou um aumento da condutância estomática quando comparado a 0 de aplicação no ambiente de sequeiro, quase duplicando o valor da gs, denotando o efeito positivo do K⁺ às plantas que estão sofrendo um estresse hídrico. Assim como, este efeito também pode ser visualizado num ambiente irrigado, porém com uma discrepância menor. Segundo Prado (2003), as plantas bem supridas de potássio apresentam maior eficiência do uso da água, enquanto que plantas deficientes em potássio possuem menor desempenho fotossintético, devido à abertura estomática não acontecer de forma regular, reduzindo a entrada de CO₂. Demonstrando que a adubação potássica melhora mais a gs na cultura de sequeiro do que irrigada, porém os valores da gs quando irrigado foram sempre superiores ao não irrigado, como já supracitado.

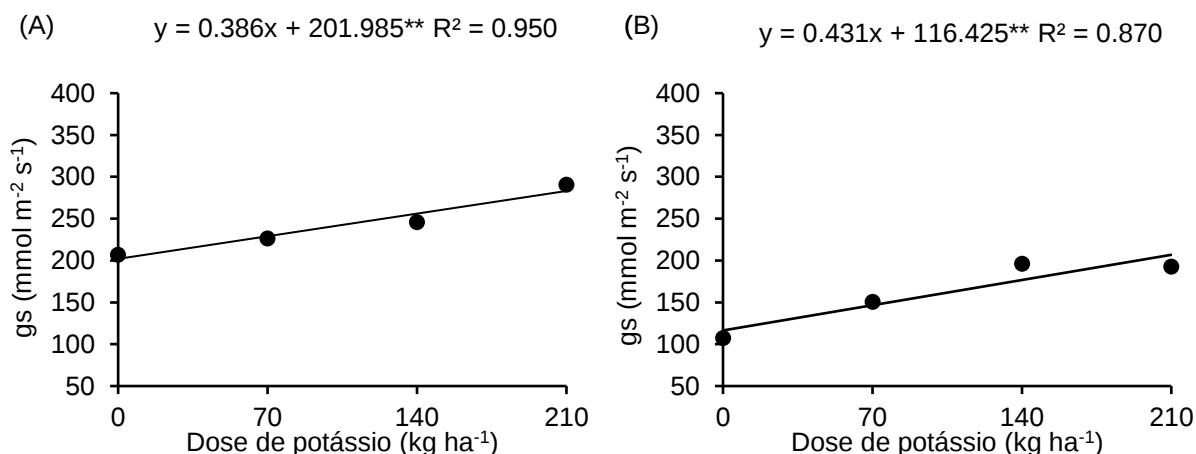
Tabela 6 - Valores médios da condutância estomática medida aos 115, 235, 340 e 393 dias após a colheita (DAC) em plantas de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes ambientes (irrigado e “sequeiro – sem irrigação”) em diferentes doses de potássio

DAC	Ambiente	Doses de potássio (Kg ha ⁻¹)			
		0	70	140	210
		médias - Condutância estomática			
115	Sequeiro	164,18 b	171,20 b	194,53 b	216,78 b
	Irrigado	249,88 a	281,88 a	297,33 a	364,63 a
235	Sequeiro	97,38 a	114,80 b	110,60 b	107,50 b
	Irrigado	123,78 a	156,48 a	160,48 a	169,05 a
340	Sequeiro	77,85 b	113,03 b	165,23 b	160,20 b
	Irrigado	136,80 a	187,95 a	227,08 a	224,93 a
393	Sequeiro	107,23 a	171,48 b	132,68 b	130,55 b
	Irrigado	144,55 a	259,78 a	320,88 a	240,08 a

Diferentes letras na mesma coluna representam diferença significativa ($p < 0,1$) entre ambientes em função das doses de potássio.

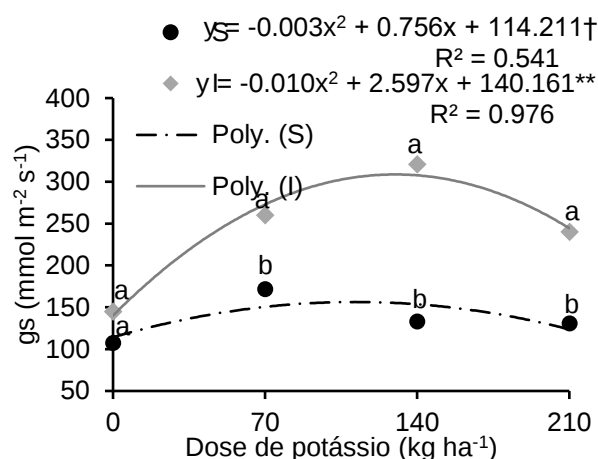
Para a gs média aos 115 e 340 DAC houve um aumento linear com o aumento das doses de potássio ($p < 0,01$) (Figura 9). Isso mostra que doses de até 210 kg ha⁻¹ aumentou a resistência da cultura ao estresse hídrico.

Figura 9 - Condutância estomática (gs) medida aos 115 e 340 dias após a colheita da cana-de-açúcar (A e B, respectivamente) em função de diferentes doses de potássio. **, * e †: significativo ao nível de significância de 1, 5 e 10% respectivamente; ns: não significativo



Aos 393 DAC houve um ajuste quadrático (Figura 10) para a cultura em sequeiro ($p < 0,1$) e irrigada ($p < 0,01$), onde as doses de potássio proporcionaram a maior gs em, aproximadamente, 100 e 130 kg ha^{-1} de K_2O , respectivamente.

Figura 10 - Condutância estomática (gs) medida aos 393 dias após a colheita da cana-de-açúcar em função de diferentes doses de potássio em cada ambiente de cultivo [sequeiro (S) e irrigado (I)]. Diferentes letras em mesma dose de potássio representam diferença significativa entre valores médios ao nível de até 10% de significância. **, * e †: significativo ao nível de significância de 1, 5 e 10% respectivamente; ns: não significativo



Na Figura 10, percebemos que o irrigado foi superior ao sequeiro, considerando a disponibilidade hídrica da área em estudo, visto que para as altas doses de K_2O foram onde obtivemos a maior significância, o mesmo se deu por (ZANCHIM, 2015). Resultados similares foram encontrados por outros pesquisadores, os quais constataram a redução da condutância estomática em cana-de-açúcar sob deficiência hídrica (BRUNELLI, 2014; GERONIMO, 2014; PINCELLI, 2010), bem como a redução da condutância estomática ao longo do tempo. Pois fechamento dos estômatos é um mecanismo de defesa da planta, e tem por objetivo reduzir a perda de água, porém como consequência reduz também a assimilação de CO_2 (PIMENTEL, 2004).

5.1.3 Temperatura foliar

Em relação a variável temperatura foliar (Tabela 7) houve efeito significativo para o ambiente aos 235, 340 e 393 DAC e para as doses apenas aos 115 DAC. Houve diferenças entre Sequeiro e Irrigado para cada uma das doses de potássio (kg ha^{-1}). A superioridade da variável no tratamento sequeiro frente ao irrigado foram de 8,1% (1,9) para 235 DAC, 7,5% (2,5) para 340 DAC e 10,3% (3,4) para 393 DAC (Figura 11). Esses resultados corroboram com os de Trentin et al. (2011), em estudo realizado em casa de vegetação com cana-de-açúcar, cultivar RB 86-7515, em que as plantas mantidas sob adequado fornecimento hídrico apresentaram temperaturas inferiores, em torno de 6,6 °C, quando comparadas àquelas sob condições de estresse hídrico severo e elevada radiação solar.

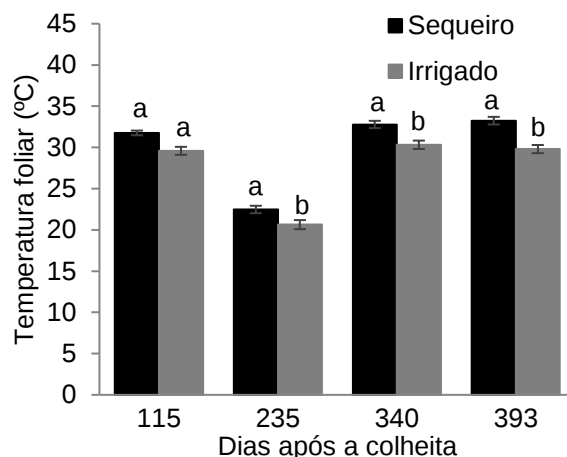
Tabela 7 - Resumo da análise de variância para a temperatura foliar medida aos 115, 235, 340 e 393 dias após a colheita (DAC) em plantas de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes ambientes (irrigado e “sequeiro – sem irrigação”) em diferentes doses de potássio

Temperatura foliar					
	GL	DAC			
		115	235	340	393
		----- Fc -----			
Ambiente	1	4,98 ^{ns}	101,13 ^{**}	12,67 [*]	20,86 [*]
Bloco	3	1,04 ^{ns}	4,25 ^{ns}	3,45 ^{ns}	0,40 ^{ns}
Resíduo 1	3	-	-	-	-
Dose	3	11,36 ^{**}	0,56 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,22 ^{ns}
Ambiente x Dose	3	0,72 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,08 ^{ns}
Resíduo 2	18	-	-	-	-
CV 1 (%)		8,98	2,40	6,20	6,77
CV 2 (%)		2,38	10,79	5,50	6,95
		----- Médias -----			
Sequeiro		31,76 a	22,48 a	32,78 a	33,24 a
Irrigado		29,59 a	20,64 b	30,32 b	29,80 b

^{**}, ^{*} e [†]: significativo ao nível de significância de 1, 5 e 10% respectivamente; ns: não significativo.

Diferentes letras em mesma coluna representam diferença significativa entre valores médios ao nível de até 10% de significância. Fc – F calculado.

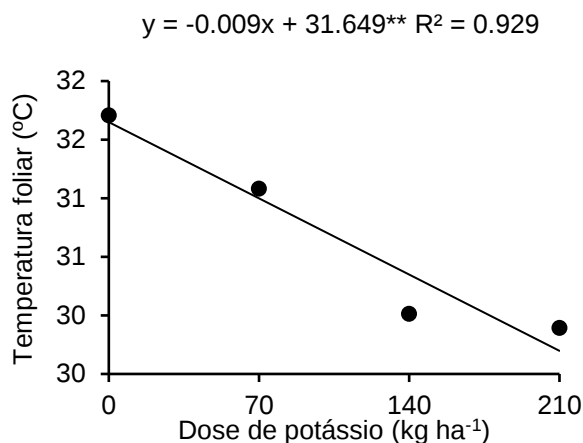
Figura 11 - Temperatura foliar medida aos 115, 235, 340 e 393 dias após a colheita em plantas de cana-de-açúcar cultivadas em ambiente irrigado e de sequeiro (sem irrigação). Diferentes letras representam diferença significativa entre valores médios ao nível de 10% de significância



Para estas aferições, a superioridade média do tratamento irrigado foi de 11% (3,8°C) (Tabela 7; Figura 11). Resultados semelhantes também foram constatados por Silva et al. (2014) que verificaram aumento médio de 3°C da temperatura foliar em cultivares de cana-de-açúcar em condições de deficiência hídrica. Santos (2013) e Silva et al. (2008) estudando diferentes cultivares de cana-de-açúcar sob deficiência hídrica averiguaram aumento da temperatura foliar, associado à redução da produtividade.

As doses de potássio somente surtiram efeito significativo na temperatura foliar no tratamento sequeiro aos 115 DAC, com decréscimo linear da temperatura foliar com o aumento das doses de potássio ($p < 0,01$).

Figura 12 - Temperatura foliar medida aos 115 dias após a colheita da cana-de-açúcar em função de diferentes doses de potássio. **, * e †: significativo ao nível de significância de 1, 5 e 10% respectivamente; ns: não significativo



5.1.4 Índice de área foliar (IAF)

Para o IAF (Tabela 9) houve efeito significativo dos ambientes estudados apenas aos 393 DAC e para as doses aos 115 DAC, na dose 140 kg ha⁻¹ de K, sendo que a superioridade do tratamento irrigado frente ao sequeiro, neste caso, foi de 9% (3 m² m⁻²). Alguns fatores como temperaturas elevadas em períodos de estresse hídrico causam a diminuição da área foliar, pois aceleram o processo de senescência das folhas verdes (INMAM-BAMBER 2004). Analisando a variável já discutida em 5.1.3 (Temperatura foliar) pode-se notar que esta foi a data que houve maior discrepância de temperatura entre os ambientes.

Tabela 8 - Resumo da análise de variância para o índice de área foliar medido aos 115, 235, 340 e 393 dias após a colheita (DAC) em plantas de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes ambientes (irrigado e “sequeiro – sem irrigação”) em diferentes doses de potássio

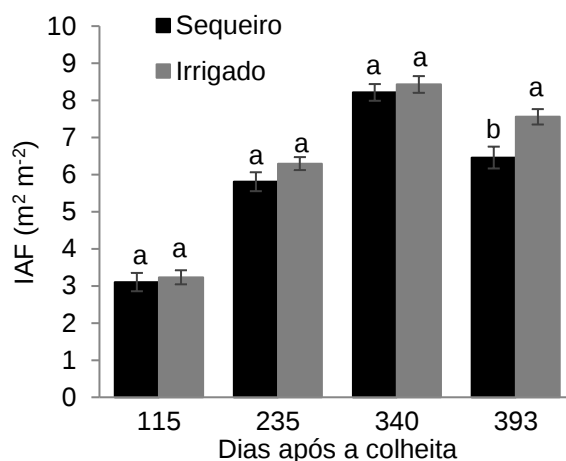
		Índice de área foliar ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$)			
	GL	DAC			
		115	235	340	393
----- Fc -----					
Ambiente	1	0,51 ^{ns}	3,51 ^{ns}	0,88 ^{ns}	14,46*
Bloco	3	6,35 [†]	3,70 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,96 ^{ns}
Resíduo 1	3	-	-	-	-
Dose	3	5,28**	1,10 ^{ns}	0,86 ^{ns}	1,45 ^{ns}
Ambiente x Dose	3	0,05 ^{ns}	0,25 ^{ns}	1,18 ^{ns}	0,86 ^{ns}
Resíduo 2	18	-	-	-	-
CV 1 (%)		16,06	12,17	7,76	11,66
CV 2 (%)		22,63	13,74	11,63	14,89
----- Médias -----					
Sequeiro		3,10 a	5,81 a	8,21 a	6,46 b
Irrigado		3,23 a	6,30 a	8,42 a	7,56 a

**, * e †: significativo ao nível de significância de 1, 5 e 10% respectivamente; ns: não significativo.

Diferentes letras em mesma coluna representam diferença significativa entre valores médios ao nível de até 10% de significância. Fc – F calculado.

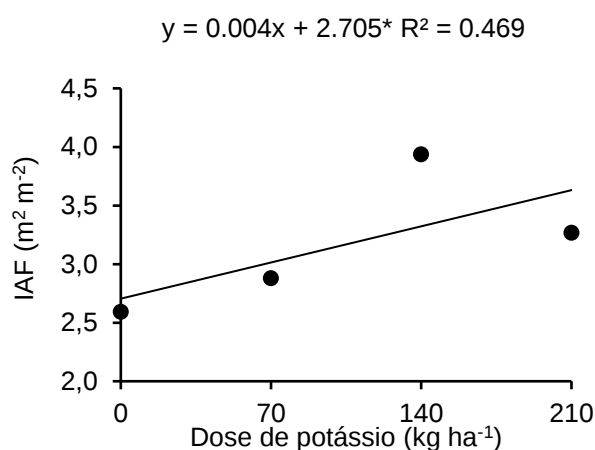
Na Figura 13 pode-se perceber a diferença entre os regimes irrigado e sequeiro, onde a superioridade da variável no tratamento irrigado frente ao sequeiro foi de 18,2% (1,1) para 393 DAC.

Figura 13 - Índice de área foliar (IAF) medido aos 115, 235, 340 e 393 dias após a colheita em plantas de cana-de-açúcar cultivadas em ambiente irrigado e de sequeiro (sem irrigação). Diferentes letras representam diferença significativa entre valores médios ao nível de 10% de significância



Um aumento linear do IAF foi verificado com o aumento das doses de potássio ($p < 0,05$) aos 115 DAC (Figura 14), demonstrando um possível efeito benéfico da aplicação de K_2O no solo. A área foliar está diretamente relacionada com o comprimento foliar, e em plantas de deficiência em K, a redução desses parâmetros deve-se, principalmente, pela redução da taxa de alongamento foliar, o que estaria mais diretamente relacionado com a alteração da relação de água a planta, do que pela redução na taxa de suprimentos de carboidratos (GERARDEAUX et al., 2010).

Figura 14 - Índice de área foliar (IAF) medida aos 115 dias após a colheita da cana-de-açúcar em função de diferentes doses de potássio. **, * e †: significativo ao nível de significância de 1, 5 e 10% respectivamente; ns: não significativo



5.2 Qualidade industrial

A produtividade da variável qualidade da matéria prima está representada na Tabela 9. Foi possível verificar que houve diferença significativa entre ambiente sequeiro e irrigado para a maioria das variáveis, exceto Fibra, além de interação significativa entre ambiente e doses de potássio para as variáveis Fibra PCC e ATR. Não verificado efeito significativo das doses de potássio isoladamente às variáveis de qualidade da matéria prima.

Tabela 9 - Resumo das análises de variância dos dados de Fibra, Brix, Pol, Pureza, PCC e ATR determinados de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes ambientes (irrigado e “sequeiro – sem irrigação”) e diferentes doses de potássio

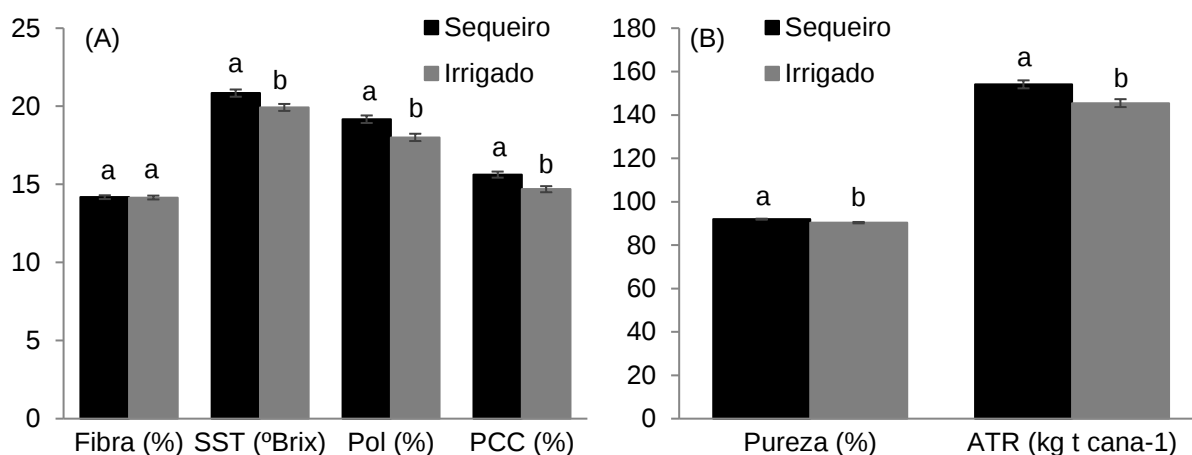
	GL	Fibra (%)	Brix (%)	Pol (%)	Pureza (%)	PCC (%)	ATR (kg t cana ⁻¹)
----- Fc -----							
Ambiente	1	0,01 ^{ns}	18,95*	22,15*	21,65*	16,39*	16,13*
Bloco	3	0,51 ^{ns}	1,22 ^{ns}	1,00 ^{ns}	0,39 ^{ns}	1,19 ^{ns}	1,20 ^{ns}
Resíduo 1	3	-	-	-	-	-	-
Dose	3	0,59 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,11 ^{ns}
Amb. x Dose	3	2,44 [†]	2,37 ^{ns}	2,36 ^{ns}	0,55 ^{ns}	2,50 [†]	2,57 [†]
Resíduo 2	18	-	-	-	-	-	-
CV 1 (%)		5,53	2,92	3,76	1,07	4,30	4,07
CV 2 (%)		2,82	4,63	5,24	1,39	5,07	4,82
----- Médias -----							
Sequeiro		14,18a	20,84a	19,17a	91,96a	15,62a	154,11a
Irrigado		14,16a	19,93b	18,01b	90,35b	14,69b	145,46b
Sequeiro	F regre 1º	1,77 ^{ns}	-	-	-	3,63 [†]	3,53 [†]
	R² (%)	32,70	-	-	-	83,87	82,74
	F regre 2º	0,01 ^{ns}	-	-	-	0,43 ^{ns}	0,43 ^{ns}
	R² (%)	32,88	-	-	-	93,92	92,77
Irrigado	F regre 1º	0,30 ^{ns}	-	-	-	3,22 [†]	3,41 [†]
	R² (%)	8,15	-	-	-	90,76	89,99
	F regre 2º	0,00 ^{ns}	-	-	-	0,04 ^{ns}	0,03 ^{ns}
	R² (%)	8,15	-	-	-	91,87	90,76

**, * e †: significativo ao nível de significância de 1, 5 e 10% respectivamente; ns: não significativo.

Diferentes letras em mesma coluna representam diferença significativa entre valores médios ao nível de até 10% de significância. Fc – F calculado.

A produtividade da variável qualidade da matéria prima (Figura 15), no tratamento sequeiro frente ao irrigado foi de 0,1% em média (0,0) para Fibra (%), 4,3% (0,9) para Brix (%), 5,9% (1,2) para Pol (%), 1,7% (1,6) para Pureza (%), 5,9% (0,9) para PCC (%), 5,5% (8,7) para ATR (kg t cana⁻¹). Segundo Epstein e Bloom (2006), o acúmulo de carboidratos, nas folhas de plantas deficientes em K, é resultado da substituição das moléculas osmóticas, na qual o K exerce grande papel.

Figura 15 - Fibra, sólidos solúveis totais (SST), Pol e PCC, (A); pureza e ATR, (B), determinados de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em ambiente irrigado e de sequeiro



Na Tabela 10 estão descritos os valores médios para as variáveis tecnologias da cultura da cana-de-açúcar, onde as variáveis que apresentaram diferença significativa entre ambientes foram Brix, Pol, PCC e ATR para as doses de 140 e 210 Kg ha⁻¹ e Pureza para as doses de 70, 140 e 210 Kg ha⁻¹, onde os valores foram maiores para o ambiente de sequeiro. Moura et al. (2005) verificaram que aplicações de potássio até a dose de 222 kg ha⁻¹ de K₂O em soqueiras de cana-de-açúcar incrementou com ajuste linear quanto ao teor de sacarose (%Pol) e rendimento bruto de álcool. 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 (°Brix), pureza e sacarose. Da mesma forma, Pérez e Melgar (2000) na Guatemala constataram que a aplicação de 100 kg ha⁻¹ de K₂O aumentou o teor de açúcar das plantas.

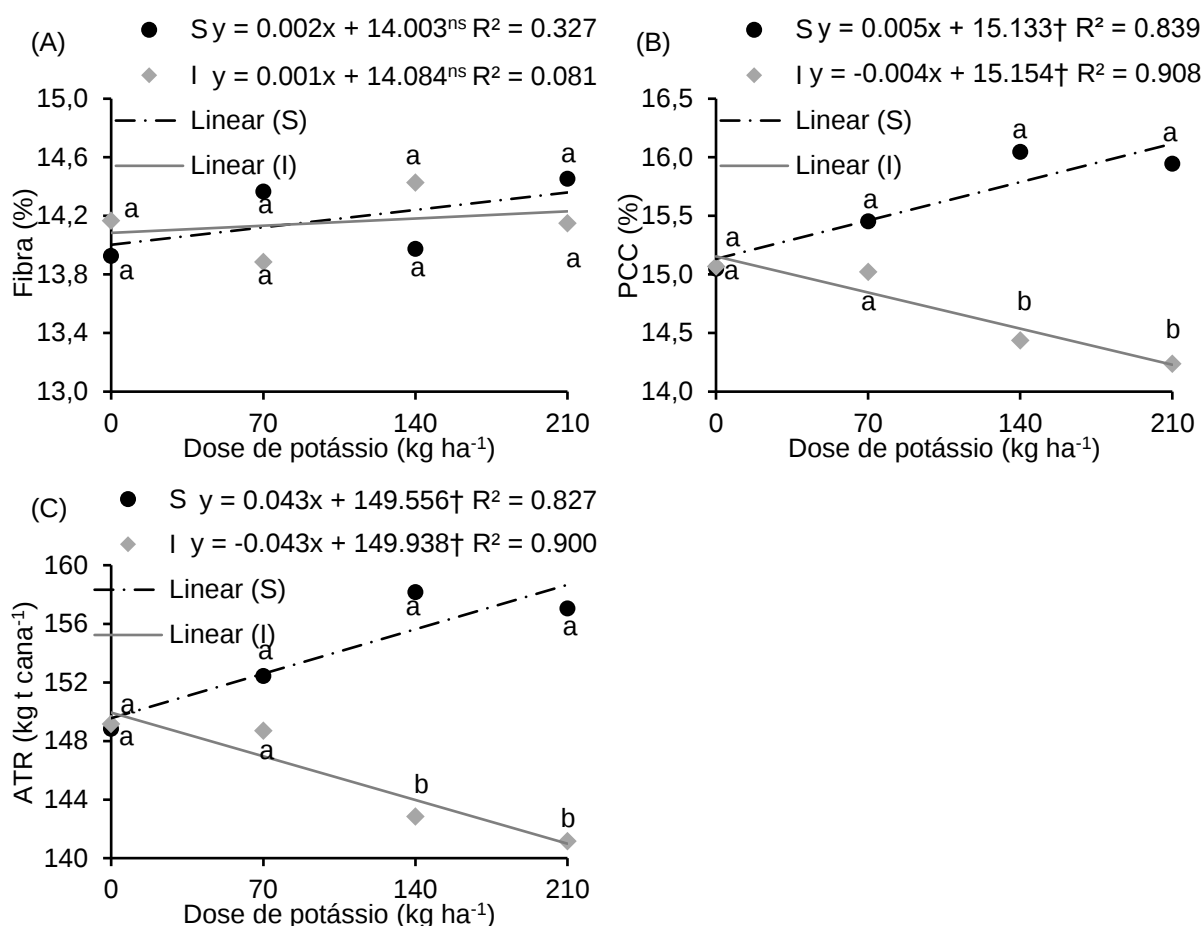
Tabela 80 - Valores médios de Fibra, Brix, Pol, Pureza, PCC e ATR determinados de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes ambientes (irrigado e “sequeiro – sem irrigação”) e diferentes doses de potássio

Variáveis	Ambiente	Doses de potássio (Kg ha ⁻¹)			
		0	70	140	210
		médias			
Fibra (%)	Sequeiro	13,93 a	14,37 a	13,98 a	14,46 a
	Irrigado	14,17 a	13,89 a	14,43 a	14,15 a
Brix (%)	Sequeiro	20,15 a	20,66 a	21,29 a	21, 27 a
	Irrigado	20,43 a	20,23 a	19,73 b	19,32 b
Pol (%)	Sequeiro	18,38 a	19,03 a	19,62 a	19,66 a
	Irrigado	18,48 a	18,33 a	17,76 b	17,47 b
Pureza (%)	Sequeiro	91,18 a	92,07 a	92,15 a	92,44 a
	Irrigado	90,45 a	90,60 b	89,96 b	90,41 b
PCC (%)	Sequeiro	15,05 a	15,46 a	16,05 a	15,95 a
	Irrigado	15,07 a	15,02 a	14,44 b	14,24 b
ATR (kg t cana ⁻¹)	Sequeiro	148,82 a	152,43 a	158,16 a	157,03 a
	Irrigado	149,15 a	148,70 a	142,84 b	141,16 b

Diferentes letras na mesma coluna representam diferença significativa ($p < 0,1$) entre ambientes em função das doses de potássio.

Os valores das variáveis Brix (%), Pureza, Pol, PCC e ATR determinados de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes ambientes (irrigado e sequeiro) e diferentes doses de potássio estão expressos na Figura 16. Para PCC (Figura 16B) e ATR (Figura 16C) em ambiente de sequeiro houve aumento linear com o aumento das doses de potássio ($p < 0,1$) e decréscimo linear ($p < 0,1$) para o ambiente irrigado. A porcentagem de fibra da cana-de-açúcar não apresentou variação significativa com o aumento das doses de potássio em ambos os ambientes avaliados (Figura 16 A).

Figura 16 - Fibra, PCC e ATR em função de diferentes doses de potássio em cada ambiente de cultivo [sequeiro (S) e irrigado (I)]. Diferentes letras em mesma dose de potássio representam diferença significativa entre valores médios ao nível de até 10% de significância. **, * e †: significativo ao nível de significância de 1, 5 e 10% respectivamente; ns: não significativo



As alterações encontradas nas variáveis tecnológicas, podem ser decorrentes do déficit hídrico do período (352,5 mm) que restringiu o desenvolvimento da cultura e promoveu maior acúmulo de sacarose no manejo não irrigado.

5.3 Produtividade (colmos e açúcar)

Houve diferenças entre sequeiro e irrigado para cada DAC e Doses de potássio (Kg ha⁻¹). A superioridade da variável de produção no tratamento irrigado frente ao sequeiro (Tabela 11) foi de 39,7% em média (34,6) para TCH (t ha⁻¹), 31,2% (4,2) para TPH (t ha⁻¹). A Tabela 11 resume a não significância das variáveis TCH e EUA_{TCH} com o aumento das doses de potássio. O mesmo pode-se acarretar pelo regime hídrico

durante o experimento, onde a deficiência hídrica pode ter afetado os dois ambientes devido à baixa uniformidade da irrigação, com isso não suprimindo os 100% da ETo.

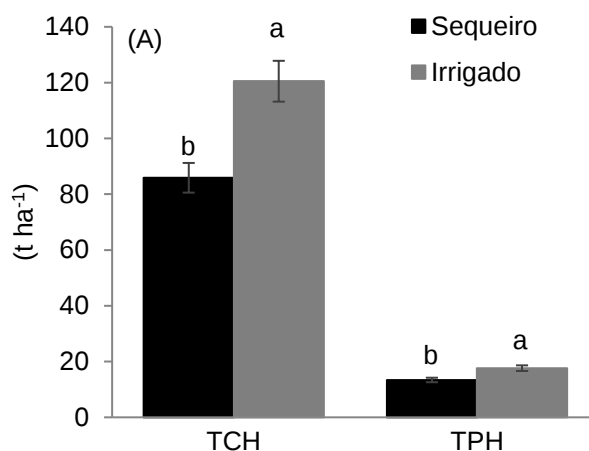
Tabela 9 - Resumo da análise de variância para os dados de TCH (Toneladas de cana-de-açúcar por hectare), TPH (Toneladas de açúcar por hectare), RBAÇ (Rendimento bruto de açúcar), RBAL (Rendimento bruto de álcool), EUA_{TCH} e EUA_{TPH} de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes ambientes (irrigado e “sequeiro – sem irrigação”) em diferentes doses de potássio

	GL	TCH (t ha ⁻¹)	TPH (t ha ⁻¹)
		----- Fc -----	
Ambiente	1	8,86 [†]	5,90 [†]
Bloco	3	0,58 ^{ns}	0,42 ^{ns}
Resíduo 1	3	-	-
Dose	3	2,36 ^{ns}	2,60 [†]
Amb. x Dose	3	0,48 ^{ns}	0,19 ^{ns}
Resíduo 2	18	-	-
CV 1 (%)		31,86	31,76
CV 2 (%)		22,69	21,77
		----- Médias --	
Sequeiro		85,88b	13,39b
Irrigado		120,49a	17,62a

**, * e †: significativo ao nível de significância de 1, 5 e 10% respectivamente; ns: não significativo. Diferentes letras em mesma coluna representam diferença significativa entre valores médios ao nível de até 10% de significância. Fc = F calculado.

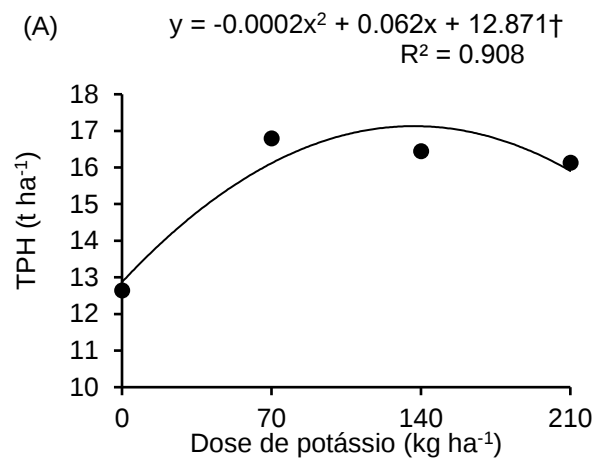
Observa-se na Figura 17, o aumento considerável da produtividade de TCH e TPH, em cana-de-açúcar no manejo irrigado comparado ao manejo de sequeiro.

Figura 17 - Toneladas de cana-de-açúcar por hectare (TCH) e TPH, determinados de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em ambiente irrigado e de sequeiro



O aumento das doses de potássio aumentaram de maneira quadrática ($p < 0,1$) as variáveis TPH, RBAÇ, RBAL e EUA_{TPH} , com os valores máximos nas doses próximas a $140\ kg\ ha^{-1}$ (Figura 18). Em contrapartida, existem alguns estudos que a soqueira da cana-de-açúcar não respondeu a aplicação de K (ZAMBELLO JÚNIOR, HAAG & ORLANDO, 1981), provavelmente em função da influência das formas de K no solo que tiveram a capacidade de fornecer este 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).

Figura 18 - Toneladas de açúcar por hectare (TPH) em função de diferentes doses de potássio. **, * e †: significativo ao nível de significância de 1, 5 e 10% respectivamente; ns: não significativo



6 CONCLUSÕES

- As variáveis fisiológicas Gs, Temperatura foliar e IAF apresentaram efeitos significativos na maioria das épocas amostradas a partir dos 235 DAC; apenas o índice SPAD não apresentou nenhuma diferença significativa entre os tratamentos estudados.
- O potássio aplicado não alterou a qualidade tecnológica da variedade RB92579 cana-de-açúcar.
- Para as doses de potássio estudadas, as que produziram maiores quantidades de colmos e de açúcar foram de 70 kg ha⁻¹ e de 210 kg ha⁻¹ respectivamente para ambientes cultivados (sequeiro e irrigado na região de Jaú – SP).

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 9261: **Equipamentos de irrigação agrícola. Emissores e tubos emissores.** Especificação e métodos de ensaio. São Paulo, 2006.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Equipamentos de irrigação agrícola: Aspersores rotativos.** Parte 1: Requisitos para projetos e operação. Projeto 04:015.08-012. Parte 2: Uniformidade de distribuição e métodos de ensaio. Projeto 04:015.08-013. Rio de Janeiro: ABNT, 22p. 1999.

AGUIAR, F. **Gotejamento enterrado é novidade na irrigação da cana.** Agrianual 2002: FNP Consultoria e Comércio. p.256-257, 2002.

ALMEIDA, Hilário Júnior de. **Nutrição potássica em soqueira de cana-de-açúcar colhida sem queima.** Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, v. 79, p. 2013.

ALVAREZ, R.; WUTKE, A. C. P.; ARRUDA, H. V.; RAIJ, B. V.; GOMES, A. C.; ZINK, F. Adubação da cana-de-açúcar: XIV. Adubação NPK em Latossolo Roxo. **Bragantia**, Campinas, v. 2, n. 50, p. 359-374, 1991.

ALVAREZ, R.; FREIRE, E. S. Adubação da cana-de-açúcar. VI. Fracionamento da dose de potássio. **Bragantia**, 21:31- 43, 1962.

ARAÚJO, S. A. C. et al. Características fotossintéticas de genótipos de capim-elefante anão (*Pennisetum purpureum* Schum.) em estresse hídrico. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, Maringá, v. 32, p. 1-7, 2010.

ARGENTON, Paulo Eduardo. **Influências das variáveis edafoclimáticas e de manejo no rendimento de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)** na região de Piracicaba, São Paulo. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2006.

ASAE - American Society of Agricultural Engineers. **Soil and Water Terminology: S526.1.** In: ASAE Standards 1997. 44. ed. St Joseph, p. 936-952, 1997.

ASHRAF, M.; RAHMATULLAH; AHMAD, R.; AFZAL, M.; TAHIR, M. A.; KANWAL, S.; MAQSOOD, M. A. Potassium and silicon improve yield and juice quality in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) under salt stress. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 195, n. 4, p. 284-291, 2009.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS - **ANDA**. Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes. São Paulo, 2008.

BARBIERI, V. **Medidas e estimativas de consumo hídrico em cana-de-açúcar (*Saccharum Spp.*)**. Piracicaba, 1981, 82f. (Mestrado em Agrometeorologia) – ESALQ/USP.

BARBIERI, V.; VILLA NOVA, N. A. **Climatologia e a cana-de-açúcar.** In: PLANALSUCAR – Coordenadoria Regional Sul – COSUL, Araras, p. 1-22, 1977.

BENITES, V. M.; CARVALHO, M. C. S.; RESENDE, A. V.; POLIDORO, J. C.; BERNADI, A. C. C.; OLIVEIRA, F. A. **Potássio, cálcio e magnésio.** In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Eds.) Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes. Piracicaba: IPNI, 2010. p. 137-191.

BERINGER, H.; NOTHDURFT, F. **Effects of potassium on plant and cellular structures.** IN: MUNSON, R. D. (ED.). Potassium in agriculture: American society of agronomy, Inc.; Crop science society of America, Inc.; Soil science society of America, Inc. Madison, 1985. p. 35-67.

BISCARO, G. A. MARQUES, R. J. R. BATISTA, C. M. MONACO, K. A. ENSINAS, S. C. REZENDE, R. K. S. Efeito de diferentes níveis de fertirrigação nas características morfofisiológicas de espinafre. **Revista Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 3, p. 487-493, 2011.

BITTENCOURT, V. C. et al. **Produtividade da cana-de-açúcar e suas relações com a fertilidade dos solos e o manejo da cultura.** Piracicaba: Stab, Açúcar, Álcool e Subprodutos, v.8, n. 5/6, p.10-14, 1990.

BRUNELLI, M. C. **Índice spad e trocas gasosas ao longo do dia para diferenciação de cana-de-açúcar sob deficiência hídrica.** 2014. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia –Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

BRUNINI, Rodrigo Garcia. **Índice de estresse hídrico na cultura de cana-de-açúcar, em superfícies irrigadas sobre diferentes exposições e declividades.** Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2016.

BUI, W.; KINOSHITA, C.M. Has drip irrigation in Hawaii lived up to expectations? In: PROCEEDINGS OF THE INT. DRIP/TRICKLE IRRIGATION CONGRESS, 3, 1985, Fresno, California. **Proceedings. ASAE: American Society of Agricultural Engineers** v.1, 1985. p.84-89.

CALDAS, C. **Manual de análises selecionadas para indústrias sucroalcooleiras.** Maceió. Sindicato da Indústria do Açúcar e do Álcool no Estado de Alagoas. 1998. 422p.

CARRETERO, M. V., **Utilização do tanque de evaporação Classe “A” para o controle da irrigação por gotejamento em soqueira de cana-de-açúcar. (Saccharum Spp).** Piracicaba, 1982, 86p. (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – ESALQ.

CASAGRANDE, A. A. **Crescimento da cana-de-açúcar.** Piracicaba: Stab, Açúcar, Álcool e Subprodutos, v.14, n.5, p.7-8, 1996.

CASTRO, P. R. C. **Aplicações da fisiologia vegetal no sistema de produção da cana-de-açúcar.** In: Simpósio Internacional de Fisiologia da Cana-de-Açúcar - STAB, 2000, 01. CD-ROM.

CATTIVELLI, L.; RIZZA, F.; BADECK, F. W.; MAZZUCOTELLI, E.; MASTRANGELO, A. M.; FRANCIA, E.; MARE, C. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. **Field Crops Research**, v.105, p.1-14, 2008.

CESAR, M. A. A.; DELGADO, A. A.; CAMARGO, A. P. de; BISSOLI, B. M. A.; SILVA, F. C. Capacidade de fosfatos naturais e artificiais em elevar o teor de fósforo no caldo de cana-de-açúcar (cana-planta), visando o processo industrial. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.6, p.32-38, 1987.

CÓ JÚNIOR, C.; MARQUES, M.O.; TASSO JÚNIOR, L.C. Efeito residual de quatro aplicações anuais de lodo de esgoto e vinhaça na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. **Revista Engenharia Agrícola**, v.28, n.1, p.196-203, 2008.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. Safra 2015/16**. Quarto Levantamento, v. 3. n. 4. Brasília, abril/2017. Disponível em: <http://www.udop.com.br/download/estatistica/conab_levantamento_safras/17abr17_4o_levantamento_safra_2016a2017.pdf>. Acesso em 18 dez. 2017.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. Safra 2015/16**. Segundo Levantamento, v. 2. n. 2. Brasília, agosto/2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_09_11_10_51_14_boletim_cana_portugues_-_2o_lev_-_15-16.pdf>. Acesso em 03 out. 2017.

CONSECANA - Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. **Manual de instruções**. 4.ed. Piracicaba: CONSECANA, 2003. 115p.

COOPER, M.; VIDAL-TORRADO, P. Caracterização morfológica, micromorfológica e físico-hídrica de solos com horizonte B Nítico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 4, p. 581-595, 2005.

COALE, F.J.; SANCHEZ, C.A.; IZUNO, F.T. & BOTTCHEER, A.B. **Nutrient accumulation and removal by sugar cane grown on everglades histosols**. *Agron. J.*, 85:310-315, 1993.

COSTA, E. F. da; FRANÇA, G. E. de; ALVES, V. M. C. Aplicação de fertilizantes via água de irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.12, n.139, p.63-68, 1986.

DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.3, p.516-524, 2008.

DALRI, Alexandre Barcellos. **Avaliação da Produtividade da Cana-de-Açúcar Irrigada por Gotejamento Subsuperficial nos Três Primeiros Ciclos**. Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp - Campus de Botucatu. 2004.

DALRI, Alexandre Barcellos. CRUZ, Raimundo Leite. Efeito da frequência de irrigação subsuperficial por gotejamento no desenvolvimento da cana-de-açúcar (*Saccharum ssp.*). **Irriga**, Botucatu, v. 7, n. 1, 2002.

DELLABIGLIA, W. J. 79 f. 2016. **Disponibilidade hídrica e utilização do nitrogênio em cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial**. Dissertação de Mestrado da Pós-Graduação em Ciências Agrônômicas. Universidade Estadual Paulista. Botucatu, São Paulo. 2016.

DIAS, F. L. F.; MAZZA, J. A.; MATSUOKA, S.; PERENCIN, D.; MAULE, R. F. Produtividade de cana-de-açúcar em relação ao clima e solo da Região Noroeste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, n. 3, p. 627-634, 1999.

ELLIS, R. D., LANKFORD, B. A. The tolerance of sugarcane to water stress during main development phases. **Agriculture Water Manage.**, v.17, p.117-28, 1990.

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**, New York, v. 27, n. 4, p. 663-699, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do abastecimento, 1997. 212p.

ESPERANCINI, M. S. T.; AFONSO, P. F. N.; GAVA, G. J. C.; VILLAS BOAS, R. L. Dose ótima econômica de nitrogênio em cana-de-açúcar aplicada via fertirrigação por gotejamento. **Irriga**, Botucatu, ed. Especial, p. 28-39, 2015.

ESPIRONELLO, A.; COSTA, A. A.; LANDELL, M. G. A.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; IGUE, T.; CAMARGO, A. P.; RAMOS, M. T. B. Adubação NK em três variedades de cana-de-açúcar em função de dois espaçamentos. **Bragantia**, Campinas, v.46, n.2, p.247-268, 1987.

EVETT, S. R.; HOWELL, T. A.; SCHNEIDER, A. D. **Energy and water balances for surface and subsurface drip irrigated corn**. In: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5, Orlando, 1995. Proceedings. St. Joseph: ASAE, 1995, p.135-140.

ERNANI, P.R.; BAYER, C. & ALMEIDA, J.A. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 31:393-402, 2007.

EPSTEIN, E. & BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas**. 2.ed. Londrina, Planta, 2006. 401p

FAO, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS Statistical Yearbook 2013, **World food and agriculture**. Rome, 2013. 289p.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA-FAEPE, 2005. p. 97.

FAUCONNIER, R.; BASSEREAU, D. **La caña de azucar**. Barcelona: Blume. 1975. 433p.

FERNANDES, A.C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. Piracicaba: STAB, 240 p. 2003.

FERRELL, J. E. **Less water, more crops**. This Word Magazine. The San Francisco Chronicle, p. 17-18, 1990.

FISCHER, R. A. Stomatal opening: role of potassium uptake by guard cells. **Science**, v. 160, p. 784–785, 1968.

FRANCO, H. C. J.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OTTO, R.; FARONI, C. E.; SARTORI, R. H. & TRIVELIN, M. O. Acúmulo de nutrientes pela cana-planta. **STAB Açúcar, Álcool Subproduto**., 26:47-51, 2008.

FREITAS, Ricardo Galvão de. BAFFA, David Carlos Ferreira. BRASIL, René Porfirio Camponez do. Aumento na produtividade da cana-de-açúcar através da irrigação. **Revista Nucleus**, Edição Especial 2009.

FRIZZONE, J.A. **Irrigação e Drenagem**. Departamento de Engenharia de Biossistemas, ESALQ/USP, Piracicaba, 2010.

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 azucara la fertilización NPK. **Agrociência**, Texcoco, v. 34, n. 6, p. 689-698, 2000.

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

GAVA, J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W. & PENATTI, C.P. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palha. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**., 36:1.347-1.354, 2001.

GERONIMO, G. Z. **Características morfofisiológicas e agrupamento genético de cana-de-açúcar sob deficiência hídrica**. 2014. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

GHANNOUM, O. C4 Photosynthesis and water stress. **Annals of Botany**, Londres, v. 103, p. 635-644, 2008.

HAGUENAUER, Guilherme de Moura. **Tecnologias de irrigação e o uso eficiente da água: o caso do gotejamento subsuperficial**. Dissertação (mestrado) – UFRJ/COPPE/Programa de Planejamento Energético, Rio de Janeiro, 2016.

HOWELL, T. A.; EVETT S. R. **The Penman-Monteith method**. Washington, DC: USDA-Agricultural Research Service, Conservation & Production Research Laboratory, 2004. 14 p.

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

INMAN-BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**, v. 89, n. 1, p. 107-122, 2004.

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

KÖLLN, O. T. **Interação entre os estresses de nitrogênio e disponibilidade hídrica no fracionamento isotópico de ^{13}C e na produtividade em soqueira de cana-de-açúcar**. 2012. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2012.

LANA, R. M. Q.; ZANÃO JÚNIOR, L. A.; KORNDORFER, G. H.; MACIEL JUNIOR, V. A. Parcelamento da adubação potássica na cana-planta. **STAB Açúcar, Álcool Subpr.**, 23:28-31, 2004.

LEIVA, E.; BARRANTES, A. Incremento de la produccion de caña de azucar com riego por goteo enterrado. **Sugar y Azucar**, v.93, n.8, p.26 – 31, 1998.

LEME, E. J. A.; MANIERO, M. A.; GUIDOLIN, J. C. **Estimativa da área foliar da cana-de-açúcar e sua relação com a produtividade**. Cadernos PLANALSUCAR, Piracicaba, n. 2, p. 3-9,1984.

LIMA, Claudivan Costa de. **Características Fenológicas de Cana de Açúcar Adubada com Fertilizantes Minerais Adicionados de Substâncias Húmicas**. - FERTBIO 2012 Maceió (AL), 17 a 21 de setembro de 2012.

LOPES, Cláudio Hartkopf. GABRIEL, Afra Vital Matos Dias. BORGES, Maria Teresa Mendes Ribeiro. Produção de etanol a partir da cana-de-açúcar: tecnologia de produção de etanol. **Coleção UAB–UFSCar**. São Carlos, 2011.

MAGAR, S. S. **Adoption of microirrigation technology in sugarcane (*Saccharum Officinarum* L.) on vertisols in semi arid climate**. In: PROCEEDINGS OF THE FIFTH INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5, 1995, Orlando/Flórida. Anais... ASAE: American Society of Agricultural Engineers, 1995. p.735-739.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MALAVOLTA, E.; CROCOMO, O. J. **Funções do potássio na planta**. In: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILLI, O.; USHERWOOD, N. R. (Eds.). Potássio na Agricultura Brasileira. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato (EUA), 1982. p. 95-162.

- MALAVOLTA, E. **Potássio e enxofre nos solos e culturas brasileiras**. Piracicaba, Potafos, 1982. (Boletim Técnico, 4).
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Ceres, 1980. 251p.
- MANTOVANI, E.C.; SALASSIER, B.; PALARETTI, L.F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2009. 355p
- MARSCHNER, H., 1995. **Functions of mineral nutrients: macronutrients mineral**. In: Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London, p. 889.
- MEDINA SAN JUAN, J. A. **Riego por goteo: teoría y pratica**. Madrid: Mundi-Prensa, 2000, 302 p.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of Plant Nutrition**. Berne: International Potash Institute, 1978. 593p.
- OLIVEIRA, E. C. A. **Balanço nutricional da cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada**. 2011. 213 f. Tese (Doutorado Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.
- OLIVEIRA, A.R. BRAGA, M.B. SANTOS, B.L.S. WALKER, A.M. Biometria de cultivares de cana-de-açúcar sob diferentes reposições hídricas no vale do submédio são Francisco. **Revista Energia na Agricultura**., Botucatu, vol. 31, n.1, p.48-58, janeiro-março, 2016.
- ODDO E.; INZERILLO S.; GRISAFI F.; SAJEVA M.; SALLEO S.; NARDINI A. Does short-term potassium fertilization improve recovery from drought stress in laurel. **Tree Physiology**, v34, n8, p.906-913, 2014.
- O'NEILL, P. M.; SHANAHAN, J. F.; SCHEPERS, J. S. Use of chlorophyll fluorescence assessments to differentiate corn hybrid response to variable water conditions. **Crop Science**, Madison, v. 46, p. 681-687, 2006
- OTTO, R.; VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C. Manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1137-1145, 2010.
- PÉREZ, O.; MELGAR, M. Sugar cane response to nitrogen, phosphorus and potassium application in Andisol soils. **Better Crops International**, Atlanta, v. 14, n. 1, p. 20-22, 2000.
- PERRENOUD, S. **Potassium and Plant Health**. 2 ed. Berne: International Potash Institute, 1990. 363 p.
- PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: EDUR, 2004. 191 p.

PINCELLI, R. P. **Tolerância à deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas.** Botucatu, UNIVERSIDADE ESTADUAL “JULIO DE MESQUITA FILHO (UNESP), 2010, 65f. (Mestrado em Agronomia).

PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frequência (RLAF).** ed.3, Bilbao. 1996. 513p.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas.** São Paulo: Editora UNESP 2008. 407 p

PRADO, H. **Ambientes de produção de cana-de-açúcar.** Bebedouro, 29 nov. 2003.

PRETTY, K. M. **O potássio na qualidade dos produtos agrícolas.** In: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILLI, O.; USHERWOOD, N. R. (Eds.). Potássio na Agricultura Brasileira. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato (EUA), 1982. p. 177-194.

QUINTANA, K. A. **Irrigação e fertirrigação por gotejamento para cana-de-açúcar na presença e ausência de boro.** Jaboticabal, UNIVERSIDADE ESTADUAL “JULIO DE MESQUITA FILHO (UNESP), 2010, 70f. (Doutorado em Agronomia).

RAIJ, B. van; et al. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285 p.

RAO, C. M.; KUMAR, M. V.; REDDY, L. K. Management of sugarcane clones under limited moisture situations (drought) at formative stage. **Indian Sugar**, Indian, p. 949- 953, 2005.

RIDESA. Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro. **Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar.** Curitiba: RIDESA, 2010. 136 p.

ROSA, L.M.; DILLENBURG, L.R.; FORSETH, I.N. Responses of soybean leaf angle, photosynthesis and stomatal conductance to leaf and soil water potential. **Annals of Botany**, London, v.67, n.1, p.51-8, 1991.

ROSENFELD, U. **Período crítico de deficiência hídrica para a cana planta em cultura da cana-de-açúcar (Saccharum spp.).** 1989. 89 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

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

SANTOS, C. M. **Mecanismos fisiológicos e bioquímicos da cana-de-açúcar sob estresses induzidos por deficiência hídrica e paraquat.** 2013. 93 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

SCARPARI, M.S.; BEAUCLAIR, E.G.F. de Sugarcane maturity estimation through edaphic-climatic parameters. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.61, n.5, p.486-491, 2004.

SCARDUA, R.; ROSENFELD, U. **Irrigação da cana-de-açúcar**. In: PARANHOS, S.B. Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v.1, p.373-431.

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.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. **Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar**. In: SEGATO, S. V. et al. Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: Livroceres, p.19-36, 2006.

SHABALA, S.; POTTOSIN, I. Regulation of potassium transport in plants under hostile conditions: Implications for abiotic and biotic stress tolerance. **Physiologia Plantarum**, **151**: 257–279. 2014.

SHALHEVET, J. **Plants under salt and water stress**. In: FOWDEN, L.; MANSFIELD, T.; STODDART, J. Plant adaptation to environmental stress. London: Chapman & Hall, 1983. cap 7, p.133-54.

SILVA, M. A.; Arantes, M. T.; Rhein, A. F. L.; Gava, G. J. C.; Kolln, O. T. Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p.241-249, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662014000300001>

SILVA, M. A. et al. Relationships between physiological traits and productivity of sugarcane in response to water deficit. **The Journal of Agricultural Science, Cambridge**, n. 15, v. 1, p. 1-15, 2014.

SILVA, M. A.; SOARES, R. A. B.; LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P. Agronomic performance of sugarcane families in response to water stress. **Bragantia**, Campinas, v. 67, p. 656-661, 2008.

SMITH, M. **Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements**. Rome FAO. 45p. 1991.

SORENSEN, R.B.; WRIGHT, F.S.; BUTTS, C.L. Subsurface drip irrigation system designed for research in no crop rotation. **Applied Engineering in Agriculture**, v.17, n.2, p.171-176, 2001.

SOUSA, J. A. D. C. **Estudo do consumo de água pela cultura da cana-de-açúcar (Saccharum spp.)**. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 1976a, 82f. (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – ESALQ.

SOUSA, J. A. D. C. **Estudo da tensão da água no solo na cultura da cana-de-açúcar (Saccharum spp.)**. Limeira, Unicamp, 1976b, 163f. (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Unicamp.

SPARKS, D. L. Bioavailability of soil potassium. In: SUMMER, M. E., ed. Handbook of soil science. **Boca Raton**, CRC Press, 2000, Section D. p. D48. p. 154-162.

SZUSTER, AMIR. O país da água. Conexão Israel – **Ciência, Tecnologia, Meio Ambiente e Sociedade**, maio de 2010.

TAIZ L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, p.954, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.

TAULYA G. East African highland bananas (Musa spp. AAA-EA) ‘worry’ more about potassium deficiency than drought stress. **Field Crops Research**, v.151, p.45–55, 2013.

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.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: Métodos, Sistemas e Aplicações**. Ed. não revisada. Campinas, SP: Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP, 2011.

TORRES NETTO, A.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J.G.; BRESSAN-SMITH, R.E. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 104, n. 2, p. 199-209, 2005.

TREINTIN, Roberto. Transpiração e Temperatura Foliar da Cana-de-Açúcar Sob Diferentes Valores de Potencial Matricial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.6, p.1085-1095, nov./dez. 2011.

UCKER, F. E. LIMA, P. B. S. O. CAMARGO, M. F. PENA, D. S. CARDOSO, C. F. PÊGO, A. W. E. Elementos interferentes na qualidade da água para irrigação. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental** (e-ISSN: 2236-1170). v (10), nº 10, p. 2102-2111, JAN-ABR, 2013.

VASCONCELOS, Rodrigo Tenório. **Adubação fosfatada e potássica na implantação de Khaya senegalensis A.Juss**. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2016.

VIEIRA JUNIOR, P. A.; VIEIRA, A. C. P.; BUAINAIN, A. M.; LIMA, F.; SILVEIRA, J. M. J. Produção brasileira de cana-de-açúcar e deslocamento da fronteira agrícola no estado do Mato Grosso. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 38, n. 4, 2008.

VIEIRA, S. R., CAMARGO, A. P., ARRUDA, F. B., CIONE, J., BOVI, V. Comportamento da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento e sulcos de infiltração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.7, n.3, 1983, p.335-340.

VILLAS BÔAS, R. L.; ANTUNES, C. L., BOARETTO, A. E.; SOUSA, V. F. de; DUENHAS, L. H. **Perfil da pesquisa e emprego da fertirrigação no Brasil**. In: **FERTIRRIGAÇÃO**. Folegatti, M. V. (coord.) Guaíba, agropecuária, 2001.

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.

WIEDENFELD, B.; ENCISO, J. Sugarcane responses to irrigation and nitrogen in semiarid south Texas. **Agronomy Journal**, v.100, p.665-671, 2008.

ZANCHIM, Bruno José. **Eficiência de uso de potássio e de água em genótipos de cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestrado- Programa de Pós-Graduação em Ciências. Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2015.