

SAMUEL PETRACCONI CAIXETA

**PRODUÇÃO E VALOR NUTRITIVO DE QUATRO VARIEDADES DE CANA-  
DE-AÇÚCAR SUBMETIDAS A DIFERENTES LÂMINAS DE ÁGUA E DOSES  
DE POTÁSSIO, NA REGIÃO DO ALTO PARANAÍBA, MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2013

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e Classificação da  
Biblioteca Central da UFV**

T

C138p  
2013

Caixeta, Samuel Petraccone, 1983-  
Produção e valor nutritivo de quatro variedades de cana-de-  
açúcar submetidas a diferentes lâminas de água e doses de potássio, na  
região do Alto Paranaíba, MG / Samuel Petraccone Caixeta. - Viçosa,  
MG, 2013.  
xvii, 66f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Rubens Alves de Oliveira.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Referências bibliográficas: f.56-66.

1. Cana-de-água - Nutrição. 2. Cana-de-açúcar - Irrigação.  
3. Cana-de-açúcar - Teor de potássio. 4. Cana-de-açúcar como ração.  
5. Nutrição animal. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de  
Engenharia Agrícola. Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Agrícola. II. Título.

CDD. 22 ed. 633.61

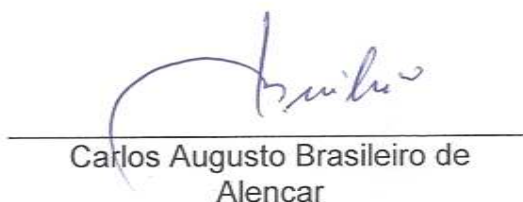
SAMUEL PETRACONE CAIXETA

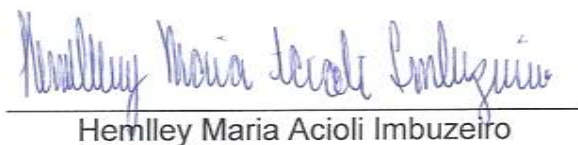
**PRODUÇÃO E VALOR NUTRITIVO DE QUATRO VARIEDADES DE CANA-  
DE-AÇÚCAR SUBMETIDAS A DIFERENTES LÂMINAS DE ÁGUA E DOSES  
DE POTÁSSIO, NA REGIÃO DO ALTO PARANAÍBA, MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

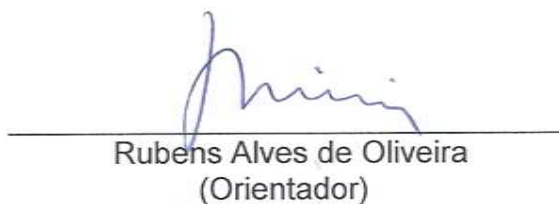
APROVADA: 15 de julho de 2013.

  
Leonardo Duarte Batista da Silva

  
Carlos Augusto Brasileiro de Alencar

  
Hemley Maria Acioli Imbuzeiro

  
Sílvio Bueno Pereira

  
Rubens Alves de Oliveira  
(Orientador)

Aos meus pais Eliazor Campos Caixeta e  
Helen Cristina do Vale Petraccone Caixeta.  
À minha avó Aurelida  
e aos meus irmãos Esther, Thiago, Rachel, Izabela, Anna e Emmanuel.

OFEREÇO

À minha esposa Fernanda Poletto Caixeta.

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo direcionamento da vida e pelas oportunidades concedidas.

Aos meus pais, pelo carinho, pela dedicação, pelos conselhos e pelo apoio nos momentos difíceis.

Aos meus irmãos, pela amizade, pela alegria e pelos bons momentos compartilhados.

Ao meu avô Carlos e à minha avó Aurelida, pelos ensinamentos e pela dedicação aos netos e familiares.

À Fernanda, pelo amor, companheirismo, dedicação à família e compreensão.

A Theodoro (Théo), por alegrar, ainda mais, nossos dias em São Gotardo e Rio Paranaíba.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do curso.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao professor Rubens Alves de Oliveira, pela orientação, pela amizade e, sobretudo, pela confiança ao longo desses anos de convívio.

Aos professores coorientadores Luis César Dias Drumond, Márcio Henrique Pereira Barbosa e Paulo Roberto Cecon, pelos ensinamentos.

Aos professores Marcos Marcondes, Leonardo Aquino, Renato Ruas, Alberto Carvalho, Marcelo Reis, Sérgio Zolnier e Vinícius Ribeiro, pela contribuição no desenvolvimento da tese.

Aos funcionários da UFV - Rio Paranaíba: Nílson Niquini, Rogério Condé, Adriano Silva, Ulisses e Alysson e aos funcionários terceirizados, Tóti, Wellington e Valdeci, pelo apoio.

Aos funcionários da UFV - Viçosa: Graça, Galinari, Rogério, Adriano e Francisco Viana.

Ao Gilmar Geraldo Vieira, gerente agrícola da Total Canaviera, pela receptividade, ensinamentos e amizade.

Ao estudante de mestrado Manuel (Colombiano), pelo apoio na realização das análises de laboratório.

Aos amigos de Rio Paranaíba e São Gotardo, Isaías, Thereza, Eduardo e Missandre, pela valiosa amizade e bons momentos compartilhados.

Aos estudantes de Iniciação Científica Gentil, Lucas, Bráulio, Rafael, Luís Otávio, Gabriel, Bárbara, Adriana, Isabela e àqueles que já graduaram, André, Maicon e Júlio, pela colaboração nos trabalhos experimentais.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

SAMUEL PETRACCONE CAIXETA, filho de Eliazor Campos Caixeta e Helen Cristina do Vale Petraccone Caixeta, nasceu em Belo Horizonte, MG, em 14 de setembro de 1983.

Em março de 2007, formou-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG. Concluiu o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola na UFRV, em nível de mestrado, em fevereiro de 2009. No mesmo ano, ingressou no nível de Doutorado, no mesmo Programa, na área de concentração em Recursos Hídricos e Ambientais, submetendo-se à defesa da tese em julho de 2013.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	x
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	xi
LISTA DE SÍMBOLOS .....	xiii
RESUMO .....	xiv
ABSTRACT .....	xvi
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1. Cultura da cana-de-açúcar .....	3
2.2. Propagação (brotação das gemas) .....	5
2.3. Perfilhamento .....	5
2.4. Variedades de cana-de-açúcar .....	7
2.4.1. Características das variedades de cana-de-açúcar estudadas .....	8
2.5. Ciclo e época de plantio .....	9
2.6. Maturação .....	10
2.7. Adubação da cana-de-açúcar .....	12
2.8. Necessidade hídrica da cana-de-açúcar e manejo da irrigação .....	13
2.9. Déficit hídrico na cana-de-açúcar .....	15
2.10. Cana-de-açúcar e alimentação animal .....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	18
3.1. Área experimental .....	18
3.2. Clima .....	18
3.3. Solo .....	20
3.4. Instalação da cultura .....	22
3.5. Experimento 1 .....	23
3.5.1. Delineamento experimental e análise estatística .....	23
3.5.2. Sistema e manejo da irrigação .....	24
3.6. Experimento 2 .....	28
3.6.1. Delineamento experimental .....	28
3.6.2. Sistema e manejo da irrigação .....	30
3.7. Características avaliadas .....	31
3.8. Análises bromatológicas e cálculos .....	32
3.9. Ajuste de médias de produtividade .....	33

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	35
4.1. Experimento 1 .....	35
4.1.1. Características biométricas .....	35
4.1.2. Características bromatológicas .....	40
4.2. Experimento 2 .....	43
5. CONCLUSÕES .....	55
REFERÊNCIAS.....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características químicas do solo da área experimental .....	20
Tabela 2 - Características físico-hídricas do solo da área experimental.....	21
Tabela 3 - Lâminas médias (LM) e precipitação média, recebidas pelos diferentes tratamentos.....	30
Tabela 4 - Resumo da análise de variância para doses de K <sub>2</sub> O e variedades .....	35
Tabela 5 - Valores médios de altura de plantas (ap) e diâmetro de colmo (dc), em cm; número de colmos/m linear (nc); brix (br) em %; e produtividade (pd), em t ha <sup>-1</sup> .....	38
Tabela 6 - Resumo da análise de variância para variedades dos dados de matéria seca (MS), cinzas (CZ), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN), proteína insolúvel em detergente neutro (PDIN), cinza insolúvel em detergente neutro (CIDN), fdn corrigido para cinzas e proteína (FDN <sub>CP</sub> ), fibra em detergente ácido (FDA), proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA), lignina (LIG), carboidratos não fibrosos (CNF), fdn digestível (FDN <sub>D</sub> ), proteína bruta digestível (PBD) e nutrientes digestivos totais (NDT).....	41
Tabela 7 - Valores médios de cinzas (CZ), proteína bruta (PB), cinza insolúvel em detergente neutro (CIDN), fibra em detergente ácido (FDA), proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA) e nutrientes digestivos totais (NDT), em %, para as quatro variedades estudadas.....	41
Tabela 8 - Resumo da análise de variância para lâminas de irrigação e variedades.....	44
Tabela 9 - Valores médios de número de colmos (nc) e brix (br), em %, para as variedades estudadas.....	44
Tabela 10 - Resumo da análise de variância para lâminas de irrigação e variedades para a variável produtividade.....	45
Tabela 11 - Análise de variância do desdobramento variedade dentro de lâmina para altura de planta, diâmetro de colmo e produtividade.....	45
Tabela 12 - Análise de variância do desdobramento lâmina dentro de variedade para altura de planta, diâmetro de colmo e produtividade.....	46
Tabela 13 - Valores médios de altura de plantas (ap) e diâmetro de colmo (dc), em cm; e produtividade (pd), em t ha <sup>-1</sup> .....	47
Tabela 14 - Resumo da análise de variância para lâminas de irrigação e variedades para matéria seca (MS), cinzas (CZ), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN), proteína insolúvel em detergente neutro (PDIN), cinza insolúvel em detergente neutro (CIDN), fdn corrigido para cinzas e proteína (FDN <sub>CP</sub> ), fibra em detergente ácido (FDA), proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA), lignina (LIG), carboidratos não fibrosos (CNF), fdn digestível (FDN <sub>D</sub> ), proteína bruta digestível (PBD) e nutrientes digestivos totais (NDT) .....	53

Tabela 15 - Valores médios de proteína bruta (PB) e fibra em detergente ácido (FDA), em %, para as variedades estudadas .....	53
---	----

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estádios fenológicos da cana-de-açúcar. ....	4
Figura 2 - Tolete de cana-de-açúcar em fase de perfilhamento e formação do sistema radicular. ....	6
Figura 3 - Valores diários das temperaturas máxima e mínima do ar (°C) durante o período experimental. ....	19
Figura 4 - Valores diários da umidade relativa média do ar (%) durante o período experimental.....	19
Figura 5 - Valores diários da precipitação pluvial durante o período experimental.....	20
Figura 6 - Curvas de retenção de água no solo para as camadas de 0 a 20 cm, 20 a 40 cm e 40 a 60 cm de profundidade. ....	22
Figura 7 - Esquema do experimento 1. ....	24
Figura 8 - Vista parcial do experimento, mostrando a cana-de-açúcar quatro meses após o corte. ....	25
Figura 9 - Vista parcial do experimento, mostrando a cana-de-açúcar 10 meses após o corte e o aspersor instalado a 3,8 m de altura. ....	26
Figura 10 - Teores de água no solo e lâminas de irrigação aplicadas durante o período experimental.....	28
Figura 11 - Esquema do experimento 2. ....	29
Figura 12 - Avaliação do peso das plantas colhidas por metro linear de sulco de plantio. ....	32
Figura 13 - Regressão da produtividade da cana-de-açúcar em função das lâminas de irrigação. ....	49
Figura 14 - Regressão da altura de planta em função das lâminas de irrigação. ....	50
Figura 15 - Regressão do brix em função das lâminas de irrigação aplicadas ao solo...	51

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ap	altura de plantas
br	brix
Ca	cálcio
CIDN	cinzas insolúveis em detergente neutro
CNF	carboidratos não fibrosos
CO <sub>2</sub>	gás carbônico
CTC	Centro de Tecnologia Canavieira
CUC	coeficientes de uniformidade de Christiansen
CUD	coeficientes de uniformidade de distribuição
CZ	cinzas
dc	diâmetro de colmo
Ea	eficiência de aplicação
EE	extrato etéreo
ET <sub>c</sub>	evapotranspiração da cultura
FDA	fibra em detergente ácido
FDN	fibra em detergente neutro
FDN <sub>CP</sub>	FDN corrigido para cinzas e proteína
FDN <sub>D</sub>	FDN digestível
K	potássio
K <sub>2</sub> O	óxido de potássio
K <sub>c</sub>	coeficiente de cultura
LIG	lignina
Mg	magnésio
MS	matéria seca
N	nitrogênio
nc	número de colmos
NDT	nutrientes digestivos totais
°Brix	teor de sólidos solúveis
°C	grau Celsius
P	fósforo
PB	proteína bruta
PBD	proteína bruta digestível

pd	produtividade
PDIN	proteína insolúvel em detergente neutro
PIDA	proteína insolúvel em detergente ácido
PVC	cloreto de polivinila
R <sup>2</sup>	coeficiente de determinação
RB	República do Brasil
S	enxofre

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	percentagem
$e^{\circ}(T_{hr})$	pressão de saturação de vapor à temperatura $T_{hr}$ , kPa
$e_a$	pressão atual de vapor média horária, kPa
$ET_0$	evapotranspiração de referência, mm d <sup>-1</sup>
$ET_0$	evapotranspiração de referência, mm h <sup>-1</sup>
$ET_c$	evapotranspiração da cultura, mm d <sup>-1</sup>
G	densidade do fluxo de calor no solo, MJ m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>
Rn	saldo de radiação à superfície, MJ m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>
$T_{hr}$	temperatura média horária do ar, °C
$u_2$	velocidade média horária do vento, m s <sup>-1</sup>
$\gamma$	constante psicrométrica, kPa °C <sup>-1</sup>
$\Delta$	declividade da curva de pressão de vapor à temperatura $T_{hr}$ , kPa °C <sup>-1</sup>

## RESUMO

CAIXETA, Samuel Petraccone, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2013. **Produção e valor nutritivo de quatro variedades de cana-de-açúcar submetidas a diferentes lâminas de água e doses de potássio, na região do Alto Paranaíba, MG.** Orientador: Rubens Alves de Oliveira. Coorientadores: Márcio Henrique Pereira Barbosa, Luís César Dias Drumond e Paulo Roberto Cecon.

Este estudo foi desenvolvido para avaliar os efeitos de diferentes lâminas de irrigação e doses de potássio sobre as características quantitativas e qualitativas de quatro variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.): RB928064, RB855536, RB867515 e RB835054, visando à alimentação animal. O estudo foi conduzido na área experimental da Universidade Federal de Viçosa - Campus de Rio Paranaíba, localizado no Município de Rio Paranaíba, MG, e foi dividido em dois experimentos. O experimento 1 foi montado no esquema fatorial 4 x 4, no delineamento em blocos casualizados com três repetições, tendo nas parcelas as diferentes doses de K<sub>2</sub>O. Este foi desenvolvido com as quatro variedades, realizando-se uma análise de variância conjunta e o desdobramento da interação significativa. As doses de potássio estudadas foram D<sub>1</sub> = 100, D<sub>2</sub> = 200, D<sub>3</sub> = 300 e D<sub>4</sub> = 400 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. O experimento 2 foi montado no delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos e três repetições e repetido para as quatro variedades em estudo. Os tratamentos consistiram de diferentes lâminas de água aplicadas proporcionalmente à evapotranspiração da cultura (L<sub>0</sub> = 0% ET<sub>c</sub>, L<sub>1</sub> = 50% ET<sub>c</sub>, L<sub>2</sub> = 75% ET<sub>c</sub>, L<sub>3</sub> = 100% ET<sub>c</sub> e L<sub>4</sub> = 125% ET<sub>c</sub>). Objetivando observar os efeitos dos tratamentos nos parâmetros biométricos da cana-de-açúcar, foram analisadas as características de produção, a saber: altura de plantas (ap), diâmetro de colmo (dc), número de colmos (nc), brix (br) e produtividade (pd). Os efeitos dos tratamentos nos parâmetros bromatológicos foram analisados para as seguintes características: matéria seca (MS), cinzas (CZ), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN), proteína insolúvel em detergente neutro (PDIN), cinza insolúvel em detergente neutro (CIDN), FDN corrigido para cinzas e proteína (FDN<sub>CP</sub>), fibra em detergente ácido (FDA), proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA), lignina (LIG), carboidratos não fibrosos (CNF), FDN digestível (FDN<sub>D</sub>), proteína bruta digestível (PBD) e nutrientes digestivos totais (NDT). Os resultados obtidos no experimento 1 permitiram verificar que, em termos gerais, não houve

diferenças significativas do uso das doses de adubo sobre nenhum dos componentes de produção, bem como sobre as variáveis bromatológicas da cana-de-açúcar, e, ainda, houve diferenças significativas para variedades de cana-de-açúcar para todos os componentes de produção e, também, para as variáveis bromatológicas CZ, PB, CIDN, FDA, PIDA e NDT. A altura de planta variou entre 287,58 e 338,42 cm, para as variedades RB928064 e RB867515, respectivamente. A variedade RB855536 apresentou maior número de colmos/m linear (15,41). A maior produtividade foi apresentada pela RB867515 (233,38 t ha<sup>-1</sup>). No experimento 2, houve interação entre variedades e lâminas de irrigação para as variáveis altura de planta, diâmetro de colmo e produtividade e não houve interação entre os fatores lâmina de irrigação e variedade para as características bromatológicas. Houve efeito apenas de variedade nas características proteína bruta e fibra em detergente ácido. Os maiores números de colmos foram apresentados pelas variedades RB855536 e RB835054, com 15,53 e 15,33 colmos/m linear, respectivamente. O maior diâmetro de colmos foi apresentado pela variedade RB867515 (3,41 cm). A variedade RB855536 apresentou o maior teor de proteína bruta (3,06%), bem como o maior teor de FDA (38,72%). A variedade RB867515 apresentou a maior produtividade para todas as lâminas de irrigação avaliadas, exceto para a lâmina de sequeiro e 50% ET<sub>c</sub>, em que apresentou a produtividade média estatisticamente igual a outras variedades. As variedades estudadas nos dois experimentos apresentaram diversidade quanto a características agrônomicas e bromatológicas, evidenciando possibilidade de seleção para nutrição animal.

## ABSTRACT

CAIXETA, Samuel Petraccone, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2013. **Production and nutritive value of four sugarcane varieties under different water slides and potassium levels in the region of Alto Paranaíba, MG.** Adviser: Rubens Alves de Oliveira. Co-advisers: Márcio Henrique Pereira Barbosa, Luís César Dias Drumond and Paulo Roberto Cecon.

This study was developed to evaluate the effects of different irrigation and potassium doses on the quantitative and qualitative characteristics of four varieties of sugarcane (*Saccharum* spp.): RB928064, RB855536, RB867515 and RB835054, aiming to animal feeding. The study was conducted at the Universidade Federal de Viçosa - Campus Rio Paranaíba, located in Rio Paranaíba city, MG, and was divided into two experiments. The experiment 1 was mounted in a randomized block design with three replications in a factorial 4 x 4, and in the plots there was different K<sub>2</sub>O doses. This was developed with four varieties, performing an analysis of joint variance and the unfolding of significant interaction. The levels of potassium studied were D<sub>1</sub> = 100, D<sub>2</sub> = 200, D<sub>3</sub> = 300 and D<sub>4</sub> = 400 kg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O. Experiment 2 was assembled in a completely randomized design with five treatments and three replications and repeated to the four varieties under study. (L<sub>0</sub> = 0% ET<sub>c</sub>, L<sub>1</sub> = 50% ET<sub>c</sub>, L<sub>2</sub> = 75% ET<sub>c</sub>, L<sub>3</sub> = 100% ET<sub>c</sub> and L<sub>4</sub> = 125% ET<sub>c</sub>). The following production characteristics were analyzed in order to observe the effects of treatments on biometric parameters of sugarcane: plant height (ap), stem diameter (dc), number of stems (nc), brix (br) and productivity (pd). The effects of treatments on bromatological parameters were analyzed for the following characteristics: dry matter (MS), ash (CZ), crude protein (CP), ether extract (EE), neutral detergent fiber (FDN), neutral detergent insoluble protein (PDIN), ash insoluble in neutral detergent (CIDN), FDN corrected for ash and protein (FDN<sub>CP</sub>), acid detergent fiber (FDA), acid detergent insoluble protein (PIDA), lignin (LIG), non-fiber carbohydrates (CNF), digestible FDN (FDN<sub>D</sub>), digestible crude protein (PBD) and total digestive nutrients (NDT). The results obtained in Experiment 1 allowed to verify that, in general, no significant differences in the use of fertilizer levels on any of the components of production, as well as the bromatological variables of sugarcane, and yet, there were significant differences on varieties of sugarcane for all components of production and also for bromatological variables CZ, PB, CIDN, FDA, PIDA e NDT.

The plant height ranged between 287.58 and 338.42 cm for varieties RB928064 and RB867515 respectively. The variety RB855536 showed a greater number of stems/m linear (15,41). The highest productivity was presented by RB867515 (233.38 t ha<sup>-1</sup>). In experiment 2, there was interaction between varieties and irrigation for plant height, stem diameter and productivity and there was no interaction between the factors irrigation and variety to the bromatological characteristics. There was only variety effect on the characteristics crude protein and acid detergent fiber. The largest numbers of stems were presented by varieties RB855536 and RB835054, with 15.53 and 15.33 stems/m linear, respectively. The higher stems diameter was presented by the variety RB867515 (3.41 cm). The variety RB855536 had the highest crude protein content (3.06%) and the highest FDA content (38.72%). The variety RB867515 showed greater productivity for all irrigation levels evaluated, except for the rainfed slide and 50% ET<sub>c</sub>, where showed the average productivity statistically equal to other varieties. The varieties studied in both experiments have presented diversity of agronomic and bromatological characteristics, indicating the possibility of selection for animal nutrition.

## 1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar foi trazida pelos portugueses da Ilha da Madeira em 1502 e adaptou-se bem às condições de solo e clima de algumas regiões do Brasil. Desde então, tem sido fonte de riquezas para o país.

A cana-de-açúcar é utilizada para diversas finalidades, sendo a produção de açúcar e álcool a predominante na economia nacional, gerando empregos e renda na área rural. No Brasil, a cultura é explorada em aproximadamente 10 milhões de hectares, sendo o país o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com cerca de 729 milhões de toneladas/ano (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2011).

O Estado de São Paulo é o maior produtor, com aproximadamente 59% da produção brasileira. No Estado de Minas Gerais, aproximadamente 879 mil hectares são ocupados com a cultura, sendo a maior parte destinada à produção de açúcar e álcool.

Os principais derivados da planta são o açúcar e o álcool hidratado e anidro, mas a cana-de-açúcar é também muito utilizada como alternativa na alimentação de bovinos de leite e na produção de cachaça, açúcar mascavo, rapadura, melado e caldo.

A utilização da cana-de-açúcar como alternativa na alimentação animal só não tem sido maior porque não é um alimento completo, tornando-se necessária a sua suplementação, e ainda, porque é pouco estudada para tal finalidade, principalmente quanto à definição de variedades com características mais adequadas à produção de forragem e ao seu manejo (DRUMOND; AGUIAR, 2005).

A cana-de-açúcar tem atraído cada vez mais a atenção dos pecuaristas, sendo usada preferencialmente como fonte de volumoso, em razão de apresentar baixo custo por unidade de massa produzida, grandes produções em condições tropicais, facilidade de cultivo, colheita na época seca do ano, persistência da cultura e possibilidade de conservação no campo. Em várias regiões do País, as pastagens têm seu crescimento diminuído no outono e no inverno, resultando em escassez de alimento para o gado. E a cana-de-açúcar tem sido alternativa de baixo custo como suplemento alimentar dos bovinos nessas estações do ano.

A disponibilidade de água é considerada o principal fator climático causador da variabilidade anual da produtividade da cana-de-açúcar, uma vez que a mesma desempenha um papel fundamental na vida da planta, participando de uma série de reações químicas, inclusive da fotossíntese, e permitindo a difusão e o fluxo de massa

dos sais, açúcares e outros solutos que se movimentam entre as células e órgãos. Influencia, ainda, a abertura e fechamento dos estômatos, além de um bom aproveitamento dos nutrientes existentes no perfil do solo.

A eficiência da adubação está relacionada com a boa disponibilidade de água no solo, uma vez que não existindo água no solo, a dissolução dos fertilizantes será prejudicada e os nutrientes não ficarão disponíveis às plantas.

Tendo em vista o exposto, objetivou-se neste trabalho: (a) determinar a dose de potássio que otimize a produção e a qualidade de quatro variedades de cana-de-açúcar; (b) avaliar a influência da irrigação e adubação no valor nutritivo das variedades de cana-de-açúcar; e (c) determinar a lâmina média de irrigação para maximizar a produtividade das variedades de cana-de-açúcar.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma planta perene, pertencente à família Poaceae. Porém, apresenta comportamento semi-perene, devido ao sistema de cultivo ao qual a cultura é submetida. De acordo com Gupta et al. (2010), as cultivares produzidas atualmente são híbridas resultantes dos cruzamentos de várias espécies do gênero *Saccharum*, sendo elas a *S. officinarum*, *S. spontaneum*, *S. sinense*, *S. barberi*, *S. robustum* e *S. edule*.

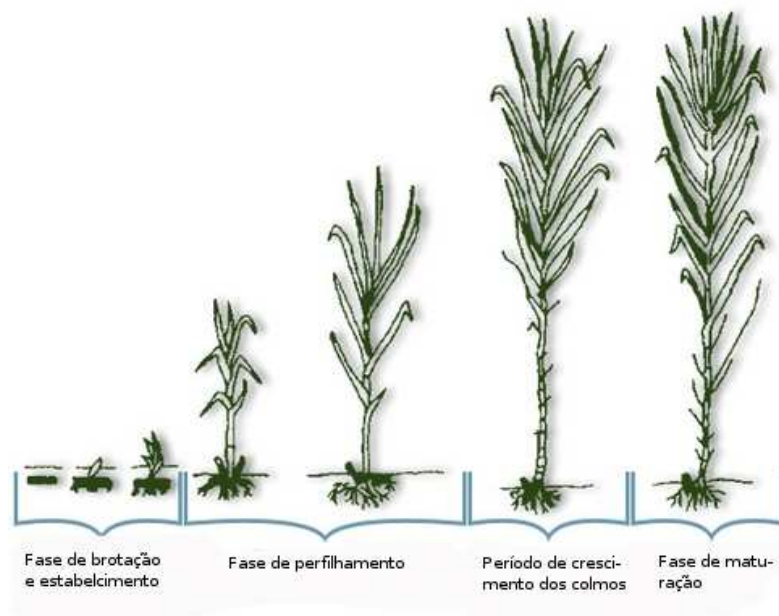
Por ser uma espécie de metabolismo C4, a cana está entre as espécies de maior eficiência fotossintética, sendo que quanto maior for a intensidade luminosa, maior será a fotossíntese e o crescimento, até os limites da cultura (BARBIERI et al., 1979).

De acordo com Doorenbos e Kassam (1979) e Tavares (2008), essa cultura adapta-se a diversas condições de clima e solo, exigindo de 1.500 a 2.500 mm de precipitação pluvial por ciclo vegetativo.

O desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar é dependente de fatores climáticos, sendo que as variações na disponibilidade térmica, pluviosidade e intensidade luminosa exercem grande influência sobre a fenologia da cultura, o que terá efeito sobre a produtividade (LIU et al., 1998; SMIT; SINGELS, 2006; UEHARA et al., 2009). Além desses fatores, o manejo da cultura, as características da variedade e do solo também exercem importante influência na produtividade e maturação (CESAR et al., 1987).

A análise de crescimento da cana-de-açúcar tem permitido identificar as fases de desenvolvimento da cultura nos diferentes ambientes de cultivo, proporcionando sua condução, de forma que o máximo desenvolvimento coincida com os períodos de maior disponibilidade hídrica e radiação solar, o que leva a cultura a expressar todo o seu potencial genético, além de permitir manejar diferentes formas de adubação e tratos culturais.

De acordo com Gascho e Shih (1983), a cana-de-açúcar apresenta quatro diferentes estádios de desenvolvimento em sua fenologia, os quais são apresentados na Figura 01, conhecidos por: brotação e emergência dos brotos (colmos primários); perfilhamento e estabelecimento da cultura (da emergência dos brotos até o final do perfilhamento); período do grande crescimento (do perfilhamento final ao início da acumulação da sacarose), e maturação (intensa acumulação de sacarose nos colmos).



Fonte: Gascho e Shih (1983).

Figura 1 - Estádios fenológicos da cana-de-açúcar.

Segundo Oliveira et al. (2007), o crescimento da parte aérea da cana-de-açúcar pode ser dividido em três etapas: fase inicial, em que o crescimento é lento; fase de crescimento rápido, com surgimento e alongamento de entrenós, em que se acumulam cerca de 75% da matéria seca total, e fase final, em que novamente há crescimento lento.

O acompanhamento do crescimento vegetativo da cana-de-açúcar é importante para estimar a produtividade agrícola.

Nos trópicos, a produtividade da cana-de-açúcar é cerca de 70 a 120 t ha<sup>-1</sup>, o que pode ser considerado bom rendimento no cultivo de sequeiro. Na maioria das regiões brasileiras, porém a produtividade da cana sob cultivo de sequeiro está bem abaixo desses valores, e no cultivo irrigado é comum não ultrapassar 120 t ha<sup>-1</sup>. Segundo Veiga et al. (2006), a produtividade dessa cultura no Brasil, no período de 1970 a 2004, aumentou de forma significativa, variando de 46,23 t ha<sup>-1</sup> na safra 1970/71 a 73,88 t ha<sup>-1</sup> na safra 2004/05.

Doorenbos e Kassam (1994) relatam que os rendimentos da cana-de-açúcar produzida em condições de sequeiro nos trópicos úmidos, variam entre 70 a 100 t ha<sup>-1</sup> e,

nos trópicos e subtropicais secos, com irrigação, rendimentos entre 100 e 150 t ha<sup>-1</sup>, que podem ser considerados satisfatórios.

## **2.2. Propagação (brotação das gemas)**

O plantio comercial de cana-de-açúcar é realizado através de pedaços de colmos, denominados de tolete ou rebolo, os quais contêm uma ou mais gemas, sendo que a nova planta será formada através da brotação das mesmas (SILVA; COSTA, 2004). Segundo Silva et al. (2010), a brotação das gemas é afetada tanto por fatores intrínsecos como extrínsecos.

Silva e Costa (2004) citam que, entre os fatores intrínsecos que podem afetar a brotação das gemas, podem-se considerar os fatores genéticos, a idade da muda, umidade do tolete, posição da gema e a concentração de nutrientes e açúcares reservados nos toletes.

Considerando os fatores extrínsecos, a brotação dos toletes pode ser prejudicada pela falta ou pelo excesso de umidade no solo (CASAGRANDE, 1991). Além da umidade do solo, a temperatura ambiente também afeta a brotação das gemas, sendo que a temperatura ótima é de 32 a 38°C, e a brotação é paralisada quando a temperatura é inferior a 20°C (BARBIERI, 1981).

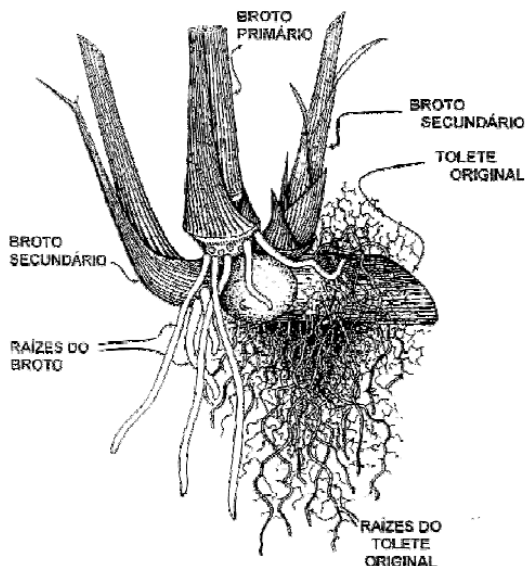
Por outro lado, Liu et al. (1998) citam como temperatura base 11,6°C e temperatura ótima entre 28 e 30°C.

Conforme Plana et al. (1987), a brotação das gemas na cana-de-açúcar requer grande atenção nesta cultura, pois dela dependerá a futura população de plantas no campo.

## **2.3. Perfilhamento**

Segundo Bezuidenhout et al. (2003), perfilhamento é o processo de emissão de colmos, originários da base da planta ou da região axilar da folha basal por uma mesma planta. Esses colmos formados são denominados perfilhos. Câmara (1993) cita que é o perfilhamento que permitirá o estabelecimento do canavial no campo e fornecerá, às touceiras, o número de colmos adequados à sua produção.

Após a emissão do perfilho primário (Figura 2), inicia-se o crescimento e o desenvolvimento das raízes dos perfilhos, as quais possuem a função de absorver água e nutrientes do solo, deixando de depender das reservas do tolete (SILVA et al., 2010).



Fonte: Dillewijn (1952, citado por SILVA et al., 2010).

Figura 2 - Tolete de cana-de-açúcar em fase de perfilhamento e formação do sistema radicular.

Segundo Bezuidenhout et al. (2003), durante o período de perfilhamento da cana-de-açúcar, existe a necessidade de grande quantidade de água para que ocorra o seu pleno desenvolvimento vegetativo. Os autores ainda citam que o estresse hídrico pode causar redução na emissão de novos perfilhos, pois a deficiência hídrica cessa a divisão celular, impedindo a diferenciação e o crescimento dos tecidos que darão origem às novas estruturas dos perfilhos.

Levando-se em conta que algumas variedades chegam a produzir 20 ou mais perfilhos por touceira, a competição entre perfilhos por luz, espaço, água e nutrientes torna-se elevada, o que leva à redução do perfilhamento e à morte dos perfilhos mais jovens (CASTRO; CHRISTOFOLETTI, 2005).

De acordo com Castro (2000) e Oliveira et al. (2004), o perfilhamento na cana-de-açúcar é crescente até o sexto mês após o plantio e, a partir deste período, se inicia uma redução no número de perfilhos, decorrente da competição intraespecífica.

Segundo Rocha (1984), o perfilhamento é influenciado pelas condições do solo, de cultivo e do clima, devendo-se destacar os efeitos da radiação solar e da temperatura, que sofrem variações durante as estações do ano.

Segundo Bonnett et al. (2006), com a temperatura do ar até 30°C há aumento considerável de perfilhamento e crescimento em altura, favorecendo maior propagação vegetativa da cana-de-açúcar.

#### **2.4. Variedades de cana-de-açúcar**

Com o intuito de nomear e facilitar a escolha do genótipo a ser cultivado, as variedades são identificadas por siglas e números. As variedades que possuem a sigla RB (República do Brasil) são produzidas pela Rede Interinstitucional de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA), formada por universidades federais, que foi criada com a finalidade de incorporar as atividades do extinto Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-Açúcar (PLANALSUCAR) e dar continuidade ao desenvolvimento de pesquisas, visando à melhoria da produtividade do setor, assim também como o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), que continua o trabalho da Copersucar, detentora das variedades com a sigla SP. Existem ainda outras variedades desenvolvidas por empresas e instituições diversas, que são identificadas por suas respectivas siglas.

A escolha varietal é fundamental para o sucesso da lavoura e deve ser plantada uma ou mais variedades de cana-de-açúcar adaptadas às condições locais. Deve-se considerar a fertilidade do solo, o clima da região, e características desejáveis da cana, tais como alta produtividade, alto teor de açúcar, baixo teor de fibra em detergente neutro (FDN), boa rebrota e resistência a pragas e doenças.

As atuais variedades de cana são formadas, na maioria, por híbridos interespecíficos, aos quais foram incorporadas características de tolerância a doenças e à seca (GONÇALVES, 2008).

Segundo Silveira et al. (2002), em algumas regiões mineiras, como Norte de Minas, Vale do Jequitinhonha, Vale do Mucuri e Central, onde há maior número de alambiques e, também, maior demanda para alimentação dos animais na época seca, predominam as variedades antigas de cana. Essas variedades apresentam uma série de desvantagens sob o aspecto produtivo em relação às variedades modernas, tais como

maturação tardia, teor baixo de sólidos solúveis totais, alto teor de fibra, suscetibilidade a doenças, florescimento e chochamento (isoporização).

Estudos realizados por Resende Sobrinho (2000) mostram que a escolha mais adequada de variedades de cana-de-açúcar, pode resultar em crescimento de 23% na produção de cana e 77% no teor de sacarose.

Segundo Câmara (1993), o processo produtivo canavieiro visa três objetivos básicos:

- (a) alta produtividade da fitomassa com elevado rendimento agrícola de colmos, em cujas células parenquimatosas é armazenada a sacarose;
- (b) alta qualidade com colmos ricos em açúcar, caracterizando matéria-prima de qualidade e;
- (c) alta longevidade do canavial com aumento do número de cortes, refletindo-se num prazo maior de tempo entre as reformas do canavial, resultando em melhor economicidade do empreendimento.

A escolha da variedade da cana-de-açúcar é a etapa mais importante e de menor custo para o produtor, sendo a base que sustenta o alcance dos objetivos listados anteriormente. A escolha da variedade assume papel decisivo na produtividade da cultura e, conseqüentemente, possibilita produzir cana-de-açúcar de qualidade e com menor custo (SILVEIRA et al., 2002).

#### **2.4.1. Características das variedades de cana-de-açúcar estudadas**

A seguir encontram-se listadas algumas características qualitativas agrônômicas e morfológicas das variedades estudadas.

**RB 928064:** Fechamento de entrelinhas bom, velocidade de crescimento regular, porte médio, hábito de crescimento ereto, boa despalha. Destaques: uniformidade de colmos (diâmetro e altura), perfil ideal para colheita mecanizada, ótima brotação de soca e excelente vigor. Ausência de florescimento.

**RB 855536:** Touceiramento bom e colmos eretos, empalhados, com bainhas semi-abertas, de fácil despalha, de diâmetro médio e de cor verde arroxeada. Destaques: alta produtividade agrícola e ótima brotação de soqueira, mesmo sob palha; porte ereto e ausência de florescimento.

**RB 867515:** Alta velocidade de crescimento, porte alto, hábito de crescimento ereto, alta densidade de colmo, de cor verde arroxeado que se acentua quando expostos

e fácil despalha. Destaques: tolerante à seca e boa brotação de soqueira; alto teor de sacarose, crescimento rápido com alta produtividade.

**RB 835054:** Touceiramento médio, com colmos eretos, pouco empalhados, de fácil despalha, de diâmetro médio, e de cor verde clara, com mancha de cera escurecida quando exposta ao sol. Destaques: boas respostas como cana-de-ano; alta produtividade agrícola. Difícil florescimento.

## 2.5. Ciclo e época de plantio

O plantio é feito em duas épocas preferenciais, dando origem à cana-planta de ano (12 meses) ou à cana-planta de ano e meio (18 meses). Após o primeiro corte, os estágios de corte seguintes são denominados de cana-soca, onde a cada corte ocorre a brotação da soqueira e o início de um novo estágio de corte. Com o aumento do número de estágios de corte ocorre uma perda gradativa na produtividade agrícola (CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA - CTC, 2008). Os estágios de corte de cana-soca se repetem em intervalos anuais até que a lavoura não seja mais rentável economicamente, quando a cultura passa pelo manejo denominado de reforma e o ciclo reinicia com o plantio de uma nova muda (SEGATO et al., 2006).

A cana-de-açúcar possui ciclo que dura em torno de quatro a cinco estágios de corte (SALOMÉ et al., 2007). De acordo com Segato et al. (2006), o ciclo inicia com o plantio da muda, que brota, perfilha, matura e recebe o primeiro corte (cana-planta).

Segundo Doorenbos e Kassam (1994), após o corte da cana-planta, há a brotação de duas a quatro culturas de rebrota (de primeira a quarta soca), podendo em alguns casos ultrapassar oito ciclos.

Humbret (1968) cita que o ciclo de desenvolvimento da cana-de-açúcar varia desde 10 meses na Louisiana, até dois anos no Havaí, Peru e África do Sul. Nos demais países produtores é de 14 a 18 meses para cana planta e 12 meses para soca. Segundo ele, em cada ciclo, durante seu desenvolvimento, a cultura é submetida a diferentes condições ambientais (clima e solo), sendo estas condições influentes sobre o rendimento agrícola, além de fatores como o manejo empregado em relação à época de plantio, à variedade, ao tipo de muda, à época de corte e ao estágio de desenvolvimento da cultura.

A variedade de cana RB 867515 é uma das mais plantadas no Brasil, e possui um ciclo médio de 10 a 12 meses, sendo dois meses de maturação e um mês de

germinação. De acordo com Barbosa e Silveira (2010), esta é uma das variedades mais relevantes para a produção, tanto para açúcar e álcool quanto para forragem.

O plantio da cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil é realizado em duas épocas, conforme Barbieri e Villa Nova (1977), sendo plantio de cana de ano e plantio de cana de ano e meio. A cana de ano ocorre com o plantio feito em outubro e permite a colheita da cana com aproximadamente 12 meses (setembro-outubro do ano seguinte). A cana de ano e meio permite a colheita com 18 meses (setembro-outubro do ano seguinte), ocorrendo o plantio de fevereiro a abril.

Segato e Pereira (2006) mencionam que se o plantio de setembro-outubro for feito em período de calor e de precipitação regular, a cana encontra boas condições de desenvolvimento, durante a fase vegetativa, que dura por sete meses. Posteriormente, com a diminuição da temperatura e da precipitação pluvial, a cana entra em fase de maturação, sendo, então, colhida.

Se o plantio da cana for feito entre janeiro e março, o calor e a chuva garantem bom desenvolvimento inicial e, em seguida, a planta passa por repouso. A partir de setembro e outubro, com o início das precipitações e o aumento da temperatura, a planta tem seu desenvolvimento vegetativo intensificado e, com nova redução da temperatura e da precipitação, ela entra em fase de maturação, quando, ao final, é colhida (FRAZÃO, 1976).

## **2.6. Maturação**

A cana-de-açúcar destaca-se entre as espécies vegetais pela sua alta eficiência fotossintética e elevado armazenamento de sacarose. Segundo Mutton (2008), o processo de maturação da cana-de-açúcar envolve um sistema metabólico complexo que se inicia com a fotossíntese e define-se através do balanço entre os teores de fotoassimilados produzidos (fonte) e consumidos nos drenos metabólicos (respiração/crescimento).

Segundo Rodrigues (1995) e Inman-Bamber et al. (2009), o colmo é o órgão de armazenamento dos fotoassimilados (sacarose). Waldron et al. (1967) afirmam que os parâmetros ambientais que afetam de maneira mais marcante a bioconversão de energia na cana-de-açúcar são a luz (intensidade e qualidade), concentração de CO<sub>2</sub>, disponibilidade de água e nutrientes e temperatura.

Os carboidratos são o produto da fotossíntese, os quais são usados inicialmente no desenvolvimento das folhas e raízes, e em seguida são cada vez mais divididos entre matéria seca estrutural e acúmulo na forma de açúcares no colmo. Então, quanto maior a saturação luminosa, maior será a quantidade de fotossíntese realizada, aumentando a taxa de sacarose acumulada durante a maturação dos colmos (MOORE, 2005; McCORMICK et al., 2008).

De acordo com Humbret (1968), a cana-de-açúcar precisa ter completado seu ciclo de maturação para que tenha um bom rendimento em açúcar. Para que isso seja possível, a planta precisa de condições ambientais que induzam uma redução do crescimento das plantas, sendo que os agentes mais efetivos são as baixas temperaturas e a seca moderada. A temperatura é um dos fatores mais efetivos para o acúmulo de sacarose na cultura, sendo que o tempo frio retarda o desenvolvimento e aumenta o teor de sacarose. Por outro lado, com o aumento da temperatura, o crescimento recomeça, consumindo parte da sacarose armazenada.

Segundo Scarpari (2002), a maturação da cana é garantida principalmente pelo estresse vegetativo provocado por déficits hídricos e pela queda de temperatura.

Yamori et al. (2005) citam que a temperatura é, talvez, o fator mais efetivo para explicar o acúmulo de sacarose na cana-de-açúcar.

Doorenbos e Kassam (1994) relatam que o teor de açúcar parece diminuir ligeiramente com o aumento do rendimento de colmos da cultura e, para isto, deve-se evitar o crescimento exuberante durante a maturação da cana, o que pode ser obtido com temperaturas baixas, dose reduzida de nitrogênio e suprimento limitado de água.

A disponibilidade hídrica do solo está intimamente ligada à alongação celular e ao crescimento da cultura da cana-de-açúcar, sendo que quanto maiores os níveis de umidade do solo, maior é o crescimento da cultura. Por outro lado, quanto maior o período de estiagem, maior será a formação de nós e entrenós muito curtos e próximos entre si, reduzindo muito o volume do parênquima para armazenamento de sacarose (CÂMARA, 1993).

O stress provocado pela diminuição da umidade do solo faz a cana-de-açúcar acumular sacarose, que reduz do teor de água nos tecidos da planta, e a desidratação força a conversão de açúcares redutores em sacarose, outro fator ligado à desidratação são solos arenosos, que são mais permeáveis, fazendo que a maturação seja antecipada e acelerada, enquanto a maior capacidade de retenção hídrica de solos argilosos pode retardar a maturação (AZEVEDO, 1981; CESAR et al., 1987).

## 2.7. Adubação da cana-de-açúcar

Para a obtenção de altas produtividades na cultura de cana-de-açúcar, todas as tecnologias disponíveis e relativas à condução da cultura têm de ser empregadas (ORLANDO FILHO et al., 1996). Dentre essas tecnologias, a adubação assume papel de alta importância para o aumento da produtividade da cana-de-açúcar, principalmente naqueles solos de comprovada carência de nutrientes.

A análise química do solo é a principal ferramenta para se avaliar a fertilidade do solo e, conseqüentemente, para determinar a necessidade de adubação das culturas. No entanto, para que a adubação seja eficiente é necessária a disponibilidade de água para promover a solubilização e posterior disponibilização dos nutrientes para a planta.

Neto et al. (2006), trabalhando com a variedade de cana-de-açúcar SP79-1011, avaliaram lâminas de irrigação e níveis de adubação de cobertura com o fornecimento dos nutrientes nitrogênio e potássio, concluindo que os parâmetros de crescimento e a qualidade da cana-soca foram mais influenciados pela adubação de cobertura do que pela irrigação.

O acúmulo dos nutrientes em partes exportáveis da planta, ou seja, aquelas que não retornarão ao solo, como o colmo da cana-de-açúcar, permite estimar a quantidade de nutriente extraído pela planta, o qual deverá ser repostado para suprir uma futura necessidade nos próximos ciclos de cultivo.

O potássio é um elemento essencial tanto para as plantas quanto para os animais (MALAVOLTA, 1996), sendo, de maneira geral, o segundo nutriente mais exigido pelas culturas, depois do nitrogênio (FAQUIN, 1994). Na ordem de extração de nutrientes pela cultura da cana-de-açúcar, verifica-se que o potássio é extraído em maior quantidade que o nitrogênio ( $K > N > Ca > Mg > P$ ), o mesmo é constatado na exigência de macronutrientes para produzir 100 toneladas de cana, onde são necessários 143 kg de nitrogênio (N), 175 kg de potássio (K), 87 kg de cálcio (Ca), 49 kg de magnésio (Mg), 44 kg de enxofre (S) e 19 kg de fósforo (P) (ORLANDO FILHO et al., 1980).

Para cana-soca, Moura Filho et al. (2006) verificaram que a extração total média por tonelada de colmo, em três variedades de cana-de-açúcar, foi de 0,83 kg de N, 0,20 kg de P, 1,08 kg de K, 0,24 kg de Ca, 0,24 kg de Mg e 0,26 kg de S.

O nitrogênio é particularmente importante no período de formação da cultura, isto é, no estado que se inicia imediatamente após a brotação e termina no fechamento

do canavial, que normalmente ocorre em torno de três a cinco meses após o plantio (ORLANDO FILHO, 1983). É nessa época que se dá a formação dos perfilhos, para tanto, é necessária certa disponibilidade de nitrogênio no solo. A partir do fechamento do canavial, a cultura entra num período de crescimento acelerado, desde que haja boas condições de temperatura e umidade. Sem uma quantidade mínima de nitrogênio no solo, durante o estado de formação da cultura tanto o número quanto o desenvolvimento de perfilhos das plantas são afetados.

Esse mesmo autor também observou que com altas doses de nitrogênio, as plantas têm crescimento exuberante e se desenvolvem em períodos mais longos, em detrimento do teor de sacarose.

O potássio destaca-se dentre os nutrientes, pois este é exigido em maior quantidade pela cana-de-açúcar, além de influenciar sua qualidade. Esse nutriente está envolvido na abertura dos estômatos e na respiração foliar e influencia positivamente a qualidade industrial dos colmos, independentemente da produtividade da cultura. A sua deficiência reduz a translocação dos açúcares sintetizados nas folhas para os tecidos de armazenamento da cultura.

De acordo com Zambello Júnior e Azeredo (1983), a reação da cana-soca ao potássio, normalmente, é da mesma ordem de grandeza observada para a cana-planta.

Santos et al. (1979) afirmam que o potássio provocou aumento na produtividade com adubação de até 440 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e aumentou o teor de açúcar teórico recuperável nos experimentos de campo, em algumas regiões do Nordeste.

Em muitos solos das áreas de expansão da cana-de-açúcar, o fósforo é o nutriente mais limitante. Ele exerce posição vital no metabolismo da planta e o processo fotossintético requer suprimento adequado desse nutriente, que se concentra nas partes onde a atividade fisiológica é mais intensa. A aplicação da dose adequada de fósforo em cana-planta é da maior importância para o estabelecimento de uma boa população de colmos, o que contribui para a obtenção de soqueiras em melhores condições de produtividade (RODELLA; MARTINS, 1988).

## **2.8. Necessidade hídrica da cana-de-açúcar e manejo da irrigação**

A temperatura e a radiação são alguns dos fatores responsáveis pela regulação do dossel, o qual ainda pode sofrer interferência da cultivar, da densidade de plantio, do estado hídrico e do estado nutricional da planta (SINGELS et al., 2005).

A disponibilidade de água e de nutrientes deve ser destacada, visto que influencia diretamente na produtividade das culturas. Com relação à água, nem sempre as chuvas atendem à necessidade hídrica das plantas.

De acordo com Reichardt (1996), a disponibilidade de água no solo governa a produção vegetal, sendo que sua falta ou excesso afetam decisivamente o desenvolvimento das plantas. Isso se deve ao fato de alterar a absorção dos nutrientes e da própria água.

A frequência e quantidade de água aplicada, a uniformidade e a eficiência de aplicação, juntamente com a precipitação, são parâmetros que apresentam grande influência na produtividade das culturas (SOUZA et al., 1999).

Azevedo (2002a), cultivando a variedade SP79-1011 nos tabuleiros costeiros da Paraíba, encontrou produtividades de 52, 79, 93 e 92 t ha<sup>-1</sup> para precipitação efetiva mais irrigação de 609, 761, 905 e 1.043 mm, respectivamente, com 12 meses de cultivo.

Dalri e Cruz (2008) obtiveram resposta significativa da irrigação por gotejamento subsuperficial, observando incremento de produção de colmos na soca e ressoça, em relação à testemunha, de 43,5% e 67,2%, respectivamente.

A necessidade hídrica da cana-de-açúcar varia com o estágio vegetativo em que a cultura se encontra e a variedade utilizada, sendo, portanto, função da área foliar, estágio fisiológico e densidade radicular (AUDE, 1993). A necessidade hídrica varia também conforme a região onde a planta é cultivada. Desse modo, a quantificação da demanda de água da cultura da cana-de-açúcar deve ser realizada no local de interesse.

Segundo Doorenbos e Kassam (1994), a necessidade hídrica da cana-de-açúcar é de 1.500 a 2.500 mm por ciclo vegetativo, e o manejo da irrigação deve ser feito de acordo com as tensões de água no solo, recomendadas para cada período do ciclo fenológico.

Dillewijn (1952, citado por SILVA et al., 2010) descreve que a cana-de-açúcar apresenta elevado consumo de água, necessitando de 250 partes de água para formar uma parte de matéria seca na planta. De acordo com Ometto (1980), a cana necessita em média de 1.200 a 1.500 mm de chuva bem distribuída por ano, sendo ideal que a precipitação seja menor na época de maturação.

O fornecimento de água na quantidade certa e no momento certo é importante para um bom manejo da irrigação. Muita água e dinheiro são desperdiçados por irrigação incorreta. É preciso manejar o solo e a cultura eficientemente para assegurar a máxima produção por milímetro de água aplicada.

Para que a lâmina de água seja determinada de maneira satisfatória, devem-se levantar dados de capacidade de campo, ponto de murcha permanente, densidade do solo, fator de disponibilidade de água no solo e profundidade efetiva do sistema radicular.

Ao estudar o crescimento das raízes da cana, Farias et al. (2008) encontraram, ao final do período de cultivo (280 DAP), a concentração da fitomassa de raízes nos primeiros 60 cm de profundidade superior a 90% no cultivo irrigado e 80% no de sequeiro e, de forma geral, 75% das raízes foram encontrados nos primeiros 45 cm de profundidade.

Ball-Coelho et al. (1992) observaram que 62,7% do sistema radicular se concentraram na camada de solo com 50 cm de profundidade. Alvarez et al. (2000), trabalhando com cana-de-açúcar crua e queimada, afirmam que, na cana crua, o sistema radicular se distribui nos primeiros 40 cm de solo, com 75% do total; no mesmo trabalho e para a cana queimada, 72% do sistema radicular estavam nos primeiros 40 cm de profundidade; em estudo realizado no segundo ano, esses valores foram iguais a 70 e 68% para a cana crua e queimada, respectivamente.

## **2.9. Déficit hídrico na cana-de-açúcar**

O déficit hídrico pode ser definido como todo o conteúdo de água de um tecido ou célula situado abaixo do conteúdo de água mais alto exibido no estado de maior hidratação (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Os efeitos de um período de déficit hídrico na cana-de-açúcar dependem muito da interação entre a época do ano em que ocorre, e o estágio de desenvolvimento da cultura (THOMPSON, 1976).

Doorenbos e Pruitt (1975) citam os períodos de perfilhamento e início de alongação de colmos como as épocas mais sensíveis à deficiência hídrica.

Rosenfeld (2007) concluiu que a ocorrência de déficit hídrico que proporciona maior diminuição na produtividade de cana-planta é no período de máximo desenvolvimento e, na cana-soca, no estágio inicial de crescimento.

Segundo Ortolani e Camargo (1987), a deficiência hídrica é a principal causa de decréscimos de produtividade. Barbieri e Villa Nova (1977) afirmam que a cana requer maior quantidade de umidade no solo no período de crescimento, devido ao fato de a água ter papel fundamental na turgescência, translocação e na pressão de turgor das

células. Porém, durante o período de maturação o ideal é que haja redução, não drástica, na água disponível, o que irá resultar na redução de crescimento e maior concentração de açúcar nos colmos.

Segundo Hsiao (1973), o estresse hídrico promove redução nas taxas de assimilação de CO<sub>2</sub>, tamanho das células foliares, taxa de transpiração, potencial hídrico na planta, taxa de crescimento e abertura estomática. Além disso, afeta a alongação dos perfilhos e a altura final dos colmos (GASHO; SHIH, 1983).

Hartt e Burr (1967) citam que o estresse hídrico afeta também a taxa de fotossíntese da planta, a qual pode ser reduzida de 30 a 50% quando a umidade do solo está próxima ao ponto de murcha permanente.

O déficit hídrico na cultura da cana-de-açúcar não se limita às regiões áridas e semi-áridas, pois a irregularidade da precipitação em regiões úmidas pode ocasionar deficiência hídrica nas plantas (OLIVEIRA et al., 2010).

## **2.10. Cana-de-açúcar e alimentação animal**

A cana-de-açúcar é utilizada na alimentação animal, principalmente na época da seca, devido à facilidade de cultivo e de colheita e pelo armazenamento no próprio campo.

O melhoramento genético da cana-de-açúcar está mais direcionado para atender aos objetivos industriais, tornando, assim, seu valor nutritivo pouco explorado para alimentação de ruminantes. O termo “valor nutritivo” refere-se à composição química e digestibilidade da forragem (GERDES et al., 2000).

Muitas variedades de cana-de-açúcar apresentam baixo consumo voluntário pelos animais, principalmente por apresentarem baixo teor proteico e baixa digestibilidade. Com isso, acreditava-se que a cana deveria destinar-se apenas às vacas menos produtivas e, conseqüentemente, menos exigentes.

Os resultados de pesquisas comprovam o potencial elevado das rações com base em cana-de-açúcar e a possibilidade de seu uso como volumoso para animais de maior potencial produtivo, tanto para a produção de carne quanto de leite (NUSSIO et al., 2007).

O consumo de matéria seca determina a quantidade de nutrientes disponíveis para manutenção e produção de um animal (NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC, 2001), sendo importante na formulação de dietas para evitar super ou subfornecimento

de nutrientes, que poderiam causar efeitos adversos à saúde dos animais ou onerar os custos de produção.

Diversos são os fatores que afetam a qualidade da cana-de-açúcar, com destaque para a variedade. Mello et al. (2006), ao avaliarem alguns parâmetros referentes ao valor nutritivo de nove variedades, observaram que as variedades RB 835486 e RB 855536 foram as que apresentaram melhor perfil nutricional, por demonstrarem baixa relação fibra-sacarose, maior fração de carboidratos de alta taxa de degradação e menor teor de fibra em detergente neutro.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Área experimental**

A pesquisa foi conduzida numa área experimental da Universidade Federal de Viçosa - Campus de Rio Paranaíba, localizado no município de Rio Paranaíba, MG. As coordenadas geográficas são 19°12'26" de latitude sul e 46°07'16" de longitude oeste e altitude de 1.067 m.

#### **3.2. Clima**

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, de zona tropical semi-úmida, caracterizado pela presença de duas estações bem definidas, uma fria e seca, abrangendo os meses de abril a setembro, e outra quente e chuvosa, que se estende de outubro a março.

As médias diárias de temperatura máxima, temperatura mínima e umidade relativa do ar, observadas ao longo do período avaliado, foram de 25,6°C, 14,7°C e 78,7%, respectivamente.

Nas Figuras 3 e 4, pode-se observar os valores diários das temperaturas máxima e mínima do ar e da umidade relativa média do ar durante o cultivo da cana-de-açúcar. A precipitação total durante o período estudado foi de 2.231 mm, sendo este valor atípico para a região em estudo.

A precipitação pluvial total observada seria suficiente para suprir as necessidades da cultura se fosse bem distribuída ao longo do ciclo da cultura. Os valores diários da precipitação encontram-se na Figura 5.

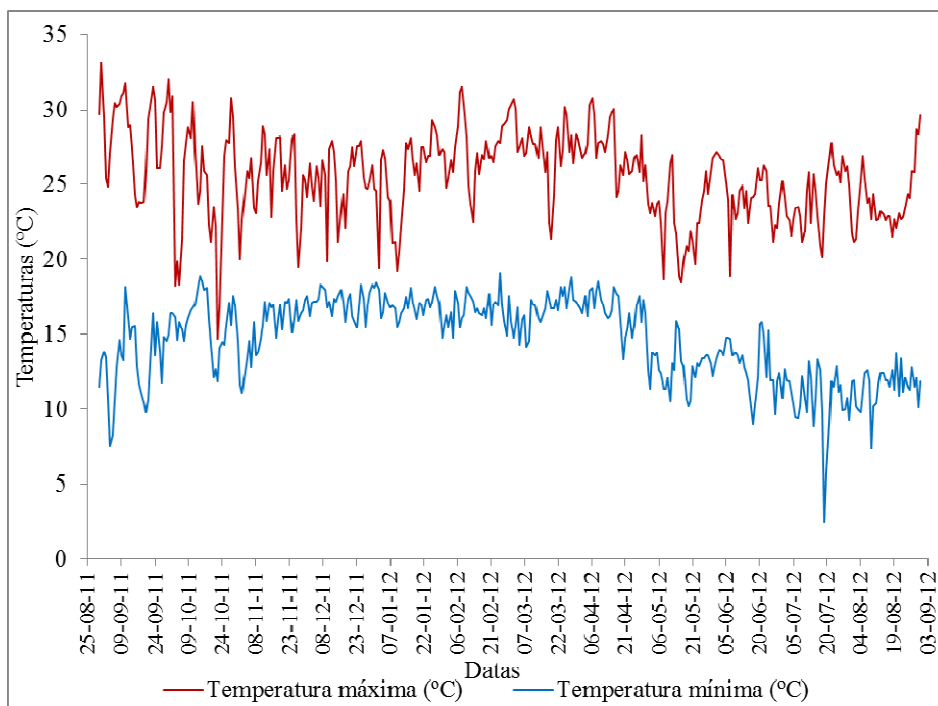


Figura 3 - Valores diários das temperaturas máxima e mínima do ar (°C) durante o período experimental.

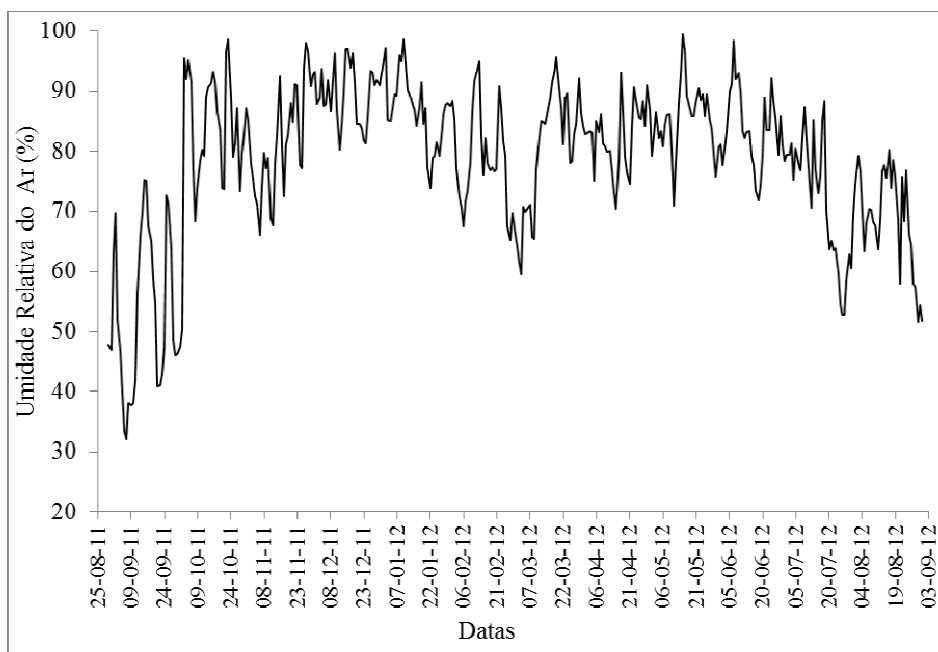


Figura 4 - Valores diários da umidade relativa média do ar (%) durante o período experimental.

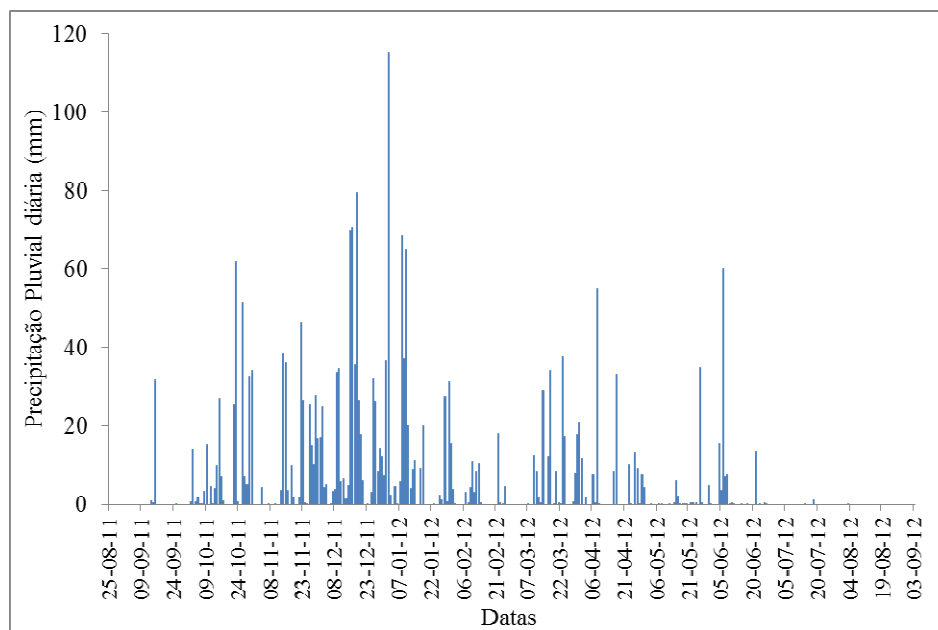


Figura 5 - Valores diários da precipitação pluvial durante o período experimental.

### 3.3. Solo

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (fase cerrado), textura argilo-arenosa.

Para caracterização química do solo foram coletadas amostras de solo deformadas na camada de 0 a 20 cm de profundidade, as quais foram encaminhadas ao Laboratório de Química do Solo da Universidade Federal de Viçosa, cujos resultados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Características químicas do solo da área experimental

Profundidade (m)	pH (SMP)	(mg dm <sup>-3</sup> )		(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )				(dag dm <sup>-3</sup> ) M.O
		P <sub>(resina)</sub>	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	
0 – 0,20	6,6	31	43	4,6	1,4	0	2,1	3,3

Para caracterização físico-hídrica do solo, foram coletadas amostras de solo indeformadas nas camadas de 0 a 0,20 m, 0,20 a 0,40 m e 0,40 a 0,60 m de profundidade, e encaminhadas ao Laboratório de Solo e Água da Universidade Federal de Viçosa, cujos resultados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Características físico-hídricas do solo da área experimental

Profundidade (m)	(kg kg <sup>-1</sup> )		(kg dm <sup>-3</sup> )	(dag dm <sup>-3</sup> )		
	Cc	Pm		Areia	Silte	Argila
0 - 0,20	0,347	0,232	1,24	31	46,5	22,5
0,20 - 0,40	0,315	0,231	1,29	29,4	48,6	22
0,40 - 0,60	0,335	0,243	1,20	- <sup>1</sup>	-	-

<sup>1</sup> Parâmetros não avaliados.

Os dados referentes à capacidade de campo e ponto de murcha permanente foram obtidos utilizando-se o extrator de Richards, sendo que a capacidade de campo também foi medida pelo método de campo e apresentou o valor de 0,332 kg kg<sup>-1</sup>, o que corresponde a uma tensão de 9 kPa, considerando o valor médio das três profundidades. A densidade do solo foi determinada pelo método do tubo de PVC, proposto por Oliveira et al. (2010).

A umidade crítica, ou umidade de segurança, foi obtida utilizando-se o fator de disponibilidade hídrica igual a 0,4. O manejo da irrigação foi conduzido com turno de rega variável.

As curvas de retenção de água no solo (Figura 6) foram traçadas usando-se os valores dos teores de água das camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm, para as tensões de 5, 10, 100, 500 e 1.500 kPa, determinados utilizando-se o extrator de Richards.

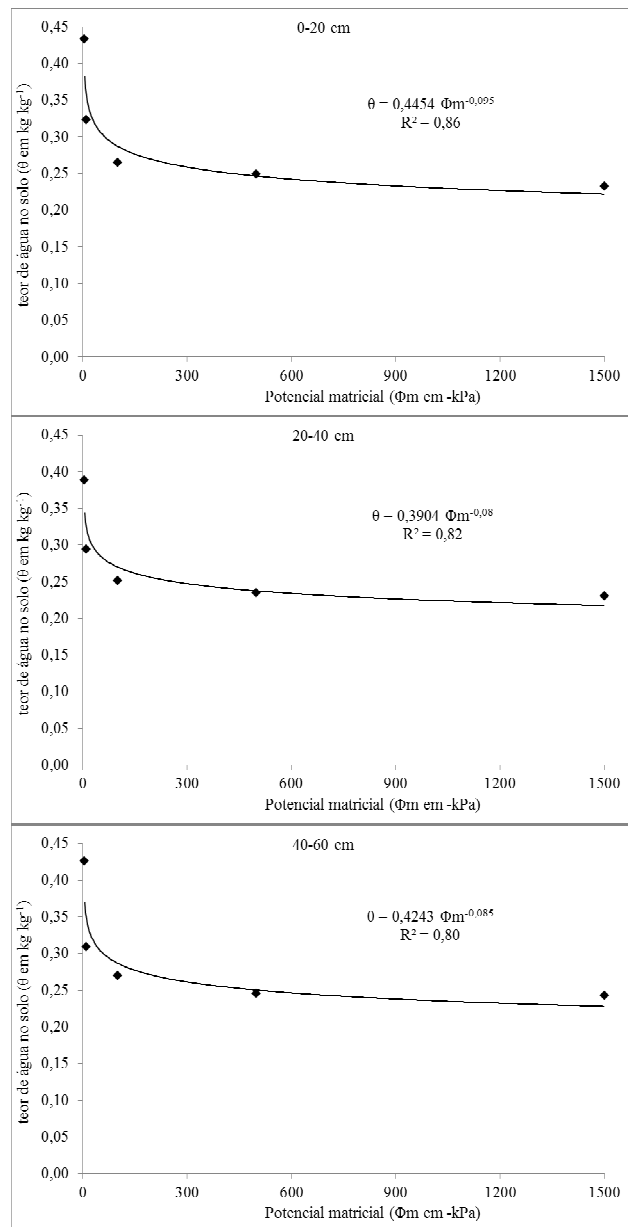


Figura 6 - Curvas de retenção de água no solo para as camadas de 0 a 20 cm, 20 a 40 cm e 40 a 60 cm de profundidade.

### 3.4. Instalação da cultura

Foram realizados dois experimentos independentes em cana de primeira soca, com quatro variedades de cana-de-açúcar cada, sendo as fontes de variação as diferentes variedades, e as doses de potássio e lâminas de irrigação nos experimentos 1 e 2, respectivamente. As variedades avaliadas foram: RB928064, RB855536, RB867515 e RB835054, cultivadas em condições de sequeiro e de irrigação.

As variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) foram plantadas na área experimental no ano anterior ao estudado. O pH do solo foi corrigido com aplicação de calcário. O solo foi preparado com subsolador, seguido de grade aradora e sulcado a uma profundidade de 0,25 m, com espaçamento entre sulcos de 1,4 m no experimento 1 e espaçamento duplo de 1,0 x 0,4 m no experimento 2. Foram utilizados toletes de três a quatro gemas deitados no interior do sulco, na densidade média de 18 gemas por metro.

Com base na análise química do solo, fez-se a adubação seguindo a recomendação de Drumond e Aguiar (2005). No plantio foram aplicados 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato simples, 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de cloreto de potássio e 30 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia.

### **3.5. Experimento 1**

#### **3.5.1. Delineamento experimental e análise estatística**

O experimento foi instalado num esquema fatorial 4 x 4 no DBC com três repetições. O experimento foi desenvolvido com as quatro variedades, realizando-se uma análise de variância conjunta e o desdobramento da interação significativa.

Para comparar as médias das características referentes às variedades dentro de cada nível de dose, utilizou-se o teste de Tukey adotando-se o nível de 5% de probabilidade.

Para verificar a influência das doses nas variáveis dependentes ajustou-se o modelo de regressão que foi escolhido baseado na significância dos coeficientes de regressão, no coeficiente de determinação e no comportamento biológico.

As parcelas experimentais foram compostas de 5 m de comprimento e 5,6 m de largura, o que corresponde a quatro sulcos de plantio. Cada parcela foi subdividida em três partes iguais com bordadura de 0,5 m de cada lado, resultando em subparcelas com dimensões de 5,6 x 1 m, dispostas em paralelo.

Cada variedade de cana-de-açúcar foi cultivada em quatro parcelas, divididas em três blocos, de forma que em cada bloco todas as doses de potássio estudadas (D<sub>1</sub> = 100, D<sub>2</sub> = 200, D<sub>3</sub> = 300 e D<sub>4</sub> = 400 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) foram distribuídas ao acaso, conforme apresentado na Figura 7.

A adubação de cobertura foi em linha, em duas aplicações realizadas antes das irrigações para minimizar as perdas de nitrogênio por volatilização de amônia, e em todas as doses de K<sub>2</sub>O houve a aplicação de nitrogênio na proporção 1:1 (N/K).

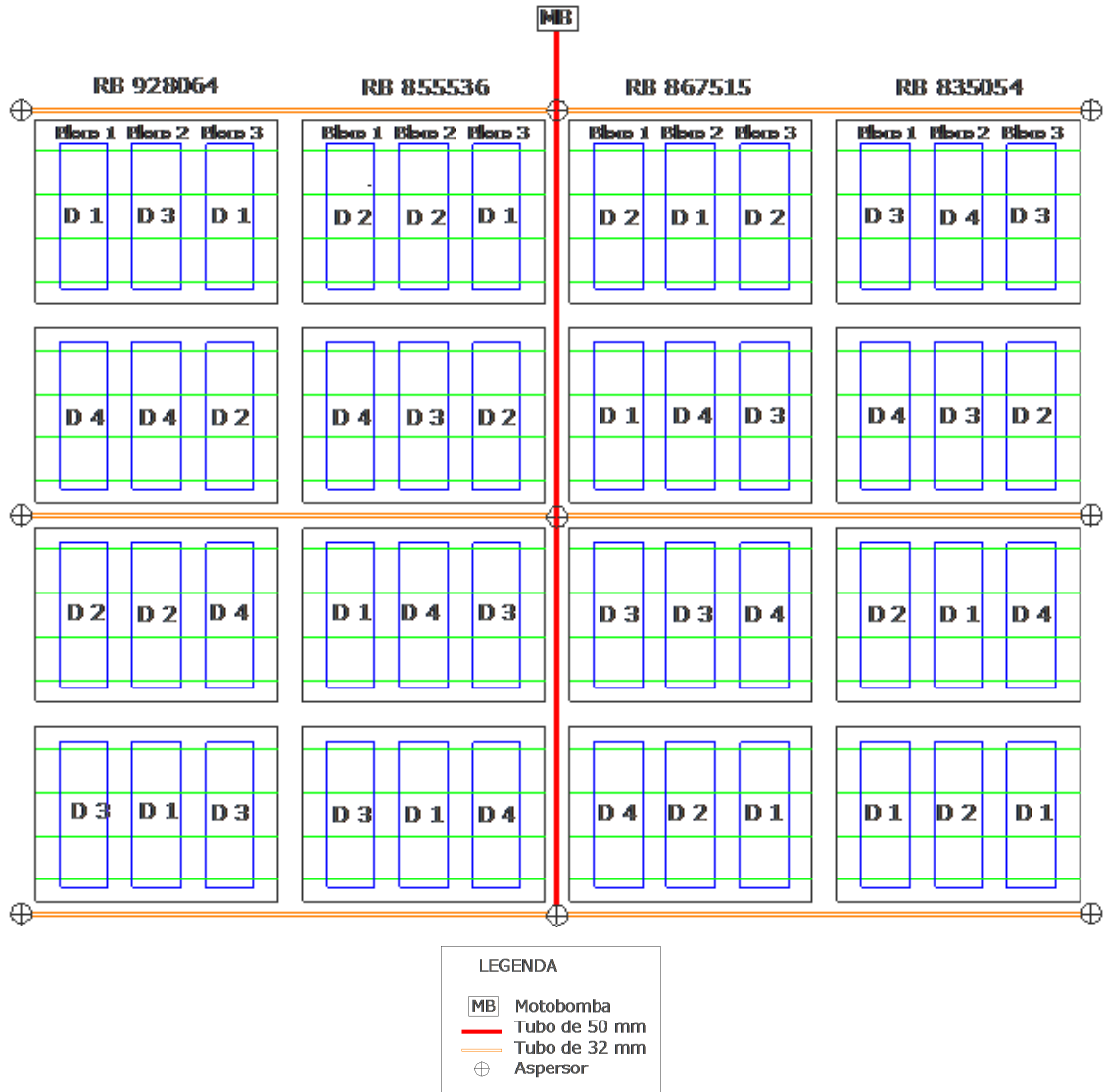


Figura 7 - Esquema do experimento 1.

### 3.5.2. Sistema e manejo da irrigação

Neste experimento foi utilizado o sistema de irrigação por aspersão em malha (Figura 7), em que as linhas laterais, de derivação e principal são enterradas, ficando os tubos de elevação dos aspersores acima do solo, o que exigiu apenas a mudança de posição dos emissores (Figura 8).



Figura 8 - Vista parcial do experimento, mostrando a cana-de-açúcar quatro meses após o corte.

Os aspersores foram instalados no espaçamento 15 x 12, inicialmente a 1,6 m acima do nível do solo, sendo elevado à altura de 3,8 m devido ao crescimento da cultura (Figura 9). Determinou-se a intensidade de aplicação média de  $15,7 \text{ mm h}^{-1}$  e lâmina líquida média de  $13 \text{ mm h}^{-1}$  e, posteriormente, avaliou-se o sistema de irrigação para determinação dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD), bem como da eficiência de aplicação ( $E_a$ ), sendo os valores obtidos iguais a 80,2%, 75,8% e 82,8%, respectivamente.

Foi utilizada a estação meteorológica automática instalada na Universidade Federal de Viçosa - campus de Rio Paranaíba, para fornecer a estimativa da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) pelo método de Penman-Monteith-FAO 56, conforme proposto por Smith (1991) e Allen et al. (1998). A estação meteorológica utilizada apresentava os sensores de temperatura, umidade relativa do ar, insolação, radiação solar global e velocidade do vento.



Figura 9 - Vista parcial do experimento, mostrando a cana-de-açúcar 10 meses após o corte e o aspersor instalado a 3,8 m de altura.

De acordo com Allen et al. (1989), o modelo de Penman-Monteith apresenta estimativas confiáveis e consistentes de  $ET_0$ , sendo considerado o de melhor desempenho entre os métodos combinados. O cálculo da  $ET_0$  horária, pelo referido método, foi realizado aplicando-se a equação 1, e, posteriormente, foi integralizada para  $ET_0$  diária.

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{37}{T_{hr} + 273} u_2 (e^o(T_{hr}) - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (1)$$

em que:

$ET_0$  = evapotranspiração de referência,  $\text{mm h}^{-1}$ ;

$R_n$  = saldo de radiação à superfície,  $\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ;

$G$  = densidade do fluxo de calor no solo,  $\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ;

$T_{hr}$  = temperatura média horária do ar,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\Delta$  = declividade da curva de pressão de vapor à temperatura  $T_{hr}$ ,  $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ;

$\gamma$  = constante psicrométrica,  $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ;

$e^o(T_{hr})$  = pressão de saturação de vapor à temperatura  $T_{hr}$ ,  $\text{kPa}$ ;

$e_a$  = pressão atual de vapor média horária, kPa;

$u_2$  = velocidade média horária do vento,  $m\ s^{-1}$ .

Tendo em vista que as plantas apresentam diferentes necessidades de água nos seus diferentes estádios de desenvolvimento, a evapotranspiração da cultura foi determinada pelo método FAO 24 (DOORENBOS; PRUITT, 1977), com aplicação da equação 2.

$$ET_c = K_c ET_0 \quad (2)$$

em que:

$ET_c$  = evapotranspiração da cultura,  $mm\ d^{-1}$ ; e

$ET_0$  = evapotranspiração de referência,  $mm\ d^{-1}$ .

O manejo foi adotado para uma profundidade do sistema radicular de 60 cm. Para a realização do balanço hídrico, considerou-se o valor médio das faixas de coeficiente de cultura ( $K_c$ ) e a duração das fases de desenvolvimento recomendado por Oliveira et al. (2010), sendo 0,4 (0-1 mês); 0,65-0,95 (1-2,5 meses); 1,1-1,25 (2,5-10 meses) e 0,75 (10-12 meses), para os estádios I a IV.

Os valores de  $K_c$  tabelados no boletim FAO-56 (ALLEN et al., 1998), para cada fase de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar, é de 0,40 para a primeira fase de crescimento da cultura (fase I), de 1,25 para a fase de crescimento máximo (fase III) e de 0,70 para o final do ciclo (Fase IV).

Na Figura 10 estão apresentados os eventos de irrigação e a umidade do solo, referentes à reposição de 100% da  $ET_c$ . O manejo foi realizado por meio do acompanhamento da disponibilidade de água no solo, de forma a manter a umidade do solo acima da umidade de segurança; para tanto, foram necessárias 23 irrigações com lâmina total aplicada de, aproximadamente, 550 mm.

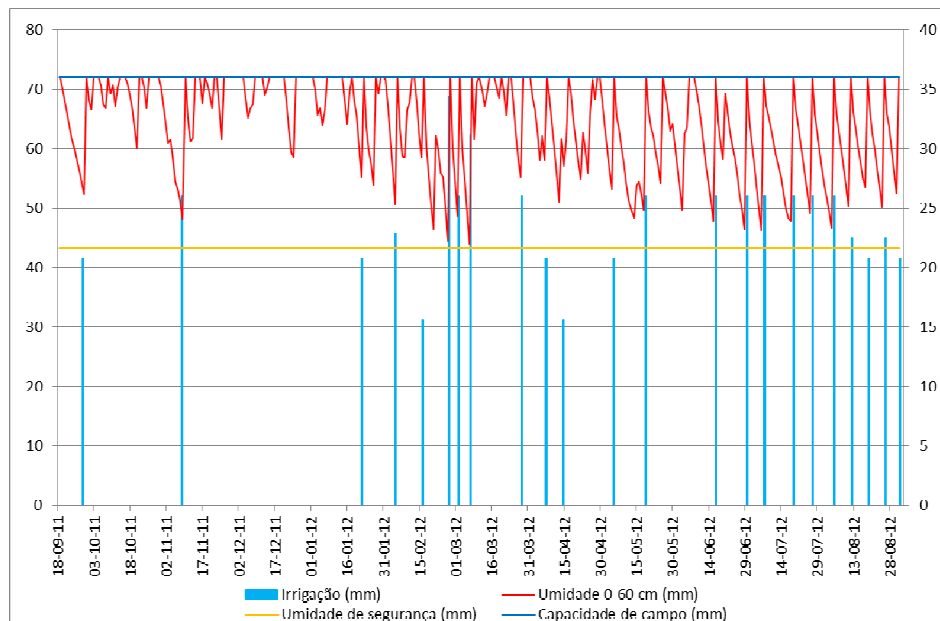


Figura 10 - Teores de água no solo e lâminas de irrigação aplicadas durante o período experimental.

### 3.6. Experimento 2

#### 3.6.1. Delineamento experimental

O experimento foi instalado num esquema fatorial 5 x 4 no DBC com três repetições, tendo nas parcelas as diferentes lâminas de irrigação e repetido para as quatro variedades em estudo. Os resultados foram submetidos às análises de variância e regressão, e os tratamentos consistiram de diferentes lâminas de água aplicadas proporcionalmente à evapotranspiração da cultura ( $L_0 = 0\% ET_c$ ,  $L_1 = 50\% ET_c$ ,  $L_2 = 75\% ET_c$ ,  $L_3 = 100\% ET_c$  e  $L_4 = 125\% ET_c$ ), conforme apresentado na Figura 11.

As parcelas experimentais foram compostas de 5,0 m de comprimento e 4,2 m de largura, o que corresponde a três linhas de plantio no sistema de linhas duplas com espaçamento alternado 1,0 x 0,4 m. Cada parcela foi subdividida em três partes iguais com bordadura de 0,5 m de cada lado, resultando em subparcelas com dimensões de 4,2 x 1 m, dispostas em paralelo.

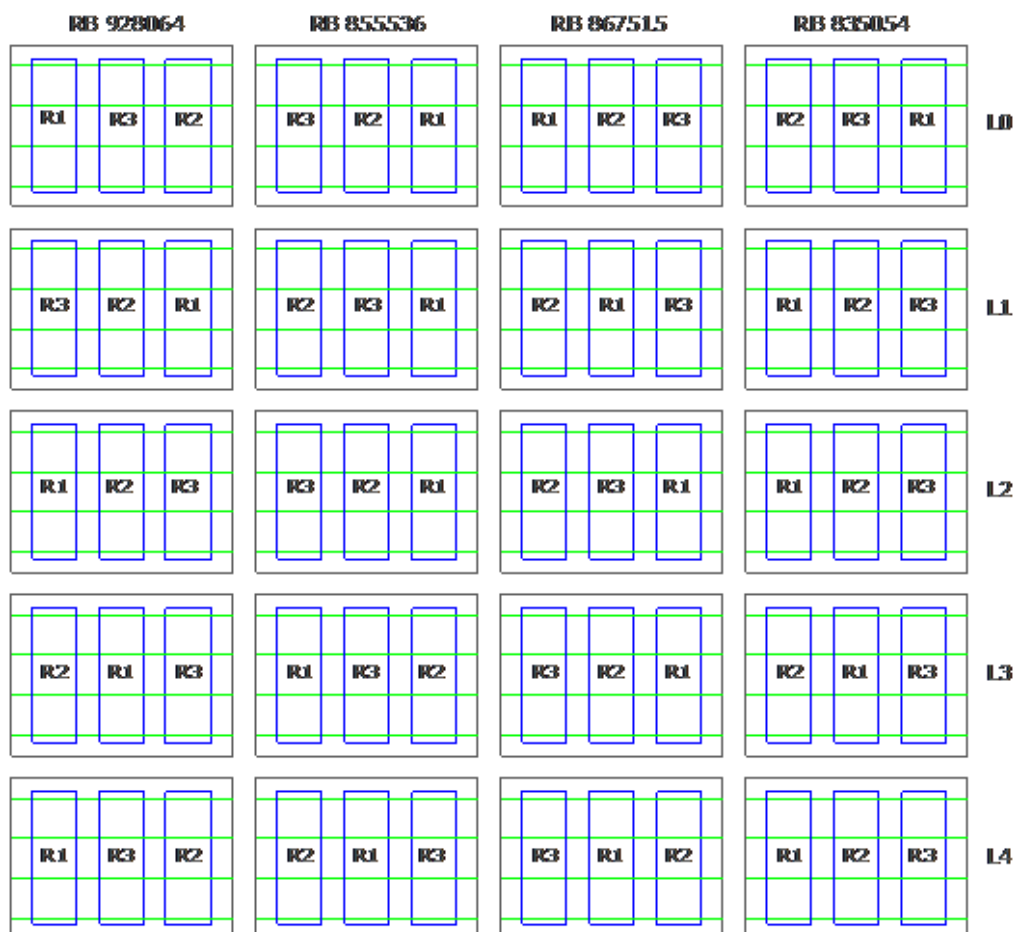


Figura 11 - Esquema do experimento 2.

A adubação de cobertura, assim como no experimento 1, foi feita em linha em duas aplicações realizadas antes das irrigações para minimizar as perdas de N por volatilização de amônia, e em todas as lâminas de irrigação houve a aplicação de 150 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N na forma de uréia e 180 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de cloreto de potássio, mantendo a relação 1:1 (N/K).

Para comparar as médias das características referentes às variedades dentro de cada nível de lâmina de irrigação, utilizou-se o teste de Tukey adotando-se o nível 5% de probabilidade. Para os fatores quantitativos foram escolhidos modelos de regressão, baseados na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t a 5% de probabilidade, no coeficiente de determinação R<sup>2</sup> e no comportamento biológico.

### 3.6.2. Sistema e manejo da irrigação

No experimento 2 foi utilizado o sistema de irrigação por gotejamento, em que as fitas gotejadoras foram dispostas paralelamente no centro das linhas de plantio espaçadas de 0,40 m. Ao longo da linha lateral os gotejadores, espaçados de 30 em 30 cm, apresentavam vazão média de 1,17 l h<sup>-1</sup> e intensidade de aplicação de 2,8 mm h<sup>-1</sup>, formando uma faixa molhada entre os sulcos de plantio. Foram instaladas 2, 3, 4 e 5 fitas gotejadoras, que corresponderam aos tratamentos 50, 75, 100 e 125% da evapotranspiração da cultura, respectivamente.

A evapotranspiração da cultura foi estimada conforme a equação 2, e a estimativa da evapotranspiração de referência foi obtida com o uso de estação meteorológica automática, bem como foram adotados os valores de Kc recomendados por Oliveira et al. (2010).

Para determinar a uniformidade de distribuição do sistema, foi empregado o método do perfil de distribuição de água proposto por Keller e Karmeli (1975). Os valores obtidos para os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD) foram de 98,2% e 97,1%, respectivamente.

Na Tabela 3, encontram-se as lâminas aplicadas durante o período de 12 meses, referente à condução do experimento, que compreendeu 23 irrigações. Encontram-se também, nessa tabela, os valores das lâminas médias totais recebidas pelos diferentes tratamentos, resultantes do somatório das aplicações realizadas com o sistema de gotejamento e as chuvas.

Tabela 3 - Lâminas médias (LM) e precipitação média, recebidas pelos diferentes tratamentos

Níveis de água	Precipitação média (mm ano <sup>-1</sup> )	LM aplicada (mm ano <sup>-1</sup> )	LM total (mm ano <sup>-1</sup> )
L0	2.231	0	2.231
L1	2.231	275	2.506
L2	2.231	412	2.643
L3	2.231	550	2.781
L4	2.231	687	2.918

### 3.7. Características avaliadas

Foram marcadas três plantas por tratamento, sendo que ao final do ciclo da cultura, 12 meses após o corte da cana planta, foram analisados os seguintes parâmetros biométricos: altura de plantas, diâmetro de colmos, número de colmos, brix e produtividade.

De acordo com Suguitani (2006), para o crescimento da cana-de-açúcar existem vários componentes fenológicos como o número de perfilhos, a altura dos colmos e a densidade dos colmos, que são características genéticas, mas que estão sujeitos a influências ambientais.

De acordo com Casagrande (1991), as avaliações biométricas são de grande significância para o desenvolvimento vegetativo da cultura da cana-de-açúcar e envolve a medição da altura do perfilho, diâmetro médio do perfilho, número de folhas ativas totais, bem como o número de perfilhos por metro linear, fatores estes que estão envolvidos diretamente com a produtividade da cultura.

A altura das plantas foi determinada com o auxílio de uma trena, medindo-se a distância entre o solo e a primeira lígula visível, próximo ao meristema apical.

O diâmetro de colmos foi obtido com uso de um paquímetro, medindo-se o centro de um colmo situado no terço médio de cada planta avaliada.

O brix foi medido com uso de um refratômetro de campo e determinado pela média dos valores de duas amostragens, sendo estas realizadas no terceiro colmo a partir da base e da ponta de cada planta avaliada.

O número de colmos foi determinado para cada tratamento, contabilizando-se, em três subparcelas, a quantidade média de perfilhos existentes em um metro linear de plantio e estas mesmas plantas foram pesadas com o uso de um dinamômetro (Figura 12).

A produtividade foi determinada multiplicando-se o peso da fitomassa da planta inteira (colmos + folhas) em um metro linear, pelo comprimento total das linhas de plantio em um hectare. Rodrigues et al. (1997) encontraram pouca variação na proporção de colmos em relação à planta inteira entre diferentes cultivares, e obtiveram valores de 72,7% a 88,4% do peso, sendo que o coeficiente de variação para a característica foi de 5,45%.



Figura 12 - Avaliação do peso das plantas colhidas por metro linear de sulco de plantio.

### 3.8. Análises bromatológicas e cálculos

Para avaliação dos parâmetros do valor nutritivo nos experimentos 1 e 2, foram tomadas três amostras de cada tratamento. As amostras foram trituradas com uso de uma máquina forrageira, homogeneizadas e delas retirada uma subamostra composta com, aproximadamente, 500 g cada. As amostras foram enviadas para análise químico-bromatológica no departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa.

No laboratório, as amostras foram processadas em moinho de facas tipo Willye, usando-se peneiras de 1 mm.

Primeiramente foram quantificados os teores de matéria seca (MS) (Método INCT-CA G-003/1), cinzas (Método INCT-CA M-001/1), proteína bruta (PB) (Método INCT-CA N-001/1), fibra em detergente neutro (FDN) (Método INCT-CA F-001/1), fibra em detergente ácido (FDA) (Método INCT-CA F-004/1) e lignina (Método INCT-CA F-006/1), seguindo os métodos descritos em Detman et al. (2012). Os teores de FDN corrigida para cinzas e proteína (FDNcp), foram quantificadas pela avaliação das concentrações de proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN) (Método INCT-CA

M-002/1) e cinzas insolúveis em detergente neutro (CIDN) (Método INCT-CA N-004/1). Já para a obtenção dos teores de FDA corrigida para cinzas e proteína (FDAcp), quantificou-se a proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA) (Método INCT-CA N-005/1), seguindo-se os métodos descritos em Detmann et al. (2012).

Para avaliação do teor de extrato etéreo (EE), os subprodutos foram acondicionados em sacos de XT4 (Ankom®) e submetidos à extração pelo método oficial de alta temperatura da AOCS (2009) utilizando-se extrator XT15 (Ankom®).

Para calcular os carboidratos não fibrosos (CNF), utilizou-se a equação proposta por Detmann e Valadares Filho (2010):

$$\text{CNF} = \text{MO} - (\text{PB} + \text{EE} + \text{FDNcp}) \quad (3)$$

A metodologia utilizada para cálculo de nutrientes digestivos totais (NDT) foi aquela sugerida no BR-CORTE por Valadares Filho et al. (2010).

### **3.9. Ajuste de médias de produtividade**

Em princípio, toda e qualquer irregularidade na distribuição das plantas nas parcelas, responsáveis por modificação na estimativa da produtividade da cana-de-açúcar, é fonte de erro experimental porque aumenta o valor do quadrado médio do erro, pois, entre as diferentes repetições de um mesmo tratamento, a irregularidade e, por consequência, a produção não é a mesma. A irregularidade na distribuição das plantas nas parcelas pode ser efeito da heterogeneidade da brotação, do vigor das gemas e brotos, do ataque de pragas, entre outras.

A análise da covariância com a produtividade de grãos, usando-se como covariável o número de plantas na colheita (STORCK et al., 2000; SCHMILDT et al., 2001) tem sido utilizada buscando-se diminuir o erro experimental em ensaios de competição de cultivares de milho.

Storck et al. (2000), trabalhando com a cultura do milho, recomendam a análise de covariância para a produtividade (variável principal), em que a covariável (número de plantas na parcela) é uma variável independente dos efeitos dos tratamentos.

Segundo os autores, a melhoria da qualidade dos resultados acarreta melhor discriminação entre as médias quando são ajustadas para uma mesma população final de plantas.

A dificuldade reside em saber se a variedade A é superior à B em virtude de melhor desempenho durante o desenvolvimento e maturação ou menor perda de plantas na brotação e estágio inicial do desenvolvimento, que também pode ser resultante de fatores genéticos das cultivares.

Cruz e Carneiro (2003) incluem a mensuração de variáveis auxiliares, ou covariáveis, relacionadas às variáveis principais, como uma das técnicas experimentais utilizadas para reduzir a variação ambiental. Assim, a correção prévia dos dados quanto à desuniformidade na população de plantas consiste em uma forma de se fazer comparações mais apropriadas sobre a superioridade genotípica.

A desuniformidade relacionada ao número de plantas por parcela prejudica essas comparações e constitui-se em um dos problemas básicos na análise e interpretação dos resultados experimentais (SCHMILDT et al., 2001; CRUZ; CARNEIRO, 2003).

Diversos trabalhos com dados simulados e de experimentos realizados no campo, envolvendo métodos de correção de estande para estimar produtividade, têm sido realizados (MORAIS et al., 1986; VENCOVSKY; CRUZ, 1991; VERONESI et al., 1995; SCHMILDT et al., 2001).

Dessa forma, na análise de variância para as lâminas de irrigação, utilizou-se o número de colmos como covariável para ajustar as médias de produtividade.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Experimento 1

#### 4.1.1. Características biométricas

Objetivando-se observar os efeitos dos tratamentos, foram analisadas as características de produção, a saber: altura de plantas (ap), diâmetro de colmo (dc), número de colmos (nc), brix (br) e produtividade (pd).

O resultado da análise de variância não revelou diferenças significativas do uso das doses de adubo potássio sobre os componentes de produção da cana-de-açúcar. O teste F mostrou-se significativo para variedades e não houve interação entre os fatores estudados (Tabela 4).

Tabela 4 - Resumo da análise de variância para doses de K<sub>2</sub>O e variedades

F. V.	G. L.	F ap	F dc	F nc	F br	F pd
B/V	8					
D	3	1 <sup>ns</sup>	2,49 <sup>ns</sup>	0,76 <sup>ns</sup>	1,87 <sup>ns</sup>	0,82 <sup>ns</sup>
V	3	11,16 <sup>**</sup>	4,75 <sup>**</sup>	4,15 <sup>*</sup>	5,83 <sup>**</sup>	29,02 <sup>**</sup>
V*D	9	0,92 <sup>ns</sup>	1,1 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	1,04 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>
Resíduo	24					
Total	47					
Q.M. resíduo		652,3889	0,0385	1,8333	3,3004	524,8978
C.V.		7,87	6,69	9,50	8,54	12,28

\*Significativo ao nível de 5% de probabilidade; \*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade; e, <sup>ns</sup> – Não significativo.

Enquanto neste trabalho não foi observado efeito das doses de potássio na produtividade de colmos, Otto et al. (2010) observaram efeito quadrático, e outros autores observaram efeito linear do K na produtividade da cana. Lana et al. (2004) obtiveram efeito linear das doses de K na produtividade até a dose de 200 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O em um Latossolo Vermelho distrófico arenoso com teor muito baixo de K no solo (0,1 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K na camada de 0 a 25 cm). Rossetto et al. (2004) obtiveram efeito

linear ao K em três de seis experimentos em cana-planta, porém com parcelamento da maior dose (200 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O).

Em relação às possíveis perdas de potássio por lixiviação, Werle et al. (2008) observaram que a lixiviação de K foi mais intensa no solo mais arenoso, decrescendo com o tempo, enquanto no solo argiloso as perdas foram menores e mais constantes. Nesse sentido, deve-se considerar que podem ocorrer perdas apreciáveis de K por lixiviação em áreas cultivadas com cana-de-açúcar, sobretudo onde são aplicadas elevadas doses de potássio associadas a altos índices pluviométricos, como neste estudo.

O parcelamento da adubação em duas vezes, com aplicação superficial, provavelmente promoveu maior absorção de K pela cana-de-açúcar e menor perda por lixiviação, considerando, ainda, que a maior parte das raízes responsáveis pela absorção dos nutrientes localiza-se na camada superficial do solo (FARONI, 2004; OTTO, 2009).

Fatores como as altas doses de potássio aplicadas, juntamente com a presença de palhada do ciclo anterior, contribuíram para a homogeneidade de valores das características analisadas em relação às diferentes doses de adubação com K<sub>2</sub>O.

No Estado de São Paulo, estima-se que a massa de palhada que permanece sobre o solo após o corte da cana-de-açúcar apresenta entre 10 e 20 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca; contudo, a palhada apresenta uma alta relação C:N (CANTARELLA, 1998), com uma taxa de mineralização lenta (OLIVEIRA et al., 1999). Entretanto, estes últimos autores, estudando a liberação do K presente na palhada da cana-de-açúcar, concluíram que este elemento foi o mais liberado, com média de 93% de um ano para o outro. Segundo Oliveira et al. (1999), a reciclagem do K da palha que permanece sobre o solo pode diminuir a resposta da cana-de-açúcar a altas doses de fertilizante potássico.

Sabe-se que os solos tropicais brasileiros apresentam baixo teor de potássio trocável (ERNANI et al., 2007; BENITES et al., 2010) e que nestas condições, a cana-de-açúcar responde de forma expressiva à aplicação do fertilizante potássico (KORNDÖRFER; OLIVEIRA, 2005).

De acordo com Malavolta (1994), o potássio é um nutriente importante para a cana-de-açúcar, sendo o mais extraído pela cultura principalmente pela cana-soca (KORNDÖRFER e OLIVEIRA, 2005).

Para cada 100 t ha<sup>-1</sup> de colmos, são exportados cerca de 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (MALAVOLTA, 1982), embora em solos com teores elevados de K, a exportação pelos colmos possa atingir 285 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (FRANCO et al., 2008).

A cana-de-açúcar apresenta, ainda, consumo de luxo, ou seja, mesmo absorvendo o K em altas quantidades, não há prejuízo à produtividade (MALAVOLTA, 1980).

Padilha (1998) relata que quando o solo apresenta um elevado teor de potássio, sua absorção pela planta pode ser quatro vezes maior que a de nitrogênio, podendo caracterizar o consumo de luxo.

Segundo Korndörfer et al. (1999), o teor de K no solo é considerado baixo entre 16 e 40 mg dm<sup>-3</sup> e médio entre 41 e 70 mg dm<sup>-3</sup>. A análise de solo feita neste estudo antes da aplicação das diferentes doses de adubo mostrou valor igual a 43 mg dm<sup>-3</sup> ou 1,09 mmol<sub>c</sub> dm<sup>3</sup>, portanto o teor de K<sup>+</sup> no solo pode ser considerado médio.

No Brasil, praticamente o primeiro trabalho de calibração do K trocável no solo para cana-de-açúcar foi realizado por Rajj (1974), quando foi determinado o nível crítico de 2,1 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K. Posteriormente, Orlando Filho et al. (1981) obtiveram nível crítico de 2,3 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K, enquanto Rodella et al. (1983), utilizando maior número de dados experimentais, sugeriram o nível crítico de 2,0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> no solo, para produção relativa de 90% do rendimento máximo das culturas. Portanto, a cana-de-açúcar responde ao aumento da adubação potássica até aproximadamente o nível crítico, e a probabilidade da planta responder à aplicação de elevadas doses de adubo é pouco expressiva ou nula.

O nível crítico pode ser definido como o valor da concentração do nutriente que permite separar classes de solos com alta probabilidade de resposta dos de baixa probabilidade às adições do nutriente estudado; como o valor da concentração do nutriente que corresponde à disponibilidade necessária para se obter a produção de máxima eficiência econômica, quando os outros nutrientes ou fatores de produção estão perto do nível adequado; ou, ainda, como o teor de nutriente no solo a partir do qual não mais haveria resposta à adubação. Neste caso, a adubação seria apenas aquela para repor o que a cultura iria retirar, mantendo-se a fertilidade do solo.

Em relação à característica brix, não houve efeito da adubação potássica. Otto et al. (2010) também não encontraram efeito significativo das doses de K para a variedade SP90-3414.

Flores et al. (2012), estudando o potássio no desenvolvimento inicial da soqueira de cana crua, encontraram, assim como nesse estudo, que a aplicação de potássio, não alterou o número de perfilhos e diâmetro de colmos da soqueira de cana-

de-açúcar, entretanto, aumentou a altura, a qual atingiu maior valor com 195,0 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

No que diz respeito às diferentes variedades de cana-de-açúcar, o resultado da análise de variância mostrou diferenças significativas para os componentes de produção.

Na Tabela 5, encontram-se as médias referentes aos componentes de produção altura de plantas, diâmetro de colmo, número de colmos/m linear, brix e produtividade.

Tabela 5 - Valores médios de altura de plantas (ap) e diâmetro de colmo (dc), em cm; número de colmos/m linear (nc); brix (br) em %; e produtividade (pd), em t ha<sup>-1</sup>

Trat.	ap	dc	nc	br	pd
RB928064	287,58 b	2,90 ab	14,08 ab	22,83 a	162,43 c
RB855536	333,50 a	2,97 ab	15,41 a	21,65 ab	194,78 b
RB867515	338,42 a	3,07 a	13,66 b	19,91 b	233,38 a
RB835054	338,00 a	2,78 b	13,83 b	20,66 b	155,48 c

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

As médias para a variável altura de plantas variaram de 287,58 a 338,42 cm, para as variedades RB928064 e RB867515, respectivamente. Estes valores são superiores aos obtidos por Alleoni et al. (1995), que encontraram valores de 220 a 223 cm para a cultivar RB735275.

Segundo Taupier e Rodrigues (1999), o comprimento dos colmos da cana-de-açúcar varia de 1,0 a 5,0 m, e o diâmetro pode variar desde menos de 1,0 cm até 5 cm.

As demais variáveis também diferiram significativamente, sendo a produtividade máxima de 233,38 t ha<sup>-1</sup>, apresentada pela variedade RB867515. A menor produtividade foi de 155,48 t ha<sup>-1</sup>, atingida pela variedade RB835054, sendo estatisticamente igual à variedade RB928064, que produziu 162,43 t ha<sup>-1</sup>. Estas produtividades encontram-se, ainda, bem acima da média brasileira de 77,8 t ha<sup>-1</sup> (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2011).

A variedade RB855536 apresentou maior número de perfilhos, sendo que as médias de número de colmos por metro linear para as variedades RB928064,

RB855536, RB867515 e RB835054, foram de 14,08, 15,41, 13,66 e 13,83, respectivamente.

Oliveira (2004), estudando três cultivares de cana-de-açúcar, também observou o maior perfilhamento na cultivar RB855536, com média de 16,4 perfilhos por metro linear, enquanto Alleoni et al. (1995) encontraram valores médios variando de 10,6 a 12,8 perfilhos para a cultivar RB735275.

O maior perfilhamento indica grande potencial de fechamento na entrelinha (SILVA et al., 1999), favorecendo menor número de capinas, característica desejável, sobretudo para o sistema de cana forrageira.

A variedade RB855536 apresentou maior média para número de colmos e a segunda maior média de produtividade, enquanto a RB867515, com o menor número de perfilhos, foi a mais produtiva, devido ao maior diâmetro de colmos e altura de plantas.

As variedades apresentaram número de colmos por hectare variando entre 97.571 e 110.071, obtidos para a RB867515 e RB855536, respectivamente. Estes valores foram superiores aos 90.000 colmos ha<sup>-1</sup> que, segundo Taupier e Rodrigues (1999), são necessários para se atingir produtividades máximas. Azevedo (2002a), em trabalho desenvolvido nesta mesma área, encontrou uma média de 81.835 colmos ha<sup>-1</sup> na cana-planta.

Capone et al. (2011), avaliando o comportamento de quinze cultivares de cana-de-açúcar na região Sul do Tocantins, encontraram valores bem menores que os obtidos neste estudo, sejam 53333, 69999 e 52666 colmos por hectare para as variedades RB928064, RB855536 e RB867515, respectivamente.

O índice de perfilhamento da cana-de-açúcar é uma característica varietal e a capacidade de perfilhamento e a sobrevivência dos perfilhos são aspectos importantes, pois são características que apresentam grande correlação com a produção (JAMES, 1971). Outro fator importante para o perfilhamento é a intensidade luminosa que, em condições de maiores intensidades a cultura tende a perfilhar mais (BEZUIDENHOUT, 2003).

O diâmetro de colmos das variedades estudadas variou entre 2,78 e 3,07 cm, cujos valores foram obtidos para a variedade RB835054 e a RB867515, respectivamente.

Segundo Oliveira et al. (2011), entre as variáveis estudadas em análise de crescimento, o diâmetro do colmo é a que apresenta menor variação, já que depende das

características genéticas da variedade, do número de perfilhos, do espaçamento utilizado, da área foliar e das condições ambientais.

De acordo com Silva (2007), variedades que apresentam os menores diâmetros médios de colmos tendem a perfilhar mais, o que não foi observado para a variedade RB835054, que apresentou a menor média tanto para diâmetro quanto para número de colmos.

Oliveira (2008), em Pernambuco, avaliou o diâmetro do colmo de diversas variedades e obteve o valor médio superior a 28 mm para a variedade RB867515. O diâmetro dos colmos das demais variedades estudadas variou entre 22 e 25 mm, valores menores que os observados neste estudo.

#### **4.1.2. Características bromatológicas**

Os efeitos dos tratamentos foram analisados para as seguintes características: matéria seca (MS), cinzas (CZ), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN), proteína insolúvel em detergente neutro (PDIN), cinza insolúvel em detergente neutro (CIDN), FDN corrigido para cinzas e proteína (FDN<sub>CP</sub>), fibra em detergente ácido (FDA), proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA), lignina (LIG), carboidratos não fibrosos (CNF), FDN digestível (FDN<sub>D</sub>), proteína bruta digestível (PBD) e nutrientes digestivos totais (NDT).

Na Tabela 6, encontram-se os resultados da análise de variância para as características estudadas.

Na análise de variância apresentada na Tabela 6, não foi realizado o estudo da interação entre os fatores dose e variedade, devido à ausência de graus de liberdade para o resíduo. Na Tabela 7, encontra-se o teste de média para as características cinzas (CZ), proteína bruta (PB), cinza insolúvel em detergente neutro (CIDN), fibra em detergente ácido (FDA), proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA) e nutrientes digestivos totais (NDT).

Tabela 6 - Resumo da análise de variância para variedades dos dados de matéria seca (MS), cinzas (CZ), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN), proteína insolúvel em detergente neutro (PDIN), cinza insolúvel em detergente neutro (CIDN), fdn corrigido para cinzas e proteína (FDN<sub>CP</sub>), fibra em detergente ácido (FDA), proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA), lignina (LIG), carboidratos não fibrosos (CNF), fdn digestível (FDN<sub>D</sub>), proteína bruta digestível (PBD) e nutrientes digestivos totais (NDT)

F.V.	V	Resíduo	Total	Q.M. resíduo	C.V.
G. L.	3	12	15		
F MS	2,60 <sup>ns</sup>			1,55E-04	4,08
F CZ	6,15 <sup>**</sup>			7,65E-06	11,70
F PB	4,6 <sup>*</sup>			1,51E-04	8,75
F EE	0,20 <sup>ns</sup>			1,22E-05	24,57
F FDN	2,25 <sup>ns</sup>			1,80E-03	9,19
F PDIN	0,48 <sup>ns</sup>			3,98E-06	10,50
F CIDN	3,57 <sup>*</sup>			1,11E-04	54,51
F FDN <sub>CP</sub>	2,42 <sup>ns</sup>			1,99E-03	9,64
F FDA	31,79 <sup>**</sup>			7,99E-04	8,21
F PIDA	13,62 <sup>**</sup>			3,87E-06	9,35
F LIG	3,49 <sup>ns</sup>			7,34E-06	18,82
F CNF	3,17 <sup>ns</sup>			1,90E-03	9,25
F FDN <sub>D</sub>	2,64 <sup>ns</sup>			1,4539	1,96
F PB <sub>D</sub>	1,77 <sup>ns</sup>			6,0959	3,13
F NDT	4,50 <sup>*</sup>			1,3303	1,47

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade; \*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade; e, <sup>ns</sup> – Não significativo.

Tabela 7 - Valores médios de cinzas (CZ), proteína bruta (PB), cinza insolúvel em detergente neutro (CIDN), fibra em detergente ácido (FDA), proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA) e nutrientes digestivos totais (NDT), em %, para as quatro variedades estudadas.

Variedade	CZ	PB	CIDN	FDA	PIDA	NDT
RB928064	1,93 b	2,45 b	1,10 b	26,56 b	2,62 a	78,48 a
RB855536	2,77 a	3,02 a	2,18 ab	41,21 a	1,78 b	76,65 b
RB867515	2,40 ab	2,66 ab	3,23 a	28,96 b	2,02 b	78,15 ab
RB835054	2,33 b	2,93 a	1,20 b	38,88 a	1,98 b	79,61 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste t.

O teor de proteína bruta variou de 2,45 a 3,02% sendo o menor valor obtido para a variedade RB928064 e o maior a RB855536. Estes valores estão próximos aos encontrados por Azevedo et al. (2003), que obtiveram valores entre 1,65 e 3,45%, e, também, do valor médio igual a 2,81% encontrado nas Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos para Bovinos - CQBAL 3.0 (VALADARES FILHO et al., 2013). O baixo teor de proteína em cultivares de cana-de-açúcar é uma característica desta espécie forrageira.

A proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA) representa o teor de proteína ligada à parede celular, portanto indisponível. Os valores de PIDA encontram-se em porcentagem da FDA.

A variedade RB928064 apresentou o menor teor de proteína bruta e o maior valor de PIDA, possuindo, portanto, o menor teor de proteína disponível, o que pode acarretar menor desempenho animal.

O maior teor de proteína bruta foi apresentado pela variedade RB855536, correspondendo a 3,02%, bem como o menor teor de PIDA, 1,78%, apresentando, portanto esta apresenta maior qualidade sob o ponto de vista do teor proteico.

A fibra em detergente ácido (FDA), composta por celulose e lignina, representa a porção da fibra potencialmente indigestível; portanto, quanto maior os valores de FDA, menor é a digestibilidade da fibra, consistindo em um alimento de baixa qualidade.

Apesar de o teor de lignina ter sido não significativo, existe uma relação direta entre teor de FDA e lignina, sendo possível que este resultado seja devido ao reduzido número de repetições.

Os maiores teores de FDA foram encontrados para as variedades RB855536 e RB835054, com valores de 41,21 e 38,88%, respectivamente. As variedades RB928064 e RB867515 apresentaram menores valores de FDA e, portanto, maior digestibilidade da fibra.

Azevedo (2002b), trabalhando com 15 variedades de cana-de-açúcar, colhidas aos 426, 487 e 549 dias após o plantio, obteve teores de FDA médios de 26,84%, 28,92% e 27,91%, respectivamente, os quais são menores que os observados para as variedades RB855536 e RB835054 e similares aos da RB928064 e RB867515.

Pate et al. (2001), em estudo do valor nutricional de 66 variedades comerciais de cana-de-açúcar plantadas no Sul da Flórida, também observaram uma ampla variação na porcentagem da FDA (28,3% a 41,5%) e concluíram que, para se utilizar a cana-de-

açúcar com propósito de alimentação animal, deve ser dada ênfase ao baixo conteúdo de fibra.

Em relação aos nutrientes digestivos totais (NDT), estes são compostos por proteínas, gorduras representadas pelo extrato etéreo, e carboidratos digestíveis, sendo este último composto por parte da fibra em detergente neutro (carboidratos da parede celular), somado aos carboidratos não fibrosos (CNF), que se encontram no conteúdo celular e apresentam alta digestibilidade.

Os maiores valores de NDT também correspondem aos maiores valores de CNF, sendo estes iguais a 50,5%, 42,03%, 46,28% e 49,82% para as variedades RB835054, RB928064, RB867515 e RB855536, respectivamente.

O teor de NDT variou de 76,65% a 79,61% para as variedades RB855536 e RB835054, respectivamente. Estes valores encontram-se bem acima da média de 58,64%, apresentada no CQBAL 3.0 por Valadares Filho et al. (2013), e daqueles encontrados por Azevedo et al. (2003), entre 62,47 e 63,51% para o ciclo de produção precoce e intermediário, respectivamente.

## **4.2. Experimento 2**

A análise de variância (Tabela 8) mostrou efeito significativo para a interação variedades e lâminas de irrigação sobre as variáveis altura de planta (ap) e diâmetro de colmo (dc), sendo que não houve interações entre as características número de colmos (nc) e brix (br). Houve efeito de variedade sobre o número de colmos e de variedade e lâmina sobre brix (br), ao nível de 1% de significância pelo teste F.

Na Tabela 9, encontra-se o teste de médias para variedades das características número de colmos e brix, nas quais não houve interação significativa.

Os maiores números de colmos foram apresentados pelas variedades RB855536 e RB835054, com 15,53 e 15,33 colmos/m linear, respectivamente, sendo estes estatisticamente iguais.

As médias são próximas das obtidas no experimento 1, exceto para a variedade RB835054 que apresentou maior aumento no número de colmos de 13,83 para 15,33 colmos/m linear.

Assim como no experimento 1, as variedades que apresentaram maior brix foram a RB928064 e RB855536, o que indica que esta característica seja sobretudo varietal, ou pouco sensível aos tratamentos estudados.

Tabela 8 - Resumo da análise de variância para lâminas de irrigação e variedades

F. V.	G. L.	F ap	F dc	F nc	F br
B/V	8				
L	4	30,84 <sup>ns</sup>	2,12 <sup>ns</sup>	1,32 <sup>ns</sup>	6,29 <sup>**</sup>
V	3	4,95 <sup>ns</sup>	31,17 <sup>ns</sup>	7,71 <sup>**</sup>	9,79 <sup>**</sup>
V*L	12	2,2 <sup>*</sup>	2,62 <sup>*</sup>	1,59 <sup>ns</sup>	2,03 <sup>ns</sup>
Resíduo	32				
Total	59				
Q.M. resíduo		504,7083	0,0475	2,9000	2,1384
C.V.		7,32	7,51	11,81	6,65

\*Significativo ao nível de 5% de probabilidade; \*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade; e, <sup>ns</sup> – Não significativo.

Tabela 9 - Valores médios de número de colmos (nc) e brix (br), em %, para as variedades estudadas

Variedade	nc	br
RB928064	13,80 bc	23,58 a
RB855536	15,53 a	21,96 b
RB867515	13,00 c	20,75 b
RB835054	15,33 ab	21,66 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Na Tabela 10, encontra-se a análise de variância para produtividade da cana-de-açúcar, obtida após a correção das médias utilizando o número de colmos como covariável.

Quanto à produtividade de cana-de-açúcar, a análise de variância mostrou efeitos significativos para os fatores variedades e lâminas de irrigação, havendo interação entre eles.

Na Tabela 11, encontra-se a análise de variância do desdobramento variedade dentro de lâmina para altura de planta, diâmetro de colmo e produtividade.

Tabela 10 - Resumo da análise de variância para lâminas de irrigação e variedades para a variável produtividade

F. V.	G. L.	Quadrado médio
NC	1	12998,52**
B/V	8	
L	4	2787,21**
V	3	10022,36**
V*L	12	425,62*
Resíduo	31	171,15
Total	59	
C.V.		7,87

\*Significativo ao nível de 5% de probabilidade; \*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade; e, <sup>ns</sup> – Não significativo.

Tabela 11 - Análise de variância do desdobramento variedade dentro de lâmina para altura de planta, diâmetro de colmo e produtividade.

Tratamento	G.L.	F ap	F dc	F prod
0	3	2,65 <sup>ns</sup>	2,35 <sup>ns</sup>	10,63**
50% ET <sub>c</sub>	3	2,43 <sup>ns</sup>	12,62**	15,11**
75% ET <sub>c</sub>	3	1,75 <sup>ns</sup>	12,26**	19,55**
100% ET <sub>c</sub>	3	3,90*	7,00**	17,08**
125% ET <sub>c</sub>	3	3,02*	7,42**	24,12**
Q.M. resíduo		504,7083	0,0475	171,1518

\*Significativo ao nível de 5% de probabilidade; \*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade; e, <sup>ns</sup> – Não significativo.

A análise de variância do desdobramento variedade dentro de lâmina mostra que para a característica altura de planta houve diferença significativa apenas nas lâminas 100 e 125% da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>). A variável diâmetro de colmo foi não significativa somente para a condição de sequeiro, enquanto para produtividade houve significância em todos os níveis do fator estudado.

Encontra-se apresentado na Tabela 12, a análise de variância do desdobramento lâmina dentro de variedade para altura de planta, diâmetro de colmo e produtividade. A variável altura de planta foi significativa em todas as variedades

estudadas. O diâmetro de colmo foi significativo somente em relação à variedade RB855536 e a produtividade foi não significativa apenas para a variedade RB835054.

Tabela 12 - Análise de variância do desdobramento lâmina dentro de variedade para altura de planta, diâmetro de colmo e produtividade

Variedade	G.L.	F ap	F dc	F prod
RB928064	4	5,67**	2,26 <sup>ns</sup>	3,37*
RB855536	4	12,89**	4,09**	11,70**
RB867515	4	14,21**	1,99 <sup>ns</sup>	7,43**
RB835054	4	4,67**	1,65 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>

\*Significativo ao nível de 5% de probabilidade; \*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade; e, <sup>ns</sup> – Não significativo.

O teste de médias do desdobramento de variedade dentro de lâmina para altura de planta, diâmetro de colmo e produtividade, encontra-se na Tabela 13.

As médias de altura de plantas obtidas nesta pesquisa foram superiores àquelas encontradas por Marciel et al. (2002), que trabalharam com cana-soca em solo de cerrado, no município de Pompeu, MG. Os autores avaliaram a resposta da cultura à irrigação suplementar quando plantada no período de maio a agosto, e verificaram plantas com comprimento médio de 102,2 cm sem irrigação e 253,7 cm com irrigação.

Shigaki (2003) avaliou variedades de cana-de-açúcar sob déficit hídrico e concluiu que a disponibilidade de água no solo é o principal fator responsável pela maior alongação dos entrenós, o que explica os altos valores de altura de plantas obtidos na presente pesquisa.

O maior diâmetro de colmos foi apresentado pela variedade RB867515, com diâmetro de colmo médio para as lâminas de irrigação igual a 3,41 cm. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva (2007), que ao avaliar o diâmetro do colmo em diferentes variedades, também encontrou o maior diâmetro para a RB867515, porém com valor menor (2,7 cm).

A produtividade de sequeiro máxima foi obtida para a variedade RB867515 com 176,09 t ha<sup>-1</sup>, seguida das variedades RB928064, RB835054 e RB855536, com 138,24, 135,92 e 107,46 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Esses valores estão, exceto para a RB855536, bem acima dos obtidos por Capone et al. (2011), que estudando cana-de-açúcar de sequeiro na região sul de Tocantins, obtiveram produtividades iguais a 89,11, 72,66 e 110,66 t ha<sup>-1</sup> para as variedades RB867515, RB928064 e RB855536, respectivamente.

Tabela 13 - Valores médios de altura de plantas (ap) e diâmetro de colmo (dc), em cm; e produtividade (pd), em t ha<sup>-1</sup>

Tratamento	Variedade	ap	dc	pd
0	RB928064	- <sup>1</sup>	-	138,24 ab
	RB855536	-	-	107,46 b
	RB867515	-	-	176,09 a
	RB835054	-	-	135,92 ab
50% ET <sub>c</sub>	RB928064	-	2,89 b	168,55 ab
	RB855536	-	3,18 ab	165,48 ab
	RB867515	-	3,58 a	205,49 a
	RB835054	-	2,52 b	129,93 b
75% ET <sub>c</sub>	RB928064	-	3,14 a	169,29 b
	RB855536	-	2,54 b	169,60 b
	RB867515	-	3,45 a	220,47 a
	RB835054	-	2,59 ab	131,48 b
100% ET <sub>c</sub>	RB928064	293,33 a	2,76 ab	172,63 b
	RB855536	353,33 a	2,85 ab	169,28 b
	RB867515	338,66 a	3,31 a	220,02 a
	RB835054	332,00 a	2,51 b	143,12 b
125% ET <sub>c</sub>	RB928064	290,00 a	2,63 b	166,94 b
	RB855536	333,00 a	2,66 ab	159,49 b
	RB867515	338,00 a	3,32 a	228,81 a
	RB835054	333,66 a	2,61 b	142,93 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey; <sup>1</sup> não significativo pelo teste F.

Apesar de as médias de produtividade de sequeiro serem estatisticamente iguais para as variedades RB867515, RB928064 e RB835054, a primeira produziu cerca de 40 t ha<sup>-1</sup> a mais em relação à última, o que representa uma grande quantidade de forragem principalmente quando o cultivo é feito em grandes áreas.

A variedade RB867515 apresentou maior produtividade em todas as lâminas de irrigação avaliadas, sendo estatisticamente igual a outras variedades para as lâminas de 0 e 50% da ET<sub>c</sub>. As menores produtividades foram obtidas pelas variedades RB835054 e RB855536, provavelmente devido ao menor diâmetro de colmos dessas variedades ou à menor densidade dos colmos.

Em condição de sequeiro, todas as variedades apresentaram valores superiores a  $100 \text{ t ha}^{-1}$  e sob irrigação a produtividade mínima foi de aproximadamente  $130 \text{ t ha}^{-1}$ .

De acordo com Doorenbos e Kassam (1994), o rendimento de cana-de-açúcar considerado satisfatório quando produzida em condições de sequeiro nos trópicos úmidos, varia entre  $70$  a  $100 \text{ t ha}^{-1}$ , nos trópicos e subtropicos secos e com irrigação, entre  $100$  e  $150 \text{ t ha}^{-1}$ .

As produtividades médias de cana-de-açúcar para condição de sequeiro e para condição de irrigação com lâminas de 50, 75, 100 e 125% da  $ET_c$ , foram de 139,4, 167,3, 172,7, 176,3 e  $174,5 \text{ t ha}^{-1}$ , respectivamente.

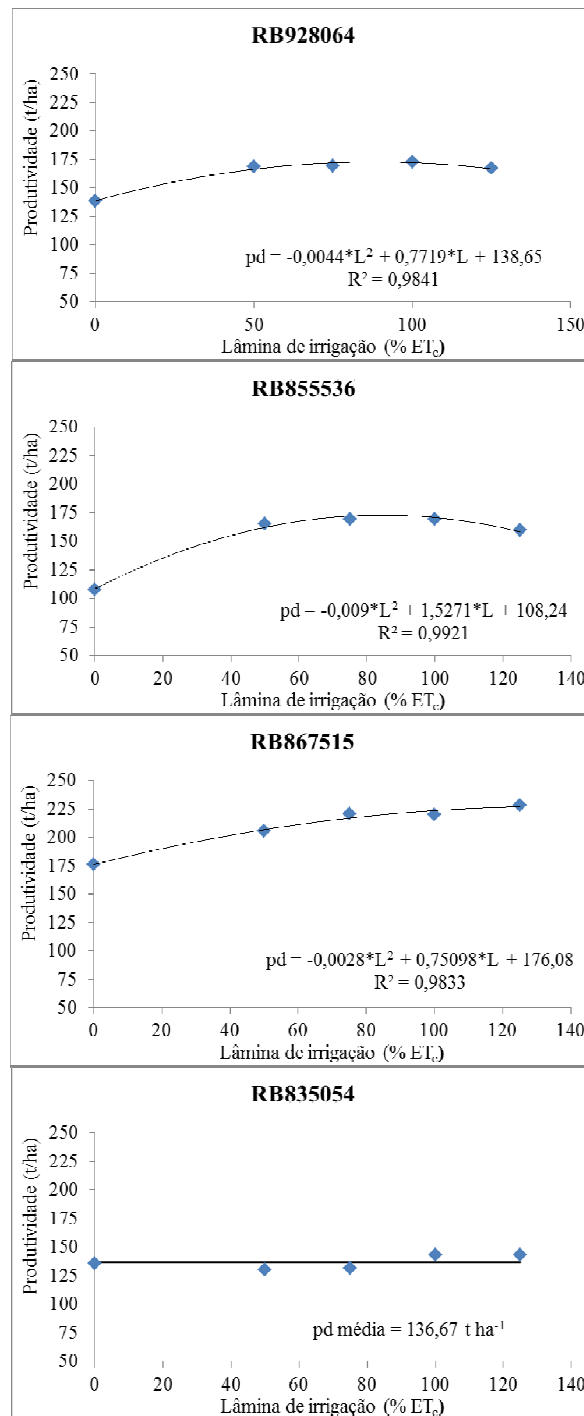
Dalri (2004) obteve, em três ciclos de cultivo (cana planta, 1ª e 2ª soca), cultivar RB72454, na região de Botucatu, SP, uma produtividade média de  $202 \text{ t ha}^{-1}$  para cana-de-açúcar irrigada por gotejamento e uma produtividade média de  $145 \text{ t ha}^{-1}$  para cana não irrigada.

Nas Figuras 13 e 14 podem-se observar as regressões que descrevem o comportamento das características produtividade e altura de plantas, respectivamente, em função das lâminas de irrigação.

Derivando-se a função que descreve a curva obtida para cada variedade e igualando-se posteriormente o seu valor a zero, obtém-se a lâmina de irrigação que permite atingir a produtividade máxima estimada.

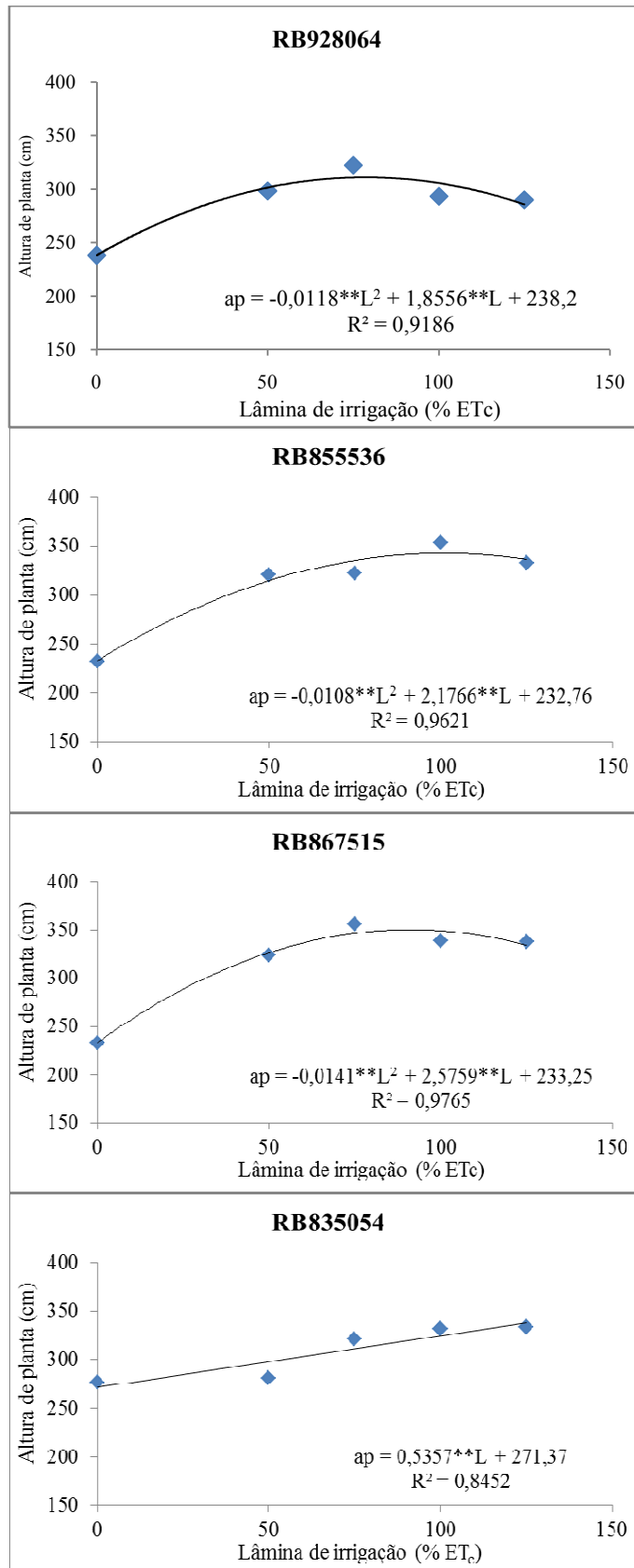
Na análise do desdobramento de lâmina dentro de variedade não foi observado diferença significativa na produtividade para a variedade RB835054, que produziu em média  $136,67 \text{ t ha}^{-1}$ . Para as variedades RB928064 e RB855536, as lâminas associadas à maior produtividade foram de 87,71 e 84,82% da  $ET_c$ , respectivamente. Estas variedades apresentaram um ganho médio de produtividade de apenas 3,45% entre as lâminas de 50%  $ET_c$  e a lâmina de máxima produtividade, portanto a lâmina mais indicada corresponde a 50%  $ET_c$ , pois implica em menor custo com irrigação.

As máximas produtividades estimadas no intervalo avaliado foram de 172,5, 173,06 e  $226,19 \text{ t ha}^{-1}$  para as variedades RB928064, RB855536 e RB867515, respectivamente.



\*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t; \*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade; e, ns – Não significativo.

Figura 13 - Regressão da produtividade da cana-de-açúcar em função das lâminas de irrigação.



\*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t; \*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Figura 14 - Regressão da altura de planta em função das lâminas de irrigação.

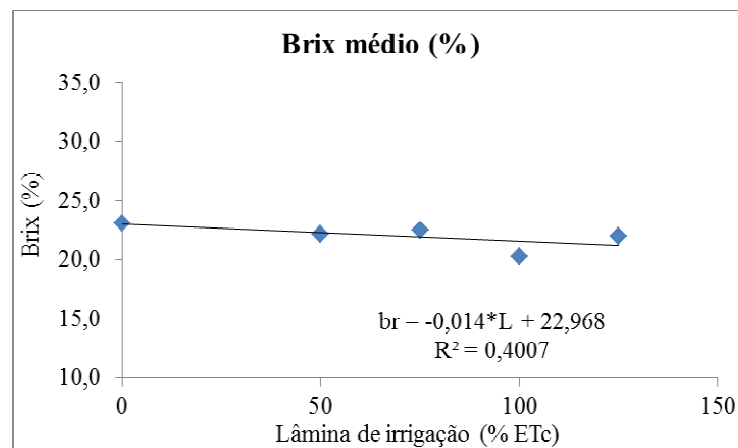
Em relação à altura de plantas, foram ajustadas equações quadráticas para as variedades RB928064, RB855536 e RB867515, com pontos de máximo encontrados para as lâminas 78,63, 100,75 e 91,34% da  $ET_c$ , respectivamente. As alturas máximas de plantas foram estimadas em 311,15, 342,43 e 350,9 cm.

Na região centro sul do Brasil, Oliveira et al. (2004) notaram, em variedades não irrigadas, estaturas finais médias de colmo de 326 cm, sendo este valor maior que a altura de 243,9 cm observada neste estudo .

A variedade RB835054 apresentou comportamento linear no intervalo estudado, em que houve acréscimo na altura de plantas, em função do aumento da lâmina de irrigação; portanto, a maior altura de planta igual a 338,33 cm, corresponde à lâmina de 125% da  $ET_c$ .

Houve um aumento médio da altura de plantas de 37,64% entre os tratamentos sem irrigação e a lâmina de máximo crescimento de plantas. Moura et al. (2005) observou que a irrigação proporcionou aumento de 25% no comprimento dos colmos em relação a regime sem irrigação, com valores iguais a 234,83 cm e 187,92 cm, respectivamente.

A Figura 15 apresenta a regressão que explica a variação de brix médio de todas as variedades em função das diferentes lâminas de irrigação.



\*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Figura 15 - Regressão do brix em função das lâminas de irrigação aplicadas ao solo.

O teor de sólidos solúveis (brix) foi afetado pelas diferentes lâminas de irrigação. A regressão linear simples do brix médio de todas as variedades em função das lâminas de irrigação aplicadas ao solo mostrou-se significativa a 1%.

O brix médio para todas as lâminas de irrigação foi de 22% e o coeficiente de variação (CV) de 9,2%, enquanto Capone et al. (2011), trabalhando com 15 variedades de cana-de-açúcar, obtiveram brix médio para soqueira igual a 20,61%.

Moura et al. (2005), comparando a cana irrigada com a cana de sequeiro, no estado da Paraíba, observaram aumento de 5 e 10,79% nos parâmetros de produtividade e brix, respectivamente, quando houve irrigação.

Para Fernandes (1985), para o estágio de maturação da cana com relação ao brix, o valor ideal para considerá-la madura é de no mínimo 18,0% no momento da colheita, desta forma todas as variedades foram colhidas maduras, pois obtiveram brix acima de 18,0%.

De acordo com Azevedo (1981), a diminuição da temperatura tem efeito direto na absorção de nutrientes, a qual, se reduzida, diminui o desenvolvimento vegetativo e a maior parte dos açúcares produzidos é armazenada. Como visto na Figura 1, houve queda e permanência de temperaturas amenas durante os três meses que antecederam a colheita, gerando um maior acúmulo de açúcares e valores consideráveis de brix.

Na Tabela 14, encontram-se os resultados da análise de variância para as características bromatológicas estudadas. Não houve interação entre os fatores lâmina de irrigação e variedade. Houve efeito significativo apenas de variedade nas características proteína bruta (PB) e fibra em detergente ácido (FDA).

Na Tabela 15, encontram-se as médias para as características proteína bruta (pb) e fibra em detergente ácido (FDA).

O teor de proteína bruta variou de 2,45 a 3,06% nas variedades RB928064 e RB855536, respectivamente. Estes valores estão próximos aos encontrados por Azevedo et al. (2003), que obtiveram valores de 1,65 a 3,45%. Os valores encontrados também estão de acordo com o teor médio de proteína bruta igual a 2,81%, obtido para diversas variedades de cana-de-açúcar avaliadas por Valadares Filho et al. (2010).

Assim como no experimento 1, a variedade RB855536 apresentou o maior teor de proteína bruta, correspondendo a 3,06%, bem como o maior teor de FDA, 38,72%.

Tabela 14 - Resumo da análise de variância para lâminas de irrigação e variedades para matéria seca (MS), cinzas (CZ), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN), proteína insolúvel em detergente neutro (PDIN), cinza insolúvel em detergente neutro (CIDN), fdn corrigido para cinzas e proteína (FDN<sub>CP</sub>), fibra em detergente ácido (FDA), proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA), lignina (LIG), carboidratos não fibrosos (CNF), fdn digestível (FDN<sub>D</sub>), proteína bruta digestível (PB<sub>D</sub>) e nutrientes digestivos totais (NDT)

F. V.	L	V	V*L	Resíduo	Total	Q.M. resíduo	C.V.
G. L.	3	3	9	4	19		
F MS	0,79 <sup>ns</sup>	1,53 <sup>ns</sup>	3,81 <sup>ns</sup>			1,84E-04	4,59
F CZ	3,87 <sup>ns</sup>	4,65 <sup>ns</sup>	3,05 <sup>ns</sup>			8,34E-06	14,24
F PB	1,95 <sup>ns</sup>	12,43 <sup>*</sup>	2,25 <sup>ns</sup>			4,06E-06	8,03
F EE	1,75 <sup>ns</sup>	3,72 <sup>ns</sup>	2,54 <sup>ns</sup>			9,01E-06	23,98
F FDN	1,28 <sup>ns</sup>	1,68 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>			1,40E-03	9,03
F PDIN	0,10 <sup>ns</sup>	0,97 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>			8,67E-06	15,96
F CIDN	0,41 <sup>ns</sup>	1,69 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>ns</sup>			5,43E-04	138,79
F FDN <sub>CP</sub>	1,34 <sup>ns</sup>	2,12 <sup>ns</sup>	0,86 <sup>ns</sup>			1,07E-03	7,91
F FDA	0,23 <sup>ns</sup>	6,93 <sup>*</sup>	0,33 <sup>ns</sup>			3,25E-03	17,34
F PIDA	0,13 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>			5,29E-05	45,23
F LIG	0,69 <sup>ns</sup>	4,27 <sup>ns</sup>	0,71 <sup>ns</sup>			5,49E-05	40,88
F CNF	1,61 <sup>ns</sup>	2,79 <sup>ns</sup>	1,23 <sup>ns</sup>			1,13E-03	6,36
F FDN <sub>D</sub>	1,03 <sup>ns</sup>	5,84 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>			6,63	4,32
F PB <sub>D</sub>	0,18 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	1,38 <sup>ns</sup>			13,57	4,64
F NDT	0,19 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>			2,73	2,08

<sup>\*</sup>Significativo ao nível de 5% de probabilidade; <sup>\*\*</sup>Significativo ao nível de 1% de probabilidade; e, <sup>ns</sup> – Não significativo.

Tabela 15 - Valores médios de proteína bruta (PB) e fibra em detergente ácido (FDA), em %, para as variedades estudadas

Variedade	PB	FDA
RB928064	2,25 b	24,42 b
RB855536	3,06 a	38,72 a
RB867515	2,45 b	30,34 ab
RB835054	2,45 b	37,61 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste t

A fibra em detergente ácido (FDA) representa a porção da fibra potencialmente indigestível, portanto, quanto maior o valor de FDA, menor é a digestibilidade da fibra, consistindo em um alimento de baixa qualidade. Dessa forma, esta variedade possui maior qualidade sob o ponto de vista proteico, porém menor digestibilidade da fibra.

A variedade RB835054 apresentou-se como o alimento de menor qualidade, pois demonstrou baixo teor de proteína bruta e alta porcentagem de fibra em detergente ácido.

## 5. CONCLUSÕES

Não houve diferenças significativas do uso das doses de adubo sobre nenhum dos componentes de produção, bem como sobre as características bromatológicas da cana-de-açúcar.

A variedade de cana-de-açúcar com maior potencial para alimentação animal foi a RB867515, pois apresentou maior equilíbrio entre produtividade, teor de proteína bruta, fibra em detergente ácido e nutrientes digestivos totais, o que pode aumentar a produção animal e a lucratividade.

As laminas médias de irrigação para maximizar a produtividade das variedades RB928064, RB855536 e RB867515 foram 87,71, 84,8 e 125%  $ET_c$ , respectivamente, enquanto a variedade RB835054 apresentou a mesma produtividade média para todas os tratamentos avaliados.

A variedade RB867515 apresentou a maior produtividade para todas as lâminas de irrigação avaliadas, exceto para a lâmina de sequeiro e 50%  $ET_c$ , em que apresentou a produtividade média estatisticamente igual a outras variedades.

Para a região do Alto Paranaíba, MG, recomenda-se a variedade RB867515 em sistema de produção de forragem irrigada com lâmina de 75%  $ET_c$ , por apresentar produtividade similar àquela obtida para a lâmina de 125%  $ET_c$  e menor necessidade de irrigação.

## REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G.; JENSEN, M.E.; BORNAN, R.D. Operational estimates of reference evapotranspiration. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, p. 650-662, 1989.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 310 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALLEONI, L.R.F.; BEAUCLAIR, E.G.F. Cana-de-açúcar cultivada após milho e amendoim, com diferentes doses de adubo. **Scientia Agricola**, v. 52, n. 3, p. 409-415, 1995.

ALVAREZ, I.A.; CASTRO, P.R.C.; NOGUEIRA, M.C.S. Crescimento de raízes de cana crua e queimada em dois ciclos. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 4, p. 653-659, 2000.

AUDE, M.I.S. Estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar e suas relações com a produtividade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 241-248, 1993.

AZEVEDO, H.J. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Araras: Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-Açúcar, 1981. 108 p.

AZEVEDO, H.M. **Resposta da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e de adubação de cobertura nos tabuleiros costeiros da Paraíba**. 2002a. 112 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB.

AZEVEDO, J.A.G. **Avaliação nutricional de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.) e simulação do desempenho de vacas leiteiras**. 2002b. 90 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

AZEVEDO, J.A.G.; PEREIRA, J.C.; CARNEIRO, P.C.S.; QUEIROZ, A.C. et al. Composição químicobromatológica, fracionamento de carboidratos e degradação in vitro da fibra de três variedades de cana-de-açúcar(*Saccharum ssp.*). **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 32, n. 6, p. 1443-1453, 2003.

BALL-COELHO, B.; SAMPAIO, E.U.S.B.; TIESSEN, H.; STWARTJ, W.B. Root dynamics in plant ratoon crops of sugarcane. **Plant and Soil**, v. 42, p. 297-305, 1992.

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

BARBIERI, V.; BACCHI, O.O.S.; VILLA NOVA, N.A. Análise do fator temperatura média do ar no desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 1979, Mossoró. **Anais...** Mossoró: SBA, 1979. v. 1, p. 6-8.

BARBIERI, V. **Medidas e estimativas de consumo hídrico em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 1981. 142 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.

BENITES, V.M. et al. Potássio, cálcio e magnésio. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. (Eds.). **Boas práticas para o uso eficiente de fertilizantes: nutrientes**. Piracicaba: IPNI, 2010. p. 137-191.

BEZUIDENHOUT, C.N.; O’LEARY, G.J.; SINGELS, A.; BAJIC, V.B. A process based model to simulate changes in tiller density and light interception of sugarcane crops. **Agricultural Systems**, v. 76, n. 2, p. 589-599, 2003.

BONNETT, G.D.; HEWITT, M.L.; GLASSOP, D. Effects of high temperature on the growth and composition of sugarcane internodes. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 57, p. 1087-1095, 2006.

CÂMARA, G.M.S. Ecofisiologia da cultura da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G.M.S. **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ, 1993. p. 31-64.

CANTARELLA, H. Aplicação de nitrogênio em sistema de cana-crua. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 16, n. 1, p. 21-22, 1998.

CAPONE, A.; LUI, J.J.; SILVA, T.R.; DIAS, M.A.R. et al. Avaliação do comportamento de quinze cultivares de cana-de-açúcar na Região Sul do Tocantins. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 3, p.70-78, 2011.

CASAGRANDE, A.A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157 p.

CASTRO, P.R.C. Aplicações da fisiologia vegetal no sistema de produção da cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE FISIOLÓGICA CANA-DE-AÇÚCAR, 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: STAB, 2000. p. 1-9.

CASTRO, P.R.C.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Fisiologia da cana-de-açúcar. In: MENDONÇA, A.F. **Cigarrinhas da cana-de-açúcar: controle biológico**. Maceió: Insecta, 2005. p. 3-48.

CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA - CTC. **Censo varietal e de produtividade em 2008**. Piracicaba, 2008. 16 p.

CESAR, M.A.A.; DELGADO, A.A.; CAMARGO, A.P.; BISSOLI, B.M.A. et al. 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.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, safra 2010/2011, terceiro levantamento, janeiro/2011.** Brasília, 2011. 19 p.

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** Viçosa: UFV, 2003. v. 2.

DALRI, A.B. **Avaliação da produtividade da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial nos três primeiros ciclos.** 2004. 89 p. Tese (Doutorado) – Universidade do Estado de São Paulo, Botucatu, SP.

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

DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; PAULINO, M.F. Predição do valor energético de dietas para bovinos a partir da composição química dos alimentos. In: VALADARES FILHO, S.C.; MARCONDES, M.I.; CHIZZOTTI, M.L. et al. (Eds.). **Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados BR-CORTE.** 2.ed. Viçosa: DZO-UFV, 2010. p. 47-64.

DETMANN, E.; SOUZA, M.A.; VALADARES FILHO, S.C. **Métodos para análises de alimentos.** Visconde do Rio Branco: Suprema, 2012.

DILLEWIJN, C. Botany of sugarcane. **The Chronica Botanica**, v. 1, p. 53-58, 1952.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water.** Rome: FAO, 1979. 193 p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas.** Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (FAO. Estudos de Irrigação e Drenagem, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, J.O. **Crop water requirements.** Rome: FAO, 1975. 179 p. (FAO Irrigation and Drainage, 24).

DOORENBOS, J.; PRUITT, J.O. **Crop water requirement.** Rome: FAO, 1977. 144 p. (FAO Irrigation and Drainage, 24).

DRUMOND, L.C.D.; AGUIAR, A.P.A. **Irrigação de pastagem.** Uberaba: Ed. L.C.D. DRUMOND, 2005. 210 p.

ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A.; SANTOS, F.C. Potássio. In: NOVAIS, R.F. et al. (Eds.). **Fertilidade do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 551-594.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas.** Lavras: ESAL-FAEPE, 1994. 227 p.

- FARIAS, C.H.A.; FERNANDES, P.D.; AZEVEDO, H.M.; NETO, J.D. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 356-362, 2008.
- FARONI, C.E. **Sistema radicular da cana-de-açúcar e identificação de raízes metabolicamente ativas**. 2004. 68 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.
- FERNANDES, A.C. Autorização da colheita da cana-de-açúcar. In: SEMANA DE FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA “JAIME ROCHA DE ALMEIDA”, 1985, São Paulo. **Anais...** Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1985. p. 12-21.
- FLORES, R.A.; PRADO, R.M.; POLITI, L.S.; ALMEIDA, T.B.F. Potássio no desenvolvimento inicial da soqueira de cana crua. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 42, n. 1, p. 106-111, 2012
- FRANCO, H.C.J.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C. et al. Acúmulo de nutrientes pela cana-planta. **STAB Açúcar, Álcool Subpr.**, v. 26, p. 47-51, 2008.
- FRAZÃO, D.A.C. **Influência do intervalo entre a colheita e o plantio na germinação de cana-de-açúcar**. 1976. 59 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.
- GASCHO, G.J.; SHIH, S.F. Sugarcane. In: TEERE, I.D.; PEET, M.M. **Crop-water relations**. New York: John Willey, 1983. p. 445-479.
- GERDES, L. et al. Avaliação de características de valor nutritivo das gramíneas forrageiras Marandu, Setária e Tanzânia nas estações do ano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 955-963, 2000.
- GONÇALVES, E.R. **Fotossíntese, osmorregulação e crescimento inicial de quatro variedades de cana-de-açúcar submetida à deficiência hídrica**. 2008. 66 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, AL.
- GUPTA, V.; RAGHUVANSHI, S.; GUPTA, A.; SAINI, N. et al. The water-deficit stress and red-rotrelated genes in sugarcane. **Functional Integrative Genomics**, v. 10, n. 2, p. 207-214, 2010.
- HARTT, C.E.; BURR, G.O. **Factors affecting photosynthesis in sugarcane**. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS, 12, 1967, Cartagena de Índias. **Proceedings...** Cartagena de Índias, Celam, 1967. p. 590-609.
- HSIAO, T.C. Plant response to water stress. **Plant Physiology**, Minneapolis, n. 24, p. 519-570, 1973.

- HUMBRET, H.P. **The growing of sugarcane**. Amsterdam: Elsevier, 1968. 779 p.
- INMAN-BAMBER, N.G.; BONNETT, G.D.; SPILLMAN, M.F.; HEWITT, M.L.; JINGSHENG, X. Source-sink differences in genotypes and water regimes influencing sucrose accumulation in sugarcane stalks. **Crop & Pasture Science**, v. 60, n. 4, p. 316-327, 2009.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Rio de Janeiro, 2011. v. 24, 80 p.
- JAMES, N.I. Yield components in random and selected sugarcane populations. **Crop Science**, v. 11, p. 906-908, 1971.
- KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Glendora: Rain Bird Sprinkler Manufacturing, 1975. 133 p.
- KORNDÖRFER, G.H.; OLIVEIRA, L.A. O potássio na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. (Eds.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2005. p. 469-490.
- KORNDÖRFER, G.H.; RIBEIRO, A.C.; ANDRADE, L.A.B. Cana-de-açúcar. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5. Aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 285-288.
- 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.**, v. 23, p. 28-31, 2004.
- LIU, D.L.; KINGSTON, G.; BULL, T.A. A new technique for determining the thermal parameters of phenological development in sugarcane, including sub optimum and supra-optimum temperature regiments. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 90, p. 119-139, 1998.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, 1980.
- MALAVOLTA, E. **Potássio e enxofre nos solos e culturas brasileiras**. Piracicaba: Potafos, 1982. (Boletim Técnico, 4).
- MALAVOLTA, E. Importância da adubação na qualidade dos produtos: função dos nutrientes na planta. In: SÁ, M.E.; BUZZETI, S. **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas**. São Paulo: Ícone, 1994. p. 19-44.
- MALAVOLTA, E. Potássio é uma realidade; o potássio é essencial para todas as plantas. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 73, p. 5-6, 1996.

MARCIEL, M.L. et al. Manejo da irrigação na cana-soca no cerrado de Minas Gerais. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 8, 2002, Recife. **Anais...** Recife: STAB, 2002.

McCORMICK, A.J.; CRAMER, M.D.; WATT, D.A. Culm sucrose accumulation promotes physiological decline of mature leaves in ripening sugarcane. **Field Crops Research**, v. 108, p. 250-258, 2008.

MELLO, S.Q.S.; FRANÇA, A.F.S.; LIMA, M.L.M.; RIBEIRO, D.S.; MIYAGI, E.S.; REIS, J.G. Parâmetros do valor nutritivo de nove variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação. **Revista Ciência Animal Brasileira**, v. 7, n. 4, p. 373-380, 2006.

MOORE, P.H. Integration of sucrose accumulation processes across hierarchical scales: towards developing an understanding of the genetic-crop continuum. **Field Crops Research**, v. 92, p. 119-135, 2005.

MORAIS, A.R.; OLIVEIRA, A.C.; CRUZ, J.C. **Comparação de métodos de correção de produções de milho em parcelas experimentais**: relatório técnico anual do CNPMS - 1980-1984. Sete Lagoas: CNPMS, 1986. p. 130-132.

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

MOURA FILHO, G. et al. Crescimento e absorção de nutrientes em quatro variedades de cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO ALAGOANO SOBRE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR, 2006, Maceió. **CD-ROM...** Maceió: STAB Leste, 2006.

MUTTON, M.J.R. **Produção de etanol**: qualidade de matéria prima. 2008.

NETO, J.D. et al. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 283-288, 2006.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7.ed. Washington, D.C., 2001. 381 p.

NUSSIO, L.G.; SANTOS, M.C.; QUEIROZ, O.C. Cana-de-açúcar para a produção intensiva de leite em pasto. In: SIMPÓSIO DE NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DE GADO DE LEITE: PRODUÇÃO DE LEITE EM PASTO, 3, 2007, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFMG, 2007. p. 1-18.

OLIVEIRA, M.W. et al. Degradação da palha de cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 803-809, 1999.

OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; PENATTI, C.P.; PICCOLO, M.C. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 34, p. 2359-2362, 1999.

OLIVEIRA, E.C.A. **Dinâmica de nutrientes na cana-de-açúcar em sistema irrigado de produção**. 2008. 73 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE.

OLIVEIRA, R.A.; DAROS, E.; ZAMBON, J.L.C.; WEBER, H.; IDO, O.I.; ZUFFELLATO-RIBAS, K.C.; KOERLER, H.S.; SILVA, D.K.T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, cana planta, no Estado do Paraná. **Scientia Agrária**, v. 5, n. 1-2, p. 87-94, 2004.

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

OLIVEIRA, R.A.; RAMOS, M.M.; AQUINO, L.A. Manejo de irrigação. In: BORÉM, A. et al. **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool – tecnologias e perspectivas**. Viçosa, MG: UFV, 2010. cap. 8, p. 217-244.

OLIVEIRA, F.M.; ASPIAZÚ, I.; KONDO, M.K.; BORGES, I.D.; PEGORARO, R.F.; VIANNA, E.J. Crescimento e produção de variedades de cana-de-açúcar influenciadas por diferentes adubações e estresse hídrico. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 5, n. 1, p. 56, 2011.

OMETTO, J.C. **Parâmetros meteorológicos e a cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ, 1980. 17 p.

ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: Instituto do Açúcar e do Alcool/PLANALSUCAR, 1983. 369 p.

ORLANDO FILHO, J.; HAAG, H.P.; ZAMBELLO JR., E. Crescimento e absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar variedade CB41-76, em função da idade em solos do Estado de São Paulo. **Boletim Técnico Planalsucar**, v. 2, n. 1, p. 1-128, 1980.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JUNIOR, E.; RODELLA, A.A. Calibração do potássio no solo e recomendação de adubação para cana-de-açúcar. **Brasil Açuc.**, v. 97, p. 18-24, 1981.

ORLANDO FILHO, J.; BITTENCOURT, V.C.; CARMELLO, Q.A.C.; BEAUCLAIR, E.G.F. Relações K, Ca e Mg de solo areia quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v. 14, n. 5, p. 13-17, 1996.

ORTOLANI, A.A.; CAMARGO, M.B.P. Influência dos fatores climáticos na produção. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. (Eds.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p. 71-79.

OTTO, R.; TRIVELIN, P.C.O.; FRANCO, H.C.J.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C. Root system distribution of sugarcane as related to nitrogen fertilization, evaluated by two methods: monolith and probes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 601-611, 2009.

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

PADILHA, W.A. **Curso internacional de fertirrigacion em cultivos protegidos**. Quito, Equador, 1998. 120 p.

PATE, F.M.; ALVAREZ, J.; PHILLIPS, J.D.; EILAND, B.R. **Sugarcane as a cattle feed: production and utilization**. Florida: University of Florida/Cooperative Extension Service, 2001. 25 p.

PLANA, R.; DOMINI, M.E.; ESPINOSA, R. Influencia de las precipitaciones y la temperatura sobre la brotadura de dos variedades de caña de azúcar (*Saccharum* sp híbrido) plantadas en diferentes meses. **Cultivos Tropicales**, v. 9, n. 3, p. 19-24, 1987.

RAIJ, B. Calibração de potássio trocável no solo para feijão, algodão e cana-de-açúcar. **Ci. Cult.**, v. 26, p. 575-579, 1974.

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. Piracicaba: USP/ESALQ, 1996. 513 p.

RESENDE SOBRINHO, E.A. **Comportamento de variedades de cana-de-açúcar em Latossolo Roxo, na região de Ribeirão Preto – SP**. 2000. 85 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP.

ROCHA, A.M.C. **Emergência, perfilhamento e produção da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) em função das épocas de plantio no Estado de São Paulo**. 1984. 138 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.

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

RODELLA, A.A.; MARTINS, M. Efeitos de fontes e formas de aplicação de fósforo na produtividade da cana-de-açúcar, em cana-planta. **Álcool e Açúcar**, v. 45, n. 8, p. 26-30, 1988.

RODRIGUES, A.A.; PRIMAVESI, O.; ESTEVES, S.N. Efeito da qualidade de variedades de cana-de-açúcar sobre seu valor como alimento para bovinos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 12, p. 1333-1338, 1997.

RODRIGUES, J.D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: Unesp, 1995. 75 p.

ROSENFELD, U. Excelentes resultados com irrigação por pivô e laterais rebocáveis em cana. In: SEMINÁRIO DE MECANIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 2007, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto, SP: IDEA, 2007.

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

SALOMÉ, J.L.; SAKAI, R.H.; AMBROSANO, E. Viabilidade econômica da rotação de adubos verdes com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 2, p. 116-119, 2007.

SANTOS, M.A.C.; SOBRAL, A.F.; CORDEIRO, D.A.; ARAÚJO, J.D.L. **Adubação da cana-de-açúcar**: resumo informativo. Carpina: IAA/PLANALSUCAR, 1979. 3 p.

SCARPARI, M.S. **Modelos para a previsão da produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) através de parâmetros climáticos**. 2002. 79 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.

SCHMILDT, E.R.; CRUZ, C.D.; ZANUNCIO, J.C.; PEREIRA, P.R.G.; FERRÃO, R.G. Avaliação de métodos de correção de estande para estimar a produtividade em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 1011-1018, 2001.

SEGATO, S.V.; MATTIUZ, C.F.M.; MOZAMBANI, A.E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. (Orgs.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP2, 2006. p. 19-36.

SEGATO, S.V.; PEREIRA, L.L. Colheita da cana-de-açúcar: corte manual. In: SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba, 2006. 19 p.

SHIGAKI, F. **Variedade de cana-de-açúcar para alimentação bovina cultivadas sob condições de déficit hídrico**. 2003. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.

SILVA, A.L.C.; COSTA, W.A.J.M. Varietal variation in growth, physiology and yield of sugarcane under two contrasting water regimes. **Tropical Agricultural Research**, Peradeniya, v. 16, p. 1-12, 2004.

SILVA, M.A.; SANTOS, C.M.; ARANTES, M.T.; PINCELLI, R.P. Fenologia da cana-de-açúcar. In: CRUSCIOL, C.A.; SILVA, M.A.; ROSSETTO, T.; SORATTO, R.P. **Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: FEPAF, 2010. 111 p.

SILVA, L.C. **Análise de crescimento e acúmulo nutrientes de sete cultivares de cana-de-açúcar na região de Coruripe**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL.

SILVA, M.A.; LANDELL, M.G.A.; CAMPANA, M.P.; ZIMBACK, L. Competição de genótipos de cana-de-açúcar sob condições de plantio de cana de ano, em um Latossolo Vermelho Escuro Eutrófico da região de Jaú (SP). In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 7, 1999, Londrina. **Anais...** Londrina: STAB, 1999. p. 15-18.

SILVEIRA, L.C.I.; BARBOSA, M.H.P.; OLIVEIRA, M.W. Manejo de variedades de cana-de-açúcar predominantes nas principais regiões produtoras de cachaça de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 23, n. 217, p. 25-32, 2002.

SINGELS, A.; SMIT, M.A.; REDSHAW, K.A.; DONALDSON, R.A. The effect of crop start date, crop class and cultivar on sugarcane canopy development and radiation interception. **Field Crops Research**, v. 92, p. 249-260, 2005.

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

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

SOUZA, E.F.; BERNADO, S.; CARVALHO, J.A. Função de produção da cana-de-açúcar em relação à água para três variedades em Campos dos Goytacazes. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n. 1, p. 28-42, 1999.

STORCK, L.; GARCIA, D.C.; LOPES, S.J.; ESTEFANEL, V. **Experimentação vegetal**. Santa Maria: UFSM, 2000. 198 p.

SUGUITANI, C. **Entendendo o crescimento e produção da cana-de-açúcar: avaliação do modelo Mosicas**. 2006. 60 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia do estresse: fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. p. 738-773.

TAUPIER, L.O.G.; RODRIGUES, G.O. A cana-de-açúcar. In: INSTITUTO CUBANO DE INVESTIGACIONES DE LOS DERIVADOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR. **Manual dos derivados da cana-de-açúcar: diversificação, matérias-primas, derivados do bagaço, derivados do melaço, outros derivados, resíduos, energia**. Brasília: ABIPTI, 1999. cap. 21, p. 21-27.

TAVARES, M.H.F. et al. Uso do forno de microondas na determinação da umidade em diferentes tipos de solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 3, p. 529-538, 2008.

UEHARA, N.; SASAKI, N.; AOKI, N.; OHSUG, R. Effects of the temperature lowered in the daytime and night-time on sugar accumulation in sugarcane. **Plant Production Science**, v. 12, n. 4, p. 420-427, 2009.

VALADARES FILHO, S.C.; MARCONDES, M.I.; CHIZZOTTI, M.L.; RODRIGUES PAULINO, P.V. **Nutrient requirements of zebu beef cattle BR-CORTE**. 2.ed. Viçosa, MG: UFV/DZO, 2010.

VEIGA, C.F.M.; VIEIRA, J.R.; MORGADO, I.V. **Diagnóstico da cadeia produtiva da cana-de-açúcar do estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: FAERJ/SEBRAE-RJ, 2006. 107 p. (Relatório de Pesquisa).

VENCOVSKY, R.; CRUZ, C.D. Comparação de métodos de correção do rendimento de parcelas com estandes variados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, p. 647-657, 1991.

VERONESI, J.A.; CRUZ, C.D.; CORRÊA, L.A.; SCAPIM, C.A. Comparação de métodos de ajuste do rendimento de parcelas com estandes variados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, p. 169-174, 1995.

WALDRON, J.C.; GLASZIOU, K.T.; BULL, T.A. The physiology of sugarcane: factors affecting photosynthesis and sugar storage. **Australian Journal of Biological Sciences**, Melbourne, v. 20, p. 1043-1052, 1967.

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

YAMORI, W.; NOGUCHI, K.; TERASHIA, I. Temperature acclimation of photosynthesis in spinach leaves: analysis of photosynthetic components and temperature dependencies of photosynthetic partial reactions. **Plant Cell Environmental**, v. 28, p. 536-547, 2005.

ZAMBELLO JÚNIOR, E.; AZEREDO, D.F. Adubação na região centro-sul. In: ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. São Paulo: IAA/PLANALSUCAR, 1983. 368 p.