

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**CANA-DE-AÇÚCAR: RESPOSTAS DA PLANTA E DO SOLO A DIFERENTES  
NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

**MÍRIAN PAULA MEDEIROS ANDRÉ PINHEIRO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU-SP  
OUTUBRO - 2014

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**CANA-DE-AÇÚCAR: RESPOSTAS DA PLANTA E DO SOLO A DIFERENTES  
NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

**MÍRIAN PAULA MEDEIROS ANDRÉ PINHEIRO**

**Orientador: Profº Dr. Raimundo Leite Cruz**

**Co-orientador: Dr. Welson Lima Simões**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU-SP  
OUTUBRO - 2014

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO

DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO -  
BOTUCATU (SP)

Pinheiro, Mírian Paula Medeiros André, 1986-  
P654c Cana-de-açúcar: respostas da planta e do solo a  
diferentes níveis de irrigação no semiárido nordestino / Mírian  
Paula Medeiros André Pinheiro. - Botucatu : [s.n.], 2014  
x, 81 f. : grafs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual  
Paulista,  
Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2014  
Orientador: Raimundo Leite Cruz  
Coorientador: Welson Lima Simões  
Inclui bibliografia

1. Cana-de-açúcar - Irrigação. 2. Evapotranspiração. 3.  
Solos áridos. 4. Irrigação por gotejamento. 5. Manejo da  
irrigação. I. Cruz, Raimundo Leite. II. Simões, Welson  
Lima. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de  
Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de  
Ciências Agrônomicas. IV. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS**

**CAMPUS DE BOTUCATU**

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

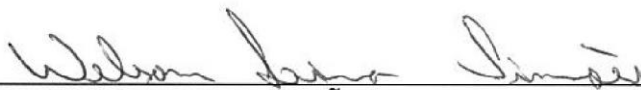
**TÍTULO: CANA-DE-AÇÚCAR: RESPOSTAS DA PLANTA E DO SOLO A DIFERENTES NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

**ALUNO: MÍRIAN PAULA MEDEIROS ANDRÉ PINHEIRO**

**ORIENTADOR: Prof. Dr. RAIMUNDO LEITE CRUZ**

**CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. WELSON LIMA SIMÕES**

Aprovado pela Comissão Examinadora



Prof. Dr. WELSON LIMA SIMÕES



Prof. Dr. ROBERTO LYRA VILLAS BOAS



Prof. Dr. TARLEI ARRIEL BOTREL

Data da Realização: 31 de outubro de 2014.

*“Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende o que ensina”*

(Cora Coralina)

A minha mãe Maria Eugênia Medeiros André Pinheiro e a minha avó Maria Miriã de Medeiros André (*in memoria*) que sempre acreditaram em mim, me dando apoio e amor.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus por me dá fé e esperança nos momentos mais sombrios.

Aos meus pais, M<sup>a</sup> Eugênia e Paulo Pinheiro, pela compreensão, confiança, amor e por acreditar e apoiar meus sonhos.

Ao meu irmão, Valdir Eugênio, que me respeita, apoia e ajuda em vários momentos, inclusive quando brigamos. À minha adorável cunhada Angélica Lima pelo carinho e amizade.

Aos amigos que são tão importantes para mim, os que conquistei durante a graduação e a pós-graduação: Daniella Pereira, Marislane Carvalho, Evelynne Urzêdo, Dennis Crystian, Paulo Vasconcelos, Jandir Cruz, Daniela Coelho e Miguel Guimarães, que me deram muito mais que amizade, deram-me, confiança, companheirismo, ensinamentos, momentos felizes e me ajudaram nos pequenos erros que cometi ao longo desse caminho.

Aos companheiros que conquistei durante a realização deste trabalho: Moises Alves, Ezequiel Santos, Janderson Medrado, Jair Andrade.

Aos amigos que conviveram comigo durante a realização do projeto e que compartilharam momentos maravilhosos e de aprendizagem: Isabela Oliveira, Carolina Curaçá, Vagner Pereira, Osmar Carvalho.

Ao Prof<sup>o</sup> Raimundo Leite Cruz, por toda orientação, ensinamentos, paciência e, principalmente, confiança.

Ao meu co-orientador Welson Lima Simões, pela oportunidade que me foi dado, pelos ensinamentos, pela paciência, pelo apoio e pelo voto de confiança.

A EMBRAPA Semiárido pela infraestrutura e a alguns pesquisadores pelo apoio durante a realização desse trabalho.

A todos que contribuíram, mesmo com pensamentos e palavras de estímulo.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>IX</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>IIX</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>1</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>3</b>
<b>1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>5</b>
<b>2 - REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>7</b>
2.1 - Cana-de-açúcar.....	7
2.2 - Teor de água no solo.....	9
2.3 Déficit Hídrico.....	10
<b>3 - MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>11</b>
3.1 - Descrição da área experimental e detalhamento do experimento.....	11
3.2 - Dados meteorológicos.....	17
3.3 - Caracterização do tipo de solo.....	17
<b>4 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>19</b>
<b>CAPÍTULO I: Comportamento do teor de água no solo cultivado com cana-de-açúcar irrigada com diferentes lâminas.....</b>	<b>22</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>23</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>25</b>
<b>1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>26</b>
<b>2 - MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>29</b>
<b>3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>32</b>
3.1 - Fase I.....	32
3.2 - Fase II.....	33
3.3 - Fase III.....	34

<b>4 - CONCLUSÃO .....</b>	<b>37</b>
<b>5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>38</b>
<b>CAPÍTULO II: Respostas morfológicas da cana-de-açúcar a regimes de déficit hídrico no Semiárido Brasileiro .....</b>	<b>39</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>40</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>42</b>
<b>1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>43</b>
<b>2 - MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>45</b>
<b>3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>48</b>
3.1 - Parâmetros Morfológicos .....	48
3.1.1 - Número de Folhas Verdes (NFV) .....	48
3.1.2 - Número de Colmos (NC).....	49
3.1.3 - Comprimento da folha +3 (C+3) .....	50
3.1.4 - Largura da folha +3 (L+3) .....	51
3.1.5 - Diâmetro do colmo (D).....	52
3.1.6 - Altura da planta (ALT) .....	53
3.2 - Perfilhamento, Produtividade e Eficiência no Uso da Água (EUA).....	54
<b>4 - CONCLUSÃO .....</b>	<b>56</b>
<b>5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>57</b>
<b>CAPÍTULO III: Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas de irrigação no Submédio do São Francisco.....</b>	<b>60</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>61</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>63</b>
<b>1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>64</b>
<b>2 - MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>67</b>
2.1 - Teor de Sólidos Solúveis (°BRIX em %) .....	69

2.2 - Teor de Sacarose (POL do caldo em %)	69
2.3 - Percentagem Bruta de Açúcar (PCC)	70
2.4 - Pureza do Caldo (PZA %)	70
2.5 - Fibra Industrial na Cana-de-açúcar (FIBRA%)	70
2.6 - Açúcar Total Recuperável (ATR – Kg t <sup>-1</sup> )	70
<b>3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>72</b>
3.1 - Teor de Sólidos Solúveis (°BRIX em %)	72
3.2 - Teor de Sacarose (POL do caldo em %)	73
3.3 - Percentagem Bruta de Açúcar (PCC)	74
3.4 - Pureza do Caldo (PZA%)	74
3.5 - Fibra Industrial na Cana-de-açúcar (FIBRA%)	75
3.6 Açúcar Total Recuperável (ATR)	76
<b>4 - CONCLUSÃO</b>	<b>78</b>
<b>5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>79</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Fases fenológicas da cana-de-açúcar, com duração de cada fase, Juazeiro-BA.....	11
<b>Tabela 2.</b> Coeficientes de cultura (Kc) utilizados pela empresa.....	14
<b>Tabela 3.</b> Volumes hídricos aplicados ao longo do experimento.....	15
<b>Tabela 4.</b> Teores de água (em m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) no perfil do solo ao longo do ciclo.....	36
<b>Tabela 5.</b> Coeficientes da cultura sugeridos pela FAO 56 e utilizados pela empresa AGROVALE para cana-de-açúcar.....	36
<b>Tabela 6.</b> Média e desvio padrão das variáveis produtividade, perfilamento e a eficiência no uso da água, em cada tratamento e geral.....	64

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Croqui de distribuição dos tratamentos em campo.....	13
<b>Figura 2.</b> Precipitação e umidade relativa do ar de julho de 2012 a junho de 2013.....	16
<b>Figura 3.</b> Evapotranspiração de julho de 2012 a junho de 2013.....	16
<b>Figura 4.</b> Temperaturas mínima, média e máxima de julho de 2012 a junho de 2013.....	17
<b>Figura 5.</b> Radiação média de julho de 2012 a junho de 2013.....	17
<b>Figura 6.</b> Distribuição do teor de água no perfil do solo referente à Fase I para os tratamentos: a – 100% da ETc, b – 85% da ETc, c – 70% da ETc, d – 55% da ETc.....	33
<b>Figura 7.</b> Distribuição do teor de água no perfil do solo referente à Fase II para os tratamentos: a – 100% da ETc, b – 85% da ETc, c – 70% da ETc, d – 55% da ETc.....	34
<b>Figura 8.</b> Distribuição do teor de água no perfil do solo referente à Fase III para os tratamentos: a – 100% da ETc, b – 85% da ETc, c – 70% da ETc, d – 55% da ETc.....	35
<b>Figura 9.</b> Número médio de folhas verdes durante o ciclo da cana-de-açúcar, variedade VAT 90212.....	49

<b>Figura 10.</b> Número médio de colmos durante o ciclo da cana-de-açúcar, variedade VAT 90212.....	50
<b>Figura 11.</b> Número médio do comprimento da folha +3 durante o ciclo da cana-de-açúcar, variedade VAT 90212.....	51
<b>Figura 12.</b> Número médio da largura da folha +3 durante o ciclo da cana-de-açúcar, variedade VAT 90212.....	52
<b>Figura 13.</b> Número médio do diâmetro dos colmos durante o ciclo da cana-de-açúcar, variedade VAT 90212.....	50
<b>Figura 14.</b> Altura média das plantas durante o ciclo da cana-de-açúcar, variedade VAT 90212.....	51
<b>Figura 15.</b> Valores médios de °BRIX (teor de sólidos solúveis) das coletas semanais ao longo do último mês, antes da colheita.....	73
<b>Figura 16.</b> Valores médios de POL% (teor de sacarose) das coletas semanais ao longo do último mês, antes da colheita.....	73
<b>Figura 17.</b> Valores médios de PCC (percentagem de açúcar bruto) das coletas semanais ao longo do último mês, antes da colheita.....	74
<b>Figura 18.</b> Valores médios de PZA% (pureza do caldo) das coletas semanais ao longo do último mês, antes da colheita.....	75
<b>Figura 19.</b> Valores médios de FIBRA% (fibra industrial da cana-de-açúcar) das coletas semanais ao longo do último mês, antes da colheita.....	76
<b>Figura 20.</b> Valores médios de ATR (açúcar total recuperável) das coletas semanais ao longo do último mês, antes da colheita.....	77

## RESUMO

Para o cultivo de culturas como a cana-de-açúcar, na região semiárida, a irrigação localizada deve ser valorizada entre os produtores, já que ela atende a necessidade da cultura e evita desperdícios, principalmente devido a esta cultura apresentar alta demanda hídrica, variando de 1500 a 2500 mm. Neste sentido, objetivou-se com o presente trabalho avaliar o efeito de déficits hídricos nas diferentes fases da cultura, na biometria, na produtividade e na qualidade tecnológica da cana planta e no perfil de distribuição de água no solo da região do Submédio São Francisco. Este experimento foi conduzido num talhão experimental de cana-de-açúcar na Fazenda São Jorge, pertencente à empresa AGROVALE, no município de Juazeiro-BA. A variedade utilizada foi a VAT 90212. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com dez tratamentos e três repetições. Os tratamentos tratam-se da redução das lâminas de irrigação nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura (1-164; 164-224; 224-284 e 284-344 dias após o plantio correspondentes, respectivamente, as Fases I, II e III do ciclo da cultura), sendo: T1 a testemunha, com irrigação plena (100% da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>)) em todo o ciclo; T2, T5 e T8 com lâminas de 85% da ET<sub>c</sub>, apenas na primeira, segunda e terceira fase, respectivamente; T3, T6 e T9 com lâminas de 70% da ET<sub>c</sub>, apenas na primeira, segunda e terceira fase, respectivamente; e T4, T7 e T10 com lâminas de 55% da ET<sub>c</sub>, apenas na primeira, segunda e terceira fase da cultura, respectivamente. O sistema de irrigação utilizado foi gotejamento subsuperficial. Nesse trabalho foram estudados os parâmetros tecnológicos: °BRIX%, POL%, FIBRA%, PZA%, PCC e ATR; os parâmetros morfológicos: número de folhas verdes, comprimento, largura da folha +3, diâmetro e número de colmos, altura da planta, e os efeitos dos tratamentos no teor de água do solo até um metro de profundidade durante o ciclo do cultivo. Como conclusão geral, pode-se afirmar que, para todos os

tratamentos, as lâminas de irrigação aplicadas foram superestimadas, não havendo diferença significativa entre os parâmetros tecnológicos, morfológicos e produtivos, indicando necessidade de redução do coeficiente de cultura utilizado pela empresa para irrigação para todas as fases fenológicas.

**PALAVRAS-CHAVE:** irrigação subsuperficial, manejo da irrigação, evapotranspiração, *Saccharum* ssp.

CANE SUGAR: RESPONSES OF PLANT AND SOIL TO DIFFERENT LEVELS OF IRRIGATION IN NORTHEASTERN SEMIARID. **Botucatu, 2014. Xxp.**

Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: MÍRIAN PAULA MEDEIROS ANDRÉ PINHEIRO

Adviser: RAIMUNDO LEITE CRUZ

Co-Adviser: WELSON LIMA SIMÕES

## SUMMARY

For growing crops such as cane sugar, in the semiarid region, drip irrigation should be valued between producers, since it meets the need of culture and avoids waste, mainly due to this culture present high water demand, ranging 1500-2500 mm. In this sense, the objective with this study was to evaluate the effect of water deficits at different stages of culture, biometrics, productivity and technological quality of sugar cane plant and water distribution in the soil of the Lower-middle São Francisco region profile. This experiment was conducted in an experimental field of cane sugar at Farm São Jorge, belonging to the company AGROVALE, in Juazeiro-BA. The variety used was VAT 90212. The experimental design was a randomized complete block with ten treatments and three replications. The treatments dealing is the reduction of irrigation at different stages of crop development (1-164, 164-224, 224-284 and 284-344 days after planting corresponding, respectively, Phases I, II and III of crop cycle), as follows: T1 to witness, with full irrigation (100% of crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>)) throughout the cycle; T2, T5 and T8 with blades 85% of ET<sub>c</sub>, only the first, second and third phase, respectively; T3, T6 and T9 with blades 70% of ET<sub>c</sub>, only the first, second and third phase, respectively; and T4, T7 and T10 blades with 55% of ET<sub>c</sub>, only the first, second and third phase of the culture, respectively. The irrigation system was used subsurface drip. In this paper the technological parameters were studied: % ° BRIX, POL% FIBER%, PZA%, PCC and ATR; morphological parameters: number of green leaves, length, leaf width +3, diameter and number of stems, plant height, and the effects of treatments on soil water content up to a meter deep during the cultivation cycle. As a general conclusion it can be said that for all treatments, the irrigation applied were

overestimated, with no significant difference between the technological, morphological and productive parameters, indicating a need for reduction of crop coefficient used by the company for irrigation to all phenological stages.

**KEYWORDS:** subsurface irrigation, irrigation management, evapotranspiration, *Saccharum* ssp.

## 1 - INTRODUÇÃO

Em condições de campo, as plantas estão frequentemente expostas ao estresse ambiental. Fatores bióticos, como temperatura do ar, conteúdo de água no solo e deficiência mineral do solo podem proporcionar efeitos estressantes sobre as plantas em minutos, dias, semanas ou até mesmo em meses. Já fatores abióticos (condições climáticas e edáficas) influenciam, invariavelmente, no desenvolvimento e produção das culturas (TAIZ & ZEIGER, 2013).

O Semiárido brasileiro é caracterizado por apresentar secas periódicas, precipitação pluviométrica anual entre 300 a 700mm com distribuição irregular, temperatura elevada, baixa umidade relativa do ar, evaporação anual alta e solos de baixa fertilidade, em sua maioria. No entanto, são encontrados alguns tipos de solos, como os aluviões, os vertissolos e os latossolos, que apresentam alto potencial agrícola, onde são desenvolvidos sistemas de produção com grandes culturas, visando uma alta eficiência de cultivo (RIBEIRO & SILVA, 1998), entretanto, com a grande concorrência internacional para muitos produtos, seu manejo na região semiárida deve ser o mais preciso possível.

O estresse proporcionado pelos fatores descritos acima desempenha um papel importante na determinação de como o solo e o clima limitam o desenvolvimento de algumas culturas. Assim, a compreensão dos processos fisiológicos responsáveis pelos danos gerados pelo estresse e dos mecanismos de adaptação e aclimatação de plantas a estresses ambientais é de grande importância para sustentabilidade da agricultura e do meio ambiente (TAIZ & ZEIZER, 2013).

Uma alternativa para ajudar as plantas a sobreviverem e produzirem com eficiência nessas condições edafoclimáticas é o uso e o manejo adequado da irrigação. No entanto, apesar de ser algo benéfico, a irrigação, ainda é um obstáculo aos seus usuários que enfrentam problemas para manejá-la corretamente, sendo esse o fator que garante a elevada eficiência da mesma.

A cana-de-açúcar é uma cultura que apresenta um elevado potencial produtivo, pois apresenta metabolismo  $C_4$ , que permite um uso bem mais eficiente na conversão do carbono em sacarose, mas, para que, seu máximo potencial produtivo seja explorado, essa cultura deve estar às condições ideais de clima e umidade, sendo exigente em um grande volume hídrico ao longo de seu ciclo.

O cultivo de cana-de-açúcar irrigada, de forma localizada, deve ser valorizado e estimulado entre os produtores, já que este atende a necessidade da cultura e evita desperdícios, principalmente sendo esta uma cultura que possui necessidade hídrica variando de 1500 a 2500 mm, bem distribuídos (DOORENBOS & KASSAM, 1979). Em situações limitantes, como a do Semiárido brasileiro, outra alternativa para obter-se uma produtividade mínima aceitável, é o uso de variedades resistentes, no caso da cana-de-açúcar. Assim, pesquisadores e profissionais com conhecimentos técnicos desenvolvem projetos para auxiliar os produtores a aumentar a produção com um mínimo de água possível, ou seja, realizando um maior uso eficiente da água.

No entanto, ainda existem produtores que não se preocupam em utilizar tal técnica corretamente, causando assim prejuízos aos solos (lixiviação de nutrientes e provocando erosões), desperdício de água e custos desnecessários.

Diante da necessidade de se melhorar a eficiência de uso da água no cultivo irrigado da cana-de-açúcar no Semiárido nordestino, objetivou-se com o presente trabalho avaliar o efeito de déficits hídricos nas diferentes fases da cultura, na biometria, na produtividade e na qualidade tecnológica da cana planta e no perfil de distribuição de água no solo da região Submédio do rio São Francisco.

## 2 - REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 - Cana-de-açúcar

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), com produção de 653,8 mil toneladas, numa área de 8,89 mil hectares, na safra de 2013/2014. A Região Centro-Sul participa com 90,86% do percentual nacional e detém aproximadamente 87,36% da área plantada com esta cultura no país. O estado de São Paulo é o maior produtor, 55,17% da safra nacional, enquanto que as Regiões Norte-Nordeste detêm os 9,14% restantes. A área plantada com cana-de-açúcar no Brasil aumentou 4,8% (408,3 mil hectares) em relação à da safra anterior, com uma previsão de produtividade média nacional de aproximadamente 73,5 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2014).

Apesar da região Nordeste do Brasil possuir características edafoclimáticas, como solos com baixa fertilidade e irregularidade na distribuição das chuvas, que limitem a produção agrícola, também apresenta uma elevada incidência de radiação, fator esse que garante um alto potencial produtivo de cana-de-açúcar para a região, havendo, evidentemente, um manejo correto da irrigação e da adubação (OLIVEIRA & BRAGA, 2011).

A cana-de-açúcar é uma planta de ciclo perene, que possui dois metabolismos fotossintéticos C<sub>3</sub> (nas folhas mais jovens) e C<sub>4</sub> (nas demais folhas), no entanto, o segundo o metabolismo predominante, por isso ela é conhecida por possuir somente um metabolismo C<sub>4</sub>. Isso faz com que, essa cultura seja adaptada à alta intensidade luminosa e tenha uma alta eficiência no uso do CO<sub>2</sub>. Por pertencer à família Poaceae, tem como principais características: inflorescência em forma de espiga, crescimento do caule em

colmos, folhas com lâminas de sílica em suas bordas e bainhas abertas. O perfilhamento começa a ocorrer de forma abundante logo após a emergência das plântulas, é de hábito ereto e levemente decumbente, esse dá início às touceiras. A partir desse momento, a cultura começa a se estabelecer em campo, há também a eliminação de alguns perfilhos devido ao autosombreamento. No período de estabelecimento ou crescimento de colmos, as plantas precisam de maior quantidade de água e nutrientes exigida em todo o ciclo (DIOLA & SANTOS, 2010).

Como características morfológicas a cana-de-açúcar apresenta a **folha** com formato laminar, uma bainha que envolve o colmo e distribui-se de forma alternada e oposta (BLACKBURN, 1984). O **colmo** com formato cilíndrico, ereto, fibroso e constituído de nós e internódios, com altura varia entre 1,0 e 5,0 m, e o diâmetro pode variar entre menor que 1,0 cm a 5,0 cm. É considerado o fruto agrícola da cana-de-açúcar por acumular, no processo de maturação, a sacarose (TAUPIER & RODRIGUES, 1999). O **sistema radicular** (SR) é do tipo fasciculado e pode atingir até 5 m de profundidade. De acordo com Doorenbos & Kassan (1979), atinge, no máximo, 1,2 a 2,0 m em áreas com irrigação plena. Quanto à distribuição, segundo Blackburn (1984), 50% do peso do SR pode ser encontrado nos primeiros 20 cm de solo; já Sampaio et al. (1987) encontraram uma quantidade maior, 75% do SR na mesma profundidade e que 55% deste concentrado num raio de 30 cm da touceira.

O ciclo fenológico dessa cultura pode durar de 12 (cana de ano) a 18 (cana de ano e meio) meses na primeira folha (cana planta); a partir da segunda folha, após o primeiro corte, o ciclo dura 12 meses e a denominação muda para cana-soca. Segundo Machado (1981), o ciclo pode ser dividido em três fases: a fase inicial de crescimento lento (surgimento das plântulas, perfilhamento e estabelecimento da touceira), a fase intermediária (crescimento total dos colmos) e a fase final (maturação/acúmulo máximo de sacarose). Alfonsi et al. (1987), afirmam que os fatores abióticos que interferem diretamente na produção da cana-de-açúcar são temperatura, luz, disponibilidade de nutrientes e água.

Uma das principais características da cana-de-açúcar é uma alta demanda hídrica, segundo Segato et al. (2006), 30% de sua massa é composta por matéria seca e o restante por água. Nesse contexto, a determinação da lâmina a ser aplicada em cada fase fenológica é fundamental para um excelente desempenho da cultura, garantido uma ótima produtividade e uma matéria-prima. É sabido, que nas fases inicial e intermediária o estresse hídrico pode ocasionar um prejuízo significativo para a indústria, por afetar diretamente a área foliar e não permitir o desenvolvimento vegetativo.

## 2.2 - Teor de água no solo

O método de balanço hídrico do solo compreende o teor de umidade presente no solo, resultado da água que entra nas formas de precipitações e irrigação pela água que sai através da evaporação do solo e da transpiração das plantas, e ainda aquela que não consegue penetrar no solo, seja devido à saturação do meio ou velocidade de aplicação. É um método empregado para água livre presente no meio, para ser estudado, três fatores devem ser considerados: armazenamento de água no solo, evapotranspiração e escoamento superficial.

No entanto, dessa água presente no solo a questão principal é o quanto está disponível para a cultura, garantindo assim um bom desenvolvimento e produtividade, já que a disponibilidade hídrica e de nutrientes estão, diretamente, associadas. Quando a distribuição pluviométrica não é suficiente para manter o solo em capacidade de campo para as culturas, torna-se necessário o uso da irrigação, que quando bem manejada apresenta um excelente rendimento econômico (NETO et al., 2006).

O solo é a base para o suprimento nutricional das plantas, no entanto, nem todos os tipos de solo possuem uma boa fertilidade natural, como na maioria dos casos do Nordeste brasileiro, sendo fundamental por isso, a análise e adubação periódica dos solos bem explorados pela agricultura (AZEVEDO, 2002). O outro fator que interfere nesse fornecimento por parte do solo, é de um alto teor de água no mesmo, pois acaba gerando uma percolação e dificultando o uso de tais nutrientes pelo sistema radicular.

Fenômenos naturais como o El Niño e a La Niña podem interferir diretamente na distribuição pluviométrica de uma região, fazendo com que ocorra déficit hídrico em regiões não áridas ou semiáridas, interferindo no crescimento da parte aérea, e consequentemente na produtividade da cultura (TAIZ & ZEIGER, 2013); ou que ocorram chuvas intensas, provocando saturação dos solos em regiões onde a pluviosidade é baixa, afetando no desenvolvimento do sistema radicular, gerando instabilidade da parte aérea e reduzindo o rendimento da cultura.

Em relação à cultura da cana-de-açúcar, Carretero (1982), trabalhando com a irrigação por gotejamento, teve sucesso obtendo um rendimento de 16% na produtividade em relação à cana de sequeiro. Já Casagrande (1991), avaliando a brotação das plântulas, constatou que solos abaixo de sua capacidade de campo reduzem a percentagem de brotações, assim como solos encharcados.

### 2.3 Déficit Hídrico

Regiões áridas, semiáridas ou com distribuição pluviométrica irregular torna limitante o crescimento vegetal, devido à falta de água no solo, gerando efeitos letais que afetam diretamente a produtividade (LECHINOSKI et al., 2007). Por isso é importante estudar a quantificação do teor de umidade presente no solo, assim como entender os mecanismos desenvolvidos por algumas espécies para tolerar à seca e para estudar as respostas da planta ao déficit hídrico (LEVITT, 1980).

O estresse provocado pelo déficit hídrico gera efeitos em toda a planta, como as respostas morfológicas, fisiológicas e bioquímicas. As modificações morfológicas mais observadas são o alongamento das raízes, fechamento dos estômatos, como mecanismo de adaptação à perda de água e redução da área foliar (TAIZ & ZEIGER, 2013; LOPEZ et al., 2008). Já as respostas fisiológicas e bioquímicas estão ligadas a modificações do potencial hídrico das folhas e do solo (LIBERATO et al., 2006).

A cana-de-açúcar é uma das culturas que mais sofrem com a baixa disponibilidade hídrica (VENKATARAMANA et al., 1986). Para anemizar esse problema uma das alternativas é o efeito da irrigação (INMAN-BAMBER, 2004). No entanto, o uso dessa prática, em alguns casos, é caro e não rentável (BOYER, 1996), sendo dessa forma aconselhável o uso de variedades que passaram por melhoramento genético e tornaram-se tolerante do déficit hídrico (SILVA et al., 2007).

Quando sofre estresse hídrico, a cana apresenta algumas modificações específicas como altura de plantas, número e diâmetro de colmos, número de folhas verdes e área foliar, dentre outras (SILVA et al., 2008), sendo que algumas dessas são mecanismos de tolerância a seca, que evitam ou retardam a morte da planta (INMAN-BAMBER & SMITH, 2005).

### 3 - MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 - Descrição da área e detalhamento do experimento

O experimento foi conduzido num talhão experimental de cana-de-açúcar da Fazenda São Jorge, pertencente à Agroindústria do Vale do São Francisco (AGROVALE), que possui aproximadamente 18 mil hectares de áreas cultivadas, localizados no município de Juazeiro – BA. O clima da região, segundo a classificação climática de Köppen é do tipo BSW<sub>h</sub>, tropical Semiárido conforme descrito por Reddy & Amorim Neto (1983). A precipitação apresenta uma média anual em torno de 500 mm, irregularmente distribuído e se concentra nos meses de novembro a abril. A umidade relativa do ar média anual é de 66% e a temperatura do ar média anual é de 26,5°C, apresentando os maiores picos entre outubro e dezembro, sendo julho é o mês com temperaturas mais amenas.

O experimento foi instalado em julho de 2012 e colhido em junho de 2013, totalizando 44 semanas, em que a duração das fases do ciclo da cultura está demonstrada na Tabela 1.

**Tabela 1.** Descrição da duração das fases fenológicas da cana-de-açúcar, , Juazeiro - BA

<b>FASES</b>	<b>PERÍODO</b>
<b>I. Brotação e estabelecimento, com perfilhamento</b>	16 semanas
<b>II. Máximo crescimento de colmos</b>	24 semanas
<b>III. Maturação dos colmos</b>	4 semanas

A variedade de cana-de-açúcar utilizada no experimento foi a VAT 90212, escolhida por ser a mais cultivada na região, plantada em colmos inteiros deitados na linha de cultivo, numa densidade de plantio de 12 gemas por metro linear, em fileiras duplas,

no espaçamento de 0,70 x 1,30 m. Inicialmente, a irrigação aplicada após o plantio foi para atingir a capacidade de campo em toda a área até que as plantas estivessem com 20 cm de altura, quando se iniciaram os tratamentos. A colheita ocorreu quando o canavial atingiu 11 meses, foi feita de forma manual, tendo o cuidado de empilhar e etiquetar cada tratamento em seu respectivo bloco. O experimento foi conduzido no ciclo cana planta, na safra 2012/2013. Os tratos culturais e as aplicações de defensivos agrícolas obedeceram às necessidades da cultura, considerando o manejo integrado de pragas e doenças. A adubação de fundação feita na área foi com 550 kg de NPK por hectare (25-05-15), com uréia, MAP e cloreto de potássio, determinada com base nas análises de fertilidade do solo da área, e as adubações de cobertura foram efetuadas via fertirrigação, na frequência de três vezes por semana, seguindo o cronograma da empresa.

A variedade VAT 90212 apresenta como características agronômicas, bom touceiramento, colmos eretos, de diâmetro médio de cor verde-arroxeadas, com bainhas semiabertas, de fácil despalha. Possui bom florescimento e alta brotação de soqueira. Época de plantio junho a agosto; época de colheita de outubro a janeiro. Destaque: boa produtividade (UFRPE/RIDES/PMGCA, 2014).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 10 tratamentos e 3 repetições, totalizando 30 parcelas, como mostra a Figura 1. As parcelas experimentais foram compostas por 5 fileiras duplas de cana-de-açúcar, com 10 m de largura por 12 m de comprimento. A área útil de cada parcela foi de 6 m de largura e 8 m de comprimento, totalizando 48m<sup>2</sup> (3 fileiras duplas centrais). Os resultados obtidos foram avaliados por meio da análise da variância (ANOVA), com o uso do programa SISVAR (FERREIRA, 2000).

Bloco 01	T2 85% - F1	T8 85% - F3	T1 100%	T4 55% - F1	T5 85% - F2
	T3 70% - F1	T10 55% - F3	T6 70% - F2	T9 70% - F3	T7 55% - F2
Bloco 02	T4 55% - F1	T7 55% - F2	T2 85% - F1	T10 55% - F3	T8 85% - F3
	T3 70% - F1	T9 70% - F3	T6 70% - F2	T1 100%	T5 85% - F2
Bloco 03	T6 70% - F2	T7 55% - F2	T3 70% - F1	T4 55% - F1	T2 85% - F1
	T9 70% - F3	T5 85% - F2	T8 85% - F3	T10 55% - F3	T1 100%

**Figura 1.** Croqui de distribuição dos tratamentos em campo

Os tratamentos foram diferenciados com a redução das lâminas de irrigação, aplicadas pela empresa, nas fases de desenvolvimento da cultura (Tabela 1), sendo: T1 a testemunha, com irrigação plena (100% da evapotranspiração da cultura (ETc)) em todo o ciclo; T2, T5 e T8 com uma lâmina de 85% da ETc, apenas na primeira, segunda e terceira fase, respectivamente; T3, T6 e T9 com uma lâmina de 70% da ETc, apenas na primeira, segunda e terceira fase, respectivamente; e T4, T7 e T10 com uma lâmina de 55% da ETc, apenas na primeira, segunda e terceira fase da cultura, respectivamente.

A ETc foi a base para o cálculo das lâminas de irrigação aplicadas no experimento, em que a evapotranspiração de referência (ETo) foi obtida por meio de dados da estação meteorológica instalada próximo ao local de estudo, utilizando-se o método de Penman-Monteith modificado por Allen et al. (1998), cuja expressão é descrita como:

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (1)$$

sendo,  $Rn$  o saldo de radiação à superfície, em  $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ,  $G$  o fluxo de calor no solo, em  $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ,  $T$  é a temperatura do ar a 2 m de altura, em  $^{\circ}\text{C}$ ,  $U_2$  a velocidade do vento à altura de 2 m, em  $\text{m s}^{-1}$ ,  $e_s$  é a pressão de saturação de vapor, em kPa,  $e_a$  é a pressão de vapor atual do ar, em kPa,  $(e_s - e_a)$  o déficit de pressão de vapor, em kPa,  $\Delta$  a declividade da curva de pressão de vapor de saturação, em  $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ; e  $\gamma$  a constante psicrométrica, em  $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

Os valores dos coeficientes de cultura ( $K_c$ ) utilizados para o manejo da irrigação da cana-de-açúcar foram os padrões da empresa AGROVALE, obtidos em trabalhos realizados anteriormente pela empresa e pela indicação de consultores, os quais estão descritos na Tabela 2.

**Tabela 2.** Coeficientes da cultura ( $K_c$ ) utilizados pela empresa

Idade (mês)	$K_c$ padrão da AGROVALE
00 a 01	0,45
01 a 02	0,65
02 a 03	0,8
03 a 04	1
04 a 05	1,1
05 a 06	1,15
06 a 09	1,15
09 a 10	1,1
10 a 11	1
11 a 12	0,9
12 a 13	0,9

Os volumes de água aplicados (Tabela 3) por unidade de área foram obtidos pela seguinte expressão matemática:

$$V_a = \frac{ET_c \times A_u}{E_a} \quad (2)$$

em que,  $V_a$  é o volume de água a ser aplicado por unidade de área (l);  $A_u$  é a área máxima ocupada por um metro linear de uma fileira de plantas ( $\text{m}^2$ ) e  $E_a$  é a eficiência de aplicação do sistema de irrigação (em decimal), que foi determinada após a instalação dos sistemas de irrigação, conforme metodologia descrita por Keller e Bliesner (1990).

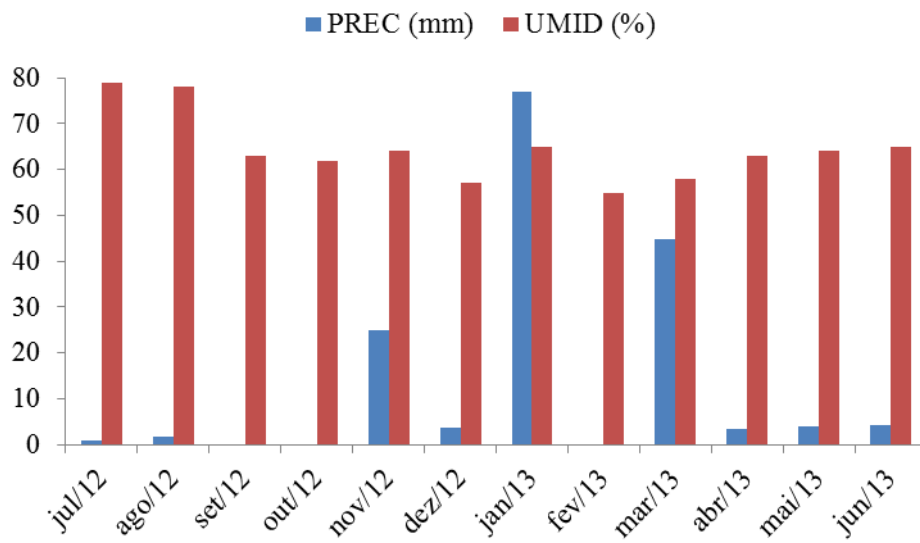
**Tabela 3.** Volumes hídricos aplicados ao longo do experimento

Tratamento	Água aplicada (mm ha <sup>-1</sup> )			Volume total (mm ciclo <sup>-1</sup> )	Produtividade (t ha <sup>-1</sup> )
	Fase I	Fase II	Fase III		
1	641,92	708,49	216,04	1566,45	117,92
2	545,63	708,49	216,04	1470,16	129,00
3	449,34	708,49	216,04	1373,87	133,25
4	353,05	708,49	216,04	1277,58	122,50
5	641,92	602,21	216,04	1460,17	126,58
6	641,92	495,94	216,04	1353,90	124,50
7	641,92	389,67	216,04	1247,63	128,58
8	641,92	708,49	183,64	1534,04	133,00
9	641,92	708,49	151,23	1501,63	129,25
10	641,92	708,49	118,82	1469,23	133,17

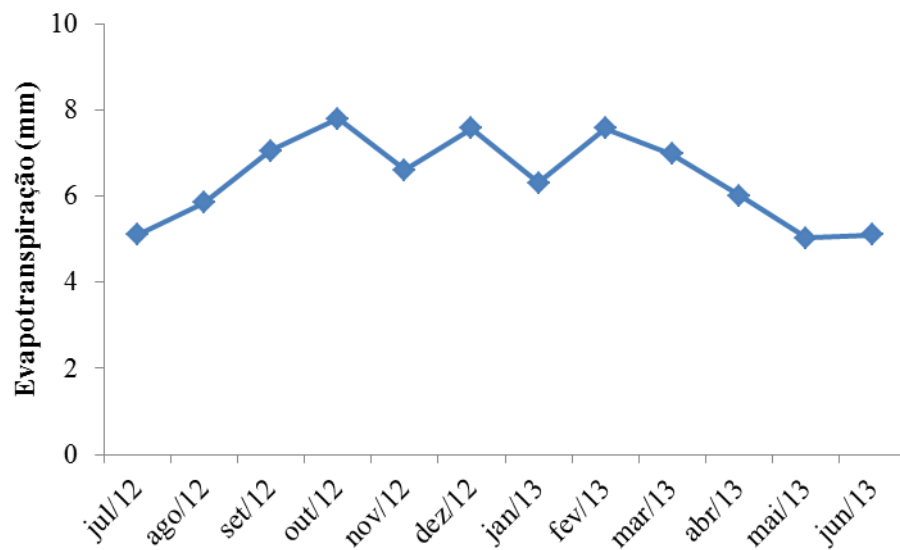
O sistema de irrigação utilizado foi gotejamento subsuperficial, com emissores autocompensantes tipo labirinto embutido na tubulação, com vazão média de 1,6 L h<sup>-1</sup> espaçados 0,5 m entre si. As linhas laterais foram instaladas em fileiras duplas, com os emissores colocados para cima, e enterradas a uma profundidade de 20 cm. Para evitar intrusão radicular nos gotejadores foi aplicado 1 L ha<sup>-1</sup> de Trifuralina, uma única vez, um mês antes do plantio. As lâminas de irrigações foram controladas automaticamente pelo quadro de comando de válvulas NMC-Pro, da Netafim, que era acoplado a válvulas hidráulicas com solenóides, que possibilitavam liberar a quantidade exata de água aplicada para cada tratamento.

### 3.2 – Dados meteorológicos

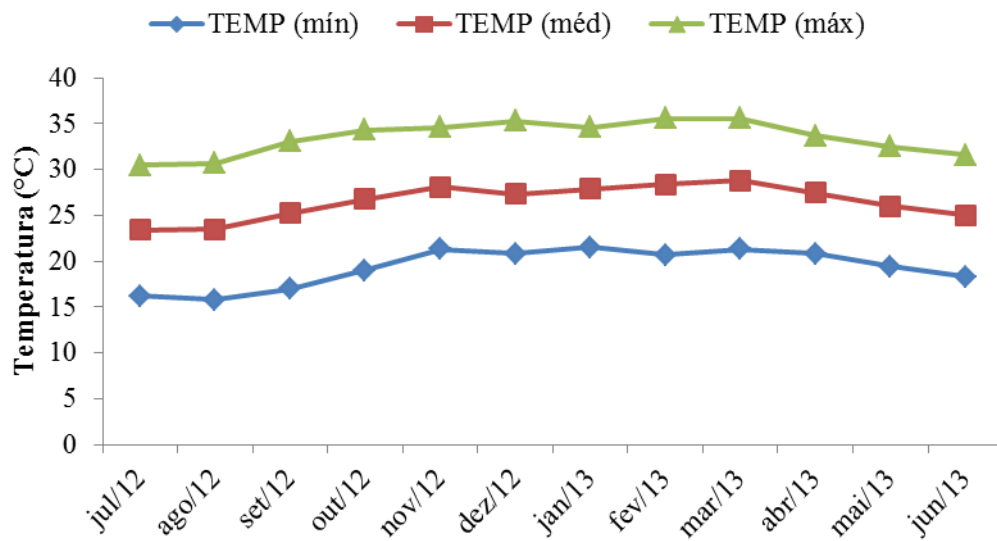
Os dados meteorológicos, ao longo do experimento, foram coletados na estação automática meteorológica de Mandacaru, instalada próximo a área experimental. Encontram-se nas Figuras 2, 3, 4 e 5 os dados de precipitação, evapotranspiração, umidade relativa do ar, temperaturas (mínima, média e máxima) e radiação, respectivamente.



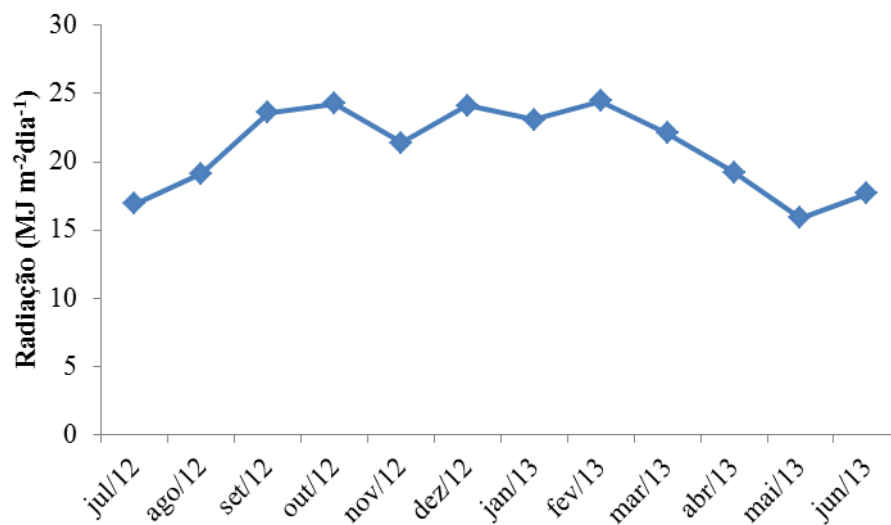
**Figura 2.** Precipitação (PREC) e umidade relativa do ar (UMID) de julho de 2012 a junho de 2013.



**Figura 3.** Evapotranspiração de referência de julho de 2012 a junho de 2013.



**Figura 4.** Temperaturas mínima, média e máxima de julho de 2012 a junho de 2013.



**Figura 5.** Radiação média de julho de 2012 a junho de 2013.

### 3.3 - Caracterização do tipo de solo

O solo da área foi identificado, por suas características físicas, como um Argissolo Vermelho.

Os solos desta classe têm como característica marcante um aumento de argila do horizonte superficial A para o subsuperficial B que é do tipo textural (Bt), geralmente acompanhado de boa diferenciação também de cores e outras características. As

cores do horizonte Bt variam de acinzentadas a avermelhadas e as do horizonte A, são sempre mais escurecidas. A profundidade dos solos é bem variável, mas em geral são rasos e profundos. São juntamente com os Latossolos, os solos mais expressivos do Brasil, sendo verificados em praticamente todas as regiões (CAVARARO, 2007).

#### 4 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFONSI, R. R., et al. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. (Coord). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas, fundação Cargill, 1987, v.1, p.42-55.

ALLEN, R. G., et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56, 1998, 297p.

AZEVEDO, H. M. de. **Resposta da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e de adubação de cobertura nos tabuleiros da Paraíba**. Tese Doutorado (Recursos Hídricos). Campina Grande: UFCG, 2002, 112p.

BOYER, J. S. Advances in drought tolerance in plants. **Advances in Agronomy**, Beltsville, v. 56, p. 187-218, 1996.

BLACKBURN, F. **Sugar-cane**. Longman, New York. 1984. 414p.

CARRETERO, M. V. **Utilização do tanque de evaporação classe “A” para controle da irrigação por gotejamento em soqueira de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. Dissertação de Mestrado. Piracicaba: ESALQ/USP, 1982. 86p.

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

CAVARARO, R. **Manual Técnico de Pedologia**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. 2ª edição. Rio de Janeiro. 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira Cana-de-Açúcar Safra 2013, segundo levantamento, agosto/2013**. Brasília: CONAB, 2014. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/3cana\\_09.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/3cana_09.pdf)> Acesso em: 13/01/14.

DIOLA, V.; SANTOS, F. Fisiologia. In: SANTOS, F. et al. (Eds.). **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool – Tecnologias e perspectivas**. Viçosa: UFV, p.25-49. 2010.

DOORENBOS, J; KASSAN, A. H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**.(Riego e Drenaje). Boletim No 33. Roma, 1979, FAO, 212p.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In...**45ª Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade internacional de Biometria**. UFSCar, São Carlos, SP, p.255-258. 2000.

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

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research, Amsterdam**, v. 92, n. 2-3, p. 185-202, 2005.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: van Nostrand Reinhold, 1990. 652p.

LECHINOSKI, A. et al. Influência do estresse hídrico nos teores de proteínas e aminoácidos solúveis totais em folhas de Teca (*Tectona grandis* L. f.). **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre. v.5, supl.2, p.927-929, jul. 2007.

LEVITT, J. **Response of plants to environmental stress**. II: Water radiation, salt and other stress. New York: Academic Press, 1980. 606p.

LIBERATO, M. A. R., et al. Leaf water potential, gas exchange and Chlorophyll a fluorescence in acariquara seedlings (*Minquartia guianensis* Aubl.) under water stress and recovery. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 18, n.2, p. 315-323, 2006.

LOPEZ, F. B.; CHAUHAN, Y. S.; JOHANSEN, C. Effects of Timing of Drought Stress on Leaf Area Development and Canopy Light Interception of Short-duration Pigeonpea. **Journal of Agronomy and Crop Science**, California, v. 178, n. 1, p. 1-7, 2008.

MACHADO, E. C. **Um modelo matemático-fisiológico para simular o acúmulo de matéria-seca na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)**. Campinas. Dissertação de Mestrado (Instituto de Biologia - Universidade Estadual de Campinas). 1981, 115p.

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**. vol.10 n.2. Campina Grande Apr./June 2006.

OLIVEIRA, A. R. de; BRAGA, M. B. Florescimento e acamamento de cultivares de cana-de-açúcar submetidas a diferentes lâminas de irrigação. Petrolina: **Embrapa Semiárido**, 2011. 23 p. (Embrapa Semiárido. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 87).

RIBEIRO, J. L.; SILVA, P. H. S. **Recomendações técnicas para o cultivo do algodoeiro herbáceo no semiárido piauiense em condições de sequeiro**. Teresina; EMBRAPA Meio-Norte, 1998. 32 p. (EMBRAPA-CPAMN. Circular Técnica, 20).

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. (org.) **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, p. 19-36. 2006.

SILVA, M. A., et al. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 19, n. 3, p. 193-201, 2007.

SILVA, M. A., et al. Yield components as indicators of drought tolerance of sugarcane. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 6, p. 620-627, 2008.

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

TAUPIER, L. O. G.; RODRÍGUES, G. G. A cana-de-açúcar. In: Instituto Cubano de Pesquisa dos Derivados da Cana-de-açúcar (ICIDCA). **Manual dos derivados da cana-de-açúcar: diversificação, matérias-primas, derivados do bagaço, derivados do melaço, outros derivados, resíduos, energia**. Brasília: ABIPTI, 1999. Cap. 2.1, p.21-27.

UFRPE (Universidade Federal Rural de Pernambuco) / RIDESA (Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro) / PMGCA (Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/19333/1/Simoes.pdf>> Acesso em: 10 de set de 2014.

VENKATARAMANA, S.; GURUJA, R. P. N.; NAIDU, K. M. The effects of water stress during the formative phase on stomatal resistance and leaf water potential and its relationship with yield in ten sugarcane varieties. **Field Crops Research**, Ontario, v. 13, n. 4, p. 345-353, 1986.

**CAPÍTULO I: COMPORTAMENTO DO TEOR DE ÁGUA NUM SOLO  
CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA COM DIFERENTES  
LÂMINAS**

## **Comportamento do teor de água num solo cultivado com cana-de-açúcar irrigada com diferentes lâminas**

### **RESUMO**

O balanço de água no solo está relacionado com a capacidade de retenção do mesmo e da sua demanda pelo processo de evapotranspiração, o que interfere diretamente no manejo da irrigação. Neste contexto, objetivou-se com esse trabalho mapear a distribuição de água no perfil do solo, analisando a disponibilidade da mesma às plantas, para diferentes lâminas de irrigação aplicadas. Este experimento foi conduzido num talhão experimental de cana-de-açúcar na Fazenda São Jorge, pertencente à AGROVALE, no município de Juazeiro-BA. A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a VAT 90212. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com dez tratamentos e três repetições. Os tratamentos foram diferenciados com a redução das lâminas de irrigação nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura, sendo: T1 com irrigação plena (100% da evapotranspiração da cultura (ETc)) em todo o ciclo; T2, T5 e T8 com uma lâmina de 85% da ETc, apenas na primeira, segunda e terceira fase do ciclo da cultura, respectivamente; T3, T6 e T9 com uma lâmina de 70% da ETc, apenas na primeira, segunda e terceira fase, respectivamente; e T4, T7 e T10 com uma lâmina de 55% da ETc, apenas na primeira, segunda e terceira fase, respectivamente. O sistema de irrigação utilizado foi gotejamento subsuperficial. O teor de água no solo foi determinada utilizando a sonda de multissensores de capacitância “Delta-T Profile probe PR2/6”, com quatro tubos de acesso de um metro de profundidade instalado por parcela experimental, com espaçamento de 30 cm entre eles. Observou-se que a umidade no solo encontrava-se acima da capacidade de campo a partir de 60 cm de profundidade para todos os tratamentos avaliados, indicando que as lâminas de irrigação aplicadas pela AGROVALE estavam superestimadas havendo, conseqüentemente, percolação do volume hídrico aplicado.

**PALAVRAS-CHAVE:** PR2, distribuição de água, semiárido, *Saccharum* ssp.

## **Behavior of moisture soil cultivated with sugar-cane irrigated with different blades**

### **SUMMARY**

The water balance in the soil is related to the ability to retain the same and its demand for the evapotranspiration process, which interfere directly in irrigation management. In this context, this work was aimed to map the distribution of water in the soil profile, analyzing the same availability to plants, for different irrigation applied. This experiment was conducted in an experimental field of cane sugar at Farm São Jorge, belonging AGROVALE, in Juazeiro-BA. The variety of cane sugar used was VAT 90212. The experimental design was a randomized complete block with ten treatments and three replications. Treatments were different with the reduction of irrigation at different stages of crop development were: T1 with full irrigation (100% of crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>)) throughout the cycle; T2, T5 and T8 with a layer of 85% ET<sub>c</sub>, only the first, second and third stage of culture, respectively cycle; T3, T6 and T9 blade with a 70% ET<sub>c</sub>, only the first, second and third phase, respectively; and T4, T7 and T10 with a layer of 55% of ET<sub>c</sub>, only the first, second and third phases, respectively. The irrigation system was used subsurface drip. The water content in the soil was determined using multisensor capacitance probe "Delta-T Profile probe PR2/6", with four access tubes a meter deep installed by plot, with spacing of 30 cm between them. It was observed that soil moisture was above field capacity from 60 cm depth for all the treatments, indicating that the irrigation applied by AGROVALE there were overestimated, hence percolation of water volume applied.

**KEYWORDS:** PR2, availability of water, semiarid, *Saccharum* ssp.

## 1 - INTRODUÇÃO

As principais fontes para disponibilização de água no solo são as chuvas, as ascensões capilares dos lençóis e a irrigação. A quantidade de água no solo é determinada pelo volume adsorvido, e a retenção da mesma é determinada por características como textura, capilaridade e potencial mátrico, que são específicas de cada tipo de solo.

Para estudar o balanço hídrico, é necessário entender a relação entre as formas de entrada, saída e conservação da água no meio (atmosfera, plantas e solo). A água do sistema é movimentada pela precipitação ou irrigação, que abastece o meio; pela evapotranspiração, que é a perda por evaporação do solo e transpiração das plantas para o ambiente; pelo escoamento superficial, que é a perda superficial causada pelo excesso de chuvas ou irrigações numa área; e pelo armazenamento da água, que é a retenção no perfil solo (FENN *et al.*, 1975). Segundo Santos (2008), há duas formas de entender o armazenamento de água no solo, através da medição direta ou indireta da umidade e da estimativa por modelos de balanços hídricos.

O processo de penetração de água no solo ou infiltração é um fator determinante, sendo o responsável por abastecer as camadas superiores e inferiores do solo. Esse preenchimento ocorre, geralmente, de cima para baixo, o que fará com que as camadas mais profundas retenham mais água que as camadas mais superficiais após o processo de evapotranspiração (CARVALHO & SILVA, 2006).

O solo é dividido em camadas, cada uma desempenha um papel no momento de reter e transmitir a água entre as mesmas são nelas também que são realizadas as análises para conhecer o armazenamento daquele solo. De acordo com Carvalho & Silva

(2006), há 5 camadas: zona de saturação, zona de transição, zona de transmissão, zona de umedecimento e frente de umedecimento.

- *Zona de saturação*: é a região mais superficial do solo, conseqüentemente, a que possui um maior teor de umidade, saturando mais facilmente, atinge uma profundidade de 1,5cm.
- *Zona de transição*: fica abaixo da zona de saturação, apresenta o teor de umidade inconstante por ter perdas rápidas de água para a zona seguinte, apresenta uma profundidade de 5cm.
- *Zona de transmissão*: é a camada do solo na qual a água é transmitida, sua característica principal é a pequena mudança no teor de umidade em relação ao tempo e ao espaço, portanto, retendo alta umidade.
- *Zona de umedecimento*: por se localizar abaixo da zona de transmissão, essa camada está a uma grande profundidade, e apresenta como característica principal uma alta redução no teor de umidade.
- *Frente de umedecimento*: região do solo que apresenta uma grande variação de umidade, por consequência do alto gradiente hidráulico; é também o perímetro máximo aparente da movimentação da água no solo.

A presença da água no solo tem como característica principal o potencial matricial, relação existente entre as moléculas de água e a matriz do solo. A disponibilidade hídrica para as plantas sofre influência direta desse potencial, já que com os solos mais secos, há um aumento do mesmo e um maior gasto de energia para extrair água da matriz. O potencial matricial está relacionado com a adesão, coesão e tensão superficial da água nos solos, responsáveis pelos efeitos da capilaridade e sua representação é  $\Psi_m$ . A expressão dessa interação é mostrada na curva característica de água no solo, que é mutável de acordo com cada tipo de solo.

As medidas da quantidade de água no solo podem ser estudadas pelo conteúdo de água no solo (volume ou massa presente no meio) ou pelo potencial mátrico (força com a qual a água está presa ao solo).

O conteúdo da água no solo em função da massa, trabalha com a relação entre a massa da amostra úmida ( $\theta_u$ ) pela massa da amostra seca ( $\theta_s$ ), denominada umidade gravimétrica ( $\theta$ ). Já o conteúdo da água no solo em função do volume trabalha com a relação entre o volume de água na amostra ( $V_A$ ) pelo volume total do solo ( $V_T$ ), denominada umidade volumétrica ( $V$ ).

Na relação planta-solo, a cultura da cana-de-açúcar sofre influencia direta do teor de umidade, pois seu rendimento oscila de acordo com a quantidade de água disponível para a mesma (INMAN-BAMBER & SMITH, 2005).

Objetivou-se com esse trabalho mapear a distribuição de umidade no perfil do solo, analisando-se a disponibilidade da mesma à planta, para diferentes lâminas de irrigação aplicadas.

## 2 - MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido num talhão experimental de cana-de-açúcar da Fazenda São Jorge, pertencente à Agroindústria do Vale do São Francisco (AGROVALE), que possui aproximadamente 18 mil hectares de áreas cultivadas, localizados no município de Juazeiro – BA. O clima da região, segundo a classificação climática de Köppen é do tipo BSW<sub>h</sub>, tropical Semiárido conforme descrito por Reddy & Amorim Neto (1983). A precipitação apresenta uma média anual em torno de 500 mm, irregularmente distribuído e se concentra nos meses de novembro a abril. A umidade relativa do ar média anual é de 66% e a temperatura do ar média anual é de 26,5°C, apresentando os maiores picos entre outubro e dezembro, sendo julho é o mês com temperaturas mais amenas.

Os principais padrões de retenção de água no solo da área foi realizados por um laboratório de física do solo contratado pela empresa AGROVALE, cujas capacidades de campo (CC) foram de 0,3412 e 0,2799% para as profundidades de 0-20 cm e 20-40cm do perfil do solo.

O experimento foi instalado em julho de 2012 e colhido em junho de 2013, totalizando 44 semanas, em que a duração das fases do ciclo da cultura está demonstrada na Tabela 1.

A variedade de cana-de-açúcar utilizada no experimento foi a VAT 90212, escolhida por ser a mais cultivada na região, plantada em colmos inteiros deitados na linha de cultivo, numa densidade de plantio de 12 gemas por metro linear, em fileiras duplas, no espaçamento de 0,70 x 1,30 m. Inicialmente, a irrigação aplicada após o plantio foi para atingir a capacidade de campo em toda a área até que as plantas estivessem com 20 cm de

altura, quando se iniciaram os tratamentos. A colheita foi feita de forma manual, tendo o cuidado de empilhar e etiquetar cada tratamento em seu respectivo bloco. O experimento foi conduzido no ciclo cana planta, na safra 2012/2013. Os tratamentos culturais e as aplicações de defensivos agrícolas obedeceram às necessidades da cultura, considerando o manejo integrado de pragas e doenças. A adubação de fundação foi determinada com base nas análises de fertilidade do solo da área, e as adubações de cobertura foram efetuadas via fertirrigação, com frequência de três vezes por semana, seguindo o cronograma da empresa.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 10 tratamentos e 3 repetições, totalizando 30 parcelas, conforme exibido na Figura 1. As parcelas experimentais foram compostas por 5 fileiras duplas de cana-de-açúcar, com 10 m de largura por 12 m de comprimento. A área útil de cada parcela foi de 6 m de largura e 8 m de comprimento, totalizando 48m<sup>2</sup> (3 fileiras duplas centrais).

Os tratamentos foram diferenciados com a redução das lâminas de irrigação aplicadas pela empresa, nas fases de desenvolvimento da cultura (Tabela 1), sendo: T1 a testemunha, com irrigação plena (100% da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>)) em todo o ciclo; T2, T5 e T8 com uma lâmina de 85% da ET<sub>c</sub>, apenas na primeira, segunda e terceira fase, respectivamente; T3, T6 e T9 com uma lâmina de 70% da ET<sub>c</sub>, apenas na primeira, segunda e terceira fase, respectivamente; e T4, T7 e T10 com uma lâmina de 55% da ET<sub>c</sub>, apenas na primeira, segunda e terceira fase da cultura, respectivamente; e 100% da ET<sub>c</sub> nas demais fases.

O sistema de irrigação utilizado foi gotejamento subsuperficial, com emissores autocompensantes tipo labirinto embutido na tubulação, com vazão média de 1,6 L h<sup>-1</sup>, espaçados 0,5 m entre si. As linhas laterais foram instaladas em fileiras duplas, com os emissores colocados para cima, e enterradas a uma profundidade de 20 cm. Para evitar intrusão radicular nos gotejadores foi aplicado 1 L ha<sup>-1</sup> de Trifuralina, uma única vez, um mês antes do plantio. As lâminas de irrigações foram controladas automaticamente pelo quadro de comando de válvulas NMC-Pro, da Netafim, que era acoplado a válvulas hidráulicas com solenóides, que possibilitavam liberar a quantidade exata de água aplicada para cada tratamento.

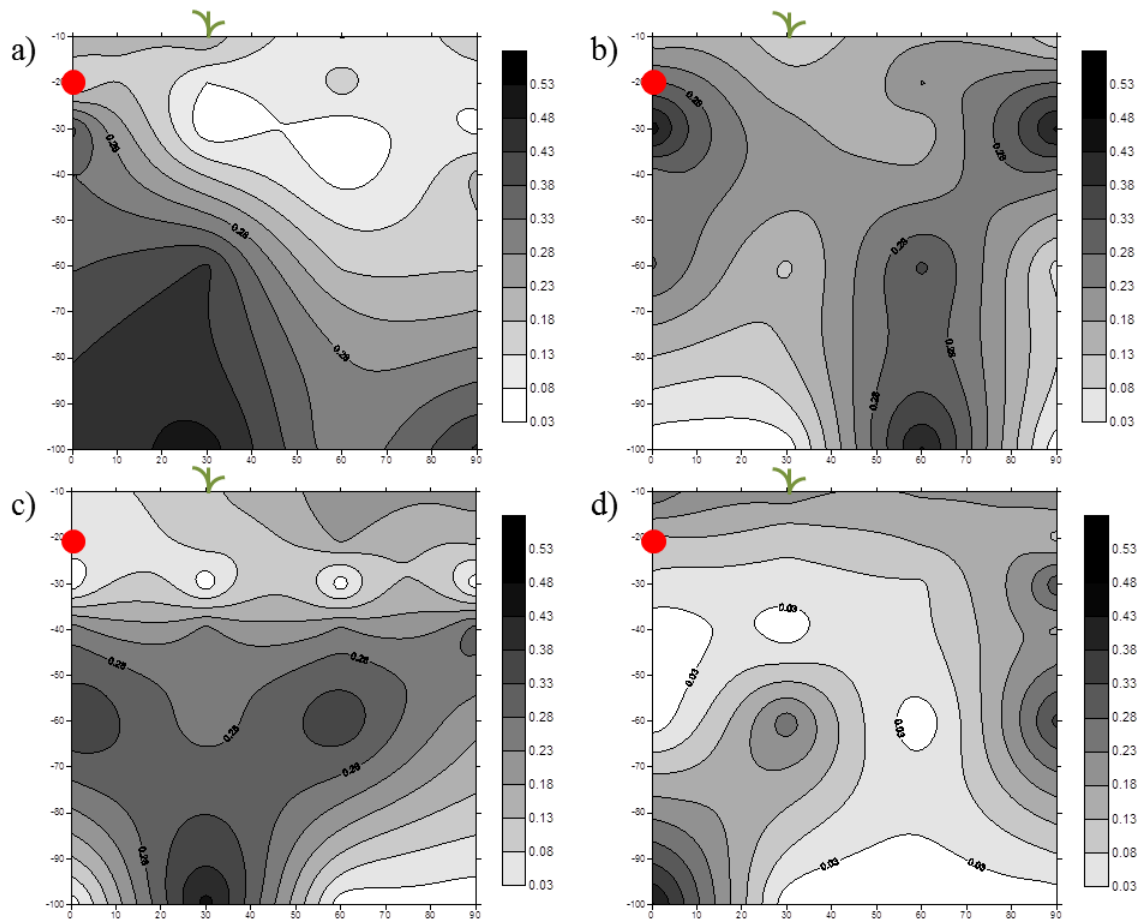
O teor de água no solo foi determinada utilizando a sonda de multissensores de capacitância “Delta-T Profile probe PR2/6”, com quatro tubos de acesso de um metro de profundidade instalados por parcela experimental. O primeiro tubo se localizava entre a fileira dupla de cana e junto à linha de gotejo, sendo os demais espaçados de 30 cm

entre si, distanciando-se da linha de gotejo, para um dos lados, com o intuito de avaliar a distribuição de água no perfil do solo. Considerando-se que as irrigações terminavam próximo ao meio dia e que o solo era argiloso, o que exige um bom período para total distribuição de água no solo, optou-se por fazer as leituras de umidade (dos 48 tubos de acesso) no perfil do solo no horário entre 16:30 e 18:00 horas, com a justificativa de avaliar o solo ao final da evapotranspiração do dia. As leituras foram realizadas semanalmente durante o ciclo da cultura. Para comparação entre os tratamentos realizou-se a média das leituras por fase da cultura, onde, pelo método de interpolação da krigagem ordinária, realizada por meio do programa SURFER, geraram-se os gráficos de distribuição de água no perfil solo para cada tratamento.

### **3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### 3.1 - Fase I

Na Figura 6 nota-se que houve uma diferente distribuição de água no solo, de acordo com cada lâmina aplicada. Os pontos vermelhos e a traços verdes apresentam as posições dos gotejadores e das plantas, respectivamente, em campo. As zonas mais claras próximo à superfície, onde se encontram a maior parte dos sistemas radiculares da cultura, referem-se principalmente ao processo de extração da água do solo, que pode está associado a evapotranspiração, que ocorreram de forma diferenciada entre os tratamentos, conforme observado na Figura 6a, para as profundidades entre 20 e 40 cm, conforme descrito por (INFORZATO, 1957) enquanto há uma maior saturação do meio a aproximadamente um metro de profundidade. Na Figura 6b percebe-se que as maiores umidades do perfil do solo estão distantes da planta (próximo e distante aos gotejadores), no entanto, essa umidade começa a diminuir com a profundidade do solo. As Figuras 6c e 6d apresentam comportamentos similares entre si, com os menores valores de umidade próximos aos gotejadores. Observa-se que para o tratamento com a lâmina de 70% da ETc, nas profundidades abaixo de 45 cm, a umidade do solo é superior a do solo que recebeu a lâmina de 55% da ETc, conforme esperado.



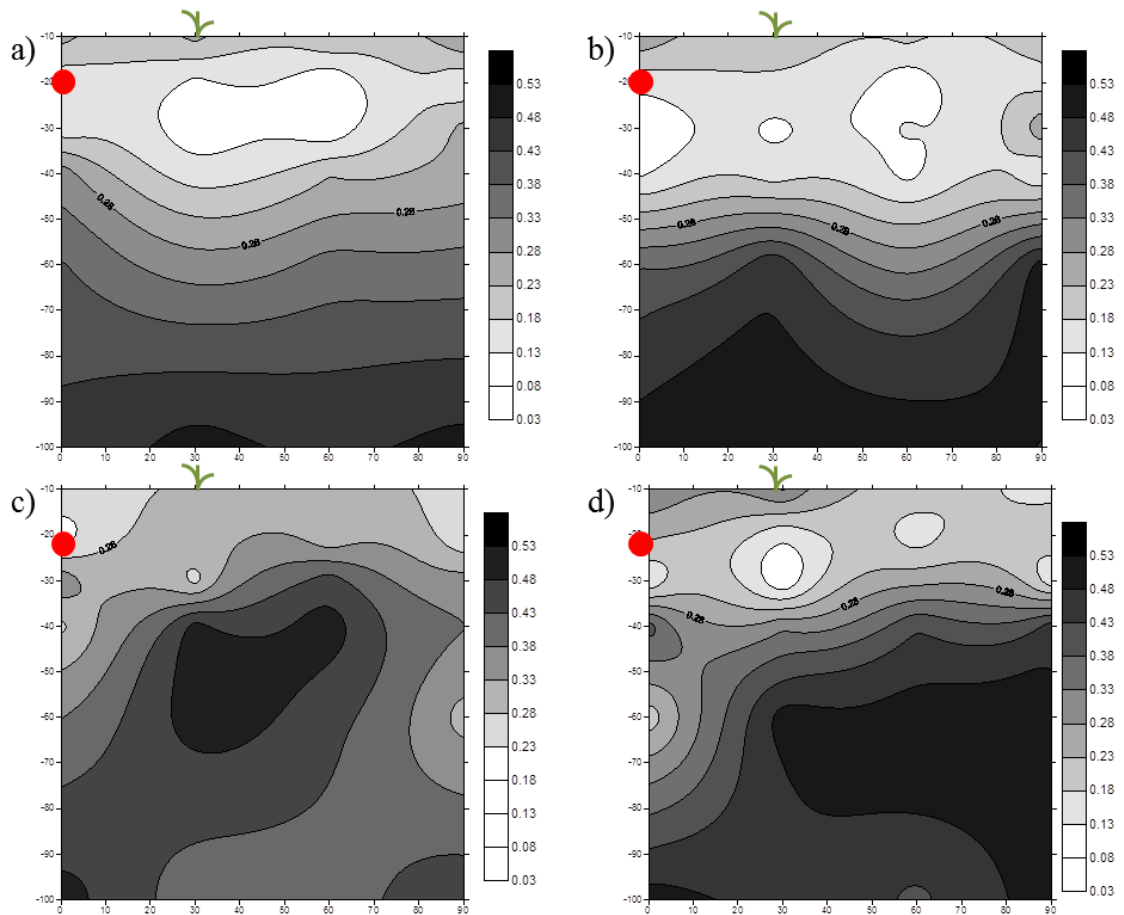
**Figura 6.** Distribuição do teor de água (em  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) no perfil do solo referente à Fase I para os tratamentos: a – 100% da ETC, b – 85% da ETC, c – 70% da ETC, d – 55% da ETC e ● é o local da linha de gotejadores.

### 3.2 - Fase II

Observa-se na Figura 7 que, para todos os tratamentos, nesta fase, a região do perfil do solo com menor umidade, proveniente da maior extração pela cultura, também está na posição equivalente a distribuição do sistema radicular da planta, entre 20 e 40 cm de profundidade, conforme descrito por Inforzato (1957). A maior extração nesta fase demonstra que a cultura está em processo de crescimento, sendo esta a de maior consumo hídrico, segundo Barbieri (1993).

Nas Figuras 7a e 7b notam-se informações semelhantes, pois, em ambos os casos, a umidade do solo aumenta significativamente a partir de 50 cm de profundidade, sendo tal comportamento justificado por essas serem as maiores lâminas. Nas Figuras 7c e 7d, que representam os tratamentos com as menores lâminas, observa-se um

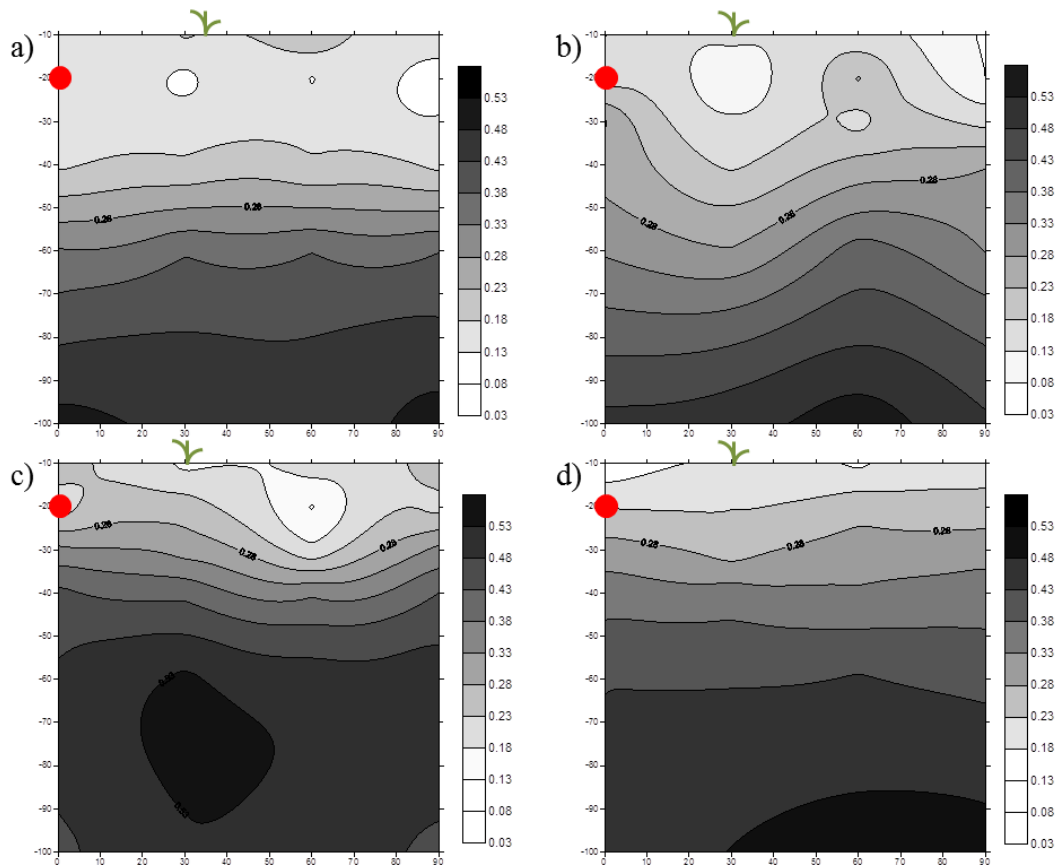
comportamento parecido com os anteriores, entretanto, o pequeno aumento da umidade com a profundidade não ocorre tão uniforme como as demais.



**Figura 7.** Distribuição do teor de água (em  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) no perfil do solo referente à Fase II para os tratamentos: **a** – 100% da ETc, **b** – 85% da ETc, **c** – 70% da ETc, **d** – 55% da ETc e **●** é o local da linha de gotejadores.

### 3.3 - Fase III

É possível observar na Figura 8 que, para todos os tratamentos a umidade no perfil inferior do solo é bastante elevada. Tal comportamento da umidade é justificado pelo grande volume de água depositado em excesso no solo, ao longo do ciclo, e pelo tipo de textura do mesmo, que tem uma elevada capacidade de retenção da mesma.



**Figura 8.** Distribuição do teor de água (em  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) no perfil do solo referente à Fase III para os tratamentos: a – 100% da  $ET_c$ , b – 85% da  $ET_c$ , c – 70% da  $ET_c$ , d – 55% da  $ET_c$  e ● é o local da linha de gotejadores

As zonas mais extensas de extração de água observada nas Fases II e III, fases de crescimento de colmos e maturação, respectivamente, comprovam que as plantas estavam apresentando sistemas radiculares mais bem desenvolvidos no perfil do solo e com elevadas taxas de evapotranspiração.

O excesso de água observada no perfil do solo nas fases de desenvolvimento da cultura (Tabela 4) pode ser justificado pelo uso de coeficientes de cultura ( $K_c$ ) superestimados. Este fato pode ser observado ao comparar-se os valores sugeridos por Soares et al. (2003), para os  $K_c$ 's relativos à cana-de-açúcar na FAO 56, com os utilizados pela empresa, que são superiores (Tabela 5).

**Tabela 4.** Teores de água (em  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) no perfil do solo ao longo do ciclo

Profundidade (cm)	FASE I				FASE II				FASE III			
	Tratamentos											
	55%	70%	85%	100%	55%	70%	85%	100%	55%	70%	85%	100%
0-20	0,11	0,19	0,16	0,14	0,22	0,24	0,12	0,17	0,21	0,21	0,16	0,16
20-40	0,16	0,06	0,17	0,13	0,30	0,35	0,12	0,19	0,34	0,37	0,25	0,17
40-60	0,19	0,04	0,14	0,18	0,40	0,50	0,33	0,30	0,40	0,53	0,32	0,28
60-80	0,22	0,04	0,08	0,20	0,46	0,63	0,52	0,37	0,44	0,64	0,37	0,37
80-100	0,00	0,15	0,07	0,24	0,58	0,65	0,50	0,43	0,45	0,62	0,78	0,52

**Tabela 5.** Coeficientes da cultura (Kc) sugeridos pela FAO56 e utilizados pela empresa AGROVALE para cana-de-açúcar

Idade (mês)	Kc FAO 56	Kc AGROVALE
	Cana planta	Cana planta
00 a 01	0,4	0,45
01 a 02	0,4	0,65
02 a 03	0,75	0,8
03 a 04	1,1	1
04 a 05	1,1	1,1
05 a 06	1,1	1,15
06 a 09	1,25	1,15
09 a 10	1,25	1,1
10 a 11	1,25	1
11 a 12	1,25	0,9
12 a 13	0,9	0,9
>13	0,7	0,7

Numa análise geral da distribuição de água no perfil do solo durante o ciclo da cultura, observa-se que na Fase I, houve uma menor uniformidade de água ao longo do perfil do solo, apresentando pontos uma maior umidade. Na Fase II, a umidade está bem mais distribuída no solo, e os tratamentos com maiores lâminas já exibem uma maior concentração hídrica aos 50 cm de profundidade. Na Fase III, há quase uma uniformidade na distribuição de água no perfil do solo.

#### **4 - CONCLUSÃO**

O teor de água no perfil do solo da área experimental encontrava-se acima da capacidade de campo a partir de 60 cm de profundidade para todos os tratamentos avaliados, indicando que as lâminas de irrigação aplicadas pela empresa AGROVALE estavam superestimadas havendo, conseqüentemente, percolação do volume de água aplicada.

## 5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBIERI, V. **Condicionamento climático da produtividade potencial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*): um modelo matemático-fisiológico de estimativa.** Piracicaba, Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, 1993. 142p.

CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. Infiltração, 2006. Disponível em <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap5-INF.pdf>> Acesso em 24/02/14.

FENN, D. G., HANLEY, K. I.; DEGEARE, T. V. Use of the water balance method for predicting leachate generation from solid waste disposal sites. **U.S. Environmental Protection Agency**, EPA 530/SW-168, p. 1–10. 1975.

INFORGATO, R. Distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar var. Co. 209, em solo tipo terra-roxa-legítima. **Bragantia**: Boletim Técnico do Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo. v 16. n. 1. Campinas. 1957.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research, Amsterdam**, v. 92, n. 2-3, p. 185-202, 2005.

REDDY, S. J.; AMORIM NETO, M. S. Dados de precipitação, evapotranspiração potencial, radiação solar global de alguns locais e classificação climática do Nordeste do Brasil. **Petrolina: EMBRAPA/CPATSA**, 1983. 280p.

SANTOS, A. R. **Balço hídrico segundo Thornthwaite e Mather, 1955.** Universidade Federal Do Espírito Santo, Departamento de Geografia. Climatologia 2008.

SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. S.; JUNIOR, W. F. G.; FILHO, A. A. A. AGROVALE: Uma experiência de 25 anos em Irrigação da Cana-de-açúcar na região do Submédio São Francisco. **Revista ITEM**, n. 60, p.55- 62, 2003.

**CAPÍTULO II: RESPOSTAS MORFOLÓGICAS DA CANA-DE-AÇÚCAR A  
REGIMES DE DÉFICIT HÍDRICO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

## **Respostas morfológicas da cana-de-açúcar a regimes de déficit hídrico no Semiárido Brasileiro**

### **RESUMO**

A deficiência hídrica vem sendo um dos principais fatores que afetam a produção da cana-de-açúcar no Brasil. Para ampliar o conhecimento do comportamento da cana-de-açúcar em relação à disponibilidade de água no solo, objetivou-se com esse trabalho verificar a interferência de diferentes déficits hídricos nos parâmetros morfológicos, na eficiência do uso da água e na produtividade de colmos, no ciclo de cana planta, no semiárido brasileiro. Este experimento foi conduzido num talhão experimental de cana-de-açúcar na Fazenda São Jorge, pertencente à AGROVALE, no município de Juazeiro-BA. A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a VAT 90212. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com dez tratamentos e três repetições. Os tratamentos foram diferenciados com a redução das lâminas de irrigação nas fases de desenvolvimento da cultura, sendo: T1 com irrigação plena (100% da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>)) em todo o ciclo; T2, T5 e T8 com uma lâmina de 85% da ET<sub>c</sub>, apenas na primeira, segunda e terceira fase, respectivamente; T3, T6 e T9 com uma lâmina de 70% da ET<sub>c</sub>, apenas na primeira, segunda e terceira fase, respectivamente; e T4, T7 e T10 com uma lâmina de 55% da ET<sub>c</sub>, apenas na primeira, segunda e terceira fase, respectivamente. O sistema de irrigação utilizado foi gotejamento subsuperficial. Foram observados os seguintes parâmetros: número de colmos, altura da planta, diâmetro do colmo, comprimento e largura da folha +3, número de folhas verdes e produtividade. Não foi observado diferença significativa entre os tratamentos para os parâmetros avaliados, dos quais apenas número de colmos e altura das plantas tiveram comportamento crescente até o momento da colheita, os demais apresentaram perdas que interferiam diretamente na produtividade. Dessa forma, é possível concluir que a quantidade de água aplicada pela empresa está em excesso em todos os déficits hídricos aplicados na cultura.

**PALASVRAS-CHAVE:** crescimento, eficiência, produtividade.

## **Morphological responses of cane sugar to water deficit regimes in the Brazilian Semiarid**

### **SUMMARY**

Water stress has been a major factor affecting the production of sugar cane in Brazil. To expand the knowledge of the behavior of cane sugar in relation to water availability in the soil, aimed to verify that work with the interference of different water deficits in morphological parameters, efficiency of water use and production of stalks, the sugarcane cycle plant in the Brazilian semiarid. This experiment was conducted in an experimental field of cane sugar at Farm São Jorge, belonging AGROVALE, in Juazeiro-BA. The variety of cane sugar used was VAT 90212. The experimental design was a randomized complete block with ten treatments and three replications. Treatments were different with the reduction of irrigation stages of crop development were: T1 with full irrigation (100% of crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>)) throughout the cycle; T2, T5 and T8 with a layer of 85% ET<sub>c</sub>, only the first, second and third phase, respectively; T3, T6 and T9 blade with a 70% ET<sub>c</sub>, only the first, second and third phase, respectively; and T4, T7 and T10 with a layer of 55% of ET<sub>c</sub>, only the first, second and third phases, respectively. The irrigation system was used subsurface drip. Number of stems, plant height, stem diameter, length and width of the sheet +3, number of green leaves and productivity: The following parameters were observed. No significant difference between treatments for all parameters evaluated, of which only the number of stems and plant height had increased behavior until the time of harvest, others had losses that interfered directly on productivity was observed. Thus, we conclude that the amount of water applied by the company is in excess in all water deficits applied to the crop.

**KEYWORDS:** growth, efficiency, productivity.

## 1 - INTRODUÇÃO

Fisiologicamente, culturas como a cana-de-açúcar, que apresentam metabolismo C<sub>4</sub> possuem maior potencial produtivo por realizarem melhor aproveitando de luz solar para obtenção de energia. Dessa forma, regiões com altas incidências de radiação solar mostram-se mais favoráveis ao cultivo dessa cultura. Outro fator que interfere diretamente na produção da cana é a disponibilidade hídrica.

Nesse contexto, a região Nordeste mostra-se, parcialmente, favorável ao cultivo da cana-de-açúcar, tendo como fator limitante a água, por possuir uma pluviosidade, irregularmente distribuída (SOUZA et al., 2004). Dessa forma, o solo abriga um baixo teor de umidade, em períodos não chuvosos, sendo indispensável o uso da irrigação para garantir, no mínimo, uma produtividade satisfatória.

Segundo Manavalan et al. (2009), a deficiência hídrica é o fator ambiental mais prejudicial para a produção agrícola mundial, especificamente, na cana-de-açúcar, que gera perdas significativas na produção (SILVA et al., 2009). Modificações morfológicas, como largura e comprimentos das folhas, número de folhas verdes, diâmetros e números de colmos, limitação da expansão foliar, e produtividade, estão entre as principais alterações geradas pelo estresse hídrico (OLIVEIRA & BRAGA, 2011). No entanto, algumas dessas modificações são respostas de defesa da cultura para reduzir os efeitos da deficiência, compondo os mecanismos de tolerância à seca (INMAM-BAMBER; SMITH, 2005).

Das alterações morfológicas provocadas pelo déficit hídrico nas plantas, a redução da área foliar é o primeiro efeito apresentado, pois com o limitado

suprimento hídrico do solo, a planta reduz a transpiração, que é a perda de água para atmosfera em forma de vapor, o que restringe a expansão celular provocando uma limitação do tamanho da folha (TAIZ & ZEIGER, 2013). Para algumas variedades, o dossel foliar pode entrar em senescência quando exposto a um período seco, sendo capaz, posteriormente, de se recuperar com a suspensão do mesmo (BULL & GLASZIOU, 1975).

A abertura estomática é a principal via para ocorrência de dois processos inevitáveis à planta: a transpiração, principal fator no controle do balanço hídrico da planta, no qual há a perda de água para atmosfera e a retirada de água do solo pelas raízes; e a assimilação de CO<sub>2</sub> atmosférico para a realização da fotossíntese (HSIAO & XU, 2000). Outras ações que são importantes para a planta e que são proporcionadas pela transpiração é o resfriamento da folha, a ascensão da seiva para o xilema e o aumento da absorção dos minerais (PIMENTEL, 2004).

Os períodos mais críticos do déficit hídrico, para a cana-de-açúcar, ocorrem na fase inicial ou de estabelecimento, que ocorrem à emergência das plântulas e o surgimento dos perfilhos; e na fase de crescimento vegetativo, que ocorre o alongamento dos colmos e desenvolvimento da maioria do sistema radicular, nessa fase a evapotranspiração atinge seu ponto máximo (KEATING et al, 1999).

No entanto, quando a irrigação do canavial é bem manejada, outro aspecto deve ser estudado, a eficiência do uso da água (EUA) pelas plantas, que seria a relação entre a produção de biomassa e a água aplicada (SOUZA, et al., 2004). Segundo Doorembos & Kassam (1979), a EUA da cana fica entre 5 e 8 kg m<sup>-3</sup> quando se trata de colmos e 0,6 a 1 kg m<sup>-3</sup> quando se refere a sacarose, nos trópicos e subtropicais secos.

Para ampliar o conhecimento do comportamento da cana-de-açúcar em relação à disponibilidade de água no solo, objetivou-se com esse trabalho verificar a interferência de diferentes déficits hídricos nos parâmetros morfológicos, na eficiência no uso da água e na produtividade de colmos, no ciclo cana planta, no semiárido brasileiro.

## 2 - MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido num talhão experimental de cana-de-açúcar da Fazenda São Jorge, pertencente à Agroindústria do Vale do São Francisco (AGROVALE), que possui aproximadamente 18 mil hectares de áreas cultivadas, localizados no município de Juazeiro – BA. O clima da região, segundo a classificação climática de Köppen é do tipo BSW<sub>h</sub>, tropical Semiárido conforme descrito por Reddy & Amorim Neto (1983). A precipitação apresenta uma média anual em torno de 500 mm, irregularmente distribuído e se concentra nos meses de novembro a abril. A umidade relativa do ar média anual é de 66% e a temperatura do ar média anual é de 26,5°C, apresentando os maiores picos entre outubro e dezembro, sendo julho é o mês com temperaturas mais amenas.

O experimento foi instalado em julho de 2012 e colhido em junho de 2013, totalizando 44 semanas, em que a duração das fases do ciclo da cultura está demonstrada na Tabela 1.

A variedade de cana-de-açúcar utilizada no experimento foi a VAT 90212, escolhida por ser a mais cultivada na região, plantada em colmos inteiros deitados na linha de cultivo, numa densidade de plantio de 12 gemas por metro linear, em fileiras duplas, em um espaçamento de 0,70 x 1,30 m. Inicialmente, a irrigação aplicada após o plantio foi para atingir a capacidade de campo em toda a área até que as plantas estivessem com 20 cm de altura, quando se iniciaram os tratamentos. A colheita foi feita de forma manual, tendo o cuidado de empilhar e etiquetar cada tratamento em seu respectivo bloco. O experimento foi conduzido no ciclo cana planta, na safra 2012/2013. Os tratos culturais e as aplicações de defensivos agrícolas obedeceram às necessidades da cultura, considerando o manejo integrado

de pragas e doenças. A adubação de fundação foi determinada com base nas análises de fertilidade do solo da área, e as adubações de cobertura foram efetuadas via fertirrigação, com frequência de três vezes por semana, seguindo o cronograma da empresa.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 10 tratamentos e 3 repetições, totalizando 30 parcelas, como mostra a Figura 1. As parcelas experimentais foram compostas por 5 fileiras duplas de cana-de-açúcar, com 10 m de largura por 12 m de comprimento. A área útil de cada parcela foi de 6 m de largura e 8 m de comprimento, totalizando 48m<sup>2</sup> (3 fileiras duplas centrais).

Os tratamentos foram diferenciados com a redução das lâminas de irrigação aplicadas pela AGROVALE, nas fases de desenvolvimento da cultura, sendo: T1 a testemunha, com irrigação plena (100% da evapotranspiração da cultura (ETc)) em todo o ciclo; T2, T5 e T8 com uma lâmina de 85% da ETc, apenas na primeira, segunda e terceira fase, respectivamente; T3, T6 e T9 com uma lâmina de 70% da ETc, apenas na primeira, segunda e terceira fase, respectivamente; e T4, T7 e T10 com uma lâmina de 55% da ETc, apenas na primeira, segunda e terceira fase da cultura, respectivamente.

O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento subsuperficial, com emissores autocompensantes tipo labirinto embutido na tubulação, com vazão média de 1,6 L h<sup>-1</sup> espaçados 0,5 m entre si. As linhas laterais foram instaladas em fileiras duplas, com os emissores colocados para cima, e enterradas a uma profundidade de 20 cm. Para evitar intrusão radicular nos gotejadores foi aplicado 1 L ha<sup>-1</sup> de Trifuralina, uma única vez, um mês antes do plantio. As lâminas de irrigações foram controladas automaticamente pelo quadro de comando de válvulas NMC-Pro, da Netafim, que era acoplado a válvulas hidráulicas com solenóides, que possibilitavam liberar a quantidade exata de água aplicada para cada tratamento.

Foram observados os seguintes parâmetros: número de perfilhos e de colmos, altura da planta, diâmetro do colmo, comprimento e largura da folha +3, número de folhas verdes e produtividade. Para realização das avaliações foram utilizados: trena e paquímetro digital. A altura da planta foi determinada da superfície do solo até a folha +1, e o diâmetro na altura de 20 cm da superfície do solo.

Ao longo do experimento foram realizadas quatro avaliações biométricas, a primeira com 164 dias após o plantio (DAP), a segunda com 224 DAP, a terceira com 284 DAP e a quarta no dia da colheita (344 DAP). A eficiência no uso da água

(EUA) foi determinada a partir da relação entre a produtividade e o volume hídrico aplicado para cada tratamento, ao longo do ciclo.

Os resultados obtidos foram avaliados por meio da análise da variância (ANOVA) em parcelas subdivididas no tempo, com o uso do programa SISVAR (FERREIRA, 2000).

### **3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

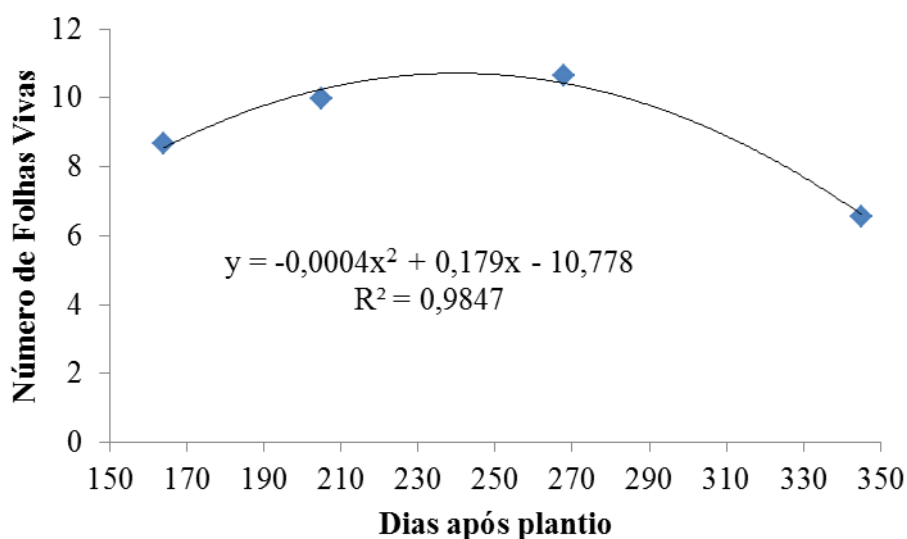
#### 3.1 - Parâmetros Morfológicos

##### 3.1.1 - Número de Folhas Verdes (NFV)

Não houve interação nem diferença significativa entre os tratamentos aplicados, havendo diferença apenas entre as épocas de avaliação, ao longo do ciclo.

Como é possível observar na Figura 9, todos os tratamentos apresentaram desempenho crescente até a 3ª avaliação, sofrendo uma redução após a mesma, mostrando um comportamento quadrático, informação confirmada pela equação obtida durante a análise estatística. O  $R^2$  reforça a excelente precisão da equação em relação ao comportamento desse parâmetro. A média do NFV, ao longo do experimento reduziu de 9 (1ª avaliação) para 4 (4ª avaliação) demonstrando um processo de senescência da planta antes da colheita.

Smit e Singels (2006) relataram que a senescência foliar está relacionada à deficiência hídrica e, conseqüentemente, a redução no surgimento de novas folhas, significando uma queda nas atividades metabólicas da planta. A redução do número de folhas verdes tem sido relatada em plantas de cana-de-açúcar com deficiência hídrica (INMAN-BAMBER, 2004) e é atribuída à estratégia para diminuir a superfície transpirante e o gasto metabólico para a manutenção dos tecidos (SMIT & SINGELS, 2006). Dessa forma, a redução do NFV pode estar associada ao estresse hídrico realizado nos últimos meses de cultivo, sendo esta uma prática rotineira do manejo, já que a maturação ou máximo acúmulo de sacarose pela planta é induzido pelo estresse pleno aplicado na planta, ou seja, desligamento completo do sistema de irrigação.



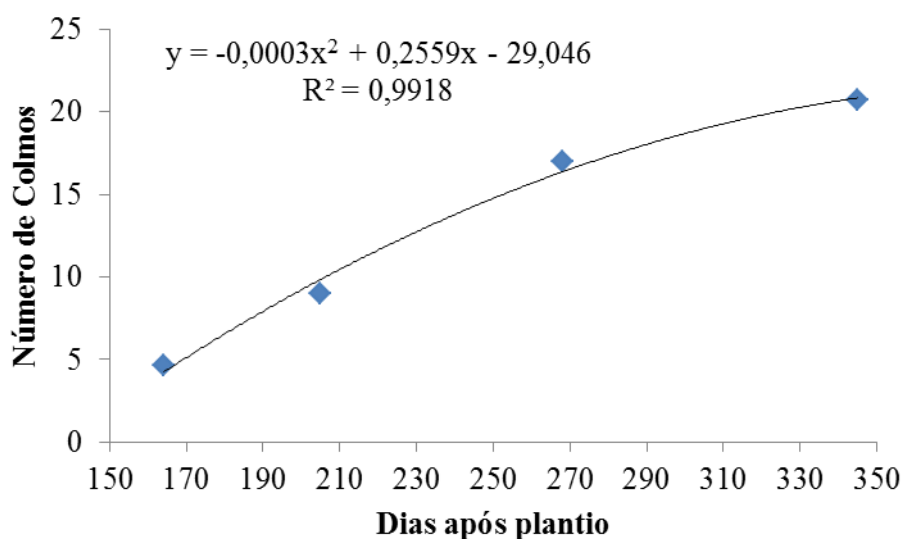
**Figura 9.** Número médio de folhas verdes durante o ciclo da cana-de-açúcar, variedade VAT 90212.

### 3.1.2 - Número de Colmos (NC)

De acordo com a análise estatística realizada, não houve interação nem diferença significativa entre os tratamentos aplicados, havendo diferença apenas entre as épocas de avaliação, ao longo do ciclo.

Na Figura 10 é possível observar que nos tratamentos houve desenvolvimento crescente de colmos. O  $R^2$  reforça a excelente precisão da análise estatística em relação ao comportamento desse parâmetro. O número médio de colmos na colheita foi de 21.

Machado et al (2009) determinaram que o estresse hídrico reduziu o número e o comprimento de colmos dos genótipos IACSP 94-2094 e IACSP 96-2042. Felipe (2008) também observou uma redução no número de colmos e um internódio menor na cana submetida ao déficit hídrico. Assim, a ausência de diferença significativa entre os tratamentos indica que as lâminas aplicadas não proporcionaram estresses hídricos às plantas, de forma a interferirem no desenvolvimento do número de colmos, como o esperado.



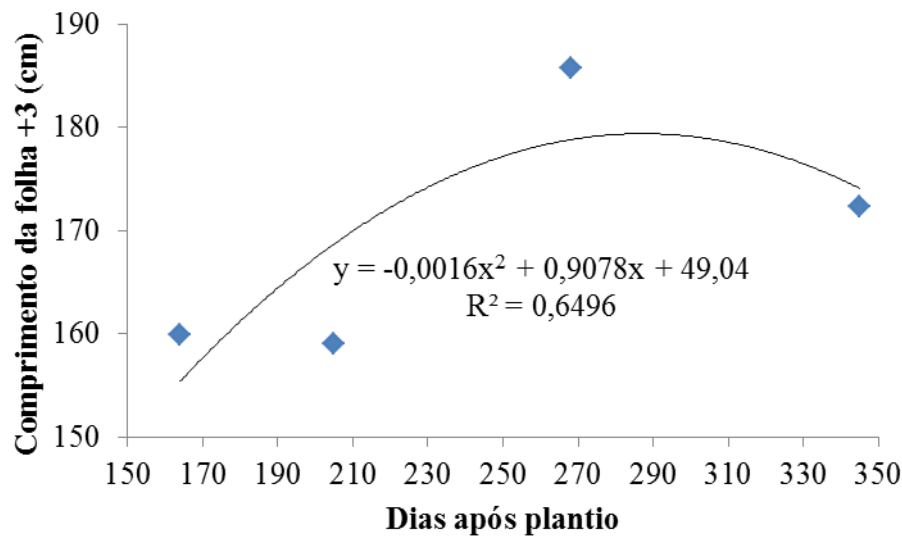
**Figura 10.** Número médio de colmos durante o ciclo da cana-de-açúcar, variedade VAT 90212.

### 3.1.3 - Comprimento da folha +3 (C+3)

Nos dados referentes aos comprimentos das folhas +3, observa-se que houve diferença significativa dos tratamentos entre as épocas de avaliações, ao longo do ciclo (Figura 11).

A média do C+3 variou de 160 cm (1ª avaliação) a 172 cm (4ª avaliação). O CV obtido foi de 6,15%. No momento da colheita, alguns tratamentos tiveram comportamentos parecidos à cana irrigada, variedades RB 867515 e RB 855536, cultivadas por Batista (2013), que apresentaram um comprimento acima de 170 cm, enquanto os demais tratamentos tiveram comportamento próximo à cana de sequeiro do mesmo autor, com comprimento que variaram de 160 cm a 169 cm.

Na mesma Figura 11, nota-se que todos os tratamentos apresentam-se de forma crescente até a 3ª avaliação, sofrendo uma queda após a mesma, apresentando um comportamento quadrático, segundo a equação obtida durante a análise estatística. O  $R^2$  mostra uma precisão razoável da equação em relação ao comportamento desse parâmetro. Esse declive no comportamento do C+3 pode estar relacionado ao estresse hídrico também percebido por Shigaki et al. (2004).

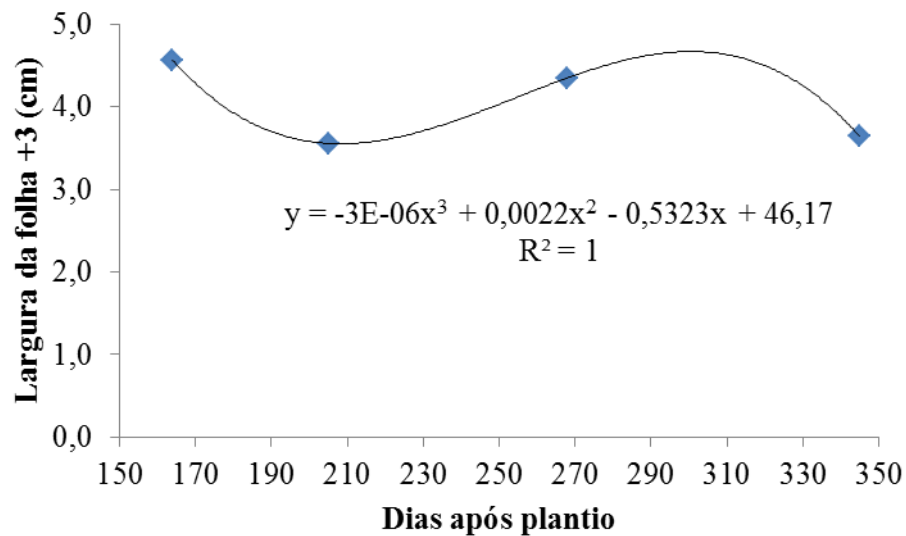


**Figura 11.** Número médio do comprimento da folha +3 durante o ciclo da cana-de-açúcar, variedade VAT 90212.

#### 3.1.4 - Largura da folha +3 (L+3)

Não houve diferença estatística entre os tratamentos, no entanto, houve diferença significativa entre as épocas de avaliação, ao longo do ciclo. A média da L+3 reduziu de 5 cm (1ª avaliação) para 4 cm (4ª avaliação), ao longo do desenvolvimento. O CV encontrado foi de 11,85%, que segundo a classificação de Carneiro et al. (2010), apresenta uma boa precisão. Os valores da L+3 apresentados no momento da colheita (4,8 cm) mostram-se inferiores aos encontrados por Batista (2013), trabalhando com cana de sequeiro, variedades RB867515 e RB855536.

É possível observar na Figura 12, que diferentemente do parâmetro C+3, a L+3 apresenta uma equação cúbica, mostrando que os tratamentos apresentaram um comportamento decrescente na 2ª avaliação, seguido de um crescimento na 3ª avaliação, voltando a mostrar outra redução no momento da colheita, informação obtida durante a análise estatística. A justificativa para esse decréscimo na 2ª avaliação pode ser a interferência das condições climáticas, como: elevação da evapotranspiração, da temperatura e da radiação neste período, como pode-se observar nas Figuras 3, 4 e 5, respectivamente.



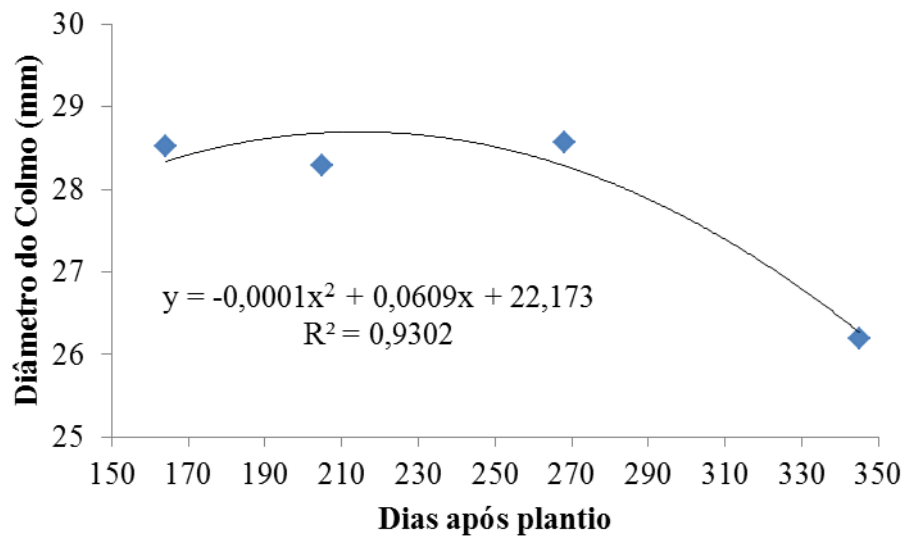
**Figura 12.** Número médio da largura da folha +3 durante o ciclo da cana-de-açúcar, variedade VAT 90212.

### 3.1.5 - Diâmetro do colmo (D)

Similar aos parâmetros anteriores, para D também não houve interação e diferença significativa entre lâminas, havendo somente diferenças entre as épocas de avaliação. A média do diâmetro reduziu de 29 mm (1ª avaliação) a 26 mm (4ª avaliação).

Batista (2013) trabalhando com as variedades RB867515 e RB855536, em regime de sequeiro e irrigada, obteve diâmetros de 28 e 35 mm, respectivamente. Já no experimento, os diâmetros das plantas tiveram comportamento semelhante à cana de sequeiro, uma possível justificativa para tal desempenho seria que o excesso de água no perfil do solo estaria limitando o pleno desenvolvimento das mesmas.

Estão exibidos na Figura 13, os dados sobre o diâmetro ao longo do ciclo, e nela percebe-se que todos os tratamentos se apresentam de forma decrescente próximo ao momento da colheita. Comportamento este justificado pelo alto teor de umidade no solo até próximo à colheita, que estimula a expansão foliar, fazendo com que os solutos sejam direcionados ao crescimento aéreo. Entretanto, o estresse hídrico empregado para que as plantas atinjam a maturação antes da colheita proporciona uma redução no diâmetro de colmos, e de acordo com Santos et al. (2013) o estresse altera a conformação do colmo, impedindo a expansão celular. O  $R^2$  apresenta uma boa precisão da equação em relação ao comportamento desse parâmetro.

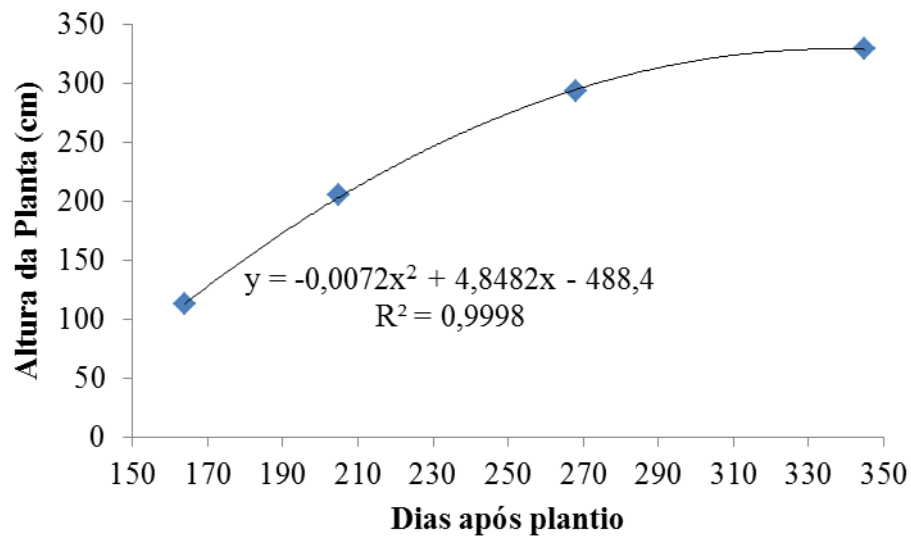


**Figura 13.** Número médio do diâmetro dos colmos durante o ciclo da cana-de-açúcar, variedade VAT 90212.

### 3.1.6 - Altura da planta (ALT)

Nesse parâmetro também não houve interação e diferença estatística entre os tratamentos, mas houve diferença entre as épocas de avaliação, ao longo do ciclo. Nota-se que o maior crescimento em comprimento dos colmos ocorreu até a 3ª avaliação, entre as 3ª e 4ª avaliações o crescimento foi mínimo. A alteração do crescimento em altura é considerada um dos principais sintomas de estresse hídrico (SILVA et al., 2013), tal expansão caulinar se apresenta de forma diferenciada entre variedades e quanto a tolerância das mesmas a fatores abióticos (SILVA et al., 2008). Machado et al (2009) trabalhando com os genótipos IACSP 94-2094 e IACSP 96-2042, determinaram que o estresse hídrico afeta a altura das plantas. A média da altura das plantas variou de 112 cm (1ª avaliação) a 326 (4ª avaliação).

Pelos dados exibidos na Figura 14 nota-se que todos os tratamentos apresentaram desempenho crescente até o momento da colheita. Durante a análise estatística, a equação obtida apresenta comportamento quadrático, em tal informação pode ser confirmada pelo  $R^2$ , que reforçou a excelente precisão da equação em relação ao comportamento desse parâmetro.



**Figura 14.** Altura média das plantas durante o ciclo da cana-de-açúcar, variedade VAT 90212

### 3.2 - Perfilamento, Produtividade e Eficiência no Uso da Água (EUA)

Pela análise estatística, as variáveis: produtividade, perfilamento e eficiência no uso da água não apresentaram diferenças significativas. Na Tabela 6, estão expostas as médias e os desvios padrões para cada tratamento e o total geral de cada variável, destacando-se que os valores obtidos foram no ciclo cana planta, colhida com 12 meses de idade.

A produtividade média obtida foi de 127,8 t ha<sup>-1</sup>. Teodoro et al. (2009) obteve uma produtividade de 100 t ha<sup>-1</sup> com cana de sequeiro, ciclo cana planta, em Rio Largo – AL e Lima et al. (2010) encontrou 138 t ha<sup>-1</sup> para cana irrigada, ciclo cana 2<sup>a</sup> soca, nesta mesma região.

O perfilamento médio do experimento foi de 68,9 plantas, número inferior ao obtido por Batista (2013) e superior ao alcançado por Barbosa (2010). A eficiência no uso da água foi de 11,2 L t<sup>-1</sup>; Silva et al. (2009) trabalhando na mesma região, Juazeiro-BA, com o ciclo cana soca, atingiu 11,93 L t<sup>-1</sup>.

Apesar de não ter sido observado diferença significativa na EUA, uma análise econômica seria importante para determinar a eficiência econômica gerada pelo estresse aplicado.

**Tabela 6.** Média e desvio padrão das variáveis: produtividade, perfilhamento e a eficiência no uso da água, para cada tratamento e geral.

	TRAT	PRODUTIVIDADE		PERFILHAMENTO		EUA	
		Média	DesvPad	Média	DesvPad	Média	DesvPad
	1 (100%)	117,9	21,7	71,3	8,6	13,6	2,3
FASE I	2 (85%)	129,0	23,2	68,7	13,0	11,6	2,0
	3 (70%)	133,3	27,6	67,0	1,7	10,7	2,5
	4 (55%)	122,5	18,2	64,7	10,3	10,6	1,5
FASE II	5 (85%)	126,6	13,9	72,7	18,0	11,6	1,2
	6 (70%)	124,5	34,0	60,0	11,5	9,4	1,8
	7 (55%)	128,6	7,4	77,3	7,0	9,7	0,5
FASE III	8 (85%)	133,0	14,0	80,3	12,0	11,6	1,3
	9 (70%)	129,3	10,7	75,7	18,5	11,7	0,9
	10 (55%)	133,2	33,9	51,7	3,5	11,5	2,5
	Total Geral	127,8	19,1	68,9	12,7	11,2	1,9

EUA: Eficiência no Uso da Água

#### **4 - CONCLUSÃO**

Os tratamentos com estresses hídricos não interferiram nos parâmetros biométricos da cultura, indicando que a quantidade de água aplicada está em excesso, o que pode gerar um prejuízo à empresa.

## 5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, F. da S. **Resistência à seca em cana-de-açúcar para diferentes níveis de disponibilidade hídrica no solo.** Dissertação (Mestrado em Ciências – Irrigação e Drenagem) – Universidade Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba – SP. 2010.

BATISTA, L. M. T. **Avaliação morfológica da cana-de-açúcar sob diferentes regimes hídricos.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Brasília – DF. 2013.

BULL, T. A.; GLASZIOU, K. T. Sugar cane. In: Evans, L. T. (ed.) **Crop physiology: some case histories.** Cambridge: University Press, p.51-72, cap. 3, 1975.

CARNEIRO, A. P. S.; RIBEIRO JÚNIOR, J. I.; SANTOS, N. T.; MARTINS FILHO, S. **Apostila Estatística Experimental.** Departamento de Estatística, UFV. Viçosa. 2010. 46p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yields response to water. Rome: **FAO, 1979.** 306p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In...**45ª Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade internacional de Biometria.** UFSCar, São Carlos, SP, p.255-258. 2000.

FELIPE, D. C. **Produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum L.*).** 2008. 70f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, UFPB, Areia, 2008.

HSIAO, T. C.; XU, L. K. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. **J. Exp. Bot.**, 51: 1595-1616. 2000.

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

INMAN-BAMBER, N. G., SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**. Amsterdam, v. 92, n. 2-3, p. 185-202, 2005.

KEATING, B. A.; ROBERTSON, M. J.; MUCHOW, R. C.; HUTH, N. I. Modelling sugarcane production systems I. Development and performance of the sugarcane module. **Field Crops Research**, v.48, p.27-36, 1999.

MACHADO, R. S. et al. Respostas biométricas e fisiológicas ao deficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, pp. 1575-1582, 2009.

MANAVALAN, L. P., et al. Physiological and molecular approaches to improve drought resistance in soybean. **Plant and Cell Physiology**, Sendai, v. 50, p. 1260-1276, 2009.

OLIVEIRA, A. R. de; BRAGA, M. B. Florescimento e acamamento de cultivares de cana-de-açúcar submetidas a diferentes lâminas de irrigação. Petrolina: **Embrapa Semiárido**, 2011. 23 p. (Embrapa Semiárido. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 87).

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica, RJ: Edur, 94p. 2004.

REDDY, S. J.; AMORIM NETO, M. S. Dados de precipitação, evapotranspiração potencial, radiação solar global de alguns locais e classificação climática do Nordeste do Brasil. **Petrolina: EMBRAPA/CPATSA**, 1983. 280p.

SANTOS, H. R. B.; PEDROSA, E. M. R.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; ROLIM, M. M.; MARANHÃO, S. R. V. L.; MEDEIROS, D. B. Crescimento de três variedades de cana-de-açúcar submetidas a estresse hídrico associado à *Meloidogyne incógnita*. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, PE, UFRPE. v.8, n.4, p.547-554, 2013.

SHIGAKI, F.; FREITAS, N.; BERTO, A.; CEDDIA, M. B.; ZONTA, E.; LIMA, E. Influência do estresse hídrico nos parâmetros de crescimento, acúmulo de n e produtividade de diferentes variedades de cana-de-açúcar em Miracema - RJ. **Revista Univ. Rural**, Sér. Ci. Vida. Seropédica, RJ, EDUR, v. 24, n. 1, jan.- jun., 2004. p. 63-71.

SMIT, M. A.; SINGELS, S. **The response of sugarcane canopy development to water stress**. Field Crops Research, Ontario, v. 98, n. 2-3, p. 91-97, 2006.

SOUZA, J. L., et al. Análise da precipitação pluvial e temperatura do ar na região do Tabuleiro Costeiro de Maceió, AL, período 1972-2001. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.12, n.1, p.131-141, 2004.

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

TEODORO, I.; et al. Crescimento e produtividade da cana-de-açúcar em cultivo de sequeiro nos tabuleiros costeiros de Alagoas. **Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil – STAB**. v. 27, n. 4, p.46 – 49, 2009.

SILVA, M. de A.; SILVA, J. A. G. da; ENCISO J.; SHARMA V.; JIFON J. L. Yield components as indicators of drought tolerance of sugarcane. **Scientia Agricola**, v.65, n.6, p.620-627, 2008.

SILVA, T. G. F. da et al. Requerimento hídrico e eficiência de o uso da água em um cultivo de cana-de-açúcar na bacia do Rio São Francisco, Brasil. **XXXVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**. Juazeiro (BA)/Petrolina (PE). 2009.

**CAPÍTULO III: QUALIDADE TECNOLÓGICA DA CANA-DE-AÇÚCAR  
SUBMETIDA A DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO NO SUBMÉDIO DO  
SÃO FRANCISCO**

## **Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas de irrigação no Submédio do São Francisco**

### **RESUMO**

Produtores de cana-de-açúcar do semiárido brasileiro têm investido maciçamente na irrigação e na adubação, por considerarem as principais tecnologias para o aumento de produtividade e da qualidade tecnológica da cultura. Assim, objetivou-se com esse trabalho acompanhar o efeito de déficits hídricos, nas diferentes fases da cultura, sobre qualidade tecnológica da cana planta na região do Submédio São Francisco. O experimento foi conduzido num talhão experimental de cana-de-açúcar da Fazenda São Jorge, pertencente à AGROVALE, no município de Juazeiro-BA. A variedade utilizada foi a VAT 90212. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com dez tratamentos e três repetições. Os tratamentos foram diferenciados com a redução das lâminas de irrigação nas três diferentes fases de desenvolvimento da cultura, sendo: T1 com irrigação plena (100% da evapotranspiração da cultura (ETc)) em todo o ciclo; T2, T5 e T8 com uma lâmina de 85% da ETc, apenas na primeira, segunda e terceira fase, respectivamente; T3, T6 e T9 com uma lâmina de 70% da ETc, apenas na primeira, segunda e terceira fase, respectivamente; e T4, T7 e T10 com uma lâmina de 55% da ETc, apenas na primeira, segunda e terceira fase, respectivamente. O sistema de irrigação utilizado foi uma linha de gotejamento subsuperficial para uma fileira dupla de cana. Os parâmetros tecnológicos analisados foram: teor de sólidos solúveis ( $^{\circ}$ BRIX em %), teor de sacarose (POL do caldo em %), fibra industrial na cana (FIBRA%), pureza do caldo (PZA%), percentagem bruta de açúcar (PCC) e açúcar total recuperável (ATR). Os resultados obtidos foram avaliados por meio da análise da variância (ANOVA), com o uso do programa SISVAR. Nenhum dos estresses hídricos aplicados proporcionou alterações nos seis parâmetros indicadores de qualidade tecnológica de natureza industrial, indicando a ocorrência da aplicação de uma lâmina de irrigação acima do necessário à cultura.

**PALAVRAS-CHAVE:** déficit hídrico, parâmetros industriais, Nordeste, VAT 90212.

## **Technological quality of sugar cane subjected to different irrigation in the Lower Basin of San Francisco**

### **SUMMARY**

Producers of cane sugar from the Brazilian semiarid region have invested heavily in irrigation and fertilization, by considering the key technologies to increase productivity and technological quality of the crop. Thus, the objective of this work is to monitor the effect of water deficits at different stages of culture on technological quality of sugar cane plant in the Lower Basin San Francisco region. The experiment was conducted in an experimental field of cane sugar of the Farm São Jorge, belonging AGROVALE, in Juazeiro-BA. The variety used was VAT 90212. The experimental design was a randomized complete block with ten treatments and three replications. Treatments were different with the reduction of irrigation in the three stages of crop development were: T1 with full irrigation (100% ETc) throughout the cycle; T2, T5 and T8 with a layer of 85% ETc, only the first, second and third phase, respectively; T3, T6 and T9 blade with a 70% ETc, only the first, second and third phase, respectively; and T4, T7 and T10 with a layer of 55% of ETc, only the first, second and third phases, respectively. The irrigation system used was a line of subsurface drip for a double row of cane. Technological parameters analyzed were: soluble solids ( $^{\circ}$ BRIX in %), sucrose (POL broth in %), industrial fiber cane (FIBER%), purity of the broth (PZA%), gross sugar percentage (PCC), and total recoverable sugar (TRS). The results were evaluated by analysis of variance (ANOVA) using the program SISVAR. None of the treatments provided changes in the six indicators of technological quality parameters of an industrial nature, indicating the use of a blade than needed by the crop.

**KEYWORDS:** water deficit, industrial parameters, Northeast, VAT 90212.

## 1 - INTRODUÇÃO

O cultivo da cana-de-açúcar vem expandindo significativamente no Nordeste brasileiro, por ser uma cultura de forte papel socioeconômico, com a geração de 1,18 milhão de empregos diretos e indiretos, e uma contribuição de 8% no PIB agrícola (CARVALHO et al., 2008); e ambiental, com a produção de biocombustíveis como o etanol e a geração dos créditos de carbono.

Segundo Tavares (2009), o Brasil possui duas principais regiões produtoras de cana-de-açúcar, o Centro-Sul e o Nordeste, e por possuir características climáticas distintas, possui também períodos de safras diferentes; de abril a novembro no Centro-Sul, de setembro a abril no Nordeste.

A exigência do setor sucroalcooleiro no fornecimento da matéria-prima com alta qualidade tecnológica vem crescendo cada vez mais. Isso porque em alguns locais as condições climáticas influenciam negativamente na maturação e, conseqüentemente, no acúmulo de sacarose, gerando prejuízos para a indústria (RODRIGUES, 1995).

Para entender a importância da qualidade tecnológica da cana é importante antes entender sua definição. Segundo Stupiello & Fernandes (1984), seria a associação de características, tecnológicas e microbiológicas, que ditam a cana-de-açúcar como matéria-prima para a produção de açúcar e álcool. Ainda de acordo com Stupiello (1993) existem dois tipos de qualidade: a convencional, que apresenta uma exigência básica, somente teores de sacarose e fibra; e a motivadora, que planejada, com menores riscos para o

produtor e apresenta um conjunto mais complexo de parâmetros como, além dos básicos, teor de impurezas, açúcar total, teor de sólidos solúveis, entre outros.

Outras definições seriam fundamentais nesse contexto:

- Percentagem Bruta de Açúcar (PCC) é um índice que está diretamente relacionado ao valor econômico da tonelada da cana, ou seja, para valores elevados deste índice tem-se preços da cana compatíveis no mercado;
- Pureza do Caldo (PZA) este parâmetro mede a quantidade de açúcares contidos no caldo, uma maior pureza do caldo resultará numa valorização econômica do produto;
- Açúcar Total Recuperável (ATR) constitui uma das variáveis do sistema de pagamento de cana, e reflete o resultado da diferença entre ART (açúcares redutores totais) da cana e as perdas que eram de 12% e que segundo Termo de Revisão do Sistema CONSECANA (2006) reduziu a 9,5% na lavagem de cana, extração (perda de POL no bagaço final), torta dos filtros e as indeterminadas.

Outra forma de garantir uma excelente qualidade tecnológica do produto é o manejo adequado da irrigação que também impede perdas econômicas significativas, pois evita o excesso de água e a ocorrências de estresses hídricos prejudiciais em suas fases de desenvolvimento da cultura, controlando os teores de umidade do solo, prevenindo alagamentos e não deixando que o solo fique abaixo de sua capacidade de campo (DOORENBOS & KASSAN, 1979).

Segundo Doorenbos & Kassan (1979), o rendimento em açúcar do canavial apresenta relação direta com a produção de colmos, o teor de açúcar e a qualidade do caldo. A quantidade de açúcar é influenciada também pela uniformidade de maturação das plantas, o teor de sacarose pode ser conhecido, antes do corte, através de várias técnicas analíticas (AOAC, 1984). De acordo com Varela (2002), a comprovação da qualidade da matéria-prima é realizada através dos principais parâmetros tecnológicos o °BRIX (teor de sólidos solúveis), POL% (teor de sacarose), PZA% (percentagem de pureza do caldo), PCC (percentagem bruta de açúcar) e FIBRA% (fibra industrial da cana), sendo possível, a partir de tais parâmetros, formar critérios de comercialização dos produtos.

Segundo Gilbert et al. (2006), a qualidade tecnológica e a produtividade são fatores inconstantes, pois representam a interação entre as condições edafoclimáticas e as características físicas e genéticas da cultura.

Para garantir uma matéria-prima de excelente qualidade, é fundamental que, durante todo o ciclo, as necessidades nutricionais e hídricas da cultura sejam atendidas, o que garantirá uma máxima maturação. De acordo com Galdino (2008), há dois tipos de maturação: a botânica, quando a planta libera o pendão que seria um cacho de flores e, posteriormente, de sementes, é indesejada pelos produtores, pois no processo de emissão a planta utiliza praticamente toda sua reserva de sacarose; e a fisiológica, quando o teor de sacarose nos colmos está em seu armazenamento máximo, sendo nesse o ponto ideal da colheita para fins industriais.

Quando a planta está em processo de maturação e antes de ser colhida ainda pode ocorrer outro fator que pode influenciar no rendimento de sacarose no momento da colheita, como o acamamento, que é a queda do colmo pode ocorrer por peso excessivo do mesmo, pela ação de ventos, por desnutrição ou pela ação de pregas ou doenças. Também é algo indesejado pelos produtores, pois em contato com o solo o colmo recebe umidade e há o estímulo da liberação de novas raízes dos nós (possível formação de nova touceira), o que também proporciona consumo de sacarose.

Para analisar o comportamento das características industriais da cana-de-açúcar nas atuais condições de cultivo irrigado de uma fazenda do semiárido brasileiro, o objetivo do presente trabalho foi de acompanhar o efeito de diferentes déficits hídricos, aplicados nas diferentes fases da cultura, sobre a qualidade tecnológica (BRIX, POL, FIBRA, PZA, PCC e ATR), da cultura no ciclo cana planta na região Submédica do rio São Francisco.

## 2 - MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido num talhão experimental de cana-de-açúcar da Fazenda São Jorge, pertencente à Agroindústria do Vale do São Francisco (AGROVALE), que possui aproximadamente 18 mil hectares de áreas cultivadas, localizados no município de Juazeiro – BA. O clima da região, segundo a classificação climática de Köppen é do tipo BSW<sub>h</sub>, tropical Semiárido conforme descrito por Reddy & Amorim Neto (1983). A precipitação apresenta uma média anual em torno de 500 mm, irregularmente distribuído e se concentra nos meses de novembro a abril. A umidade relativa do ar média anual é de 66% e a temperatura do ar média anual é de 26,5°C, apresentando os maiores picos entre outubro e dezembro, sendo julho é o mês com temperaturas mais amenas.

O experimento foi instalado em julho de 2012 e colhido em junho de 2013, totalizando 44 semanas, em que a duração das fases do ciclo da cultura está demonstrada na Tabela 1.

A variedade de cana-de-açúcar utilizada no experimento foi a VAT 90212, escolhida por ser a mais cultivada na região, plantada em colmos inteiros deitados na linha de cultivo, numa densidade de plantio de 12 gemas por metro linear, em fileiras duplas, em um espaçamento de 0,70 x 1,30 m. Inicialmente, a irrigação aplicada após o plantio foi para atingir a capacidade de campo em toda a área até que as plantas estivessem com 20 cm de altura, quando se iniciaram os tratamentos. A colheita foi feita de forma manual, tendo o cuidado de empilhar e etiquetar cada tratamento em seu respectivo bloco. O experimento foi conduzido no ciclo cana planta, na safra 2012/2013. Os tratamentos culturais e as aplicações de defensivos agrícolas obedeceram às necessidades da cultura, considerando o manejo integrado

de pragas e doenças. A adubação de fundação foi determinada com base nas análises de fertilidade do solo da área, e as adubações de cobertura foram efetuadas via fertirrigação, com frequência de três vezes por semana, seguindo o cronograma da empresa.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 10 tratamentos e 3 repetições, totalizando 30 parcelas, como mostra a Figura 1. As parcelas experimentais foram compostas por 5 fileiras duplas de cana-de-açúcar, com 10 m de largura por 12 m de comprimento. A área útil de cada parcela foi de 6 m de largura e 8 m de comprimento, totalizando 48m<sup>2</sup> (3 fileiras duplas centrais).

Os tratamentos foram diferenciados com a redução das lâminas de irrigação aplicadas pela AGROVALE, nas fases de desenvolvimento da cultura (Tabela 1), sendo: T1 a testemunha, com irrigação plena (100% da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>)) em todo o ciclo; T2, T5 e T8 com uma lâmina de 85% da ET<sub>c</sub>, apenas na primeira, segunda e terceira fase, respectivamente; T3, T6 e T9 com uma lâmina de 70% da ET<sub>c</sub>, apenas na primeira, segunda e terceira fase, respectivamente; e T4, T7 e T10 com uma lâmina de 55% da ET<sub>c</sub>, apenas na primeira, segunda e terceira fase da cultura, respectivamente.

O sistema de irrigação utilizado foi o de gotejamento subsuperficial, com emissores autocompensantes tipo labirinto embutido na tubulação, com vazão média de 1,6 L h<sup>-1</sup> espaçados 0,5 m entre si. As linhas laterais foram instaladas em fileiras duplas, com os emissores colocados para cima, e enterradas a uma profundidade de 20 cm. Para evitar intrusão radicular nos gotejadores foi aplicado 1 L ha<sup>-1</sup> de Trifuralina, uma única vez, um mês antes do plantio. As lâminas de irrigações foram controladas automaticamente pelo quadro de comando de válvulas NMC-Pro, da Netafim, que era acoplado a válvulas hidráulicas com solenóides, que possibilitavam liberar a quantidade exata de água aplicada para cada tratamento.

Acompanhando o manejo padrão da empresa, foi aplicado um estresse hídrico total na cultura, durante 35 dias antes da colheita, para elevação de matéria seca acumulada nos colmos, composta essencialmente por sacarose. Para avaliar o efeito do estresse hídrico com o decorrer dos dias, iniciaram-se as coletas de 3 plantas/colmos a cada 7 dias (com 0 dias de estresse (DE), 9 DE, 18 DE, 27 DE e 36 DE), no sentido de identificar o momento ideal da colheita, sendo a mesma realizada com a cana crua e de forma manual. Os colmos foram levados para o laboratório industrial da empresa para análise dos parâmetros tecnológicos de acordo com CONSECAN (2006): teor de sólidos solúveis (°BRIX em %),

teor de sacarose (POL do caldo em %), fibra industrial na cana (FIBRA%), pureza do caldo (PZA%), percentagem bruta de açúcar (PCC) e açúcar total recuperável (ATR).

### 2.1 - Teor de Sólidos Solúveis (°BRIX em %)

A determinação dos Sólidos Solúveis Totais (°BRIX) foi realizada pela extração do caldo de cada amostra da cana-de-açúcar retirada de cada bloco, e foi analisada com refratômetro digital 0 ~ 45% de bancada, com correção automática de temperatura e ajuste de campo com saída para ajuste magnético. O índice de refração que corresponde ao índice de sólidos solúveis foi obtido pela expressão:

$$I_r = \frac{\text{sen}(i)}{\text{sen}(r)}$$

sendo que:  $I_r$  é o °BRIX;  $\text{Sen}(i)$  é o seno do ângulo de incidência;  $\text{Sen}(r)$  é o seno do ângulo de refração.

### 2.2 - Teor de Sacarose (POL do caldo em %)

A determinação do teor de sacarose (POL) foi realizada após a clarificação do caldo com subacetato de chumbo (sal de Horne), e foi definido através do aparelho denominado sacarímetro automático, do tipo ACATECR, modelo DAS 2500, cujo funcionamento é baseado em princípios físicos, tendo como base as propriedades da luz e sua natureza ondulatória, determinando-se, dessa forma, a concentração de açúcares opticamente ativos, do tipo sacarose.

A partir da Lei de Biot (CALDAS, 1998) e da equação que exprime esta Lei é que se determinou-se o teor de sacarose na cana-de-açúcar.

$$C = \frac{100 * \alpha}{l * \alpha^T * \gamma} \quad (2)$$

sendo: C a concentração de açúcar;  $\alpha$  o ângulo de rotação do plano de vibração da luz polarizada; l é o comprimento da coluna iluminada de líquido;  $\alpha^T * \gamma$  é a rotação específica.

O resultado obtido diretamente no sacarímetro foi ajustado com a temperatura do ambiente, utilizando-se a seguinte equação para a correção:

$$L_{\text{corr}} = L * [1 + 0,000255(T - 20)] \quad (3)$$

sendo:  $L_{\text{corr}}$  a leitura corrigida correspondente ao POL(%);  $L$  é a leitura no sacarímetro;  $T$  é a temperatura ambiente.

### 2.3 - Percentagem Bruta de Açúcar (PCC)

A PCC foi determinada pela equação:

$$PCC = L_{\text{corr}} * (1 - 0,01 * FI) * c \quad (4)$$

sendo:  $L_{\text{corr}}$  é o POL do caldo extraído (%);  $FI$  é a fibra industrial em % da cana e  $C$  é fator de transformação da POL do caldo extraído em POL do caldo absoluto, sendo igual a 0,955.

### 2.4 - Pureza do Caldo (PZA %)

A pureza foi determinada de forma empírica e calculada a partir da percentagem de sólidos solúveis totais no caldo extraído, após a determinação do POL e do °BRIX, conforme a expressão abaixo, de acordo com Caldas (1998):

$$PZA = \frac{POL_{\%caldo}}{BRIX_{\%caldo}} \quad (5)$$

### 2.5 - Fibra Industrial na Cana-de-açúcar (FIBRA%)

A fibra industrial foi determinada em função do peso, em gramas, do material fibroso residual de prensagem (bolo úmido de bagaço) e equivale 0,1005 desse peso, expresso em porcentagem. Portanto, a determinação do percentual da fibra da cana foi baseada na correlação entre resíduos fibrosos e fibra industrial.

Esta determinação foi feita através da equação:

$$\%FI_{\text{cana}} = \frac{(100 * PS) * (PU * b)}{5 * (100 - b)} \quad (6)$$

sendo:  $PS$  é o peso do bolo seco em estufa a 105°C;  $PU$  é o peso do bolo úmido (resíduo fibroso) e  $b$  é o °BRIX do caldo extraído.

### 2.6 - Açúcar Total Recuperável (ATR – kg t<sup>-1</sup>)

O ATR foi calculado pelo SPCTS atual, aprovado pelo CONSECAN (2006), através da seguinte equação:

$$ATR \text{ (kg t)} = 10 \times PC \times 1,0526 \times (1 - PI/100) + 10 \times AR \times (1 - PI/100) \quad (7)$$

sendo,  $AR\%$  cana calculado pela seguinte fórmula:

$$\text{AR\% cana} = [9,9408 - (0,1049 \times \text{Pureza caldo})] \times [1 - (0,01 \times \text{Fibra\% cana})] \times (1,0313 - 0,00575 \times \text{Fibra\% cana}) \quad (8)$$

sendo: PC = POL da cana, que determina a quantidade de sacarose aparente na cana-de-açúcar; PI = a perda industrial média dos açúcares contidos na cana-de-açúcar em função dos processos industriais e tecnológicos utilizados no Estado de São Paulo; AR = açúcares redutores, que determina a quantidade conjunta de frutose e glicose contida na cana de açúcar; 1,0526 = fator de cálculo estequiométrico de transformação de sacarose em açúcares redutores.

Os resultados obtidos foram avaliados por meio da análise da variância (ANOVA) em parcelas subdivididas no tempo, com o uso do programa SISVAR (FERREIRA, 2000).

### 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

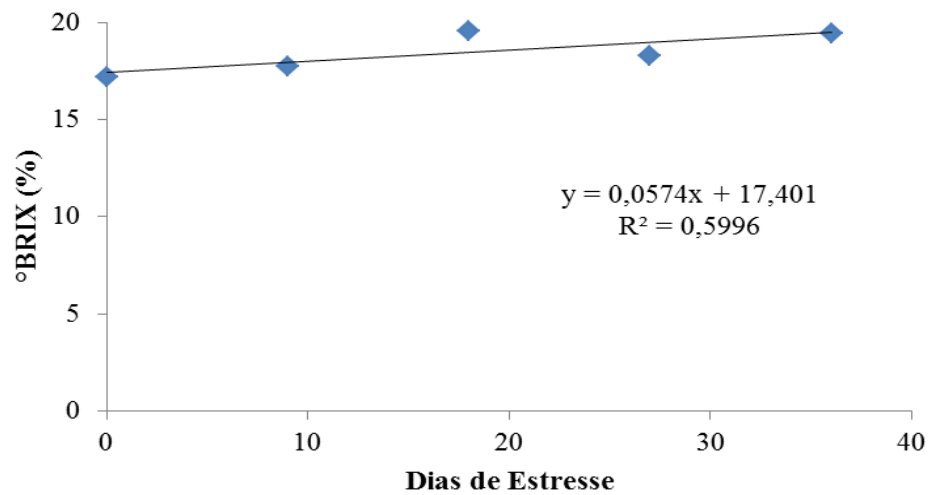
Segundo classificação de Carneiro et al. (2010), para coeficientes de variação (CV), os dados do experimento apresentaram uma alta precisão para as variáveis °BRIX (9,9%), PZA% (4,95%) e FIBRA% (4,95%) e boa precisão experimental para as variáveis POL (12,97%), PCC (12,36%) e ATR (11,12%).

A análise estatística mostra que não houve diferenças significativas nos parâmetros tecnológicos estudados, no entanto, houve diferenças entre as épocas de coleta, para alguns tratamentos.

#### 3.1 - Teor de Sólidos Solúveis (°BRIX em %)

Na Figura 15 nota-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos e uma pequena evolução nos valores de °BRIX com a época de coleta. Porém, mesmo a planta aparentemente não estando em estresse total, o resultado atingiu o valor mínimo recomendado, de 18 °BRIX para colheita (AMARAL & BERNARDES, 2011).

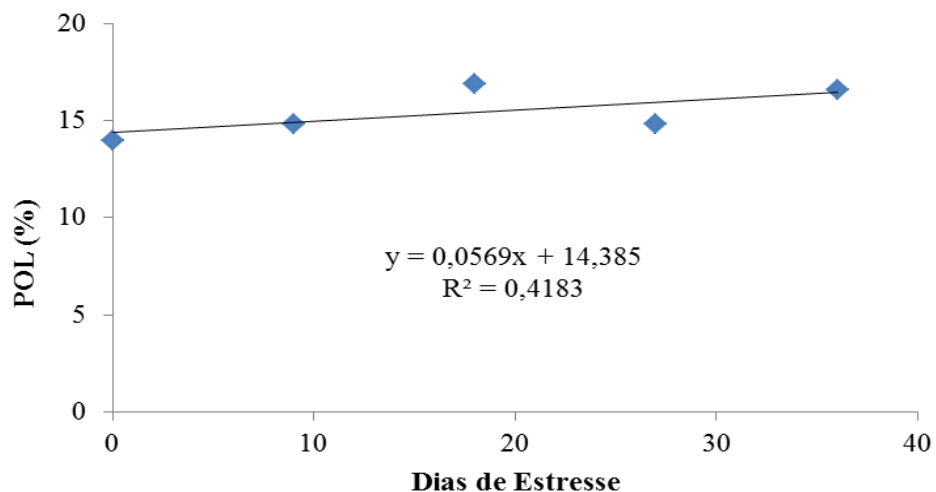
Como descrito no parágrafo acima com esse parâmetro, Silva (2004) trabalhando com diferentes níveis de adubação na terceira folha de cana, também não obteve diferença significativa entre os tratamentos; Carvalho (2008) trabalhando com diferentes níveis de irrigação na terceira folha de cana e Caione (2011) trabalhando com diferentes níveis de adubação na segunda folha de cana no norte mato-grossense.



**Figura 15.** Valores médios de °BRIX (teor de sólidos solúveis) das coletas semanais ao longo do último mês, antes da colheita.

### 3.2 - Teor de Sacarose (POL do caldo em %)

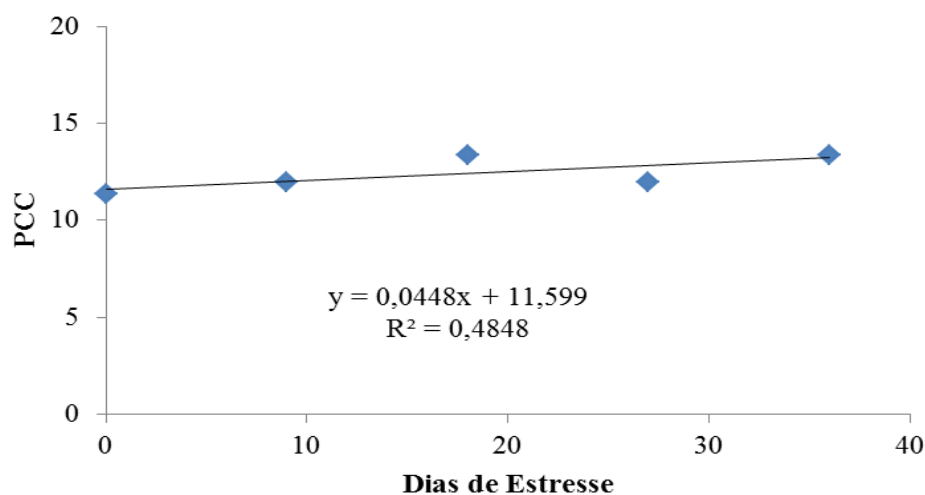
Na Figura 16 vê-se que a cana foi atingindo gradativamente o ponto de maturação até o período da colheita. Segundo Delgado & César (1977), que considera os valores acima de 14% como uma variedade rica, os valores obtidos estão altos, sendo estes similares aos encontrados por Souza et al (2005), trabalhando com diferentes variedades e sistemas de colheita na região de Jaboticabal-SP e Fróis et al (2013) trabalhando com diferentes variedades e diferentes lâminas no norte de Minas Gerais.



**Figura 16.** Valores médios de POL% (teor de sacarose) das coletas semanais ao longo do último mês, antes da colheita.

### 3.3 - Percentagem Bruta de Açúcar (PCC)

Na Figura 17 nota-se pequenas alterações no comportamento desse parâmetro com o tempo de estresse hídrico. Nesta Figura é possível observar, que no momento da colheita o PCC estava com 13,38%, valor abaixo do encontrado por Carvalho (2008), trabalhando com diferentes níveis de irrigação na terceira folha de cana, em sua menor lâmina (13,81%) e ainda menor que ao valor da maior lâmina (15,37%). Evidenciando que o solo ainda continha alto teor de umidade, evitando o processo de maturação, segundo Humbert (1984), o processo de acúmulo de sacarose é iniciado com o aumento da tensão de água no solo, que gera uma redução gradual até a parada do crescimento vertical do colmo, havendo assim uma diminuição na demanda por açúcares, e um armazenamento dos mesmos.



**Figura 17.** Valores médios de PCC (percentagem bruta de açúcar) das coletas semanais ao longo do último mês, antes da colheita.

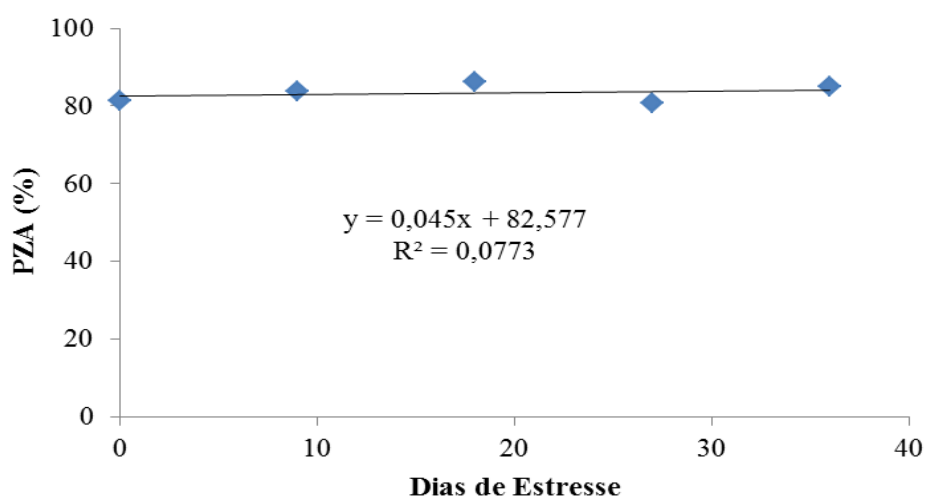
### 3.4 - Pureza do Caldo (PZA%)

Na Figura 18 observa-se que a cana foi colhida quando atingiu 85% de PZA, também sem aumento deste parâmetro com o decorrer do período do estresse hídrico. De acordo com Assis (2004), os valores de PZA devem estar acima de 80% para recomendar o corte no início da safra e acima de 85% no decorrer da safra. Para Delgado & César (1977) a variedade é considerada rica quando apresenta uma PZA maior que 85%, e uma variedade média quando sua PZA for maior que 82%.

Carvalho (2008) trabalhando com diferentes níveis de irrigação na terceira folha de cana e Batista (2013) trabalhando em Planaltina-DF, não encontraram

diferença significativa na avaliação de pureza do caldo encontrou com relação ao regime hídrico. Estudando os efeitos da irrigação sobre a qualidade da cana, no Estado do Texas, Wiedenfeld (1995) também não obteve variações na pureza.

Silva (2002) avaliando a resposta da cana-de-açúcar sob diferentes níveis de adubação nos tabuleiros costeiros da Paraíba, cultivar SP 716949, encontrou 88,5% para valor médio de PZA%. Resultados semelhantes de colheita foram encontrados por Figueiredo *et al.* (2008), no qual apresentou um valor médio de 86,6%. Nas normas de qualidade da matéria-prima redigidas pelo CONSECANA (2006), foi estabelecido que as unidades industriais só podem recusar o recebimento de carregamentos com pureza abaixo de 75%.



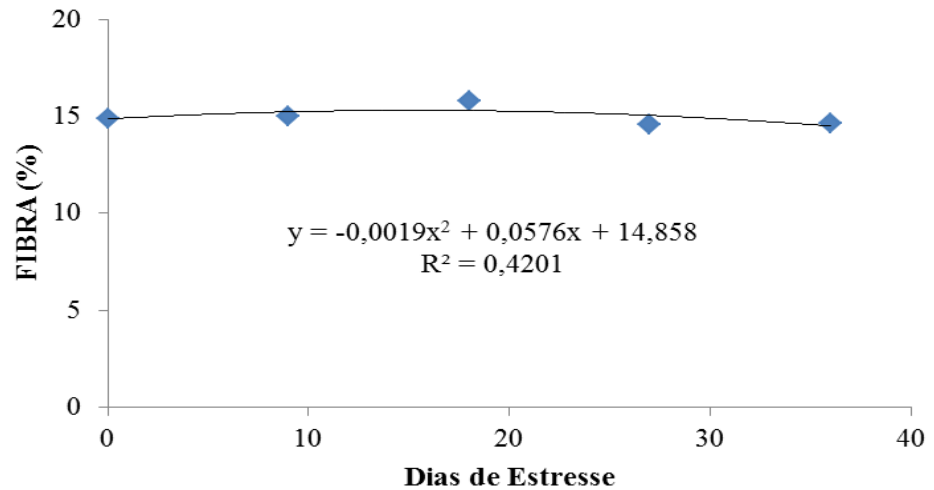
**Figura 18.** Valores médios de PZA% (pureza do caldo) das coletas semanais ao longo do último mês, antes da colheita.

### 3.5 - Fibra Industrial na Cana-de-açúcar (FIBRA%)

A Figura 19 demonstra que houve uma pequena alteração no teor de fibra com o decorrer do período do estresse hídrico. Resultado semelhante foi obtido por Galdiano (2008) trabalhando com aplicação de maturadores químicos na cana-de-açúcar no estado de São Paulo.

O teor de fibra médio atingido no experimento foi de 15%, que está um pouco acima do recomendado por Ripoli & Ripoli (2004), mas não o suficiente para interferir na qualidade do produto. Batista (2013), obteve a 12,89% trabalhando com cana irrigada e 12,05% cana de sequeiro.

Um ponto positivo numa maior quantidade no teor de fibra é aumento do volume de bagaço, que por sua vez, gera um grande potencial energético, tanto para a geração de energia quanto para a produção de etanol (MENEZES et al., 2012).

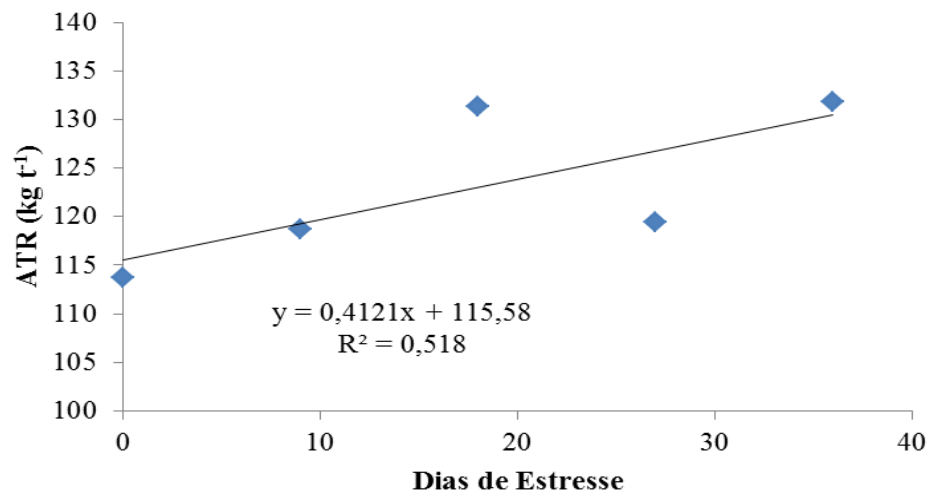


**Figura 19.** Valores médios de FIBRA% (fibra industrial da cana-de-açúcar) das coletas semanais ao longo do último mês, antes da colheita.

### 3.6 Açúcar Total Recuperável (ATR)

Na Figura 20 nota-se uma alternância nos valores desse parâmetro, com o decorrer do período do estresse, mas não houve diferença significativa entre tratamentos estudados. Este aumento do açúcar total recuperável (ATR) com o tempo de estresse hídrico teve bastante importância para o manejo, uma vez que segundo CONSECANA (2006), tanto para a indústria quanto para os produtores, pois é a partir dele que as unidades industriais determinam o preço pago aos produtores.

Dantas Neto et al (2006) trabalhando com resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura, também não encontrou resposta significativa com seus tratamentos. Oliveira et al. (2012) trabalhando com supressão de irrigação e diferentes adubações, em Janaúba-MG, ATR encontrou valores de 189,25 Kg t<sup>-1</sup>.



**Figura 20.** Valores médios de ATR ( $\text{kg t}^{-1}$ ) das coletas semanais ao longo do último mês, antes da colheita.

Outro fator que não deve ser ignorado na caracterização da qualidade tecnológica da cana-de-açúcar são as condições climáticas; já que o clima pode ou não influenciar no acúmulo de sacarose (JAMES, 1999) e na deterioração microbiológica e tecnológica que acontecem em pós-colheita (MUTTON & MUTTON, 2005). Segundo Humbert (1968), as condições climáticas, principalmente a temperatura e a umidade, interferem diretamente na maturação e florescimento da cana, processos ligados a qualidade da matéria-prima.

#### **4 - CONCLUSÃO**

Os déficits hídricos aplicados nas diferentes fases da cultura, para o atual manejo de irrigação utilizado no ciclo de cana planta da variedade VAT 90212 pela empresa AGROVALE na região Submédica do rio São Francisco não proporcionam diferença significativa para os parâmetros indicadores de qualidade tecnológica de natureza industrial: teor de sólidos solúveis (°BRIX), teor de sacarose (POL% do caldo), percentagem bruta de açúcar (PCC), pureza do caldo (PZA%), fibra industrial na cana-de-açúcar (FIBRA%) e açúcar total recuperável (ATR). O baixo grau de maturação da cultura com o estresse hídrico total, nos 30 dias anteriores a colheita, indica um excesso de água no solo.

## 5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, R. C. do; BERNARDES, T. F. **Como definir o ponto de colheita da cana.** 2011. Disponível em < <http://www.beefpoint.com.br/radares-tecnicos/conservacao-de-forragens/como-definir-o-ponto-de-colheita-da-cana-de-acucar-67828/> > Acesso em 27/03/2014.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists (Arlington, VA). **Official methods of analysis.** 14ed. Centennial Edition. Arlington: VA, 1984.1141p.

ASSIS, P. C. O.; LACERDA, R. D.; AZEVEDO, H. M.; DANTAS NETO, J.; FARIAS, C. H. A. Resposta dos parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar a diferentes lâminas de irrigação e adubação. **Revista de Biologia e Ciências da Terra.** v.4, n.2, 2004.

BATISTA, L. M. T. Avaliação morfológica da cana-de-açúcar sob diferentes regimes hídricos. **Dissertação de Mestrado em Agronomia.** Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Brasília-DF. 97p. 2013.

CAIONE, G.; et al. Doses de potássio em cobertura na primeira soca da cultura da cana-de-açúcar cultivada no norte mato-grossense, **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 27, n. 4, p. 572-580, July/Aug. 2011.

CALDAS, C. Manual de análises selecionadas para indústrias sucroalcooleiras. Maceió: **Sindicato da Indústria e do Alcool do Estado de Alagoas**, 1998. 424p.

CARNEIRO, A. P. S.; RIBEIRO JÚNIOR, J. I.; SANTOS, N. T.; MARTINS FILHO, S. **Apostila Estatística Experimental.** Departamento de Estatística, UFV. Viçosa. 2010. 46p.

CARVALHO, C. M.; et al. Resposta dos parâmetros tecnológicos da terceira folha de cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias.** Recife, PE, UFRPE. v.3, n.4, p.337-342, 2008.

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

CONSECANA. Manual de instruções. 5. ed. Piracicaba: **Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo**, 2006.

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

DELGADO, A. A.; CÉSAR, M. A. A. **Elementos de tecnologia e engenharia do açúcar de cana**. Zanini S/A equipamentos pesados, v.1, 1977.36p.

DOORENBOS, J; KASSAN, A. H. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. (Riego e Drenaje). Boletim No 33. Roma, **FAO**, 1979, 212p.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. Yield response to water. Rome: **FAO**, 1979. 235p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In...**45ª Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade internacional de Biometria**. UFSCar, São Carlos, SP, p.255-258. 2000.

FRÓIS, M. R.; et al. Avaliação de pol de caldo e pureza de variedades de cana-de-açúcar submetidas a diferentes lâminas de irrigação no norte de minas gerais. **VII FEPEG** (Fórum de Ensino, Pesquisa, Extensão e Gestão). 2013.

GALDIANO, L. C. Qualidade da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) submetida à aplicação de maturadores químicos em final de safra. Jaboticabal. **Dissertação de Mestrado**. 12p. 2008.

GILBERT, R. A.; et al. The effect of genotype, environment and time of harvest on sugarcane yields in Florida, USA. **Field Crops Research**, v.95, p.156-170, 2006.

HUMBERT, R.P. **El cultivo de la caña-de-azucar**. 6. ed. México: Continental, 1984. 719p

HUMBERT, R. P. **The growing of sugar cane**. Ed. Elsevier. Amsterdam. 1968. 779p.

JAMES, G. The chemical ripening of sugarcane. **International Sugar Journal**, v.101, n.1211, p.560-562, 1999.

MENEZES, R. K. O.; et al. Estudo do teor de fibra presente em duas variedades de cana-de-açúcar do município alagoano para fins energéticos. **5º Encontro Nacional de Tecnologia Química**. Maceió – AL. 2012. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/entequi/2012/trabalhos/50/50-400-13741.html>> Acesso em: 10 de setembro de 2014.

MUTTON, M. J. R; MUTTON, M. A. Identificação de perdas de açúcares no setor agrícola. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.23, n.4, p.42-46, 2005.

OLIVEIRA, F. M. DE et al. Avaliação tecnológica da variedades de cana-de-açúcar influenciadas por diferentes adubações e supressões de irrigação. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n.6, p. 832-840, 2012.

REDDY, S. J.; AMORIM NETO, M. S. Dados de precipitação, evapotranspiração potencial, radiação solar global de alguns locais e classificação climática do Nordeste do Brasil. **Petrolina: EMBRAPA/CPATSA**, 1983. 280p.

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

RODRIGUES, J. D. Fisiologia da cana-de-açúcar. Botucatu: **FEPAF**, 1995. 52 p.

SILVA, A. B. Resposta da cana-de-açúcar irrigada sob diferentes níveis de adubação. Campina Grande: UFCG, **Dissertação de Mestrado**. 2002. 61p.

SOUZA, Z. M.; et al. Manejo de palhada de cana colhida sem queima, produtividade do canavial e qualidade do caldo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, p. 1061-1068, 2005.

STUPIELLO, J.P. Matéria-prima: qualidade total. In: Seminario Roundup Efeito Maturador,1, 1993, Guarujá. **Anais ...** Guarujá, 1993, p. 83.

STUPIELLO, J. P.; FERNANDES, A. C. Qualidade da matéria prima proveniente das colhedoras de cana picada e seus efeitos na fabricação de álcool e açúcar. **STAB**, Piracicaba, v. 2, n. 4, 1984.

TAVARES, A. C. S. Sensibilidade da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) ao excesso de água no solo. **Tese (Doutorado)**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2009, 220p.

VARELA, A. C. G. Análise do Comportamento Morfofisiológico da Cana-de-açúcar Irrigada (Variedades SP 791011 e SP 716949), nos Tabuleiros Costeiros Paraibanos. **Dissertação de Mestrado**. Campina Grande: UFCG, 2002.89p.

WIEDENFELD, R. P. Effects of irrigation and N fertilizer application on sugar cane yield and quality. **Field Crop Research**, v.43, p.101-108, 1995.