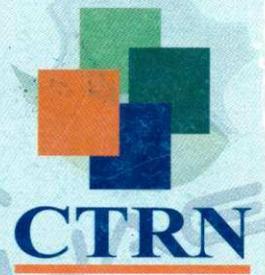




UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
COPEAG - COORD. DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. AGRÍCOLA



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Dissertação de Mestrado

**A TÉCNICA DA IRRIGAÇÃO NO
CRESCIMENTO E NA PRODUTIVIDADE
DA CANA-DE-AÇÚCAR NO NORDESTE.**

JANIO KLEIBER CAMELO DE SOUZA

**Campina Grande
Paraíba**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**



ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

**A TÉCNICA DA IRRIGAÇÃO NO CRESCIMENTO E NA PRODUTIVIDADE DA
CANA-DE-AÇÚCAR NO NORDESTE.**

JANIO KLEIBER CAMELO DE SOUZA



Campina Grande, Paraíba

2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

JANIO KLEIBER CAMELO DE SOUZA



**A TÉCNICA DA IRRIGAÇÃO NO CRESCIMENTO E NA PRODUTIVIDADE DA
CANA-DE-AÇÚCAR NO NORDESTE.**

Campina Grande, Paraíba

2012

JANIO KLEIBER CAMELO DE SOUZA

Engenheiro Agrônomo

**A TÉCNICA DA IRRIGAÇÃO NO CRESCIMENTO E NA PRODUTIVIDADE DA
CANA-DE-AÇÚCAR NO NORDESTE.**

**Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em
Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Campina
Grande, em cumprimento às exigências do Curso para
obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola na
Área de Concentração em Irrigação e Drenagem.**

JOSÉ DANTAS NETO

Orientador

Campina Grande, Paraíba

2012



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCC

- S726t Souza, Janio Kleiber Camelo de.
A técnica da irrigação no crescimento e na produtividade da cana-de-açúcar no nordeste / Janio Kleiber Camelo de. -- Campina Grande, 2012.
60 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2012.
- "Orientação: Prof. Dr. José Dantas Neto".
Referências:
1. Irrigação. 2. Cana-de-açúcar - *Saccharum spp.* 3. Produtividade.
I. Dantas Neto, José. II. Título.

CDU 631.67(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

CTR
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais

PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO

JANIO KLEIBER CAMELO DE SOUZA

A TÉCNICA DE IRRIGAÇÃO NO CRESCIMENTO E NA PRODUTIVIDADE DA
CANA-DE-AÇUCAR NO NORDESTE

BANCA EXAMINADORA

PARECER

José Dantas Neto

Dr. José Dantas Neto
Orientador (UAEA/CTR/UFCC)

APROVADO

Soahd Arruda Rached Farias

Dr. Soahd Arruda Rached Farias
Examinadora (UAEA/CTR/UFCC)

APROVADO

Maria Betânia Rodrigues Silva

Dr. Maria Betânia Rodrigues Silva
Examinadora (PRODOC/CAPES)

APROVADO

DEZEMBRO - 2012

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pelo dom da vida, pela sua misericórdia e bondade em minha vida.

Aos meus pais: Jonas Camelo de Souza (in memoriam) e Lúcia Maria Camelo de Souza pelos exemplos de vida.

Aos meus irmãos: Hamilton, Cassiara, Vênia e Jonas Filho por estarem sempre comigo.

A Capes pela concessão da bolsa de estudos.

A Pós Graduação em Engenharia Agrícola e a todos os professores deste curso que contribuíram com minha formação.

A Miriri Alimentos e Bionergia pela obtenção dos dados deste trabalho.

E a todos que contribuíram, direta e indiretamente com essa pesquisa.

Ao Professor Dr. José Dantas Neto pela compreensão
Dedicação, atenção e condução deste Trabalho.

Dedico.

SUMÁRIO

	PÁGINA
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE QUADROS	ix
LISTA DE TABELAS	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii

CAPÍTULO 1. Importância da Irrigação para a Produção de Cana-de-açúcar no Nordeste do Brasil.

RESUMO	02
ABSTRACT	03
1. INTRODUÇÃO	04
2. OBJETIVO	06
3. MATERIAL E MÉTODOS	06
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	07
5. CONCLUSÕES	29
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

CAPÍTULO 2. Crescimento da Cana-de-açúcar, Submetido a Diferentes Lâminas de água e Níveis de Adubação com zinco.

RESUMO	34
ABSTRACT	35
1. INTRODUÇÃO	36
2. REVISÃO DE LITERATURA	38
3. MATERIAL E MÉTODOS	47
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
5. CONCLUSÕES	57

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1. Importância da Irrigação para a Produção de Cana-de-açúcar no Nordeste do Brasil.

FIGURA 1.1 Fenologia do ciclo de desenvolvimento da cana-de-açúcar, na zona canavieira de Alagoas 11

FIGURA 1.2 Irrigação por superfície, tipo sulco, em cana-de-açúcar 15

FIGURA 1.3 Irrigação por aspersão, sistema convencional com canhão, em cana-de-açúcar 16

FIGURA 1.4 Irrigação por aspersão, tipo pivô central rebocável, em cana-de-açúcar. (Fotos: Pivô central rebocável na destilaria Miriri S.A. Carlos Henrique de A. Farias)..... 17

FIGURA 1.5 Irrigação por aspersão, tipo pivô linear, em cana-de-açúcar 18

FIGURA 1.6 Irrigação por aspersão, autopropelido, em cana-de-açúcar 18

FIGURA 1.7 Irrigação por aspersão, montagem direta, em cana-de-açúcar 19

FIGURA 1.8 Irrigação localizada, gotejamento subterrâneo, em cana-de-açúcar 21

FIGURA 1.9 Custos da irrigação nas safras 2003/2004 e 2004/2005, expressos em reais por hectare (R\$/ha), toneladas de cana-de-açúcar por hectare (TCH), sacas de açúcar por hectare (sacas/ha) e reais por milímetro (R\$/mm), na Usina Porto Rico em Campo Alegre, A 22

FIGURA 1.10 Produtividade agrícola nas safras 2003/2004 e 2004/2005, expressos em toneladas de cana-de-açúcar por hectare (TCH), no Estado de Alagoas 23

FIGURA 1.11 Investimento por sistema de irrigação, em cana-de-açúcar, em função Variação da lâmina de irrigação aplicada, no Estado de Alagoas 24

FIGURA 1.12 Produtividade agrícola da cana-de-açúcar em toneladas de cana por hectare, em função de lâminas de irrigação (curva de regressão raiz quadrada), em cana-planta (a) e cana-soca (b), na região de Rio Largo, AL, nas safras 2009/2010 e 2010/2011 28

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO 1. Importância da Irrigação para a Produção de Cana-de-açúcar no Nordeste do Brasil.

- QUADRO 1.1** Valores de consumo máximo, mínimo e médio de água da cana-de-açúcar obtidos por diversos métodos e diferentes autores, segundo Scardua e Rosenfeld (1987) ..08
- QUADRO 1.2** Potenciais mínimos de água no solo e água disponível consumida, segundo diferentes autores, citados por Scardua e Rosenfeld (1987) 08
- QUADRO 1.3** Coeficientes de cultivo da cana-de-açúcar, de acordo com Scardua Rosenfeld (1987)..... 10
- QUADRO 1.4** Análise das médias de produtividade de colmo em $t\ ha^{-1}$ pelo teste de Tull para o fator água e fator adubação de cobertura de cana-de-açúcar planta (*Sacchar officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m 25

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2. . Crescimento da Cana-de-açúcar, Submetido a Diferentes Lâminas de água e Níveis de Adubação com zinco.

TABELA 2.1 Lâmina de água de irrigação, precipitação efetiva, lâmina total aplicada à cultura e precipitação total no ano de cultivo. Fazenda Capim II, Capim/PB 49

TABELA 2.2 Resumo das análises de regressão das variáveis altura de planta (AP), área foliar (AF), número de perfilhos (NP), fitomassa da folha (FF), fitomassa do colmo (FC), fitomassa total (FT) e índice de área foliar (IAF), da cana-de-açúcar (variedade SP 79-1011), irrigados com diferentes lâminas de irrigação e doses de zinco. Fazenda Capim II, Capim/PB 54

A TÉCNICA DA IRRIGAÇÃO NO CRESCIMENTO E NA PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR NO NORDESTE.

Resumo: O objetivo principal dessa pesquisa foi estudar a viabilidade da técnica da irrigação no crescimento e na produtividade agrícola da cana-de-açúcar na Região Nordeste do Brasil. Especificamente: analisou-se a resposta das variáveis de crescimento da cultura da cana de açúcar, terceira folha, à aplicação de diferentes lâminas de água de irrigação e níveis de adubação com zinco; Descreveu-se a relação entre as técnicas de irrigação e o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar irrigada na região, enfatizando o aumento de produtividade. Na primeira parte da pesquisa um experimento foi conduzido na Fazenda Capim II (latitude 6°54'59,88"S, longitude 35°09'17,86", e altitude de 121 m), localizada no município de Capim/PB. A fazenda situa-se sobre a bacia hidrográfica do Litoral Norte da Paraíba, subbacia do Miriri. Foram estudadas, o efeito das lâminas de água de irrigação em termos de fração da ETC (sequeiro, 25 %, 50%, 75% e 100% da ETC), sobre o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar, cultivar SP 79-1011. Os níveis de adubação com zinco adotados foram: 0, 1, 2, 3 e 4 kg de Zn ha⁻¹, tendo como fonte o sulfato de zinco heptahidratado (ZnSO₄ · 7H₂O), com 22 % de zinco, sendo as quantidades do produto, respectivamente, de 0,00, 4,54, 9,00, 13,63 e 18,18 kg ha⁻¹, aplicados no solo, na forma líquida com bombas tipo costal. Os tratamentos com lâminas de água de irrigação ocasionaram efeito significativo, sobre as variáveis altura de planta, área foliar, número de perfilho, fitomassa do colmo e fitomassa total. Num segundo momento foi realizada uma busca em artigos científicos, teses, dissertações, livros, e jornais especializados, disponíveis em bibliotecas e instituições públicas e na Internet, com a finalidade de construir um embasamento teórico do tema e de conhecer a realidade da cana-de-açúcar irrigada no Nordeste do Brasil. No Nordeste o uso da técnica da irrigação na cultura da cana-de-açúcar foi essencial para o aumento da produtividade e conseqüentemente da sua viabilidade econômica

Palavras-Chaves: *Saccharum spp*, irrigação, área foliar, fitomassa total, viabilidade econômica.

TO TECHNIQUE FROM THE IRRIGATION IN THE GROWTH AND IN THE PRODUCTIVITY FROM THE OF OF IN THE NORTHEAST.

Abstract: The main objective of that research went study to feasibility from the technique from the irrigation in the growth and in the agricultural productivity from the of of in the Region Northeast of Brazil. Especificamente: analyzed itself to answer of the variables of growth from the culture from the sugar cane, third sheet, to the application of peculiar irrigation water sheets and levels of adubação with zinc; Described Itself to relation between the techniques of irrigation and the development from the culture from the of of irrigated in the region, emphasizing the increase of productivity. In the first part from the research an experiment was driven in the Farm Grass II (latitude 6°54'59,88"S, length 35°09'17,86", and altitude of 121 m), located in the town of Grass/PB. To farm situates-itself about the basin hidrográfica of the Coastal North from the Paraíba, subbacia of the Miriri. They were studied, the effect of the irrigation water sheets in we will have of fração from the ETc (sequeiro, 25%, 50%, 75% and 100% from the ETc), about the development from the culture from the of of, cultivate SP 79-1011. The levels of adubação with zinc adopted were: 0, 1, 2, 3 and 4 kg of Zn ha⁻¹, having like spring the sulfate of zinc heptahidratado (ZnSO₄ 7H₂O), with 22% of zinc, being the quantities of the product, respectively, of 0,00, 4,54, 9,00, 13,63 and 18,18 kg ha⁻¹, applied in soil, in the form liquid with bombs kind costal. The handlings with you laminate of water of irrigation they caused significant effect, about the plant height variables, area foliar, number of perfilho, fitomassa of the colmo and fitomassa gross. In a second moment was carried out a search in scientific articles, theories, dissertations, books, and newspapers specialized, available in libraries and public institutions and in the Internet, with the purpose of build a foundation theoretician of fear and of know to reality from the of of irrigated in the Northeast of Brazil. In the Northeast the use from the technique from the irrigation in the culture from the of of was essential for the increase from the productivity and consequently from the his economic feasibility

Key-words: *Saccharum spp*, irrigation, area foliar, fitomassa gross, economic feasibility.

INTRODUÇÃO GERAL

A técnica da irrigação em agricultura com uso intensivo de tecnologia, como na cana-de-açúcar coloca o insumo água sob controle do agricultor, eliminando riscos de perdas de produção ocasionadas por estiagens e secas além de favorecer uma maior produtividade pelo uso mais eficiente de insumos, como fertilizantes, defensivos, sementes melhoradas, energia elétrica e mão-de-obra. A implantação bem sucedida de um programa de irrigação pode elevar, de forma substancial e estável, a produtividade da cana-de-açúcar, ensejando ganhos mais elevados para os produtores e contribuindo para a modernização mais rápida do meio rural.

No Nordeste do Brasil a cultura da cana-de-açúcar sofre sequelas com o efeito da irregularidade pluviométrica em determinados períodos, pois o déficit hídrico implica no aumento do índice de mortalidade das socas, acarretando a renovação precoce do canavial. Esse fator associado ao empobrecimento do solo aponta para uma política de pesquisa com irrigação e adubação das culturas visando resultados diretos como o aumento da produtividade e rendimento de açúcar e de álcool.

Um fator significativo que deve ser destacado visto que influencia na produtividade das culturas, é a disponibilidade de água e de nutrientes. Com relação à água, nem sempre as chuvas atendem à real necessidade hídrica das plantas; surge, daí a importância da irrigação a qual, quando bem planejada tem retorno econômico inquestionável. O solo é que dá o suporte para fornecimento de nutrientes para a planta e, não é raro o mesmo não os apresentar na quantidade de que a cultura precisa para o seu pleno desenvolvimento, o que ressalta a importância da adubação, destacando que nesta prática se deve observar o comportamento de cada nutriente com relação à cultura

O objetivo principal dessa pesquisa foi estudar a viabilidade da técnica da irrigação no crescimento e na produtividade agrícola da cana-de-açúcar na Região Nordeste do Brasil. Especificamente: Descreveu-se a relação entre as técnicas de irrigação e o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar irrigada na região, enfatizando o aumento de produtividade (Capítulo I); analisou-se a resposta das variáveis de crescimento da cultura da cana de açúcar, terceira folha, à aplicação de diferentes lâminas de água de irrigação e níveis de adubação com zinco (Capítulo II).

Capítulo I

IMPORTÂNCIA DA IRRIGAÇÃO PARA A PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR NO NORDESTE DO BRASIL.

RESUMO: A técnica da irrigação em agricultura com uso intensivo de tecnologia, como na cana-de-açúcar coloca o insumo água sob controle do agricultor, eliminando riscos de perdas de produção ocasionadas por estiagens e secas além de favorecer uma maior produtividade pelo uso mais eficiente de insumos, como fertilizantes, defensivos, sementes melhoradas, energia elétrica e mão-de-obra. Esse trabalho teve como objetivo descrever a relação entre as técnicas de irrigação e o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar irrigada na região nordeste, enfatizando o aumento de produtividade e a geração de divisas. A pesquisa foi realizada em artigos científicos, teses, dissertações, livros, e jornais especializadas, disponíveis em bibliotecas e instituições públicas e na Internet, com a finalidade de construir um embasamento teórico do tema e de conhecer a realidade da cana-de-açúcar irrigada no Nordeste do Brasil. No Nordeste o uso da técnica da irrigação na cultura da cana-de-açúcar foi essencial para o aumento da produtividade e conseqüentemente da sua viabilidade econômica. O sistema de irrigação por aspersão convencional ainda predomina na região, principalmente em áreas agrícolas com declives elevados. Os sistemas de irrigação por aspersão mecanizada são muito usados nos tabuleiros costeiros da região, com grandes aumentos de produtividade. A irrigação localizada, tipo gotejamento enterrado, é incipiente, contudo tem-se obtido produtividade de até 190 t/ha, bem superior a 77,4 t/ha que foi a produtividade média brasileira na safra 2010/2011.

Palavras-chave: *Saccharum officinarum*, sistemas de irrigação, produtividade

IMPORTANCE FROM THE IRRIGATION FOR THE OUTPUT OF IN THE NORTHEAST OF BRAZIL

ABSTRACT: To technique from the irrigation in agriculture with intensive use of technology, as in the of of puts the insumo water under control of the farmer, eliminating output losses risks caused by dry spells and dry beyond favor a bigger productivity by the most most efficient use of insumos, as fertilizers, defensivos, seeds improved, electric energy and labor. That work had as objective describe to relation between the techniques of irrigation and the development from the culture from the of of irrigated in the northeast region, emphasizing the increase of productivity and to generation of borders. To research was carried out in scientific articles, theories, dissertations, books, and newspapers specialized, available in libraries and public institutions and in the Internet, with the purpose of he build a foundation theoretician of fear and of he know to reality from the of of irrigated in the Northeast of Brazil. In the Northeast the use from the technique from the irrigation in the culture from the of of was essential for the increase from the productivity and consequently from the his economic feasibility. The system of irrigation by aspersão conventional still he predominates in the region, mainly in agricultural areas with slopes elevated. The systems of irrigation by aspersão mechanized saints very used us trays costeiros from the region, with big increased of productivity. To irrigation located, kind gotejamento buried, is incipient, however they have itself obtained productivity of to 190 t/ha, well over 77,4 t/ha that went to medium productivity Brazilian in the safra 2010/2011.

Key-Words: *Saccharum officinarum*, systems of irrigation, productivity

1.0 INTRODUÇÃO

Existem basicamente quatro tipos de aplicação de água às plantas cultivadas, que caracterizam os principais sistemas de irrigação: através da superfície do solo, de aspersores que aplicam água a toda área, de emissores que localizam a aplicação de água às áreas de interesse, e do movimento ascensional da água do lençol freático. A utilização de sistemas de irrigação mais eficientes é uma busca constante na agricultura irrigada, pois existe uma tendência irreversível de aumento no custo da energia e de redução da disponibilidade hídrica nos mananciais.

Segundo Christofidis (2008), existe no mundo uma área de cerca de 1,532 bilhão de hectares em produção agrícola, dos quais cerca de 18% (276 milhões de hectares) sob o domínio de infra-estrutura hídrica de irrigação. A área irrigada produz cerca de 40% da produção total agrícola, enquanto a agricultura de sequeiro responde pelo restante. No Brasil do total de 58,5 milhões de hectares plantados cerca de 5% (3,45 milhões de hectares) são irrigados.

A técnica da irrigação em agricultura com uso intensivo de tecnologia, como na cana-de-açúcar coloca o insumo água sob controle do agricultor, eliminando riscos de perdas de produção ocasionadas por estiagens e secas além de favorece uma maior produtividade pelo uso mais eficiente de insumos, como fertilizantes, defensivos, sementes melhoradas, energia elétrica e mão-de-obra. A implantação bem sucedida de um programa de irrigação pode elevar, de forma substancial e estável, a produtividade da cana-de-açúcar, ensejando ganhos mais elevados para os produtores e contribuindo para a modernização mais rápida do meio rural.

A área cultivada com cana-de-açúcar que será colhida e destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2012/13 está estimada em 8.527,8 mil hectares, distribuídas em todos estados produtores conforme suas características. O estado de São Paulo é o maior produtor com 51,82% (4.419,46 mil hectares), seguido por Minas Gerais com 8,46% (721,86 mil hectares), Goiás com 8,69% (741,38 mil hectares), Paraná com 7,13% (608,38 mil hectares), Mato Grosso do Sul com 6,50% (554,29 mil hectares), Alagoas com 5,26% (448,86 mil hectares) e Pernambuco com 3,63% (309,74 mil hectares). Nos demais estados produtores as áreas são menores, com representações abaixo de 3% (CONAB, 2012).

A cana-de-açúcar é uma cultura de grande importância econômica para vários estados do Brasil. Em Alagoas, estado brasileiro, com aproximadamente três milhões de habitantes, o setor sucroalcooleiro gera 91,0 mil empregos diretos, dos quais 70,0 mil

empregos rurais e 21,0 mil urbanos (SINDAÇÚCAR-AL, 2011). Apesar do cultivo da cana-de-açúcar no Tabuleiro Costeiro alagoano se destacar pelo alto nível tecnológico utilizado, tanto no campo como na indústria, na safra 2010/2011, esse Estado produziu apenas 29,12 milhões de toneladas de cana-de-açúcar em uma área de 451,99 mil hectares, rendimento agrícola de 64,5 t ha⁻¹, considerado baixo se comparado com a produtividade média brasileira que, na mesma safra, foi 77,4 t ha⁻¹ e no estado de São Paulo esse índice foi 83,0 t ha⁻¹ (CONAB, 2011).

Responsável por cerca de 12% da cana moída no país, o Nordeste concentra 30% dos custos com mão de obra, o que torna a região ainda mais vulnerável aos efeitos da crise em que o etanol não consegue competir com o preço da gasolina. Além disso, a economia menos diversificada da região torna os Estados mais dependentes do setor (SINDAÇÚCAR-PE, 2012).

No Nordeste do Brasil a cultura da cana-de-açúcar sofre sequelas com o efeito da irregularidade pluviométrica em determinados períodos, pois o déficit hídrico implica no aumento do índice de mortalidade das socas, acarretando a renovação precoce do canavial. Esse fator associado ao empobrecimento do solo aponta para uma política de pesquisa com irrigação e adubação das culturas visando resultados diretos como o aumento da produtividade e rendimento de açúcar e de álcool. Como efeito indireto tem-se a diminuição da área plantada minimizando custos de transporte (exceto a água), plantio e tratamentos culturais, além de liberar área para diversificação e/ou rotação e preservação de culturas.

Na costa leste do Nordeste brasileiro os impactos das deficiências hídricas na produção de cana-de-açúcar causadas pela irregularidade das chuvas são, isoladamente, os fatores que exercem maior peso na oscilação dos rendimentos agrônômicos da referida cultura agrícola. Teodoro et al. (2009), concluíram que a temperatura do ar na zona canavieira alagoana é ideal para o cultivo da cana-de-açúcar mas a precipitação pluvial, devido à má distribuição no tempo, prejudica o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade dessa cultura. A solução agrônômica para eliminar ou reduzir os efeitos negativos da má distribuição de chuva e aumentar a produtividade agrícola e longevidade dos canaviais é a irrigação. No entanto, os custos para a implantação, manutenção e manejo de sistemas de irrigação aliados à falta de reservatórios (barragens, represas etc.) para armazenar água durante a estação seca impossibilitam a irrigação plena em toda a área cultivada com cana-de-açúcar nas áreas cultivadas do Nordeste.

Aumentar a produtividade é indubitavelmente o grande desafio para os produtores de cana-de-açúcar do Nordeste, e a implementação de novas tecnologias surgem como um grande diferencial, onde a premissa consiste em otimizar o uso dos recursos naturais assegurando uma maior produção, aliada a rentabilidade econômica. A irrigação da cana-de-açúcar seja de natureza suplementar ou plena, representa uma alternativa viável à produção e à melhoria da produtividade, pois seu uso estrategicamente planejado, observando-se criteriosamente as necessidades hídricas da cultura, associada à capacidade do manancial, o clima e o tipo do solo, resultará certamente em aumento de divisas para empresa agrícola.

2. OBJETIVO

Descrever a relação entre as técnicas de irrigação e o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar irrigada na região nordeste, enfatizando o aumento de produtividade e a geração de divisas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Em termos de procedimento metodológico, foi imprescindível uma pesquisa bibliográfica. A pesquisa foi realizada em artigos científicos, teses, dissertações, livros, e jornais especializadas, disponíveis em bibliotecas e instituições públicas e na Internet, com a finalidade de construir um embasamento teórico do tema e de conhecer a realidade da cana-de-açúcar irrigada no Nordeste do Brasil. Os impactos positivos e negativos das atividades agrícolas inerentes ao cultivo da cana-de-açúcar irrigada no Nordeste do Brasil serão explorados a fim de consolidar informações dos estudos históricos e atualizados sobre o tema.

4- RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse item a análise e a discussão foi realizada considerando os principais fatores e tecnologias que iram influenciar no aumento da produtividade da cana-de-açúcar irrigada no Nordeste do Brasil, a saber: Consumo de água da cultura, a evapotranspiração da água pela cultura, a técnica da irrigação e os aumentos produtivos e econômicos provenientes da irrigação

Necessidades hídricas da cana-de-açúcar

A idéia da irrigação é suprir de água as plantas, na quantidade necessária e no momento adequado para obter a máxima produção e a melhor qualidade do produto. A água deve ser aplicada antes que a taxa de extração do solo em relação a taxa de evapotranspiração decresça a ponto de ocorrer um déficit hídrico na planta, reduzindo a produção e afetando a qualidade do produto obtido. A planta submetida a um déficit hídrico tem seu crescimento alterado em diversos aspectos. As principais alterações experimentadas são a redução do tamanho, da área foliar e da produtividade da cultura. Segundo Kramer (1983), o déficit hídrico de uma cultura pode ser causado tanto pela perda excessiva ou pela pequena absorção de água, ou ainda, pela associação destes dois fatores, sendo que o último tem um papel predominante no crescimento da cultura.

O período crítico da cana-de-açúcar, ou seja, aquele em que há maior exigência de água por parte da planta, corresponde ao período máximo de crescimento vegetativo, que ocorre nos primeiros oito meses de vida. Bull e Glasziou (1975), descobriram que em algumas variedades de cana-de-açúcar o dossel foliar entra em colapso e se torna senescente logo no início de uma seca, sendo capaz de recuperação quando a seca é interrompida.

A necessidade hídrica da cana-de-açúcar, segundo Doorenbos e Kassan (1979) é de 1500 a 2500 mm por ciclo vegetativo. A precipitação nas áreas canavieiras do Brasil varia de 1.100 até mais de 1.500 mm anual; entretanto, é necessário que a distribuição seja de tal forma que haja água com abundância no período de crescimento vegetativo e um período seco durante a maturação, proporcionando maior acúmulo de sacarose.

Segundo Scardua e Rosenfeld (1987) a necessidade de água da cana-de-açúcar é função do ciclo fenológico, ciclo da cultura, da variedade, do clima e outros fatores, como a disponibilidade de água no solo. Os autores apresentam, nos Quadros 1.1 e 1.2, os resultados de consumo de água da cultura, determinados por vários autores em diversas regiões do

mundo (o consumo máximo variou de 2,8 a 8,6 mm dia⁻¹, o consumo mínimo de 0,5 a 4,8 mm dia⁻¹ e o médio de 2,5 a 5,8 mm dia⁻¹). Para Doorenbos e Kassan (1979) produções em áreas irrigadas em torno de 100 a 150 t ha⁻¹ demandam de 1.500 a 2.000 mm por ciclo de 365 dias.

Quadro 1.1. Valores de consumo máximo, mínimo e médio de água da cana-de-açúcar, obtidos por diversos métodos e diferentes autores, segundo Scardua e Rosenfeld (1987)

Autor	Ano	Local	Método	Consumo de água em mm dia ⁻¹		
				Máximo	Mínimo	Médio
Campbell	1960	Havaí	Lisímetro	8,6	-	5,8
Cox	1960	Havaí	Campo	8,0	3,8	-
RSPA	10 anos	Havaí	Vários	8,6	4,8	5,6
Thompson	1963	África do Sul	Campo	6,0	2,2	-
Thompson	1967	África do Sul	Lisímetro	5,8	1,8	-
Fogliata	1964	Argentina	Lisímetro	6,1	-	3,4
Cruciani	1972	Brasil	Campo	3,4	1,3	-
Tosselo	1966	Brasil	Campo	2,8	1,2	-
Sousa	1974	Brasil	Campo (CP)	4,5	2,3	3,6
Sousa	1975	Brasil	Campo (CS)	5,0	2,2	3,6
Lame	1978	Brasil	Campo (CP)	5,6	1,9	3,8
Lame	1978	Brasil	Campo (CP)	4,8	1,3	3,2
Scardua	1979	Brasil	Campo (CP)	4,5	2,3	3,3
Scardua	1979	Brasil	Campo (CS)	4,4	2,2	3,2
Barbieri	1980	Brasil	Lisímetro	4,5	0,5	2,5

CP = cana planta; CS = cana soca

Quadro 1.2. Potenciais mínimos de água no solo e água disponível consumida, segundo diferentes autores, citados por Scardua e Rosenfeld (1987)

Autor	Local	Potencial mínimo de água no solo (atm)	Água disponível consumida (%)
Shaw & Innes	Jamaica	2,5	-
Sousa & Scardua	Brasil	1,2	60
Singh e Singh	Índia	-	75
Fogliata	Argentina	1,0 a 2,5	40
Robinson	Havaí	2,0	-
Scardua et al.	Brasil	1,0	55
Leme et al.	Brasil	2,0	75

O AGRITEMPO - Sistema de Monitoramento Agrometeorológico, permite aos usuários o acesso, via Internet, às informações meteorológicas e agrometeorológicas de diversos municípios e estados brasileiros. Além de informar a situação climática atual, o

sistema alimenta a Rede Nacional de Agrometeorologia (RNA) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) com informações básicas que orientam o zoneamento agrícola brasileiro. Especificamente para o manejo da irrigação Sistema AGRITEMPO (<http://www.agritempo.gov.br/>, 2009) fornece mapas sobre a água disponível no solo e necessidade de irrigação para todos os Estados brasileiros. São informações coletadas de inúmeras estações meteorológicas espalhadas no País, atualizadas diariamente.

4.2 Evapotranspiração

A evapotranspiração é definida como a perda de água de uma cultura, por evaporação do solo e transpiração das plantas. É um processo biofísico que envolve o conteúdo de água do solo, a passagem da água através das plantas, a perda de água por transpiração através dos estômatos das folhas e o transporte de água para a atmosfera por meio dos processos difusivos e turbulentos.

Algumas nomenclaturas são importantes no entendimento de processo da evapotranspiração como:

a) Evapotranspiração de referência (ET_o).

A evapotranspiração de referência representa a demanda hídrica de uma região, sendo um termo variante de região para região e depende exclusivamente das condições climáticas locais. De acordo com Allen et al. (1998) a ET_o representa a evapotranspiração de uma cultura hipotética, de porte baixo (12 cm), com refletividade (albedo) de 0,23 e uma resistência de superfície de 70 s/m. Pode ser terminada por diversas formas, porém a equação de Penman-Monteith é considerada a padrão internacional.

b) Evapotranspiração da Cultura (ET_c)

Desde o plantio até a colheita, uma cultura vai progressivamente crescendo e ocupando área disponível. Evidentemente, nessas condições ocorre a evapotranspiração real, que na prática é denominada Evapotranspiração da Cultura (ET_c). O conhecimento da ET_c é muito importante em projetos de irrigação, pois ela representa a quantidade de água que deve ser repostada ao solo para manter o crescimento da cultura.

No campo a determinação da ET_c é difícil e sujeita a muitos erros. Na prática é determinada através da multiplicação da evapotranspiração de referência e de um coeficiente da cultura (K_c). $ET_c = ETo \times K_c$

c) Coeficiente de cultura (K_c)

O coeficiente de cultura é a relação entre a evapotranspiração da cultura e a evapotranspiração de referência. O K_c é um componente representativo da cultura, variando de acordo com o estágio de desenvolvimento fenológico desta. Diferentes culturas sem restrição de umidade, submetidas às mesmas condições climáticas (mesma ETo) deverão sofrer diferentes perdas d'água em função das diferenças de área foliar, estágio fisiológico, sistema radicular etc.

Os valores de K_c são encontrados em tabelas e, ou gráficos que são construídos com base em resultados de pesquisa. Doorenbos e Puit (1977) apresentam uma tabela com valores de K_c para algumas espécies vegetais, em função dos estágios de desenvolvimento e das condições climáticas

No Quadro 1.3 encontram-se os valores de coeficiente de cultivo da cana-de-açúcar (cujos valores variaram de 0,50 a 1,10) Segundo Scardua e Rosenfeld (1987)

Quadro 1.3 Coeficientes de cultivo da cana-de-açúcar, de acordo com Scardua & Rosenfeld (1987)

Idade da Cultura em mês		Estação de Crescimento	Valores de $K_c = ET_c/ETo$		
Cana planta	Cana soca		1	2	3
0 - 2	0 - 1	Plantio até 0,25 de fechamento	0,50	0,57	0,50
2 - 3	1 - 2	0,25 a 0,50 de fechamento	0,80	0,65	0,65
3 - 4	2 - 3	0,50 a 0,75 de fechamento	0,90	0,70	0,75
4 - 7	3 - 4	0,75 até fechamento	1,00	0,80	0,90
7 - 14	4 - 9	Máximo desenvolvimento	1,10	0,95	1,10
14 - 16	9 - 10	Início da maturação	0,80	0,80	0,70
16 - 18	10 - 12	Maturação	0,60	0,62	0,60

ET_c = evapotranspiração da cultura; ETo = evapotranspiração de referência; 1 = coeficiente de cultivo da FAO; 2 = coeficiente de cultivo de Hargreaves; 3 = coeficiente de cultivo do PLANALSUCAR

O coeficiente de cultura é um coeficiente que reflete as condições fisiológicas da planta, seu estágio de desenvolvimento vegetativo e, principalmente, os efeitos das condições climáticas locais sobre o cultivo. Toledo Filho (1988) apresenta uma curva do ciclo de desenvolvimento da cana-de-açúcar (cana planta) para a zona canavieira de Alagoas, bem como o coeficiente de cultura K_c (Figura 1.1).

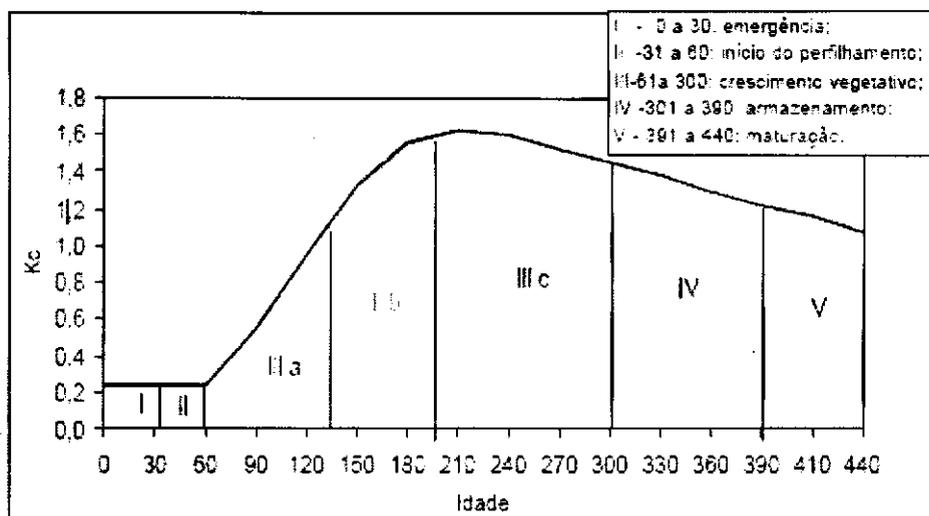


Figura 1.1. Fenologia do ciclo de desenvolvimento da cana-de-açúcar, na zona canvieira de Alagoas - fonte: Toledo Filho (1988).

4.3 A Irrigação em cana-de-açúcar

A irrigação da cana-de-açúcar sempre foi questionada nas regiões tradicionais do sul do país pela incerteza da resposta da planta em relação aos custos de irrigação, mas produtores nos estados tradicionais do Nordeste a irrigação se torna imprescindível para que a mesma seja economicamente viável. Com a expansão da cultura para as regiões de Centro Oeste e áreas consideradas marginais pela deficiência hídrica devem ocorrer aumento e necessidade do uso da irrigação.

O principal fator limitante da produtividade agrônômica da cana-de-açúcar na zona canvieira nordestina e alagoana é a precipitação pluvial, não pelo total pluviométrico anual, mas por conta da irregularidade ou má distribuição das chuvas. Nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas, Teodoro et al. (2009) estimaram uma deficiência hídrica da ordem de 869 mm em um cultivo de cana-de-açúcar (cana-planta de 14 meses). Isso justifica a necessidade do uso da irrigação como prática agrícola imprescindível para a elevação da produtividade agroindustrial da cultura da cana-de-açúcar.

4.3.1 Terminologias da irrigação da cana-de-açúcar

Na irrigação da cana-de-açúcar e outras culturas perenes e semi-perenes são utilizados alguns termos relativos a frequência ou percentual da demanda hídrica total das plantas cultivadas, sendo os principais:

a) Irrigação de salvação

A irrigação de salvamento consiste no fornecimento mínimo de água para garantir uma boa brotação da socaria como também controlar o ataque de lagarta elasmó nas áreas que são queimadas e colhidas manualmente, problema que deixa de existir quando se faz a colheita de cana crua, pois o colchão de palha protege contra o ataque da praga.

A irrigação de salvação na cultura da cana-de-açúcar, assim como em outras culturas perenes e semi-perenes, tem como objetivo a manutenção do estande (número de plantas por unidade de área) através da aplicação de lâminas, que no Estado de Alagoas, varia entre 30 a 60 mm por ciclo. Os sistemas de irrigação mais indicados para esse fim são os autopropeledos e os canhões de montagem direta de alta pressão. Normalmente os custos da irrigação de salvação são muito elevados e por isso não trazem ganhos econômicos diretos, no sentido de aumento de produtividade, tendo como vantagem apenas a longevidade do canavial.

Aiai (2009) diz que na região Centro Oeste o cultivo da cana-de-açúcar tem como uma das limitações o período de estiagem que ocorre entre maio e setembro, dificultando a brotação de soqueira devido ao estresse hídrico, e acarretando perdas na produtividade e longevidade do canavial. Nesse caso o uso de irrigação de salvação praticamente é imprescindível nestas regiões para se obter produtividades satisfatórias e competitivas.

Pode-se fazer a irrigação de salvamento com água ou vinhaça, sendo que a utilização da vinhaça proporciona fornecimento parcial ou total de K_2O à cultura. O volume de vinhaça a ser aplicado depende das características químicas da vinhaça, do tipo de solo e da época de aplicação, sendo que quando se utiliza a água deve-se levar em consideração apenas os últimos fatores.

b) Irrigação complementar

Na irrigação complementar a água a ser utilizada para atender a demanda evapotranspirométrica das culturas, vem em parte da irrigação e da precipitação efetiva local. Para a região Nordeste, no dimensionamento do sistema de irrigação, usa-se a precipitação provável com 75% de probabilidade de ocorrência.

Assim o objetivo principal dessa irrigação é completar o crescimento da cana com a aplicação de lâminas, que no Estado de Alagoas, variam entre 180 a 300 mm no final de cada ciclo. Essas lâminas normalmente são divididas em 3 ou 5 aplicações. Os sistemas de irrigação mais indicado para essa irrigação são os pivôs (circular rebocável, paralelo e circular fixo)

c) Irrigação plena

É quando toda a água necessária para atender a demanda hídrica das culturas é aplicada via irrigação. Deve ser praticada em regiões onde a precipitação (chuva) é insignificante. Para o dimensionamento dos projetos, usa-se a maior demanda diária que ocorrerá durante o ciclo da cultura, ou seja, maior demanda hídrica potencial da cultura ($ET_c = K_c \cdot ET_o$).

Nessa irrigação, a necessidade hídrica da cultura é totalmente atendida. Em Alagoas, normalmente, são aplicados de 500 a 800 mm por ciclo. Os sistemas de irrigação mais utilizados são os pivôs paralelos e circulares e o gotejamento sub-superficial.

4.4 Sistemas de irrigação usados na cana-de-açúcar

Denomina-se irrigação o conjunto de técnicas destinadas a deslocar a água no tempo ou no espaço para modificar as possibilidades agrícolas de cada região. A irrigação visa a corrigir a distribuição natural das chuvas.

Existem basicamente quatro formas de aplicação de água às áreas irrigadas, que caracterizam os principais métodos de irrigação: através da superfície do solo (sistema de irrigação superficial); quando a água é aspergida através de pequenas gotículas (sistema de irrigação por aspersão); quando a água é aplicada em pequenas intensidades e próximo ao sistema radicular das plantas (sistema de irrigação localizada ou microirrigação: ou através movimento ascensional da água do lençol freático (sistema de irrigação subsuperficial).

Para a planta não existe um sistema melhor do que outro e sim aquele que melhor se adapta às condições desejadas. Diversos fatores influenciam a escolha de um sistema de irrigação como, solo, clima topografia, energia disponível na propriedade, disponibilidade de água, a capacidade de retenção de água do solo, qualidade da água que influencia na escolha do sistema de irrigação e tratos culturais.

O método de irrigação mais utilizado na cultura da cana-de-açúcar é o da aspersão seguido da irrigação por superfície. Porém, atualmente o método de irrigação localizado por

gotejamento vem crescendo muito. Os sistemas de irrigação, Pivô Central, canhão de alta pressão com montagem direta e carretéis autopropelido são os mais utilizados pelo método de aspersão.

Para o cultivo da cana de açúcar, Scardua e Rosenfeld (1987) observam que o espaçamento, altura da cultura, tratos culturais e práticas de colheita são fatores que devem ser considerados quando da escolha do sistema a ser adotado.

a) Irrigação por superfície.

É um método utilizado mundialmente onde a água é aplicada diretamente na superfície do solo, e possui as seguintes modalidades: por sulco, inundação e em faixas. O método requer alguns cuidados como a sistematização das áreas, declividade de 0 a 6%, sendo que às vezes o terreno tem que ser modificado para manutenção e operação. É um sistema em que deve haver abundância de disponibilidade de água, não é recomendada para solos com permeabilidade alta devido à perda excessiva por percolação, e para solos instáveis devido a formação de crateras quando molhado, não requer água de excelente qualidade, tem baixo consumo de energia, mas possui baixa eficiência de aplicação.

Na irrigação por superfície, no cultivo de cana - de- açúcar, a água é aplicada de forma concentrada, em sulcos de irrigação abertos paralelamente às fileiras das plantas (Figura 1.2). Esses sulcos (pequenos canais na entrelinha) podem ser retos ou em contorno ou ainda em ziguezague, quando necessário. É um método que apresenta baixa eficiência de aplicação de água. É recomendado apenas para situações específicas de solos de textura médio-argilosa e topografia plana. Na cultura da cana-de-açúcar a vinhaça pode ser aplicada por sistema de sulcos.

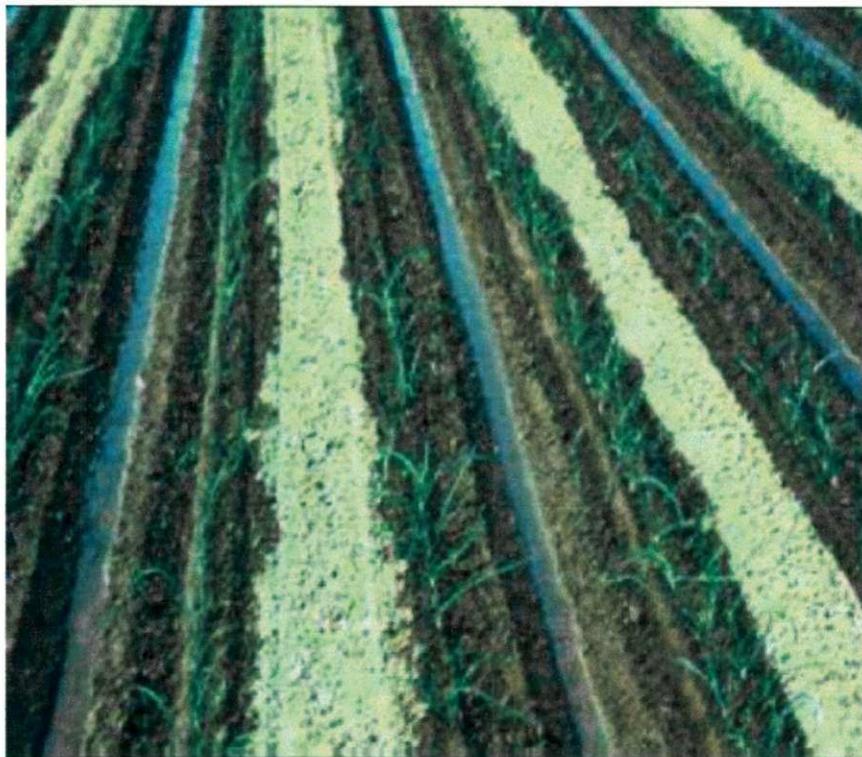


Figura 1.2. Irrigação por superfície, tipo sulco, em cana-de-açúcar

b) Irrigação por aspersão.

É um dos sistemas mais utilizados na cultura da cana de açúcar. Nesse sistema a água é aspergida ao solo na forma de chuva artificial com o fracionamento do jato de água em gotas. É um método que não exige sistematização do terreno e pode ser utilizado em diferentes tipos de solo, assim como é de fácil instalação em culturas já estabelecidas.

Permite a aplicação de fertilizantes e defensivos, e um bom controle da lamina e da salinidade do solo. O vento pode ser considerado como um fator limitante afetando a distribuição de água, perda por evaporação quando a temperatura do ar é elevada e a umidade relativa do ar é baixa.

Os sistemas mais utilizados por aspersão na cultura da cana de açúcar são: O Pivô central (fixo e rebocável), Linhas autopropelidas com deslocamento linear (também chamado pivô linear), aspersores autopropelido com carretel enrolador, e os aspersores canhão.

b.1) Aspersores canhão: São sistemas convencionais, móveis constituídos de tubulações portáteis tanto na linha principal como nas linhas laterais. Utiliza-se de tubos de alumínio de

quatro a seis polegadas (100 a 150 mm) e de aspersores gigantes tipo canhão, pode ser utilizado para aplicação de vinhaça e irrigação de salvamento. É um sistema que está sendo pouco usado, pois está sendo substituído por outros mais eficientes (Figura 1.3).



Figura 1.3. Irrigação por aspersão, sistema convencional com canhão, em cana-de-açúcar.

b.2) Pivô central: Consiste em um sistema de movimentação circular, formado por uma linha montada sobre torres com vários aspersores variando em tamanho de 150 a 600 metros. As torres possuem rodas e mecanismos de propulsão. Possui um painel de controle o qual é possível programar a velocidade e vazão determinando a lamina de água a ser aplicada. Sua utilização vem crescendo no setor, com equipamento menor, o qual permite sua utilização em irrigação de salvamento e possuir maior mobilidade. Tem como vantagem melhor uniformidade na distribuição de água e melhor eficiência operacional comparado ao sistema auto propelido, e como desvantagem maior investimento inicial. Pode ser fixo ou rebocável. Ele é rebocável quando sua base é montada sobre rodas o que facilita o transporte ao longo do canavial (Figura 1.4).

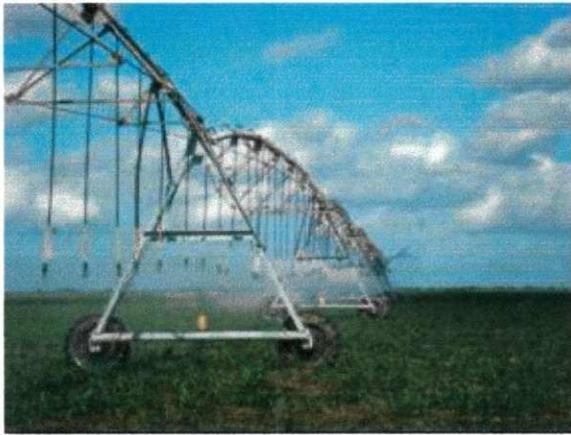


Figura 1.4. Irrigação por aspersão, tipo pivô central rebocável, em cana-de-açúcar.
(Fotos: Pivô central rebocável na destilaria Miriri S.A. Carlos Henrique de A. Farias)

b.3) Linhas autopropelidas com deslocamento linear: É outra opção para a cultura da cana-de-açúcar tendo praticamente todas as vantagens do pivô central, não ocorrendo perda de área irrigada, pois a linha lateral desloca-se ao longo da área. Exige áreas com baixíssima declividade e adapta-se melhor em áreas onde é possível estabelecer talhões de forma retangular. O sistema linear pode ser abastecido por um canal lateral ou central ou por tubulações providas de hidrantes (Figura 1.5).

b.4) Autopropelido: O sistema é constituído por um motor para propulsão, um aspersor tipo canhão, uma mangueira de alta pressão, um carretel enrolador e uma plataforma onde é instalado. O aspersor canhão é montado sobre uma plataforma que se desloca sobre o terreno irrigando-o simultaneamente em faixa com largura de acordo com a característica do canhão, sendo movimentado por energia hidráulica. O carretel enrolador é um conjunto motriz formado por uma turbina hidráulica e um redutor de velocidade que aciona um carretel conectado a uma mangueira de polietileno, normalmente com 140 mm de diâmetro e de comprimento variável de 300 a 550 m (Figura 1.6). Tem como principal vantagem a facilidade de operacional, fácil mobilidade, e menor quantidade de tubos e acessórios. Tem como desvantagem o alto consumo de energia e exige cuidados por se tratar de um equipamento pesado e de alto custo.



Figura 1.5. Irrigação por aspersão, tipo pivô linear, em cana-de-açúcar.



Figura 1.6. Irrigação por aspersão, autopropelido, em cana-de-açúcar.

b.5) Montagem direta: O sistema montagem direta consiste basicamente de um conjunto motobomba acoplado a um aspersor tipo canhão, montados em chassi com rodas (Figura 1.7). O sistema também pode ser dotado de extensões (tubulações), com o objetivo de

aumentar o espaçamento entre canais, ou seja, para diminuir a quantidade de canais que atravessam os talhões de cana.



Figura 1.7. Irrigação por aspersão, montagem direta, em cana-de-açúcar.

c) Irrigação localizada (Microirrigação)

Nesse sistema de irrigação a água é conduzida diretamente para a região a ser irrigada por uma rede de tubulações. A água é aplicada diretamente nas raízes das plantas, com pequenas vazões, baixas pressões e constante, permitindo manter úmido o solo próximo à capacidade de campo.

Quando bem manejado esse sistema proporciona boa uniformidade na aplicação, excelente eficiência no uso da água, pouca perda de água por escoamento superficial e economia de mão-de-obra. Contudo é um método que exige água de boa qualidade, e um sistema de filtragem adequado, pelo fato dos orifícios de saída dos emissores serem muito pequenos e trabalharem em baixa pressão e constantemente pode ocorrer o entupimento dos mesmos. Além disso é um método de custo elevado para sua implantação, requer boa manutenção e manuseio com uso de mão de obra especializada, a qual esta relacionada à sua vida útil.

c.1) Irrigação localizada subterrânea.

Também denominado sub-superficial, é um sistema de irrigação por gotejamento enterrada, que já é utilizada em muitos países no sistema de produção de cana-de-açúcar. A instalação é subterrânea em uma profundidade de 20 a 40 cm, assim, a água é aplicada diretamente na zona radicular na subsuperfície do solo, oferecendo algumas vantagens como não interferir nas operações agrícolas, reduzir custo da manutenção do equipamento, pode estimular sistema radicular mais profundo, diminuir perda de água e nutrientes (Figura 1.8). Com a aplicação direta na zona radicular, possibilita que a superfície do solo permaneça seca diminuindo a incidência de pragas e doenças, reduz as perdas por evaporação.

Esse sistema também apresenta algumas desvantagens, como a ocorrência de vácuo no interior das linhas de distribuição logo após o desligamento que provoca succionamento de partículas sólida por meio de orifícios menores. Este tipo de problema pode ser contornado com a utilização de emissores antidrenantes, instalação de válvulas antivácuo e para se controlar a intrusão radicular recomenda-se a aplicação de herbicidas.

Um controle maior da irrigação pode ser feito com a instalação, válvulas ventosas, gotejadores de baixa pressão, lavagem da tubulação após uso, descarga na lavagem da tubulação após irrigações.

Na irrigação localizada a qualidade da água tem grande importância visto a pequena dimensão dos orifícios de saída dos emissores. A escolha do sistema de filtragem é de fundamental importância para evitar entupimentos e garantir o bom funcionamento do sistema.

É um sistema que ultimamente vem crescendo no setor sucroalcooleiro, mas tem alto custo de implantação e a viabilidade de implantação passa por altas produtividades e elevado número de cortes, algo em torno de dez cortes. Iaia (2009) diz que em regiões que tem ocorrência de Broca Gigante (*Telchin licus licus*), o sistema favorece a praga o que leva a reforma precoce da área, provocando prejuízo elevado ao produtor.

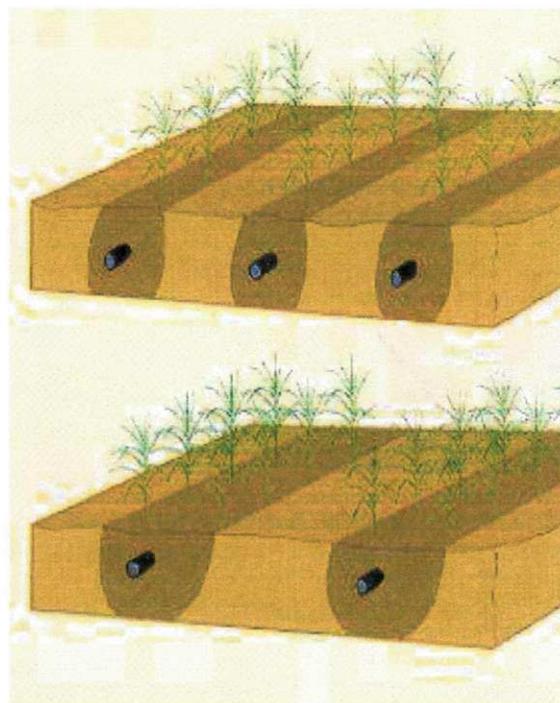
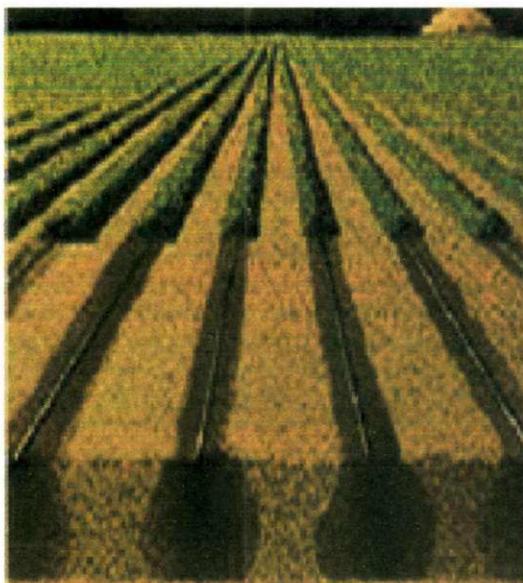
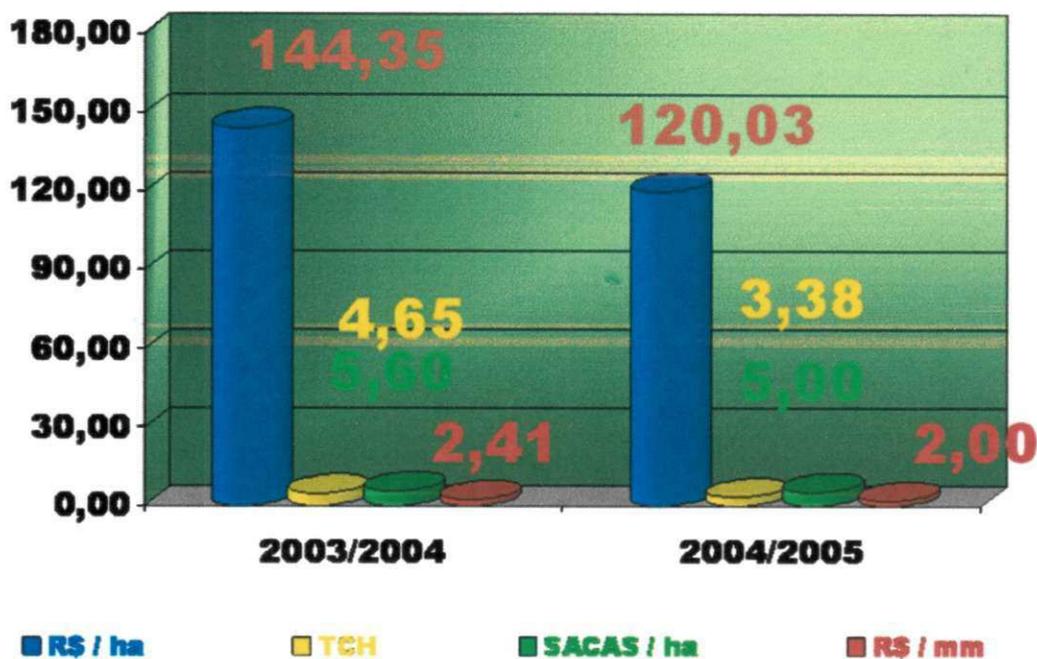


Figura 1.8. Irrigação localizada, gotejamento subterrâneo, em cana-de-açúcar.

4.4.1. Custo por lâmina de irrigação em diferentes métodos de irrigação

Na Figura 1.9, observa-se os custos das lâminas de irrigação nas safras 2003/2004 e 2004/2005 na Usina Porto Rico, AL. Esses custos estão expressos em reais por hectare, tonelada de cana-de-açúcar por hectare, saca de açúcar por hectare e reais por mm. Os custos de reais por hectare estão estimados para lâminas médias de 60 mm. Esses custos são calculados com base na média de todos os sistemas, por isso observa-se que entre as safras 2003/2004 e 2004/2005 houve uma redução que pode ter ocorrido devido à entrada em operação de pivôs que possuem um custo operacional menor. Dessa forma, o custo por mm passou de R\$ 2,41 para R\$ 2,00 e o custo por hectare passou de R\$ 144,35 para R\$ 120,00 (CARDOZO, 2005)



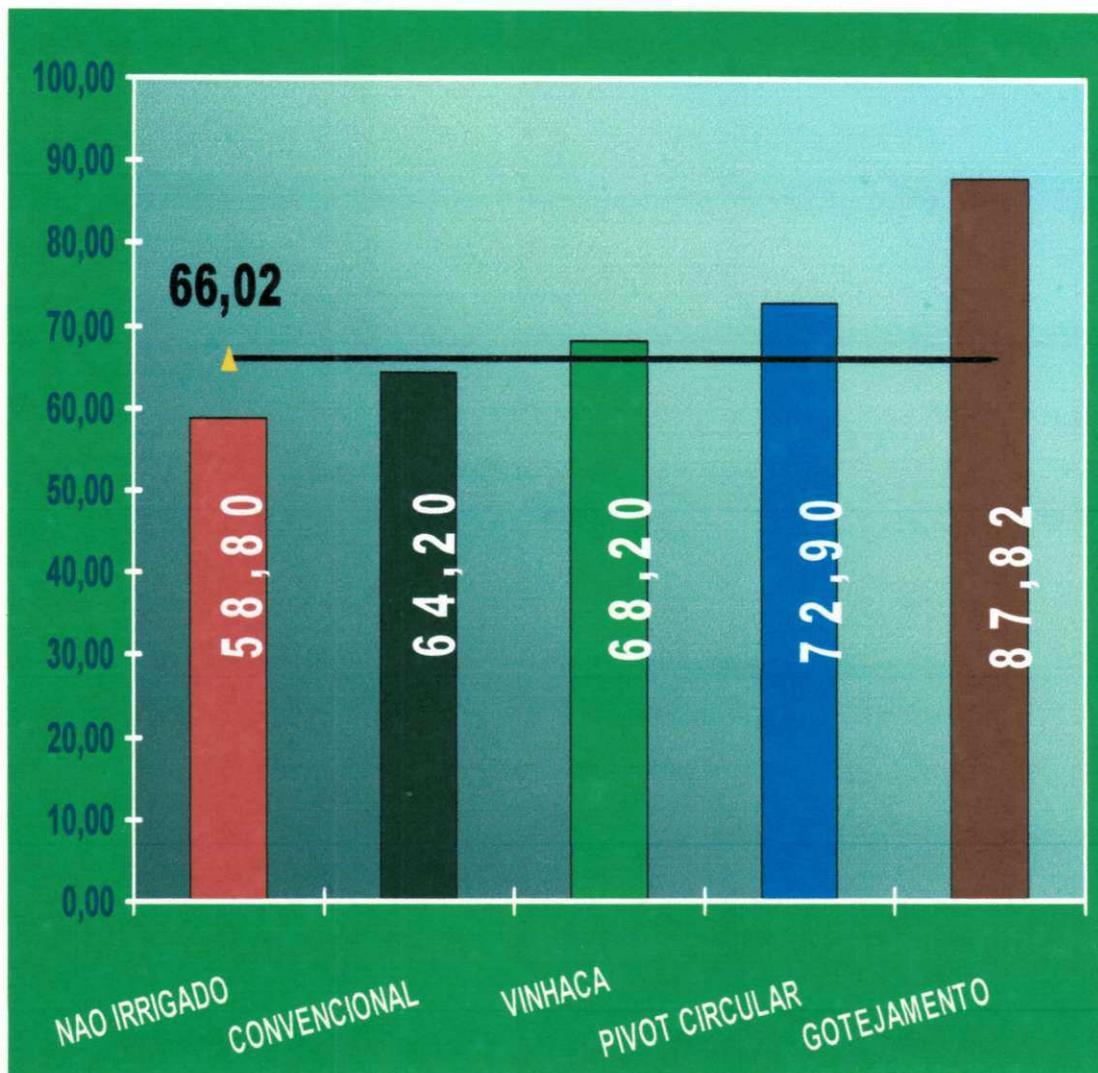
FONTE : CARDOZO, 2005

Figura 1.9. Custos da irrigação nas safras 2003/2004 e 2004/2005, expressos em reais por hectare (R\$/ha), toneladas de cana-de-açúcar por hectare (TCH), sacas de açúcar por hectare (sacas/ha) e reais por milímetro (R\$/mm), na Usina Porto Rico em Campo Alegre, AL.

4.4.2. Produtividade agrícola em diferentes métodos de irrigação

A produtividade agrícola é bastante influenciada pela prática da irrigação (Figura 1.10), exceto nas áreas irrigadas com o sistema convencional que apresenta um ganho médio de apenas $5,4 \text{ t.ha}^{-1}$, esse pequeno aumento de produtividade do sistema convencional se dá porque esse sistema é utilizado com maior frequência nas irrigações de salvação. Nas áreas irrigadas com pivô central e gotejamento (onde se pratica a irrigação plena ou salvação mais complementar) o ganho de produtividade agrícola médio é de $14,1$ e $29,0 \text{ t.ha}^{-1}$ que corresponde a $23,98$ e $49,35$ % respectivamente (CARDOZO, 2005).

PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA (tch) DE



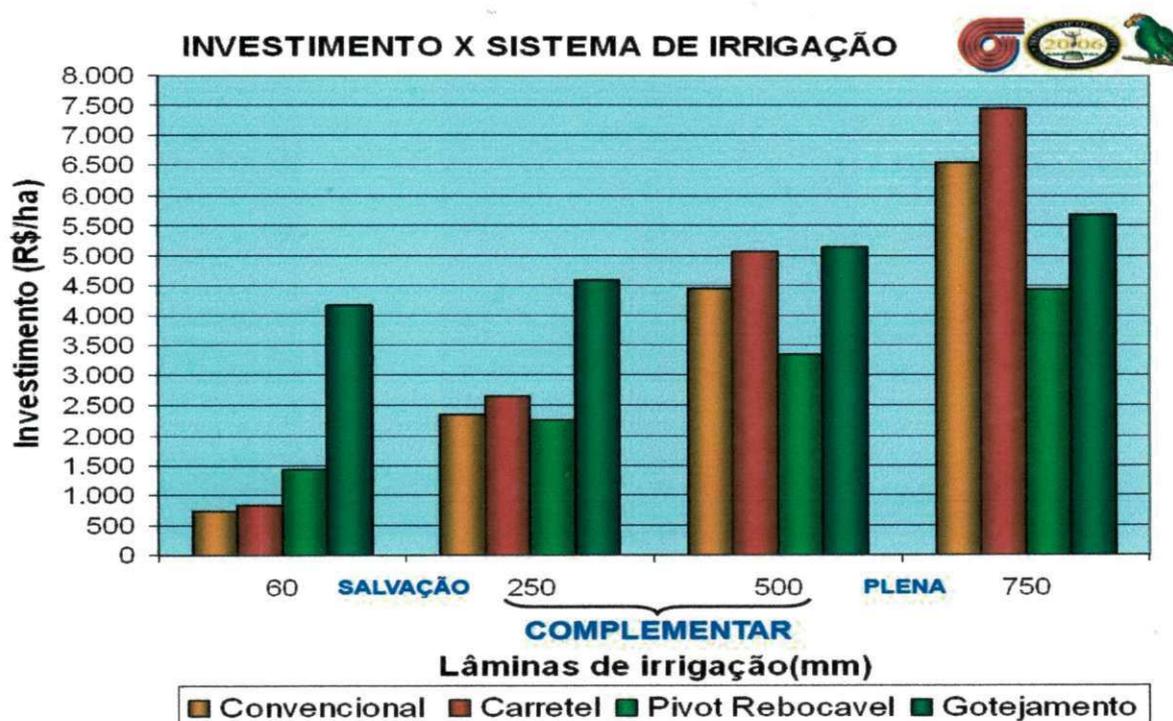
FONTE : CARDOZO (2005).

Figura 1.10. Produtividade agrícola nas safras 2003/2004 e 2004/2005, expressos em toneladas de cana-de-açúcar por hectare (TCH), no Estado de Alagoas.

CUSTOS DE PRODUÇÃO

Os custos da irrigação variam de acordo com o sistema utilizado e as lâminas aplicadas. Pois, na irrigação de salvação, em que a lâmina média é de 60 mm, o menor investimento é o da aspersão convencional (em torno de 750,00 reais por hectare) seguido do carretel (aproximadamente 800,0 reais por hectare). Para aplicar lâminas de apenas 60 mm o sistema de gotejamento é economicamente inviável porque apresenta um custo total

médio de 4.200,00 reais por hectare que dá uma média de 70,00 reais por mm. Contudo, a medida que a lâmina vai aumentando, a aplicação da água por aspersão convencional e pelo carretel vai se tornando mais cara do que a aplicação com o pivô rebocável e por gotejamento. Desse modo, para lâminas superiores a 700 mm, o sistema econômico é o pivô rebocável seguido do gotejamento que terão um custo por volta de 4.400,00 e 5.600,00 reais por hectare, respectivamente. A Figura 1.11 mostra a variação dos valores de lâminas de irrigação aplicadas por diferentes sistemas (CARDOZO, 2005).



FONTE : Cardozo (2005).

Figura 1.11. Investimento por sistema de irrigação, em cana-de-açúcar, em função Variação da lâmina de irrigação aplicada, no Estado de Alagoas

Medeiros (2002) estudou a resposta da cana-de-açúcar variedade SP-79 1011 à lâminas de irrigação e adubação nitrogenada. A Irrigação foi complementar e o sistema de irrigação utilizado foi o de aspersão com pivô central, com turno de irrigação de 12 dias. O resultado estatístico da pesquisa é apresentado no Quadro 1.4. A comparação das médias para o fator água, mostra que as produções foram crescentes e superiores significativamente entre os níveis 609, 761 e 905 mm, enquanto entre os níveis 905 e 1.043 mm não diferiram significativamente a nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. A comparação das

médias para o fator adubação de cobertura, mostra que as produções foram crescentes e que o nível 458 kg ha⁻¹ foi superior significativamente a nível de 5% de probabilidade aos níveis 85 e 167, não se diferenciando significativamente do nível 305 kg ha⁻¹. Verifica-se, também, que os níveis 85, 167 e 305 kg ha⁻¹ não foram diferentes significativamente pelo teste de Tukey. A produção média de colmos obtida no experimento foi de 77,4 t ha⁻¹, a menor foi de 48,2 t ha⁻¹ (609 mm e 85 kg ha⁻¹) e a maior de 103,2 t ha⁻¹ (1.043 mm e 458 kg ha⁻¹). O máximo valor obtido de 103 t ha⁻¹ é pouco superior ao menor valor preconizado por Doorenbos e Kassan (1979) que é de 100 a 150 t ha⁻¹ para áreas irrigadas. As produções obtidas no experimento são consideradas pequenas para as quantidades de adubo aplicadas, porém justificadas pelas pequenas quantidades totais de água aplicadas nos períodos críticos da cultura, Figura 4.1 e no ciclo total da cultura (14 meses). A quantidade de água abaixo da recomendada e com déficit em períodos críticos, explica o fato do maior valor obtido no experimento de 103 t ha⁻¹ ter sido inferior às 142 t ha⁻¹, estimadas por Souza et al. (1999) trabalhando com a mesma variedade SP-79 1011, em Campos dos Goytacazes, RJ irrigada por aspersão, para lâminas totais de água de 1.602 mm. Os níveis de 905 mm de água mais 167 kg ha⁻¹ de adubação de cobertura, proporcionaram produtividade média de colmos de 86 t ha⁻¹, superior à de outras áreas irrigadas do mundo, citadas por Qureshi et al. (2002): Paquistão (60 t ha⁻¹), África do Sul (76 t ha⁻¹), USA (82 t ha⁻¹), Egito (83 t ha⁻¹) e Austrália (84 t ha⁻¹).

Quadro 1.4 Análise das médias de produtividade de colmo em t ha⁻¹ pelo teste de Tukey para o fator água e fator adubação de cobertura de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m

Médias do fator água		Médias do fator adubação de cobertura	
Irrig+PEf mm	Produtividade (t ha ⁻¹)*	kg ha ⁻¹	Produtividade (t ha ⁻¹)*
609	50,23 c	85	71,97 b
761	79,17 b	167	74,56 b
905	89,42 a	305	79,05 ab
1.043	90,97 a	458	84,21 a
Diferença mínima significativa = 7,47		Diferença mínima significativa = 7,47	

* Letras diferentes entre médias correspondem à significância a nível de 5%

Estudando a resposta da cultura, em regime irrigado e não-irrigado e diferentes níveis de adubação, nos Tabuleiros costeiros da Paraíba, Moura et al. (2005) observaram maiores Efeitos da Irrigação sobre as variáveis rendimento de açúcar e de álcool e rendimento de colmos, sem efeito significativo das interações entre regime de irrigação e doses de adubo. O sistema de irrigação utilizado foi o de pivô central, com turno de irrigação de 12 dias. Nessa pesquisa a produtividade de colmos aumentou com o aumento do nível de adubação, em ambos os regimes de irrigação estudados; entretanto, quanto maior o nível de adubação, maior a diferença de produtividade entre o regime irrigado e o não irrigado. A produtividade média dos colmos para o regime com irrigação, foi de 92,48 t/ha e 77,06t/ha para o regime sem irrigação. O cultivo de sequeiro reduziu em 20% a produtividade de colmos. A média geral de colmos obtida nesta pesquisa foi de 84,77 t ha⁻¹.

Farias (2006) pesquisou em áreas agrícolas da Destilaria Miriri, nos tabuleiros costeiro da Paraíba, o efeito da lamina de irrigação e doses de zinco na variedade de cana-de-açúcar SP-79 1011. A Irrigação foi plena e o sistema de irrigação utilizado foi o de aspersão com pivô central, com turno de irrigação de 09 dias. Como resultado observou-se o efeito altamente significativo de lâminas e níveis de zinco ($p < 0,01$) para a produtividade. A interação entre os dois fatores não foi significativa. Os resultados desta pesquisa comprovam que o manejo da irrigação é de fundamental importância para se obter a produtividade desejada. No local a cana plantada sem irrigação (sequeiro) produziu 31,1 t/ha. A cana irrigada com 25% (256,64 mm) da ETC atingiu um nível de produtividade (52,5 t/ha) superior as demais áreas irrigadas da destilaria, com o equivalente a 40% da ETC dentro de um turno de rega de 12 a 14 dias. A maior produtividade alcançada com 100% da ETC (1026,57 mm) foi 88,10 t/ha bem superior a média de produtividade de cana-de-açúcar plantada no regime de sequeiro no nordeste.

Teodoro (2011) pesquisou a respostas técnico-econômicas da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e adubação nitrogenada no estado de Alagoas. A Irrigação foi plena e o sistema de irrigação utilizado foi gotejamento enterrado, com turno de irrigação diário. A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a RB92579. A análise de variância da produtividade agrícola dos primeiro e segundo ciclos de produção (cana-planta e cana-soca), mostrou que as lâminas de irrigação e as doses de nitrogênio aplicadas em cana-planta foram significativas a nível de 1 e 5 %, respectivamente. Mas a interação entre esses dois fatores não foi significativa. Em cana-soca, apenas a lâmina de irrigação teve significância a nível de 1% e os demais parâmetros (doses de nitrogênio e a interação entre os dois fatores de produção) não foram estatisticamente significativos.

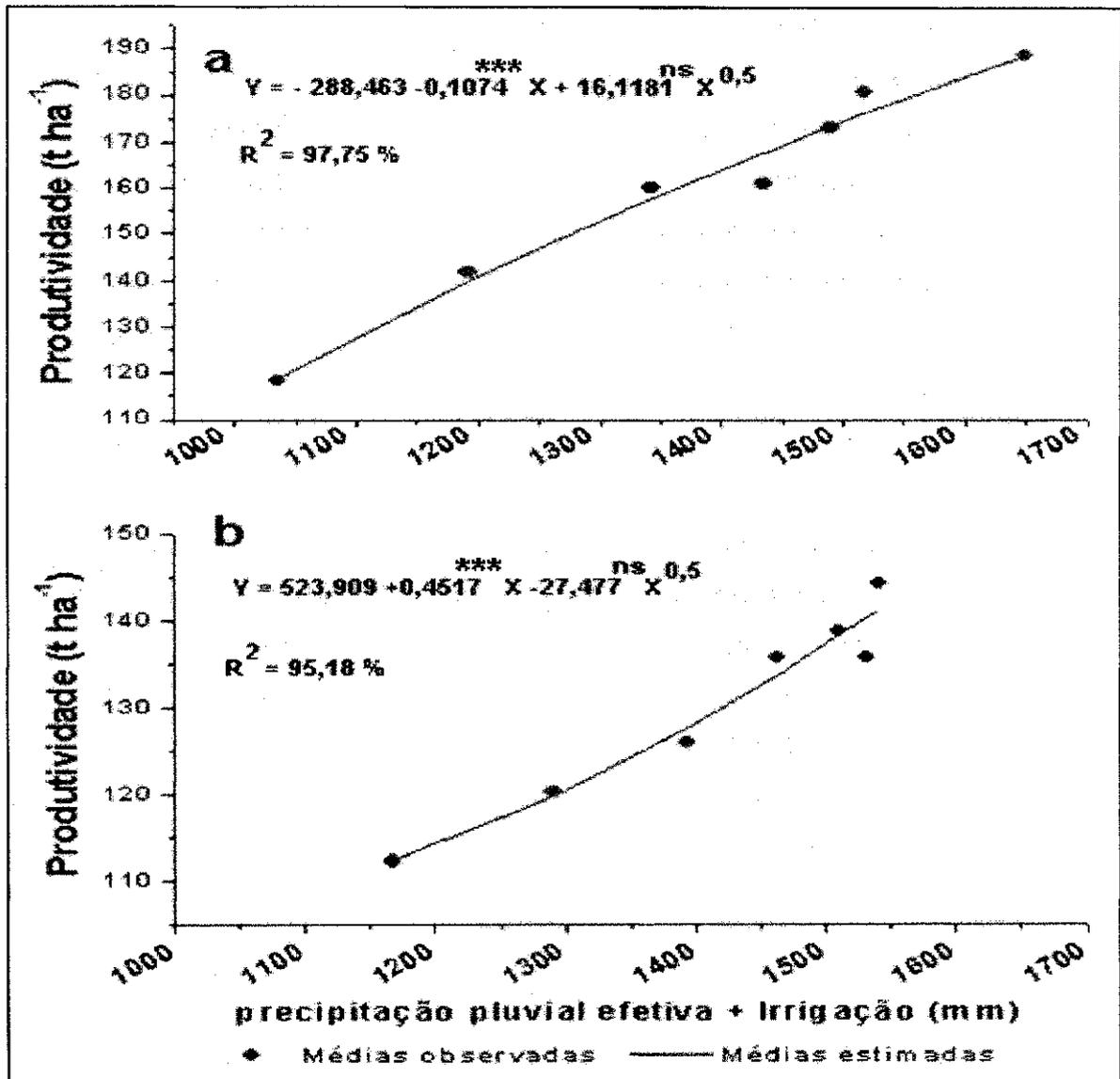
A produtividade agrícola, média geral, no primeiro ciclo de produção foi 160,53 t ha⁻¹ e no segundo ciclo 130,45 t ha⁻¹, uma diferença de aproximadamente 30,0 t ha⁻¹. Parte dessa diferença pode ser atribuída ao tempo de cultivo que, no primeiro ciclo, foi 13 meses e no segundo 12 meses. Pois, considerando-se que a produção da cana-de-açúcar irrigada cresce de 10 a 15 toneladas por mês, pode-se afirmar que, em média, 12,5 t ha⁻¹ de cana produzida a menos na cana-soca foram por conta do menor tempo de cultivo. O restante da diferença pode ser atribuído ao menor vigor vegetativo da socaria e à incidência de pragas e doenças que aumentam com a idade do canavial provocando falhas de brotação e redução no crescimento das plantas.

A produtividade agrícola da cana-de-açúcar em função das lâminas de irrigação bruta total, apresentada na Figura 2.12, variou de 118,0 t ha⁻¹ a 188,0 t ha⁻¹, em cana-planta e de 112,0 t ha⁻¹ a 144,0 t ha⁻¹, em cana-soca. A diferença entre a produtividade agrícola do tratamento sem irrigação (sequeiro) e o tratamento com a maior lâmina de irrigação bruta (1,50 ETo), em cana-planta, foi 70,0 t ha⁻¹ e em cana-soca somente 32,0 t ha⁻¹, média de 51,0 t ha⁻¹. Essas diferenças na produção da cana-planta e da cana-soca correspondem, respectivamente, a 59,3 e 28,6 % a mais, em relação à produtividade do tratamento de sequeiro. Nessa Figura se observa, também, que a curva de regressão por raiz quadrada teve uma boa relação entre as produtividades estimadas e observadas, com coeficientes de regressão (r^2) de 97,71 % no primeiro e 95,18 % no segundo ciclo de produção.

Outros pesquisadores também confirmaram ganhos de produtividade agrícola ao utilizarem irrigação e fertirrigação na cana-de-açúcar. Dalri e Cruz (2008) constataram que a fertirrigação aumenta a produção de colmos em 43,5 e 67,2%, com lâminas de irrigação de 520 e 740 mm no segundo e no terceiro ciclo de produção, respectivamente. Em cultivos de sequeiro, ainda é possível encontrar alguns resultados nos periódicos especializados. Basanta et al. (2003), na região de Piracicaba no Estado de São Paulo, Brasil, conseguiram produzir 112 e 120 t ha⁻¹ em cana-planta e cana-soca, respectivamente. Na região de Pirassununga-SP (Brasil), Franco et al. (2009) relataram produções de 138 e 141 toneladas de cana por hectare (TCH) e 18,89 e 20,28 toneladas de açúcar por hectare, respectivamente e Marques et al. (2007) cultivaram no oeste paulista (Brasil), em regime de sequeiro, as variedades RB867515 e RB72454, consideradas tardias (canas para serem colhidas em final de safras), e obtiveram produtividades de 79,1 e 74,8 t ha⁻¹, respectivamente.

Os resultados obtidos por Teodoro (2011) em Rio Largo, AL, indicam que a resposta da cana-de-açúcar à irrigação é maior quando a quantidade de água aplicada fica em torno de 25 % da ETo pois, ainda na Figura 1.12, é possível ver que o coeficiente de

inclinação da curva no primeiro intervalo (entre a lâmina de irrigação bruta igual 0,00 ETo e 0,25 ETo) é maior que no restante da curva (entre 0,25 ETo e 1,50 ETo), cujos valores no primeiro intervalo são 0,16 e 0,09 e no segundo intervalo 0,06 e 0,04 respectivamente para cana-planta (Figura 1.12a) e cana-soca (Figura 1.12b).



***Significativo a 1% e ns não significativo

Figura 1.12. Produtividade agrícola da cana-de-açúcar em toneladas de cana por hectare, em função de lâminas de irrigação (curva de regressão raiz quadrada), em cana-planta (a) e cana-soca (b), na região de Rio Largo, AL, nas safras 2009/2010 e 2010/2011

A redução da resposta dos cultivos agrícolas com o aumento das lâminas de irrigação pode ser explicada pela Lei dos Mínimos de Liebig (1840) porque, quando o teor de umidade do solo deixa de ser limitante para o crescimento das plantas outros fatores de

produção, como nutrientes, temperatura do ar, luz etc., começam a limitar a produtividade agrícola. Frizzone (1993), também já escreveu que *“a irrigação é tão menos eficiente quanto mais a quantidade de água aplicada se aproxima da irrigação sem déficit.”*

5. CONCLUSÕES

No Nordeste o uso da técnica da irrigação na cultura da cana-de-açúcar foi essencial para o aumento da produtividade e conseqüentemente da sua viabilidade econômica.

O sistema de irrigação por aspersão convencional ainda predomina na região, principalmente em áreas agrícolas com declives elevados.

Os sistemas de irrigação por aspersão mecanizada tipo, aspersores autopropelidos, pivô central e linhas laterais autopropelidos com deslocamento linear são muito usados nos tabuleiros costeiros da região, com grandes aumentos de produtividade.

A irrigação localizada, tipo gotejamento enterrado, é incipiente, contudo tem-se obtido produtividade de até 190 t/ha, bem superior a 77,4 t/ha que foi a produtividade média brasileira na safra 2010/2011.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S., RAES, D.; SMITH, M. **Guidelines for computing cropwater requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

AGRITEMPO - **Sistema de Monitoramento Agrometeorológico**. Brasília: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. <http://www.agritempo.gov.br/>. 2009. Acessado em 06/09/2009.

BELTRAME, J. A. **Novas variedades comerciais para a região Centro-sul** - III Simpósio de Tecnologia de produção de cana-de-açúcar, p. 1, jun. 2005.

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

CARDOZO, L. E. C. Manejo de cana-de-açúcar em áreas com irrigação complementar. In: XXII Simpósio da Agroindústria da Cana-de-Açúcar no Estado de Alagoas. Maceió-AL. **Anais da STAB – Regional Leste (CD-ROM)**. 2005.

CHRISTOFIDIS, D. **O futuro da irrigação e a gestão das águas**. Brasília: Ministério Integração Nacional. 15p. 2008. (Série Irrigação e Água: I – 2008).

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira. Cana-de-Açúcar Safra 2008/, terceiro levantamento, dezembro/2008. Brasília: CONAB,2008. http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/3cana_de_acucar.pdf

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento 2011. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar 2011/2012**. Disponível em <http://www.conab.gov.br/conabweb/safra.pdf>. Acessado em 12/06/2011.

COSTA, E. L. Irrigação da cana-de-açúcar. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v.28, n. 239, p.60-61, jul./ago. 2007.

DANTAS NETO, J.; FIGUEREDO, J. L. da C.; FARIAS, C. H. de A.; AZEVEDO, H. M. de; AZEVEDO, C. A. V. de. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 283 – 288, 2006.

DALRI, A. B. Irrigação em cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. de S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualizações em cana-de-açúcar**. Piracicaba: Divisão de biblioteca e documentação – ESALQ-SP, 2006. 415 p.

DALRI, A. B.; CRUZ, R. L.; GARCIA, C. J. B.; DUENHAS, L. H. Irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade de cana-de-açúcar. **Irriga**, Botucatu, v.13, n. 1, p. 1-11, janeiro – março, 2008

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

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yields response to water**. Rome: FAO, 1979.306p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).

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

FARIAS, C. H. A. **Otimização do uso da água e do zinco na cana-de-açúcar em tabuleiro costeiro paraibano**. 2006. 142p. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande – PB. Campina Grande, 2006.

FARIAS, C. H. A.; FERNANDES, P.D.; DANTAS NETO, J.; GHEIY, H. R. Eficiência no uso da água na cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de irrigação e níveis de zinco no litoral paraibano. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.28, n.3, p.494-506, jul./set. 2008

FARIAS, C. H. de A.; GOUVEIA NETO, G. da C.; FERNANDES, P. D.; DANTAS NETO, J.; XAVIER, D. A. Produtividade e eficiência no uso da água da cana-de-açúcar sob irrigação e parcelamento de nitrogênio. In: XXI CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM. Petrolina – PE. **Anais do CONIRD** (CD-ROM). 2011.

FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; FARONI, C. E.; SARTORI, R. H. Produtividade e atributos tecnológicos da cana-planta relacionados à aplicação de zinco. Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil – STAB. v. 27, n. 5, p. 30 – 34, mai. / jun. 2009.

FRIZZONE, J. A. **Funções de resposta das culturas à irrigação**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1993. 43p. (Série Didática, 6).

IAIÁ, A.M. Irrigação e fertirrigação. In: **Curso de especialização em gestão na indústria sucroalcooleira**. UFMT, Cap.4. 2009.

KRAMER, P.J. **Water relations of plants**. New York: Academic Press, 1983. 489p.

MARQUES, T. A.; GODINHO, A. M. M.; TIRITAN, C. S.; CRESTE, J. E.; MARQUES, M. O. Parâmetros biométricos e tecnológicos de cultivares de cana-de-açúcar para o Oeste paulista. Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil – STAB. v. 26, n. 2, p. 46 – 51, nov./ dez. 2007.

AZEVEDO, M. H.; Cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. Vol 6, número 3, pg 217. Inovagri.

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

SCARDUA, R; ROSENFELD, V. Irrigação da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. coord. **Cana-de-Açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v.1, cap.3, p.373-431.

SILVA, A. B. da. Implantação do gotejamento em larga escala na Usina Seresta, localizada em Teotônio Vilela – AL. In : XXV Simpósio da Agroindústria da Cana-de-Açúcar no Estado de Alagoas. Maceió-AL. **Anais da STAB – Regional Leste (CD-ROM)**. 2008.

TEODORO, I.; SOUZA, J. L.; BARBOSA, G. V.; MOURA FILHO, G.; DANTAS NETO, J. ; ABREU, M. L. de. 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.

TOLEDO FILHO, M.R. **Probabilidade de suprimento da demanda hídrica ideal da cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) através da precipitação pluvial na zona canavieira do estado de Alagoas**. Piracicaba, 1988. (Dissertação Esalq/USP).

SINDAÇÚCAR –sindicato da industria do açúcar e do álcool do estado de Pernambuco (2012) Disponível em: <http://www.sindacucar.com.br/artigos.html>

Cenário adverso para usinas do Nordeste em 2012/13

Capítulo II

CRESCIMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR, SUBMETIDO A DIFERENTES LÂMINAS DE ÁGUA E NÍVEIS DE ADUBAÇÃO COM ZINCO

Resumo: Um fator significativo que deve ser destacado visto que influencia na produtividade das culturas, é a disponibilidade de água e de nutrientes. Com relação à água, nem sempre as chuvas atendem à real necessidade hídrica das plantas; surge, daí a importância da irrigação a qual, quando bem planejada tem retorno econômico inquestionável. O solo é que dá o suporte para fornecimento de nutrientes para a planta e, não é raro o mesmo não os apresentar na quantidade de que a cultura precisa para o seu pleno desenvolvimento, o que ressalta a importância da adubação, destacando que nesta prática se deve observar o comportamento de cada nutriente com relação à cultura. Objetivou-se com esse estudo analisar a resposta das variáveis de crescimento da cultura da cana de açúcar, terceira folha, à aplicação de diferentes lâminas de água de irrigação e níveis de adubação com zinco. O experimento foi conduzido na Fazenda Capim II (latitude 6°54'59,88"S, longitude 35°09'17,86", e altitude de 121 m), localizada no município de Capim/PB. A fazenda situa-se sobre a bacia hidrográfica do Litoral Norte da Paraíba, subbacia do Miriri. Foram estudadas, o efeito das lâminas de água de irrigação em termos de fração da ETc (sequeiro, 25 %, 50%, 75% e 100% da ETc), sobre o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar, cultivar SP 79-1011. Os níveis de adubação com zinco adotados foram: 0, 1, 2, 3 e 4 kg de Zn ha⁻¹, tendo como fonte o sulfato de zinco heptahidratado (ZnSO₄ 7H₂O), com 22 % de zinco, sendo as quantidades do produto, respectivamente, de 0,00, 4,54, 9,00, 13,63 e 18,18 kg ha⁻¹, aplicados no solo, na forma líquida com bombas tipo costal. Os tratamentos com laminas de água de irrigação ocasionaram efeito significativo, sobre as variáveis altura de planta, área foliar, número de perfilho, fitomassa do colmo e fitomassa total. Não afetando as variáveis fitomassa da folha e índice de área foliar. Os tratamentos com níveis de zinco não proporcionaram efeito significativo;

Palavras-Chave: *Saccharum spp*, irrigação, área foliar, fitomassa total.

GROWTH FROM THE OF OF, SUBMITTED TO PECULIAR SHEETS OF WATER AND LEVELS OF ADUBAÇÃO WITH ZINC

Abstract: A significant factor that should be noticeable visa that influences in the productivity of the cultures, is to availability of water and of nutrientes. Regarding the water, not always the rains attend to the real need hídrica of the plants; arises, then to importance from the irrigation to which, when well planned has I return economic inquestionável. He soil he is that he gives he bears for fornecimento of nutrientes for the plant and, he is not rare the even do not he present them in the quantity of that to culture he is necessary for its full development, what stands out to importance from the adubação, detaching that in this practice itself should observe the behavior of each nutriente regarding the culture. Objetivou-itself with that study analyze to answer of the variables of growth from the culture from the sugar cane, third sheet, to the application of peculiar irrigation water sheets and levels of adubação with zinc. The experiment was driven in the Farm Grass II (latitude 6°54'59,88"S, length 35°09'17,86", and altitude of 121 m), located in the town of Grass/PB. To farm situates-itself about the basin hidrográfica of the Coastal North from the Paraíba, subbacia of the Miriri. They were studied, the effect of the irrigation water sheets in we will have of fração from the ETc (sequeiro, 25%, 50%, 75% and 100% from the ETc), about the development from the culture from the of of, cultivate SP 79-1011. The levels of adubação with zinc adopted were: 0, 1, 2, 3 and 4 kg of Zn ha⁻¹, having like spring the sulfate of zinc heptahidratado (ZnSO₄ 7H₂O), with 22% of zinc, being the quantities of the product, respectively, of 0,00, 4,54, 9,00, 13,63 and 18,18 kg ha⁻¹, applied in soil, in the form liquid with bombs kind costal. The handlings with you laminate of water of irrigation they caused significant effect, about the plant height variables, area foliar, number of perfilho, fitomassa of the colmo and fitomassa gross. Doing not affect the variables fitomassa from the sheet and index of area foliar.the handlings with levels of zinc provided significant effect barely for the area foliar of the plants;

Key-words: *Saccharum spp*, irrigation, area foliar, fitomassa gross.

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma das culturas de grande importância socioeconômica no Brasil; estima-se que sua produção ocupa 6,92 milhões de hectares, com produção em torno de 473,16 milhões de toneladas de colmos na safra de 2007/2008. Os principais produtos gerados são o açúcar, com aproximadamente 30,04 milhões de toneladas, e o álcool, cerca de 21,30 bilhões de litros (OLIVEIRA et al., 2007). Outros produtos, também originados dessa cultura e que devem ser salientados, são a aguardente (muito consumida), o bagaço, que é utilizado principalmente como fonte de energia, a vinhaça, que serve de fertilizante, o plástico e o papel (SOUZA et al., 1999).

Considera-se que a cana de açúcar é uma, usina de enorme eficiência, uma vez que cada tonelada tem um potencial energético equivalente ao de 1,2 barril de petróleo. O Brasil é o maior produtor do mundo, seguido da Índia e Austrália. Na média, 55% da cana brasileira se transformam em álcool e 45% em açúcar. No país se planta cana de açúcar no Centro-Sul e no Norte-Nordeste, o que permite dois períodos de safra (UNICA, 2004).

Um fator significativo que deve ser destacado visto que influencia na produtividade das culturas, é a disponibilidade de água e de nutrientes. Com relação à água, nem sempre as chuvas atendem à real necessidade hídrica das plantas; surge, daí a importância da irrigação a qual, quando bem planejada tem retorno econômico inquestionável. O solo é que dá o suporte para fornecimento de nutrientes para a planta e, não é raro o mesmo não os apresentar na quantidade de que a cultura precisa para o seu pleno desenvolvimento, o que ressalta a importância da adubação, destacando que nesta prática se deve observar o comportamento de cada nutriente com relação à cultura (AZEVEDO, 2002).

O Brasil, atualmente, é o maior produtor de cana-de-açúcar, seguido pela Índia, Tailândia e Austrália, detendo em média, 40% do comércio internacional e deve ampliar essa participação com a reforma do regime do açúcar na União Européia.

No mercado internacional, o Brasil se coloca em posição privilegiada, assumindo a primeira colocação em exportação de açúcar, são 16,3 milhões de toneladas comercializadas para cerca de doze países. É, também, o maior produtor de álcool e líder em tecnologia de extração desse produto, negociando-o com países como Índia, Japão, Suécia e Estados Unidos (ROSA et al., 2005).

A necessidade hídrica da cana-de-açúcar varia com o estágio vegetativo em que a cultura se encontra e a cultivar utilizada (AUDE, 1993) sendo, portanto função da área foliar, estágio fisiológico e densidade radicular. Segundo Doorenbos e Kassam (1979), a

necessidade hídrica da cana-de-açúcar é de 1500 a 2500 mm por ciclo vegetativo e o manejo da irrigação deve ser feito de acordo com as tensões de água no solo, recomendadas para cada período do ciclo fenológico.

Dentro desse cenário, para atender à capacidade instalada das usinas de álcool e açúcar dos Estados do Nordeste, as empresas estão investindo e utilizando novas tecnologias que proporcionem aumento no rendimento da cultura. A irrigação complementar ou de “salvação” da cana-de-açúcar tem sido uma das alternativas tecnológicas para o aumento de produtividade.

Entretanto, muitos produtores vêm utilizando a tecnologia de irrigação de forma indiscriminada, não tomando conhecimento das necessidades hídricas da cultura e do desempenho da cana-de-açúcar em condições de irrigação. Por outro lado, pouco se sabe sobre o comportamento da cultura em condições de irrigação plena, com aplicação de 100% de sua demanda evapotranspirativa, para a região Nordeste do Brasil. Com a adoção da “nova tecnologia” de irrigação, buscando-se o uso racional da água aplicada à cultura, faz-se necessário um estudo do seu padrão fisiológico e econômico (crescimento, desenvolvimento e análise de custos), quando submetida a condições diferenciadas de cultivo.

Diante do exposto, objetivou-se com esse estudo analisar a resposta das variáveis de crescimento da cultura da cana de açúcar, terceira folha, à aplicação de diferentes lâminas de água de irrigação e níveis de adubação com zinco.

2. REVISAO DE LITERATURA

2.1 CLIMA E SOLO

A importância do ambiente, como um conjunto de elementos e fatores que atuam simultaneamente sobre as culturas, foi objeto de estudo dos trabalhos de Jackson et al. (1995) e Singh (2000).

O clima ideal para a cana-de-açúcar deve abranger uma estação de crescimento quente, com temperaturas médias diárias em torno de 30°C, com fornecimento adequado de água. A estação de maturação e colheita deve coincidir com temperaturas médias diárias mais baixas, em torno de 10 a 20°C, baixa umidade no solo e alta incidência de radiação solar. Para Blackburn (1984), a temperatura é o mais importante dos elementos não-controláveis que afetam o crescimento da cultura.

A temperatura atua de forma crucial nos componentes de rendimento das culturas anuais. No entanto, esse impacto não pode ser dissociado de fatores como a duração do período de desconforto térmico e sua coincidência com o estágio em que a cultura se encontra (WEELLER et al., 2000).

Bacchi e Souza (1978), trabalhando com variedades cultivadas no Sul/Sudeste brasileiro, encontraram, como temperatura crítica para o crescimento da cana-de-açúcar, 20°C, em culturas não irrigadas, e 18-19°C em culturas irrigadas. Fauconier e Bassereau (1975) concluíram que o crescimento da cana-de-açúcar se torna lento acima de 35°C e praticamente nulo a partir de 38°C.

A cana-de-açúcar é uma gramínea tropical do tipo C₄, que se caracteriza por apresentar elevada taxa fotossintética e alta produtividade biológica (IRVINE, 1980). Com base nessa caracterização, pode-se afirmar que a cana-de-açúcar apresenta um ponto de saturação luminosa elevado. Portanto, quanto maior a intensidade luminosa, maior a taxa fotossintética e, em consequência, a taxa de crescimento da cultura (ALFONSI et al., 1987 e LARCHER, 1995).

Um fator importante para o seu desenvolvimento é a duração do dia, cujos efeitos podem ser confundidos com as diferenças de temperatura entre o inverno e o verão (BLACKBURN, 1984). Estudando o efeito da ausência prolongada de luz na respiração de espécies C₃ e C₄, Brunce (2001) verificou que outro fator importante é a concentração de CO₂.

Em suas conclusões, esclarece que quanto maior a concentração de CO₂ na atmosfera, menor é a respiração, tendo como consequência um menor desenvolvimento da cultura.

O solo é outro fator relevante na definição da produtividade do canavial. Na análise de Koffler e Donzeli (1987), embora a cana-de-açúcar seja uma planta muito rústica, os solos mais favoráveis ao seu cultivo são aqueles com profundidade acima de 60 cm e cuja textura seja argilosa, com relevo suave ou levemente ondulado e alta fertilidade. Além disso, devem ter uma boa drenagem interna, sem impedimentos à mecanização e baixa susceptibilidade à erosão.

2.2. CULTURA

2.2.1. Necessidade hídrica

Um suprimento adequado de água é essencial para o crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar, com uma demanda em torno de 1200 mm/ano (BLACKBURN, 1984). Segundo Doorembos e Kassam (1979), a demanda hídrica da cultura está entre 1500 e 2500 mm. Para Alfonsi et al. (1987), nas áreas canavieiras do Brasil, o total de precipitação pluviométrica anual varia de 1100 a 1500 mm ano⁻¹. Portanto, para que se possa obter produtividades favoráveis, atingindo o potencial genético da cultura, com o auxílio da irrigação, seja ela suplementar ou não, faz-se necessário o respeito a alguns critérios essenciais à otimização do uso desse recurso natural.

Doorembos e Kassam (1979) determinaram o coeficiente de cultivo (kc) da cana de açúcar, e relatam que seu cultivo irrigado nos trópicos e subtropicais secos, a eficiência no uso da água pela cultura em solos com 80% de umidade, ou seja, com uma fração de esgotamento de 20% varia de 5 a 8 kg m⁻³ e, para sacarose, de 0,6 a 1 kg m⁻³.

2.2.2. Propagação

A propagação da cana-de-açúcar se dá por meio de estacas denominadas rebolos, cada uma com várias gemas situadas logo acima da cicatriz foliar. Na zona de inserção das gemas, situa-se a zona radicular com os primórdios radiculares. Segundo King et al. (1965), o rebolo, medindo em torno de 40 a 45 cm, possui três ou mais gemas e uma zona de formação radicular. Sob boas condições, cada gema se desenvolve produzindo um perfilho primário; na zona radicular, há um grande número de raízes primárias que fornecem água e nutrientes aos brotos, até que estes emitam suas próprias raízes.

Vários fatores afetam a brotação de gemas da cana-de-açúcar, sendo os principais: temperatura do solo, umidade do solo e profundidade de cobertura dos rebolos. No início do desenvolvimento, o rebolo armazena reservas de água e nutrientes suficientes para manter os

brotos nos seus primeiros dias (KING et al., 1965; BULL e GLASZIOU, 1980). Hayamichi (1988), Ellis e Lenkford (1990) e Oliveira et al. (1999) são alguns dos autores que estudaram o efeito da umidade do solo sobre a brotação das gemas em cana-de-açúcar.

Moreira e Cardoso (2000), trabalhando com a cultivar RB 78 5148, em um Latossolo vermelho-amarelo, verificaram decréscimo na brotação, em função da redução da umidade do solo. Os autores afirmam que uma taxa de umidade relativamente baixa (22%) pode inibir a brotação das gemas que decresce em função da diminuição da umidade do solo. Os autores testaram vários intervalos de irrigação e não encontraram diferenças significativas em relação à brotação dos rebolos.

2.3 Morfofisiologia da Parte Aérea

2.3.1 Morfologia das Folhas

As folhas da cana-de-açúcar são alternas e opostas, consistindo de uma lâmina e uma bainha que envolve o colmo (BLACKBURN, 1984). Humbert (1968) afirma que a folha é a “fábrica” na qual a água, o dióxido de carbono e os nutrientes são convertidos em carboidratos na presença da luz solar. O autor atribui, ainda, três funções principais às folhas: produção de carboidratos, via fotossíntese; síntese de outros compostos a partir de carboidratos e transpiração. Há uma constante renovação das folhas, que são substituídas por folhas mais novas e mais eficientes do ponto de vista fotossintético (VAN DILLEWIJN, 1950 e MACHADO, 1987). Portanto, a área foliar da planta depende do balanço entre as taxas de emissão e de senescência foliar.

O número de folhas verdes é pequeno em plantas jovens e aumenta à medida que o colmo cresce. Verifica-se um número máximo de 10 a 15 folhas por colmo, dependendo da variedade e das condições de crescimento. A partir daí, à medida que novas folhas emergem, as mais velhas e inferiores secam, morrem e caem (HUMBERT, 1968). Para Larcher (1995), o curto tempo de vida de uma folha ocorre em função do ecossistema; o desenvolvimento de uma nova folha pode ser calculado em termos de glicose equivalente de demanda de energia.

Esclarece ainda, o autor que, do total da matéria seca acumulada em uma folha, 59% compões e de polissacarídeo, 25% de proteínas, 6% de lipídeos e 10% de matéria mineral, sendo necessários para produzir tais índices 1,50; 2,50; 2,94 e 0,10 gramas de glicose, respectivamente.

2.3.2 Área foliar

Para se caracterizar a densidade da área foliar que cobre um terreno, comumente se utiliza o índice de área foliar, citado por Watson (1947), como sendo a área de folhas por unidade de terreno (m^2 de folhas m^{-2} de terreno). Para a curva de crescimento da cultura, adota-se a divisão de três períodos distintos, conforme será abordado mais adiante. Já para o crescimento foliar, representado pelo índice de área foliar (IAF), reconhece-se uma quarta fase, a de ligeiro ou mesmo pronunciado decréscimo do seu valor (LEME et al., 1984; MACLEAN et al., 1968).

Segundo Machado et al. (1982), no início do ciclo da cultura o IAF é pequeno. Nessa fase, apresenta um crescimento lento, aumentando, rapidamente, até atingir um valor máximo. A partir daí permanece, praticamente, constante ou pode diminuir em condições climáticas desfavoráveis. O aumento do IAF ocorre, em função, tanto do aumento do número de folhas por colmo, como do aumento da área foliar individual. Existe uma significativa associação entre a produtividade da cultura e a superfície total fotossinteticamente ativa representada pelo IAF (IRVINE, 1975). Segundo Hesketh e Baker (1967), o valor do IAF está intimamente associado com a quantidade de luz absorvida e com a fotossíntese total.

Ao ser interceptada pelo dossel foliar da cultura, a radiação solar pode ser absorvida, transmitida e refletida em proporções variáveis, dependendo do ângulo de incidência dos raios solares e das características estruturais das plantas. Sendo o IAF uma dessas características (MACHADO et al., 1985). Os autores afirmam que o índice de área foliar ótimo não é, necessariamente, o máximo índice registrado, mas aquele no qual as folhas inferiores fotossinteticamente ativas são mantidas ligeiramente acima do ponto de compensação, para que não tenham que ser suportadas por metabólitos transportados de folhas superiores. Por outro lado, se o IAF é menor que o valor ótimo, parte da radiação solar será desperdiçada. E em consequência, a produtividade cairá abaixo da potencial.

A interceptação da luz solar está diretamente relacionada com o IAF da cultura (TRPANI et al., 1992). Para Maddonni e Otegui (1996) e Robertson et al. (1996), a relação entre o índice de área foliar, fotossinteticamente ativo, e a interceptação da luz na cultura do milho e da cana-de-açúcar é linear crescente, isto é, quanto maior o IAF, maior a interceptação da luz solar considerando ainda as variações genótípicas. O acúmulo de biomassa em função da taxa de fotossíntese está diretamente associado com a interceptação da luz solar (MUCHOW et al., 1990).

A variação sazonal de IAF é uma variável fundamental na decisão da data de plantio. O ideal é que o IAF máximo ocorra quando as condições climáticas sejam mais favoráveis à fotossíntese, ou seja, na época de maior disponibilidade de radiação solar (CHANG, 1968). O autor esclarece que o índice de área foliar ótimo está em torno de 9,00 a 12,00 m² de folhas por m² de terreno.

San José e Medina (1970) encontraram um valor máximo de IAF de 7,60. Yoon (1971) identificou valores de IAF, no crescimento máximo da cana, da ordem de 5,00 e valores de IAF na maturação de 3,56. Machado (1981) registrou valores de IAF máximos ao redor de 3,70, não decrescendo mais a partir desse ponto. Robertson et al. (1999) encontraram valores máximos de 4,92 para cultura irrigada e 4,11 para a cultura sob déficit hídrico, enquanto Keating et al. (1999) observaram valores máximos em torno de 7,00. Estudando o comportamento da cultura em regime irrigado e de sequeiro, Farias (2001) verificou que, para a variedade SP 79 1011, irrigada, o IAF máximo foi de 6,48, e para a cana de sequeiro, foi de 6,33. Varela (2002) aponta 7,08 como o IAF máximo da cultura, atingindo tal valor aos 288 dias.

2.3.3. Formação e crescimento dos colmos

A curva de crescimento da cana-de-açúcar, a exemplo de outras culturas, apresenta a forma sigmóide, provavelmente sem influência varietal (BULL e GLASZIOU, 1975; MACHADO et al., 1981 e MACHADO et al., 1982). Possui três fases características: fase inicial de crescimento lento; fase de crescimento rápido e fase final de crescimento lento ou estabilizado. Entretanto, Jacson et al., (1995) afirmam que ocorre interação significativa entre genótipos e ambiente, no que se refere ao desenvolvimento da cultura.

O perfilhamento em cana-de-açúcar também pode ser dividido em três fases: fase inicial, em que o perfilhamento é intenso e atinge um número máximo em torno de três a cinco meses após o plantio; fase intermediária, quando há morte acentuada dos perfilhos, principalmente aqueles menos desenvolvidos, e fase final, em que o número de perfilhos permanece estável até a colheita.

Farias (2001), em seu estudo com a variedade SP 79 1011, comprovou que, aproximadamente aos 60 dias após o plantio, a densidade populacional atinge seu pico, estabilizando-se em seguida. O autor observou diferenças significativas na densidade, ao final do cultivo, da ordem de 11 para 17 colmos por metro linear, em cana de sequeiro e irrigada, respectivamente. Simões et al.(2005) estudaram os índices de crescimento e

produtividade da cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo e observaram que, em um talhão comercial, a queda no perfilhamento é evidente, caindo de cerca de 25 plantas por metro linear para 10 plantas.

A mortalidade dos colmos coincide com a época em que o índice de área foliar aumenta rapidamente. Isso sugere que, além da competição por água e nutrientes, o sombreamento atua de forma marcante na determinação desse comportamento. O colmo é formado por uma sequência de internódios em diferentes estádios fisiológicos (internódios maduros, em maturação e imaturos). À medida que se desenvolve, a sua taxa de crescimento diminui progressivamente, até se tornar nula, quando amadurece (MACHADO, 1987). Para Matherne e Irvine (1978), citados por Machado (1987), o número de colmos por unidade de terreno é um dos componentes que mais afeta a produtividade da cana-de-açúcar.

A água desempenha um papel importante no alongamento dos perfilhos e na altura final dos colmos da cana-de-açúcar (CHANG et al., 1968). Koehler et al. (1982) afirmam que, em plantas sob condições de estresse hídrico, a redução no alongamento dos colmos pode chegar a 80 %. Já Thompson (1965) observou uma redução no comprimento dos colmos de 2,4 m para 0,73 m e, no peso, de 800 g para 220 g, em plantas sob o efeito de estresse hídrico prolongado.

Rolim et al. (2002), em estudo com a variedade IAC 87-3396, verificaram que o crescimento da cultura tem, de fato, fases distintas no referido trabalho, os autores observaram no terceiro ano de cultivo, terem as plantas altura de 2,3 m. Num estudo desenvolvido com a cana-de-açúcar no quarto ano de cultivo, Simões et al. (2005) observaram que ela atinge sua fase de maturação aos 398 dias, com uma altura média de 3,5 m. No mesmo estudo, referente à safra 2001/2002 (Quinto ano), a cana atingiu a fase de maturação aos 369 dias, com uma altura média de 3,2 m.

2.4. DÉFICIT HÍDRICO NO CRESCIMENTO DAS CULTURAS

Divisão celular, desenvolvimento e expansão das células são funções das quais depende o crescimento de um vegetal (LARCHER, 1995), sendo sensíveis ao déficit hídrico. Após a fase de alongamento, a célula estará preparada para se expandir, bastando que haja pressão hidrostática ou pressão de turgor (NÓBREGA, 2000).

Além de ser o principal constituinte do protoplasma, a água participa diretamente de muitas reações químicas, as quais são responsáveis pela turgescência celular. Portanto, a redução na sua absorção tem como consequência a desidratação celular, comprometendo, assim, os processos fisiológicos e, conseqüentemente, os componentes do crescimento

(PÁEZ et al., 1995). O estresse hídrico desenvolve uma redução gradativa do potencial osmótico, em função do aumento na concentração de soluto e, por consequência, do baixo conteúdo de água na célula. Esse fenômeno é denominado de ajustamento osmótico e pode conferir à planta uma manutenção completa ou parcial do turgor (HATE e ORCUTT, 1987).

As plantas estão sujeitas a uma grande variedade de estresses ambientais, incluindo temperaturas inadequadas, condições físico-químicas de solo desfavoráveis e várias doenças e pragas. Contudo, pode-se dizer que o déficit hídrico reduz o Crescimento e a Produtividade vegetal mais que todos os outros estresses combinados, pois ocorre em qualquer local, mesmo nas regiões consideradas úmidas (KRAMER, 1983). Para Taiz e Zeiger (2002), o Déficit Hídrico não é limitado apenas às regiões áridas e semiáridas. Segundo observaram, mesmo em regiões consideradas climaticamente úmidas, a distribuição irregular das chuvas provoca períodos cuja disponibilidade hídrica limita o crescimento das plantas.

O déficit hídrico afeta vários aspectos do crescimento vegetal. Os efeitos gerais mais visíveis do estresse hídrico são a redução do tamanho das plantas, da sua área foliar e da produtividade da cultura (KRAMER, 1983). É importante ressaltar que o grau de injúria, causado pelo déficit hídrico, depende, consideravelmente, do estágio fenológico da planta e da duração do estresse. Segundo Barlow et al. (1980), o crescimento vegetal depende da divisão celular, do crescimento e da diferenciação da célula, sendo que todos esses processos são afetados por déficits hídricos, mas não necessariamente na mesma proporção. Para Kramer (1983), tanto a divisão celular quanto o crescimento das células é reduzido pelo déficit hídrico; no entanto, ainda não se conhece, claramente, a sensibilidade de cada processo, por variarem de acordo com a idade do tecido e com as condições de cultivo em estádios anteriores.

2.5. Qualidade da cana-de-açúcar

Estudando os efeitos da irrigação sobre a qualidade da cana 'CP 65-357', submetida a três níveis de irrigação (alto: 95%, médio: 85% e baixo: 65% da fração de esgotamento da água do solo), Wiedenfeld (1995) obteve rendimentos em açúcar de 13, 10 e 7,5 t. respectivamente; em relação à pureza, os resultados foram 87%, 86% e 85%. Wiedenfeld (2000), estudando o efeito do estresse hídrico na cultura da cana-de-açúcar em diferentes estágios (em um ano, com precipitação de 478 mm), observou redução de 11% a 19% no rendimento em açúcar, quando a cultura foi submetida ao estresse hídrico no 3º (257 a 272 dias após o plantio) e 4º (302 a 347 dias após o plantio) períodos.

Durante décadas, vários especialistas procuraram desenvolver cultivares de cana-de-açúcar que fossem climatologicamente adaptadas às condições de baixa pluviosidade com as regiões mais secas do país, surgindo, dentre elas a cultivar SP 79 1011. No Nordeste brasileiro, na safra 2003/2004, 27,2% da área foi cultivada com a SP 79 1011. Na mesma safra, 32,2 % do plantio foi realizado com a Mesma Variedade. (NUNES JR. et al., 2003).

Dentre suas principais características industriais, as que mais se destacam são: fibra 14,7%, PCC 10,5%, pureza 79,74% e sólidos solúveis totais (° brix) da ordem de 16,10% (RIDESA, 2003).

2.6. Efeito da Irrigação na Produtividade Agrícola

As avaliações do custo dos altos investimentos em irrigação também precisam ser realizadas, no sentido de que o investidor possa tomar decisões mais precisas e locais. A determinação dos custos do sistema como um todo, tanto do ponto de vista operacional como dos custos fixos administrativos, é uma ferramenta imprescindível para a tomada de decisão do produtor. Os custos de irrigação são temas centrais nas discussões do setor sucroalcooleiro.

Na usina Santa Cruz, em Campos dos Goytacazes/RJ, Gomes (1999), trabalhando com a variedade RB 72 454, encontrou produtividade média de colmos e de açúcar, em cada planta, de 130 e 17 t ha⁻¹, respectivamente; para uma lâmina média de 1195 mm, o acréscimo médio da produtividade foi de 28,34 t ha⁻¹, enquanto para o açúcar foi de 4,0 t/ha.

No município de Goianésia, em Goiás, Soares et al. (2004) implantaram um experimento com duas variedades de cana-de-açúcar: SP 84 1431 e SP 87 344. No estudo, os Tratamentos consistiram de cana em Regime de Sequeiro e Irrigada com lâminas mensais de 50mm, utilizando – se o sistema autopropelido, tipo rolo com uma “barrinha”; foi encontrada a diferença em termos de altura e de peso de colmos, com melhores Respostas para a Variedade SP 84 1434.

Moura et al. (2005) avaliando a resposta da cana de açúcar, em regime irrigado e não-irrigado, nos tabuleiros costeiros da Paraíba, observaram maiores efeitos da irrigação sobre as variáveis rendimento de açúcar e de álcool e rendimento de colmos, sem efeito significativo das interações entre regime de irrigação e doses de adubo.

2.7. Zinco: Papel e Mecanismo de Absorção

A absorção do zinco ocorre por um processo termodinamicamente passivo, cuja translocação se processa do interior da membrana plasmática para o plasmalema. Segundo o autor, trata-se de um processo afetado pela baixa temperatura e que, provavelmente, de forma indireta, reduz o potencial da membrana. De acordo com estudo de Barbosa Filho (1987), a deficiência de zinco traz, como consequência, na cultura do arroz, o encurtamento dos internódios, reduzindo o crescimento; ainda, segundo o autor, como o zinco é um elemento necessário à formação do triptofano, aminoácido precursor do AIA, tem-se aí uma justificativa para a redução do crescimento da planta (KOCHIAN, 1993).

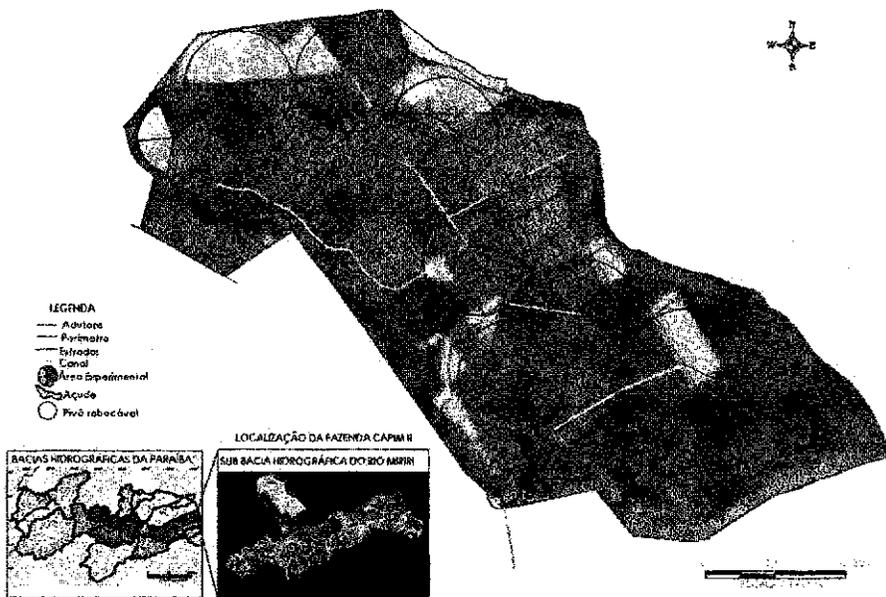
A classificação dos nutrientes minerais, de acordo com sua função bioquímica, põe o zinco no grupo 4, mesmo grupo do cobre, ferro, níquel e molibdênio. Todos esses elementos estão envolvidos em reação de redox e transporte de elétrons (TAIZ e ZEIGER, 2002). Especificamente, o zinco é constituinte da enzima álcool desidrogenase. Esse elemento pode ser exigido para a síntese de clorofila, em algumas plantas, sendo também essencial para a biossíntese do ácido 3-indol-acético (AIA), conhecido regulador de crescimento. As deficiências de zinco são, frequentemente, observadas na região Nordeste do Brasil. Anderson e Bowen (1992) afirmam que resultados positivos, inclusive com efeitos residuais, têm sido obtidos com a aplicação de 7 kg ha^{-1} de Zn, na forma de sulfato de zinco. Entretanto, o zinco tem sido pouco estudado, enquanto micronutriente importante para a biossíntese do ácido 3-indol-acético (AIA), conhecido Regulador de Crescimento.

Do ponto de vista de fertilidade do solo, Carrijo et al. (2004) cita que, para os nutrientes com forte interação com a matriz do solo e que, predominantemente, se movimentam por difusão, como é o caso do zinco, o aumento da umidade do solo, com a utilização de tecnologia de irrigação por gotejamento, aumenta a eficiência da adubação, especialmente, em solos arenosos. Segundo os autores, tal fato ocorre por ocasião da concentração do fertilizante na região de maior umidade e maior concentração das raízes. Esclarecem que a umidade proporciona maior disponibilidade do nutriente para a planta e favorece sua movimentação no solo.

3.0. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização do Experimento

MAPA GEORREFERENCIADO DA FAZENDA CAPIM II - ÁREA EXPERIMENTAL



O experimento foi conduzido na Fazenda Capim II (latitude 6°54'59,88"S, longitude 35°09'17,86", e altitude de 121 m), localizada no município de Capim/PB. A fazenda situa-se sobre a bacia hidrográfica do Litoral Norte da Paraíba, subbacia do Miriri; sua área

de drenagem mede cerca de 436,5 km² e tem como principais usos: abastecimento humano e animal, irrigação e pesca.



A fazenda pertence a Destilaria Miriri S/A, uma irrigante de grande porte, que possui 6.879 ha, plantados, dos quais cerca de 3.000 ha são irrigados com uma lâmina equivalente a 40% da ETc, em um turno de irrigação que varia de 12 a 14 dias e 1.000 ha são irrigados como forma de "salvamento".

3.2. Genótipo

Foi estudada a cultivar SP 79-1011 da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), com potencial para atingir uma produtividade média, na região do litoral norte paraibano, de 69,00 t ha⁻¹; é uma cana precoce e de alta adaptabilidade. Em termos de solo, é recomendada para áreas de média a baixa fertilidade, sendo o período de colheita indicado para os meses de setembro a novembro (NUNES JR. et al., 2003).

3.3. Clima e Solo da Região

O solo predominante na fazenda é uma associação de Podzólico vermelho-amarelo, com variação Acinzentada. Mais especificamente, a área experimental é constituída por um solo de textura média (FAA) com capacidade de armazenar, em média 61 mm. A temperatura média anual é de 28° C, com precipitação média anual de 1.200 mm, verificando-se seis meses secos. O clima é quente e úmido, com chuvas de outono a inverno classificado como As', segundo Koppen.

3.4. Irrigação e Características do Equipamento

As amostras de água foram analisadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande. A irrigação foi feita através de um pivô central fixo. A máquina da marca Valley®, utilizada nesta pesquisa, passou por reformas após o início da aplicação dos tratamentos, tendo todo o seu projeto redimensionado e trocado. Isto foi realizado para o equipamento atingir bons níveis de eficiência em potencial de aplicação.

O comprimento do centro do pivô até a última torre é de 257,4 m, com um raio irrigado de 290 m, em uma velocidade máxima, da última torre, de 127 m h⁻¹ quando o percentímetro está regulado em 100%. O conjunto eletrobomba é formado por um motor WEG® de 75 cv e uma bomba KSB® com vazão de 172,8 m³h⁻¹.

O ensaio de precipitação permitiu o conhecimento da eficiência em potencial de irrigação e da uniformidade de distribuição de água pelo sistema. Isso proporcionou uma melhor localização do experimento e deu a noção da adequabilidade da irrigação efetuada pelo sistema além de possibilitar a formação da curva de controle, velocidade versus lâmina bruta. A construção da tabela de controle foi feita após o ensaio, sendo determinada a vazão do pivô (hidrômetro instalado na sua entrada). Determinou-se também, o raio irrigado em metros, contando com o canhão hidráulico no lance final. O levantamento de campo

possibilitou o cálculo matemático do tempo de giro (Tg) quando o relé percentímetro estava regulado em 100%.

3.5. Balanço Hídrico e Manejo da irrigação

As lâminas de irrigação foram determinadas a partir da evapotranspiração de referência (ET_o), utilizando-se como base para o cálculo o tanque “classe A” com um coeficiente de correção de tanque (K_p) de 0,75. Os níveis de irrigação foram definidos em termos percentuais, em relação à evapotranspiração da cultura (ET_c). As irrigações obedeceram um turno de rega de nove dias.

A primeira irrigação do período foi feita em um único nível nos cinco setores, de modo que todos os tratamentos estivessem em capacidade de campo no início do trabalho. Somente a partir daí, iniciou-se a aplicação dos tratamentos de lâmina de água.

Para o balanço hídrico, a umidade do solo foi sempre estimada, abatendo-se as chuvas efetivas (71% da precipitação) da ET_c acumulada no turno de irrigação, levando-se em consideração a quantidade atual de água no solo no momento da irrigação. Silva et al. (1994) mostraram que a cultura do milho intercepta até 26% da água da chuva em suas folhas, ou seja, seria de 74% a chuva efetiva para o milho, nas condições do planalto central. O manejo de irrigação se deu com base no tanque “classe A”, conforme descrito pelo cálculo: $ET_c = ET_o \cdot K_c \cdot K_p$. Para tanto, fez-se uso da Tabela 2.1 (K_c da cultura), como forma de determinar a evapotranspiração nos diferentes estádios de desenvolvimento. O coeficiente de correção do tanque (K_p) utilizado foi de 0,75.

Tabela 2.1 Lâmina de água de irrigação, precipitação efetiva, lâmina total aplicada à cultura e precipitação total no ano de cultivo. Fazenda Capim II, Capim/PB.

Tratamento de irrigação	Lâmina aplicada (mm)	Precipitação efetiva (mm)	Lâmina total aplicada (mm)
Sequeiro	0	568,00	568,00
25% da ET _c	171,40	604,39	775,79
50% da ET _c	332,44	537,46	905,90
75% da ET _c	492,66	440,66	933,32
100% da ET _c	714,71	462,59	1177,30

3.6. Tratamentos e Delineamento Estatístico

Foram estudadas, o efeito das lâminas de água de irrigação em termos de fração da ETc (sequeiro, 25 %, 50%, 75% e 100% da ETc), sobre o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar, cultivar SP 79-1011.

Os níveis de adubação com zinco adotados foram: 0, 1, 2, 3 e 4 kg de Zn ha⁻¹, tendo como fonte o sulfato de zinco heptahidratado (ZnSO₄ 7H₂O), com 22 % de zinco, sendo as quantidades do produto, respectivamente, de 0,00, 4,54, 9,00, 13,63 e 18,18 kg ha⁻¹, aplicados no solo, na forma líquida com bombas tipo costal da marca Jacto®. O delineamento experimental foi composto de blocos casualizados em esquema fatorial 5x 5, com três repetições, em uma análise conjunta de experimentos. A área total do pivô foi de 27 ha, subdividida em cinco setores de irrigação, cada um com cinco parcelas de adubação com zinco. O experimento contou com uma área vizinha, fora do raio de alcance da irrigação pelo pivô, para implantação do tratamento de sequeiro (sem irrigação).

O experimento foi distribuído em parcelas contendo nove fileiras de cana de açúcar (espaçamento de 1,20 m), com 12 metros de comprimento (9 linhas x 12m), totalizando 108 m lineares (129,6 m²). No experimento, a parcela útil considerada para a coleta dos dados, tanto para as amostras mensais como para a amostragem final, foi composta de 7 fileiras centrais em 10 metros lineares (centrais), totalizando 70 metros lineares ou 84,0 m².

3.7. Tratos Culturais

Ao longo do cultivo foram realizados os tratamentos culturais. A adubação de cobertura consistiu no fornecimento paritário da dose de 450 kg ha⁻¹ do adubo 12-00-24 e na aplicação equalizada dos herbicidas: Hexazinona + Diuron, 1,5 kg ha⁻¹ e 2,4-D, 1,5 L ha⁻¹. No setor um, foi feita somente uma aplicação e nos demais, duas aplicações. Isto ocorreu devido à rápida cobertura vegetal por parte da cana, quando irrigada com a lâmina de 100% da ETC.

3.8. Variáveis Estudadas

Com o objetivo de estudar o efeito dos tratamentos sobre a cultura da cana de açúcar, foi determinada no final do 3º ano de cultivo, cana soca, a avaliação das variáveis, altura de planta, área foliar, número de perfilhos, fitomassa da folha, do colmo e fitomassa total.

A altura das plantas foi medida entre o corte, na base, e a última inserção foliar, marca de um novo internódio da bainha das folhas mais novas, no ápice da planta) e do número de folhas por planta.

Para o cálculo da área foliar, foram utilizados perfuradores (vazadores com diâmetro de 20 e 13 mm), relacionando-se, através do método gravimétrico, a área dos círculos com os seus respectivos pesos de fitomassa seca, com o peso da fitomassa seca do restante da folha. Obteve-se, assim, a área foliar de cada folha fotossinteticamente ativa.

Para avaliação do comportamento da cultura quanto à brotação das gemas, foi realizada a contagem do número de perfilhos por repetição (em cinco metros lineares) em cada parcela.

Foram separados os colmos (C), as lâminas foliares (F) e as bainhas (B), para posterior determinação da fitomassa total de cada amostra. O material foi acondicionado em estufa de circulação forçada a 65°C, durante cinco dias. O peso da fitomassa total foi calculado pela soma de peso das partes.

O índice de área foliar (IAF), foi definido através da área foliar produzida por unidade de área sombreada (m² m⁻² ou cm² cm⁻² ou ainda dm² dm⁻²), Equação 1.

$$IAF = \frac{AF}{ATs} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde: AF é a área foliar; ATs é a área total sombreada pela cultura.

3.9. Análises Estatísticas

Após a coleta, os dados foram tabulados e submetidos a análises de variância, de médias e de regressões polinomiais, utilizando-se o programa SISVAR, conforme metodologia de Ferreira (1998).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2.2, são apresentados o resumo das análises de regressão para as variáveis altura de planta, área foliar, número de perfilhos, fitomassa da folha, fitomassa do colmo, fitomassa total e índice de área foliar, da cana-de-açúcar (variedade SP 79-1011), irrigados com diferentes lâminas de água de irrigação e níveis de zinco. Constata-se efeito altamente significativo ($p < 0,01$) da lâmina de água de irrigação sobre o crescimento em altura das plantas de cana de açúcar (variedade SP 79-1011), no final do terceiro ano de cultivo. No entanto, o mesmo não ocorreu para os níveis de zinco e sua interação com as lâminas de água de irrigação, Tabela 2.2.

Na Figura 2.1A, são apresentados os valores médios da altura das plantas da cana de açúcar no final do terceiro ano de cultivo (terceira folha). Verifica-se que o modelo que melhor se ajustou aos dados da variável AP, foi o linear, com coeficiente de ajuste ($R^2 = 0,93$). Foi observado que o aumento da lâmina da água de irrigação proporcionou maiores alturas das plantas, quando comparado os tratamentos de sequeiro e 100% ETc, cuja lâmina total aplicada foi de 568 e 1177,33 mm, respectivamente; nessas condições, as plantas atingiram alturas de 1,99 e 2,66 m, respectivamente. Farias (2007), estudando a cana de açúcar em condições de sequeiro verificou que as plantas a partir dos 210 dias após a brotação, atingiram altura de 110,34 cm de diferença entre os extremos. No entanto, as diferenças diminuíram à medida que foi se aumentou a lâmina de água de irrigação. Rolim et al. (2002), utilizando-se da variedade IAC 87 3396, estudaram o crescimento da cultura, constatando que a variedade estudada, no terceiro ano de cultivo, alcança 2,3 metros de altura do dossel foliar.

Pesquisas anteriores indicam que, sob condições de estresse hídrico, as culturas regulam o seu crescimento de forma a impedir a perda de água desnecessária e essa regulação se dá de forma prática (Larcher, 1995). Para o autor, o estresse hídrico promove o aumento precoce de hormônios do crescimento, como o ácido abscísico e o etileno, provocando o fechamento dos estômatos, o aumento da senescência das folhas e a abscisão foliar.

Tabela 2.2 Resumo das análises de regressão das variáveis: altura de planta (AP), área foliar (AF), número de perfilhos (NP), fitomassa da folha (FF), fitomassa do colmo (FC), fitomassa total (FT) e índice de área foliar (IAF), da cana-de-açúcar (variedade SP 79-1011), irrigados com diferentes lâminas de irrigação e doses de zinco. Fazenda Capim II, Capim/PB.

Causa de Variação	GL	Quadrados médios						
		AP	AF	NP	FF	FC	FT	IAF
Lâmina (L)	4	0,9568**	253858,295*	5,7055*	53,8875 ^{ns}	26795,4569**	25374,7110**	0,2467 ^{ns}
Regressão Linear	1	3,5114**	753997,394**	8,6400*	137,8754*	95155,2267**	88046,0057**	0,1667 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	0,1607**	163176,626 ^{ns}	4,2857 ^{ns}	47,0778 ^{ns}	8448,9394**	9756,5587**	0,1190 ^{ns}
Regressão Cúbica	1	0,1536**	23905,816 ^{ns}	9,8817*	7,0287 ^{ns}	3119,0400**	3421,9085**	0,6667 ^{ns}
Regressão Polinomial	1	0,0015 ^{ns}	74353,341 ^{ns}	0,0145 ^{ns}	23,5680 ^{ns}	458,6216 ^{ns}	274,3713 ^{ns}	0,0343 ^{ns}
Zinco (Z)	4	0,0109 ^{ns}	183366,020 ^{ns}	1,0981 ^{ns}	33,,1767 ^{ns}	130,8070 ^{ns}	205,4682 ^{ns}	0,0800 ^{ns}
Regressão Linear	1	0,0152 ^{ns}	11477,726 ^{ns}	0,9761 ^{ns}	0,0762 ^{ns}	77,3142 ^{ns}	82,1992 ^{ns}	0,2400 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	0,0051 ^{ns}	274260,678 ^{ns}	1,1147 ^{ns}	41,2389 ^{ns}	114,3309 ^{ns}	292,9707 ^{ns}	0,0190 ^{ns}
Regressão Cúbica	1	0,0175 ^{ns}	435613,348 ^{ns}	1,1616 ^{ns}	35,0803 ^{ns}	182,2267 ^{ns}	57,3875 ^{ns}	0,0267 ^{ns}
Regressão Polinomial	1	0,0057 ^{ns}	12112,3096 ^{ns}	1,1402 ^{ns}	56,3112 ^{ns}	149,3561 ^{ns}	389,3154 ^{ns}	0,0343 ^{ns}
L x Z	16	0,0096 ^{ns}	76577,9810 ^{ns}	1,5117 ^{ns}	25,5449 ^{ns}	412,8636 ^{ns}	491,1345 ^{ns}	0,2383 ^{ns}
Bloco	-	0,0176	76659,5619	3,3217	22,7851^{ns}	1151,4660	853,1646	0,5200^{ns}
Resíduo	-	0,0101	71305,1293	1,7024	26,0697^{ns}	374,9635	416,4790	0,3117^{ns}
CV (%)	-	4,42	11,90	12,82	9,99	7,44	6,55	24,49

(**, *, ns) Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo Teste F.

Os resultados contidos na Tabela 2.2 indicam que não ocorreu efeito significativo para a interação lâminas de irrigação e os níveis de zinco sobre as variáveis estudadas.

Os maiores valores para a área foliar, foram obtidos no tratamento com 100% da ETc, (AF = 2461,62 cm²), Figura .11B. Koehler et al. (1982) afirmam que as plantas sob condições de estresse hídrico podem ter 80% do seu alongamento reduzido.

Na Tabela 2.2, são apresentados os índices da regressão, bem como o resumo da Análise de variância para o modelo que melhor representa o perfilhamento da variedade SP 79 1011 na terceira folha. Observa-se efeito significativo ($p < 0,05$) para o número de perfilhos em relação ao fator lâmina de água de irrigação. Não houve, para essa variável, efeito significativo dos níveis de zinco bem como para a interação lâmina de irrigação versus zinco. Tal fato demonstra que o número de perfilhos é uma variável que não sofreu influência do aumento da dose de Zn, sendo, no entanto, bastante influenciada pela umidade do solo.

Pelos resultados expostos na Figura 2.1C, observa-se que a cana de açúcar quando cultivada em condições de sequeiro, formou um menor número de perfilhos, em relação aos tratamentos com irrigação.

As variáveis fitomassa da folha e índice de área foliar, não sofreram efeitos significativos dos tratamentos (lâmina de água de irrigação e níveis de zinco), bem como, da interação entre eles, Tabela 2.2 e Figuras 2.1D e 2.1G.

A cultura respondeu de forma significativa ($p < 0,01$), as lâminas de água de irrigação e aos níveis de zinco, em relação às variáveis fitomassa do colmo e fitomassa total das plantas de cana de açúcar, terceira folha. Entretanto, na interação entre as lâminas de água de irrigação e os níveis de zinco, não foi verificado efeito significativo dos tratamentos, Tabela 2.2 e Figuras 2.1E e 2.1F. Thompson (1976) observou uma redução no comprimento dos colmos de 2,4 para 0,73 m e no peso de 800 para 220 g, em plantas sob o efeito de estresse hídrico prolongado.

Farias (2007), estudando a cana de açúcar (variedade SP 79 1011), mesma variedade objeto dessa pesquisa, aos 360 dias após a brotação, verificou em regime de sequeiro e sem zinco que houve um acúmulo de 134,93 g/planta, enquanto a cana irrigada com 100% da ETc (1.221,8 mm), sem zinco, acumulou no colmo uma fitomassa de 332,70 g/planta, uma diferença de 146,57%. Analogamente, quando se cultivou a cana com o nível máximo de irrigação e com 3 kg ha⁻¹ de Zn, a planta acumulou 375,56 g de biomassa no final do ano de cultivo, mas quando a cultura foi submetida ao regime de sequeiro associado à 3 kg ha⁻¹ de Zn, o acúmulo foi de 177,46 g de biomassa, diferença equivalente a 111,63%.

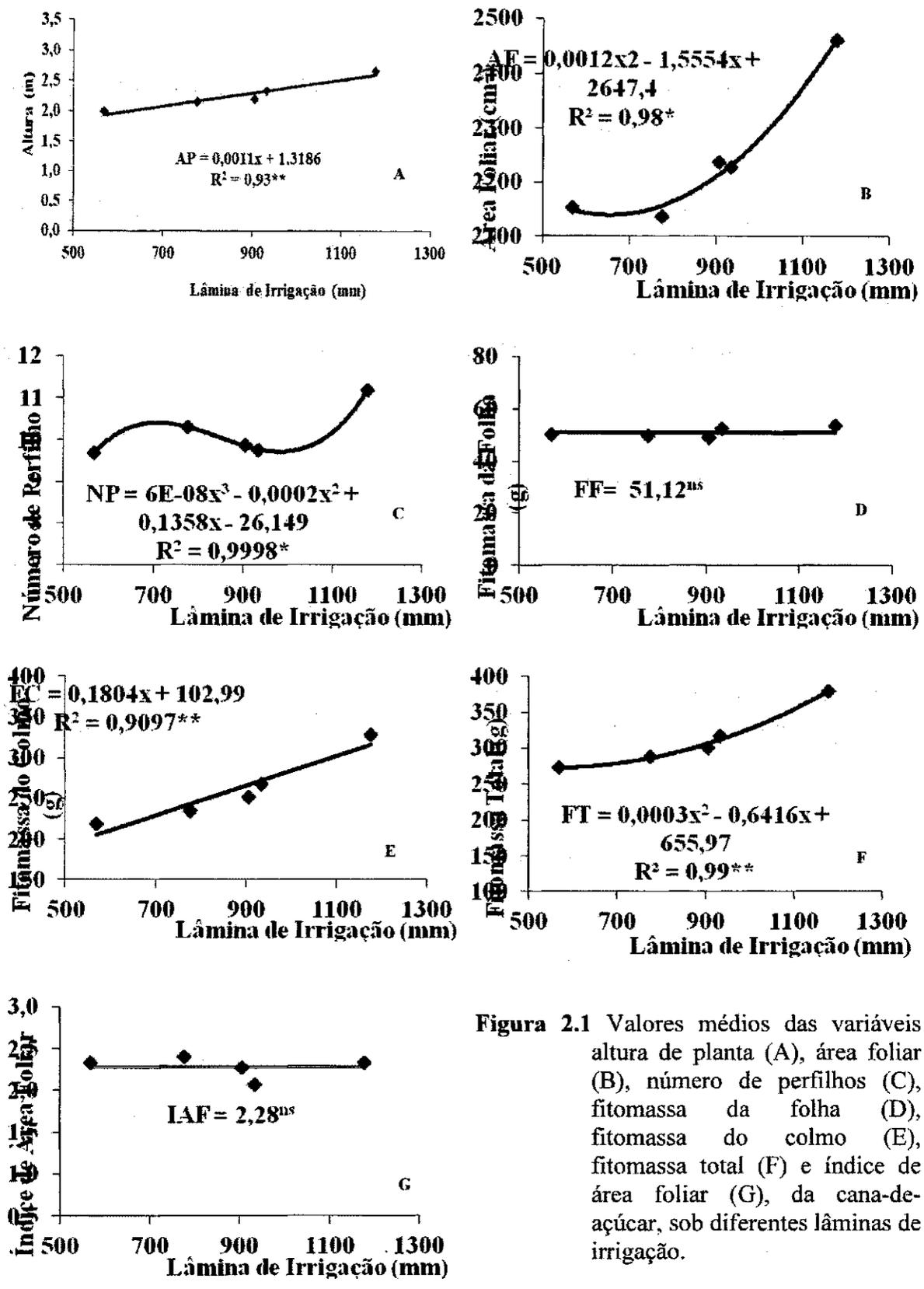


Figura 2.1 Valores médios das variáveis altura de planta (A), área foliar (B), número de perfilhos (C), fitomassa da folha (D), fitomassa do colmo (E), fitomassa total (F) e índice de área foliar (G), da cana-de-açúcar, sob diferentes lâminas de irrigação.

5. CONCLUSÕES

Os tratamentos com lamina de água de irrigação ocasionaram efeito significativo, sobre as variáveis altura de planta, área foliar, número de perfilho, fitomassa do colmo e fitomassa total. Não afetando as variáveis fitomassa da folha e índice de área foliar;

Os tratamentos com níveis de zinco não proporcionaram efeito significativo sobre o crescimento das plantas;

Houve aumento na altura das plantas e na fitomassa do colmo, a medida que foi acrescido a lamina de água de irrigação.

As variáveis estudadas nessa pesquisa não foram afetadas significativamente, pela interação lamina de água de irrigação x níveis de zinco.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFONSI, R.R.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; BRUNINI, O.; BARBIERI, V. **Condições climáticas para a cana-de-açúcar: Cana-de-açúcar: cultivo e utilização.** In: PARANHOS, S.B. (Coord). Campinas, Fundação Cargill, 1987, v.1, p.42-55.
- ANDERSON, D. L.; BAWEN, J. E. **Nutrição da cana-de-açúcar** (tradução de José Orlando Filho). Piracicaba/SP POTAFOS. 40p.
- ARORA, V. K.; GAJRI, P. R. Assessment of a crop-growth water model for preceding maize growth and yield in subtropical environment. **Agricultural Water Management**, 2000,v.46, p.157-156.
- AZEVEDO, H. M. de. **Resposta da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e de adubação de cobertura nos tabuleiros da Paraíba.** Campina Grande: UFCG, 2002. 112p. Tese Doutorado.
- BLACKBURN, F. **Sugar-cane.** Longman, New York, 1984, 414p.
- BULL, T.A. & GLASZIOU, K.T. Sugar cane. In: EVANS, L.T. (ed.). **Crop physiology: some case histories.** Cambridge, University Press, 1975, cap. 3, p.51-72.
- CARRIJO, O. A.; SOUSA, R. B. de; MAROUELLI, W. A.; ANDRADE R. J. de. **Circular Técnica 32: fertirrigação de hortaliças,** EMBRAPA DF, 2004,13p.
- DOOREMBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water.** Rome, FAO, 1979, 193p. (Irrigation and Drainage Paper 33).
- ELLIS, R. D.; LANKFORD, B. A. The tolerance of sugar cane to water stress during its main development phases. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, 1990, v.17. p.117-128.
- ENGLISH, M.J. Deficit irrigation I: Analytical Framework. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, 1990, v.116, n.13, p.399-412.
- FARIAS, C. H. DE A.; DANTAS NETO, J.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R. . Índice de área foliar em cana-de-açúcar sob diferentes níveis de irrigação e zinco na Paraíba. **Caatinga**, v.20, n.4, p.45- 55, 2007.

GOMES, M.C.R. **Efeito da irrigação suplementar na produtividade da cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes, RJ.** Rio de Janeiro: UENF, 1999, 51p. (Dissertação de Mestrado).

HATE, M. G.; ORCUTT, D. M. **The physiology of plant under stress**, 1987, 250p.

HAYAMICHI, Y. Studies on the germination of sugar seed pieces. Part I. On the characteristics of the germination of buds and seed pieces from different nodes of sugar cane stalks. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.33, n.2, p.139-148, 1988.

JACKSON, P.; MCRAE, T.; HOGARTH, M. Selection of sugarcane families across variable environments II. Patterns of response and association with environmental factors. **Field Crop Research**, 1995, v.43, p.119-130.

KING, N. J.; MONTGOMERY, R.W.; HUGHES, C. G. **Manual of cane growing**. Sidney, Elsevier, 1965. 375p.

KRAMER, P.J. **Water relations of plants**. Academic Press, New York, 1983. 489p.

LARCHER, W. **Physiological plant ecology: Ecophysiology and stress physiology of functional groups**. 3 ed. Springer-Verlag, 1995, 495p.

MOREIRA, D. R.; CARDOSO, V. J. M. Effect of soil moisture content and the irrigation frequency on the sugar cane germination. **Scientia Agrícola**, 2000, v. 57 n.4. p.653-659.

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

NÓBREGA, J.Q. **Variações morfofisiológicas no rendimento do feijoeiro submetido a diferentes lâminas de irrigação**. (Tese de Doutorado). UFPB/CCT, 2000, 100p.

NUNES Jr., D.; PINTO, R. S. A.; KIL, R. A. **Indicadores de desempenho da agroindústria canavieira: safra 2002/2003**, ed. Grupo IDEA, 2003, 95p.

OLIVEIRA, P. F. M.; SOARES, R. A.B.; RESENDE, N.C.; CARDOSO, H.R.; PÁEZ, A.; GONZÁLES, M. E.; YARUSQUI, O. X. Water stress and clipping management effects on guinea grass: I Growth and biomass allocation. **Agronomy Journal**, 1999, v.87, p.698-707.