

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
DOUTORADO TEMÁTICO EM RECURSOS NATURAIS**

**OTIMIZAÇÃO DO USO DA ÁGUA E DO ZINCO NA CANA-DE-AÇÚCAR EM
TABULEIRO COSTEIRO PARAIBANO**

CARLOS HENRIQUE DE AZEVEDO FARIAS

**CAMPINA GRANDE – PARAÍBA
dezembro de 2006**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

CARLOS HENRIQUE DE AZEVEDO FARIAS

**OTIMIZAÇÃO DO USO DA ÁGUA E DO ZINCO NA CANA-DE-AÇÚCAR EM
TABULEIRO COSTEIRO PARAIBANO**

Orientador

Prof. Dr. Pedro Dantas Fernandes

Co-orientador

Prof. Dr. Hans Raj Gheyi

Tese apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para a obtenção do título de Doutor em Recursos Naturais. Área de concentração: Engenharia de Água e Solo. Linha de pesquisa: Manejo de Água e Solo.

Campina Grande – Paraíba

2006

F224O Farias, Carlos Henrique de Azevedo
Otimização do uso da água e do zinco na cana-de-
açúcar em tabuleiro costeiro paraibano/Carlos
Henrique de Azevedo Farias. – Campina Grande, 2006.
142p.: il
Orientador: Pedro Dantas Fernandes
Tese (Doutorado) Universidade Federal de Campina
Grande – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais

1. Cana-de-açúcar – matéria prima 2. Irrigação 3.
Zinco – Fertilizante 3. Pivô central 4. Função de
resposta

UFCG/BC

CDU 664.111

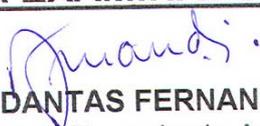
**“É permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que seja citada a
fonte – O autor”**

CARLOS HENRIQUE DE AZEVEDO FARIAS

**OTIMIZAÇÃO DO USO DE ÁGUA E ZINCO NA CANA-DE-AÇUCAR EM
TABULEIRO COSTEIRO PARAIBANO**

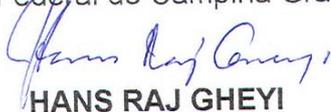
APROVADO EM: 19/12/2006

BANCA EXAMINADORA:



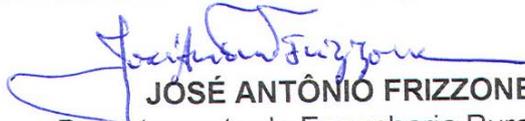
PEDRO DANTAS FERNANDES

Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola - UAEA
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



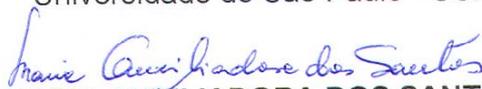
HANS RAJ GHEYI

Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola - UAEA
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



JOSÉ ANTÔNIO FRIZZONE

Departamento de Engenharia Rural - LER
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ
Universidade de São Paulo - USP



MARIA AUXILIADORA DOS SANTOS

Departamento de Ciências Vegetais - DCV
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFRSA



JOSÉ DANTAS NETO

Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola - UAEA
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO

Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas - UACA
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

Consagro

A Deus, pela sua infinita misericórdia.

“Que Deus conceda falar a seu contento e formular conceitos a altura dos seus dons, pois ele não mostra apenas o caminho da sabedoria, mas orienta os sábios. Estamos na sua mão, nós e nossas palavras, todo entendimento e perícia no agir. Ele me deu a ciência exata do que é, que me fez conhecer a estrutura do universo e a atividade dos elementos, o começo, o fim e meio dos tempos, o alternar-se dos solstícios e a mudança das estações, os ciclos do ano e a posição dos astros, a natureza dos animais e o instinto das feras, as diversas propriedades das plantas e as virtudes das raízes. Em uma palavra: o que há de oculto e manifesto, eu o conheci e foi a artesã de todas as coisas, a Sabedoria que me ensinou!”

(Sab.7,15-21)

Ofereço

Ao grupo Cavalcante de Moraes, representado pelos seus acionistas, Diretor-Superintendente e Administrador de Empresas Gilvan Celso Cavalcanti de Moraes Sobrinho, um líder visionário, e Diretor de Tecnologia José Ivanildo Filho, pelo apoio irrestrito.

Dedico

Aos meus filhos Luiz Henrique e Henrique Eduardo e minha esposa Maria Leila, por serem parte da minha história, não há como recompensá-los pela ausência. Aos meus pais Francisco de Assis Farias Cavalcante e Terezinha de Jesus Azevedo Farias, que são luzes da minha vida, pela confiança incondicional em seu filho; às minhas irmãs Ethel e Thelma, pelo apoio; aos meus avós Antônio e Maria, Walfredo e Severina (in memoriam).

AGRADECIMENTOS

A Deus. Não encontro palavras para expressar o que minha alma e meu coração sentem. A Ti, toda honra e toda glória, agora e para sempre.

À Destilaria Miriri S/A e União Agrícola Ltda., ferramentas de Deus na construção de uma nova sociedade pelo suporte tecnológico e financeiro a esta pesquisa.

Ao Sr. Diretor-Superintendente, Dr. Gilvan Celso Cavalcanti de Moraes Sobrinho, pelo apoio irrestrito a esta pesquisa e também pela amizade.

Ao Gerente Agrícola da Uniagro Ltda., geógrafo Gabriel Saturnino de Oliveira, um irmão, pela amizade e por acreditar na educação como base para uma nova sociedade.

Ao Gerente e Químico Industrial Sr. Emanuel Pinheiro de Melo, por todo o apoio dispensado.

Aos Supervisores Francisco Lourival, Geraldo Magela, José Severino, Francisco Fernandes e ao contador Fábio Oliveira, pela amizade e colaboração.

Aos funcionários da Miriri/Uniagro, Antônio Emídio, Cláudio Roberto, Gutemberg Francisco, Edmilson Emídio, Antônio Marcos, Gorete, Wando, Ernesto, Charles Dellano e Egídio, pela disponibilidade e ajuda.

À Universidade Federal de Campina Grande, sempre presente em minha vida.

Aos integrantes do Laboratório de Irrigação e Drenagem, professores e funcionários, pelo convívio e amizade.

Ao professor e amigo Dr. Hamilton Medeiros de Azevedo, pelas oportunidades que me proporcionou, serei sempre grato.

Aos orientadores desta pesquisa, Dr. Pedro Dantas Fernandes, um amigo, um guia, e Hans Raj Gheyi, pelo incentivo.

Ao professor Dr. José Dantas Neto, pela ajuda, incentivo e amizade.

À professora Dr.^a. Maria Auxiliadora dos Santos, pelo carinho e incentivo; essencialmente, pela amizade que tem acompanhado toda a minha trajetória.

À professora historiadora, Dr.^a. Marta Falcão, por sua fundamental contribuição.

Aos amigos Sergio Batista, Gustavo, Paulo César e Adilson David, pelo apoio nas horas difíceis.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS E QUADROS.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE EQUAÇÕES.....	ix
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 2: REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1 CLIMA E SOLO.....	5
2.2 CULTURA.....	6
2.2.1 Necessidade hídrica.....	6
2.2.2 Propagação.....	7
2.3. MORFOFISIOLOGIA DA PARTE AÉREA.....	8
2.3.1 Morfologia das folhas.....	8
2.3.2 Área foliar.....	9
2.3.3 Formação e crescimento dos colmos.....	11
2.4 DÉFICIT HÍDRICO NO CRESCIMENTO DAS CULTURAS.....	12
2.5 QUALIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	16
2.6 FUNÇÕES DE RESPOSTA.....	17
2.6.1 Efeito da irrigação na produtividade agrícola.....	17
2.6.2 Energia e água versus irrigação: tarifas.....	22
2.7 ZINCO: PAPEL E MECANISMO DE ABSORÇÃO.....	23
CAPÍTULO 3: MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3.1 GENÓTIPO.....	26
3.2 LOCALIZAÇÃO E ESQUEMA EXPERIMENTAL.....	26
3.3 CLIMA E SOLO DA REGIÃO.....	29
3.4 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO.....	30
3.4.1 Qualidade da água.....	30
3.4.2 Características do equipamento.....	30
3.4.3 Avaliação do sistema de irrigação.....	31
3.5 BALANÇO HÍDRICO E MANEJO DE IRRIGAÇÃO.....	33
3.6 TRATOS CULTURAIS.....	36
3.7 AMOSTRAGENS.....	36
3.8 DESENVOLVIMENTO E CRESCIMENTO.....	36
3.8.1 Perfilhamento e rendimento.....	37
3.8.2 Fenologia da planta.....	37
3.8.3 Fitomassa da parte aérea.....	37
3.8.4 Índice de área foliar.....	39
3.9 ÍNDICES TECNOLÓGICOS.....	38
3.9.1 Sólidos solúveis totais (em %)......	38
3.9.2 Sacarose: Pol do caldo extraído (em%)......	38
3.9.3 Fibra industrial da cana (em %)......	39
3.9.4 Pureza do caldo extraído (em %)......	39
3.9.5 Pol da cana corrigida (em %)......	40
3.10 ANÁLISE ECONÔMICA DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO.....	40
3.10.1 Modelo contendo um único fator como variável independente.....	42
3.10.2 Determinação dos pontos de máximo rendimento físico e	42

líquido.....	
3.10.3 Determinação do modelo contendo dois fatores como variável dependente.....	43
3.10.4 Determinação do ponto de máximo rendimento bruto e líquido para o modelo com duas variáveis independentes.....	44
3.10.5 Determinação da região factível.....	44
3.10.6 Determinação da produtividade física marginal.....	45
3.10.7 Taxa marginal de substituição.....	45
3.11 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	46
CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4.1 MORFOFISIOLOGIA.....	47
4.1.1 Perfilhamento.....	47
4.1.2 Altura da planta.....	52
4.1.3 Índice de área foliar (área foliar).....	57
4.1.4 Fitomassa total.....	69
4.1.5 Partição de biomassa.....	75
4.2 QUALIDADE DA MATÉRIA-PRIMA: ANÁLISE DOS ÍNDICES TECNOLÓGICOS.....	83
4.3 ANÁLISE FÍSICA E ECONÔMICA DA PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	91
4.3.1 Efeito das lâminas de Irrigação mais precipitação efetiva	91
4.3.2 Efeito dos níveis de zinco.....	96
4.3.3 Efeito conjunto: lâminas de irrigação mais precipitação efetiva e níveis de zinco.....	98
4.3.4 Produtividade física marginal.....	103
4.3.5 Taxa marginal de substituição.....	104
4.4 EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA PELA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	106
4.4.1 Efeito das lâminas de irrigação mais precipitação efetiva	106
4.4.2 Efeito dos níveis de zinco.....	107
4.4.3 Efeito conjunto: lâminas de irrigação mais precipitação efetiva e níveis de zinco.....	108
CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES.....	111
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	114
APÊNDICE.....	128

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1	Curva de crescimento e coeficientes de cultura para a cultura da cana-de-açúcar.....	7
Tabela 2	Análise físico-hídrica do solo da área experimental. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	29
Tabela 3	Análise química do solo da área experimental. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	29
Tabela 4	Análise química da água utilizada na irrigação da área do experimento.....	30
Tabela 5	Resumo da análise de variância e ANOVA da regressão para o número de perfilhos da cultura da cana-de-açúcar (variedade SP 79-1011). Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	48
Tabela 6	Resumo da análise de variância e ANOVA da regressão para altura da cana-de-açúcar (variedade SP 79-1011). Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	53
Tabela 7	Médias do desdobramento da interação L x Zn para altura de plantas de cana-de-açúcar aos 360 dias após a brotação. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	54
Tabela 8	Estudo de regressão, desdobramento da interação L x Zn, para altura da planta, aos 360 dias após a brotação, da variedade SP 79 1011. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	55
Tabela 9	Resumo da análise de variância e ANOVA da regressão para a área foliar da cana-de-açúcar (variedade SP 79-1011). Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	58
Tabela 10	Médias do desdobramento da interação L x Zn para a área foliar da cana-de-açúcar, aos 150 dias após a brotação. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	60
Tabela 11	Estudo de regressão, desdobramento da interação L x Zn, para área foliar da cana-de-açúcar, variedade SP 79 1011, aos 150 dias após a brotação. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	60
Tabela 12	Resumo da análise de variância e ANOVA da regressão para o índice de área foliar da cana-de-açúcar (variedade SP 79-1011). Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	65
Tabela 13	Médias do desdobramento da interação L x Zn para o índice de área foliar da cana-de-açúcar aos 150 e 180 dias após a brotação. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	66

Tabela 14	Estudo de regressão, desdobramento da interação L x Zn, para o 68º índice de área foliar da cana-de-açúcar aos 150 dias após a brotação da variedade SP 79 1011. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	67
Tabela 15	Estudo de regressão, desdobramento da interação L x Zn, para o índice de área foliar da cana-de-açúcar aos 180 dias após a brotação da variedade SP 79 1011. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	68
Tabela 16	Resumo da análise de variância e ANOVA da regressão para a fitomassa total da cana-de-açúcar (variedade SP 79-1011). Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	71
Tabela 17	Médias do desdobramento da interação L x Zn para fitomassa total da cana-de-açúcar aos 360 dias após a brotação. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	72
Tabela 18	Estudo da correlação de Pearson entre o índice de área foliar e o acúmulo de fitomassa total, ao longo do tempo, para a variedade de cana SP 79 1011. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	73
Tabela 19	Estudo de regressão, desdobramento da interação L x Zn, a fitomassa total da cana-de-açúcar, variedade SP 79 1011, aos 360 dias após a brotação. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	74
Tabela 20	Resumo da análise de variância e ANOVA da regressão para a fitomassa das folhas para a cana-de-açúcar (variedade SP 79-1011). Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	76
Tabela 21	Resumo da análise de variância e ANOVA da regressão para a fitomassa do colmo para a cana-de-açúcar (variedade SP 79-1011). Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	77
Tabela 22	Estudo de regressão, desdobramento da interação L x Zn, para a fitomassa da folha da cana-de-açúcar, variedade SP 79 1011, aos 150 dias após a brotação. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	77
Tabela 23	Estudo de regressão, desdobramento da interação L x Zn, para a fitomassa do colmo da cana-de-açúcar, variedade SP 79 1011, aos 360 dias após a brotação. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	78
Tabela 24	Estudo de correlação de Pearson entre as variáveis: pureza, fibra e açúcares totais recuperáveis. Correlação de Pearson entre os fatores lâminas e zinco com pureza, fibra e açúcares totais recuperáveis. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	84
Tabela 25	Resumo da análise de variância para os índices tecnológicos da cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011), no primeiro ano do experimento. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	85

Tabela 26	Resumo da análise de variância para produtividade ($t\ ha^{-1}$) e eficiência no uso da água ($kg\ m^{-3}$) pela cultura da cana-de-açúcar (variedade SP 79-1011), aos 360 dias após a brotação. Fazenda Capim II, Capim/PB 2005.....	92
Tabela 27	Análise econômica para lâminas de água de irrigação (L) que maximizam a produtividade (L_m) e o lucro bruto (L^*). Resultados do experimento para os tratamentos aplicados à cana 'SP 79 1011'. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	94
Tabela 28	Análise econômica para níveis de zinco (Zn) que maximizam a produtividade (Zn_m) e o lucro bruto (Zn^*). Resultados do experimento para os tratamentos aplicados à variedade SP 79 1011. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	98
Tabela 29	Função de produção (lâmina versus zinco) e índices do modelo para a cultura da cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011). Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	99
Tabela 30	Estudo econômico de lâminas (L) versus zinco (Zn) que maximiza a produtividade (L_m e Zn_m) e o lucro bruto (L^* e Zn^*). Combinação de lâmina e zinco do produtor (L_p e Zn_p) e resultados do experimento em todas as combinações testadas com a variedade SP 79 1011. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	101
Tabela 31	Produtividade física marginal da água (tonelada de cana-de-açúcar por mm de água de irrigação) e da adubação com zinco (tonelada de cana-de-açúcar por kg de zinco) para os diferentes tratamentos com a cana 'SP 79 1011'. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	104
Tabela 32	Disposição metódica entre níveis de adubação com zinco e lâminas de água de irrigação equivalentes à taxa marginal de substituição de água por adubação com zinco na produção de cana-de-açúcar 'SP 79 1011'. Fazenda Capim II, Capim /PB, 2005.....	105
Tabela 33	Disposição metódica entre níveis de adubação com zinco e lâminas de água de irrigação equivalentes à taxa marginal de substituição de adubação com zinco por água na produção de cana 'SP 79 1011'. Fazenda Capim II, Capim /PB, 2005.....	105
Tabela 34	Regressão múltipla (lâmina versus zinco) e índices do modelo para eficiência no uso da água da cultura da cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011). Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	109
Tabela 35	Função de produção em açúcares totais recuperáveis L x Zn e parâmetros do modelo para a cultura da cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011). Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	132

Tabela 36	Estudo da correlação de Pearson entre o número de plantas por metro (perfilhamento) e o índice de área foliar, ao longo do tempo, para a cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011). Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	133
Quadro 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, 2005.....	34
Quadro 2	Mapa do custo de produção para a cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011), cultivada em regime de sequeiro. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	134
Quadro 3	Mapa do custo de produção para a cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011) irrigada com 25% da ETc. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	135
Quadro 4	Mapa do custo de produção para a cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011) irrigada com 50% da ETc. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	136
Quadro 5	Mapa do custo de produção para a cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011), irrigada com 75% da ETc. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	137
Quadro 6	Mapa do custo de produção para a cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011) irrigada com 100% da ETc. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	138
Quadro 7	Controle de irrigação para a cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011) irrigada com 100% da ETc. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	139
Quadro 8	Controle de irrigação para a cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011) irrigada com 75% da ETc. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	140
Quadro 9	Controle de irrigação para a cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011) irrigada com 50% da ETc. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	141
Quadro 10	Controle de irrigação para a cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011) irrigada com 25% da ETc. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	142

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Efeito do estresse hídrico sobre a regulação de fitormônios. Adaptado de Larcher, (1995).....	16
Figura 2	Mapa de localização da Fazenda Capim II e seu posicionamento na bacia hidrográfica, com destaque para a área experimental. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	27
Figura 3	Croqui da área do experimento, com destaque para os setores de irrigação e suas lâminas correspondentes. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	27
Figura 4	Croqui da área do experimento, com destaque para os níveis de adubação com zinco. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005...	28
Figura 5	Imagem da área do experimento irrigado via pivô central fixo, com destaque para o emissor tipo “rotator”.....	31
Figura 6	(A) água aplicada na irrigação, (B) horas de luz por dia, (C) pluviometria (mm), (D) temperaturas máxima e mínima, (E) umidade relativa do ar (%). Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	35
Figura 7	Comportamento da cana-de-açúcar, variedade SP 79 1011, quanto ao perfilhamento (Linear response plateau) ao longo do período de cultivo, para os cinco tratamentos estudados. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	49
Figura 8	Número de perfilhos aos 360 dias após a brotação. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	51
Figura 9	Altura da cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011). Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	52
Figura 10	Efeito da interação entre lâmina de irrigação e níveis de zinco na altura da planta aos 360 dias após a brotação da variedade SP 79 1011. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	56
Figura 11	Evolução da área foliar da cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011) no período de cultivo, para os cinco tratamentos de irrigação estudados na fazenda capim II, Capim/PB, 2005.....	59
Figura 12	Efeito da interação entre lâmina de irrigação e níveis de zinco na área foliar da cana-de-açúcar, variedade SP 79 1011, aos 150 dias após a brotação. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	61

Figura 13	Evolução do índice de área foliar da cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011) no período de cultivo, para os cinco tratamentos de irrigação estudados na fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	63
Figura 14	Efeito da interação entre lâmina de irrigação e níveis de zinco no índice área foliar da cana-de-açúcar aos 150 dias após a brotação da variedade SP 79 1011. Fazenda Capim II, capim/PB, 2005.....	67
Figura 15	Efeito da interação entre lâmina de irrigação e níveis de zinco no índice área foliar da cana-de-açúcar aos 180 dias após a brotação da variedade SP 79 1011. Fazenda Capim II, capim/PB, 2005.....	68
Figura 16	Evolução fitomassa total, variedade SP 79 1011, (Linear response plateau) ao longo do período de cultivo, para os cinco tratamentos estudados. Fazenda Capim II, Capim/ PB, 2005.....	70
Figura 17	Efeito da interação entre lâmina de irrigação e níveis de zinco na fitomassa total da cana-de-açúcar, variedade SP 79 1011, aos 360 dias após a brotação. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	74
Figura 18	Efeito da interação entre lâmina de irrigação e níveis de zinco na fitomassa da folha da cana-de-açúcar aos 150 dias após a brotação da variedade SP 79 1011. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	78
Figura 19	Efeito da interação entre lâmina de irrigação e níveis de zinco na fitomassa do colmo da cana-de-açúcar, variedade SP 79 1011, aos 360 dias após a brotação. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	79
Figura 20	Partição e produtividade da fitomassa da cana'SP 79 1011' durante o período de cultivo, para o tratamento de sequeiro. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	80
Figura 21	Partição e produtividade da fitomassa da cana'SP 79 1011' durante o período de cultivo, para o tratamento de 25% da ETc. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	80
Figura 22	Partição e produtividade da fitomassa da cana'SP 79 1011' durante o período de cultivo, para o tratamento de 50% da ETc. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005	81

Figura 23	Partição e produtividade da fitomassa da cana 'SP 79 1011' durante o período de cultivo, para o tratamento de 75% da ETc. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	81
Figura 24	Partição e produtividade da fitomassa da cana 'SP 79 1011' durante o período de cultivo, para o tratamento de 100% da ETc. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	82
Figura 25	Estudo de regressão para os índices tecnológicos da cana: (A) sólidos solúveis totais, em ° brix; (B) pol, %; (C) pureza, %; (D) teor de fibra, %; (E) PBU em g; (F) PCC % (G) açúcares totais recuperáveis ATR, em kg t ⁻¹ . Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	89
Figura 26	Lâmina de irrigação (L), precipitação efetiva (PE) e lâmina total aplicada (L + PE) no período de setembro de 2004 a setembro de 2005. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	93
Figura 27	Produtividade da cana-de-açúcar (t ha ⁻¹) em função da lâmina de água de irrigação. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	95
Figura 28	Produtividade da cana-de-açúcar (t ha ⁻¹) em função dos níveis de zinco. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	97
Figura 29	Produtividade da cana-de-açúcar em função da lâmina total aplicada e dos níveis de zinco. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	103
Figura 30	Eficiência no uso da água (kg m ⁻³) em função das lâminas de irrigação. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	107
Figura 31	Eficiência no uso da água (kg m ⁻³) na variedade SP 79 1011, em função de níveis de zinco. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	108
Figura 32	Eficiência no uso da água na cana 'SP 79 1011' em função da lâmina total aplicada e dos níveis de zinco. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	110
Figura 33	Resultado do 1º ensaio de precipitação, antes da montagem do experimento na Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	128
Figura 34	Adequabilidade da irrigação antes da montagem do experimento na Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	128
Figura 35	Curva de lâmina bruta de irrigação aplicada pelo equipamento antes da montagem do experimento na Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	129

Figura 36	Resultado do 2º ensaio de precipitação após mudanças no projeto do equipamento na Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	129
Figura 37	Adequabilidade da irrigação após mudanças no projeto do equipamento na Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	130
Figura 38	Curva da lâmina bruta de irrigação aplicada pelo equipamento após mudanças no projeto do equipamento na Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	130
Figura 39	Medidor de vazão instantâneo (l/s) e totalizador (m ³) acoplado ao pivô central na Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	131
Figura 40	Bocais utilizados no equipamento de irrigação na Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	131
Figura 41	Vista panorâmica do pivô central em funcionamento na Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	131
Figura 42	Produtividade física marginal do zinco dentro de cada lâmina de água de irrigação na Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005.....	132

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	Custo com energia.....	22
Equação 2	Demanda por energia.....	23
Equação 3	Tempo de giro com o relé percentímetro regulado em 100%.....	32
Equação 4	Lâmina bruta com relé percentímetro regulado em 100%.....	32
Equação 5	Coefficiente de uniformidade de Crhistiansen	32
Equação 6	Eficiência em potencial de aplicação do pivô central	32
Equação 7	Índice de área foliar	38
Equação 8	Sólidos solúveis totais.....	38
Equação 9	Sacarose: Pol do caldo extraído (em %)......	39
Equação 10	Leitura sacarimétrica corrigida.....	39
Equação 11	Fibra industrial na cana (em %)......	39
Equação 12	Pureza do caldo extraído.....	39
Equação 13	Pol da cana corrigida (em %)......	40
Equação 14	Valor-base para a cana (em reais por tonelada) posta na esteira da unidade industrial.....	41
Equação 15	Teor de açúcares totais redutores.....	41
Equação 16	Açúcares redutores (em %)......	41
Equação 17	Função de produção contendo somente um fator como variável independente.....	42
Equação 18	Lâmina de irrigação ou níveis de adubação com zinco, que proporciona a máxima produção para o modelo contendo um único fator como variável.....	42
Equação 19	Lâmina de irrigação ou níveis de adubação com zinco, que proporciona a máxima receita líquida para o modelo contendo um único fator como variável.....	42
Equação 20	Lucro bruto para o modelo contendo um único fator como variável.	43
Equação 21	Função de produção da cana-de-açúcar em $t\ ha^{-1}$ em função dos fatores estudados (lâmina de água em mm e níveis de adubação com zinco em $kg\ ha^{-1}$), sendo a, b, c, d, e, f os coeficientes do modelo.....	43
Equação 22	Nível de zinco que maximiza a produtividade para o modelo contendo um único fator como variável.....	44
Equação 23	Lâmina de irrigação que maximiza a produtividade para o modelo contendo um único fator como variável.....	44

Equação 24	Nível de zinco que maximiza o lucro bruto para o modelo contendo um único fator como variável.....	44
Equação 25	Lâmina de irrigação que maximiza o lucro bruto para o modelo contendo um único fator como variável.....	44
Equação 26	Lucro bruto em R\$ em função da combinação de dois fatores L e Z	44
Equação 27	Região factível considerando $L(Z_n = 0)$	45
Equação 28	Região factível considerando $Z_n(L = 0)$	45
Equação 29	Produto físico marginal de água.....	45
Equação 30	Produto físico marginal de zinco.....	45
Equação 31	Taxa marginal de substituição de lâminas de água de irrigação por zinco (TMS_{L/Z_n}).....	45
Equação 32	Taxa marginal de substituição de zinco por lâmina de água de irrigação ($TMS_{Z_n/L}$).....	45

OTIMIZAÇÃO DO USO DA ÁGUA E DO ZINCO NA CANA-DE-AÇÚCAR EM TABULEIRO COSTEIRO PARAIBANO

RESUMO

A pesquisa foi instalada em uma área experimental (latitude 6°54'59,88"S, longitude 35°09'17,86"O e altitude de 121,00 m) da Fazenda Capim II, localizada no Município de Capim/PB, com objetivo de se avaliar a cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*), variedade SP 79 1011, submetida a dois fatores: lâminas de água de irrigação e níveis de adubação com zinco. O delineamento experimental consistiu em blocos casualizados (DBC), com três repetições em esquema fatorial 5 x 5 analisados conjuntamente. As lâminas de irrigação foram: sequeiro, 25% da ETc (256,64 mm), 50% da ETc (513,29 mm), 75% da ETc (769,93 mm) e 100% da ETc (1026,57 mm) com as respectivas precipitações efetivas 780,06, 713,31, 487,54, 243,71 e 194,51 mm. Os níveis de zinco foram 0, 1, 2, 3 e 4 kg ha⁻¹. O equipamento de irrigação utilizado na pesquisa foi do tipo pivô central fixo. O turno de irrigação, definido em função da análise físico-hídrica do solo, foi de nove dias utilizando 100% da água do solo. A ETo foi definida através do tanque "classe A" e a ETc foi determinada em função da idade da planta e de seu respectivo Kc. Abateu-se, do cálculo da lâmina de irrigação, a precipitação efetiva dentro do turno de irrigação. Foram determinadas as funções de resposta, em termos de crescimento e desenvolvimento fisiológico, bem como em termos econômicos, definindo-se, para tanto, os níveis dos dois fatores que proporcionam os melhores resultados econômicos. Até os sete meses de idade, a queda média de 50% no perfilhamento ocorreu independentemente dos fatores estudados ocorrendo diferenças significativas ao final do ano de cultivo. A resposta fisiológica aos fatores estudados foi significativa em altura, índice de área foliar, fitomassa total, fitomassa das folhas e fitomassa dos colmos. Do ponto de vista da qualidade da matéria-prima, o rendimento mínimo em açúcares totais recuperáveis foi de 96,57 kg t⁻¹ e o máximo foi de 153,55 kg t⁻¹. A cultura respondeu a lâmina de água de irrigação, em termos de produtividade, de forma significativamente diferente, sendo a mínima de 28,33 t ha⁻¹ e a máxima de 106,47 t ha⁻¹. Em termos de eficiência no uso da água pela cultura, o valor mínimo foi de 3,63 kg m³ e o máximo de 8,71 kg m³. Do ponto de vista econômico, foi calculado um modelo de função de resposta $P(L,Zn) = a + b*L + c*L^2 + d*Zn + e*Zn^2 + f*LZn$ para estimar, diante do efeito conjunto dos dois fatores, qual combinação (L, Zn) resultaria em maiores produtividades (Lm, Znm) e maiores lucros brutos (L*,Zn*). De acordo com a tendência do modelo, a combinação que maximizou a produtividade em 181,26 t ha⁻¹ foi (1.947,82 mm de lâmina total com 3,94 kg ha⁻¹ de zinco) propiciando um lucro bruto de R\$ 16,57 t⁻¹. Ainda segundo o modelo, a combinação que maximiza o lucro bruto em R\$ 21,06 t⁻¹ é 1.628,06 mm com 1,80 kg ha⁻¹ para uma produtividade de 168,59 t ha⁻¹. Entretanto, a adoção da lâmina que maximiza o lucro bruto implica um volume de água maior que aquele aplicado à cultura, quando irrigada com 100% da ETc (1.221,08 mm). A cana de sequeiro conferiu ao produtor um prejuízo de R\$ -1,43 t⁻¹, independentemente da combinação. Quando foram aplicados 25% da ETc, o prejuízo foi maior, da ordem de R\$ -9,64 t⁻¹ em detrimento da combinação estudada. A combinação L₅₀, Zn₃ proporcionou um LB de R\$ 5,86 t⁻¹; para L₇₅, Zn₃ o LB foi de R\$ 7,17 t⁻¹. A combinação que conferiu o maior LB (R\$ 19,60 t⁻¹), com uma produtividade de 101,05 t ha⁻¹, foi 1.221,08 mm de lâmina total e 3,0 kg de Zn ha⁻¹ (L₁₀₀, Zn₃).

OPTIMIZATION OF WATER AND ZINC IN SUGARCANE IN PARAIBAN COASTAL LAND SOIL

ABSTRACT

The research was conducted in an experimental area (coordinates 6°54'59,88"S; 35°09'17,86"W and 121,00m of altitude) of the Capim II Farm in the municipality of Capim/PB with the objective to evaluate the response of sugarcane crop (*Saccharum spp.*) variety SP 79 1011, submitted to different depths of irrigation water and fertilization levels with zinc to obtain their response functions for the growth and physiologic development, as well in economical terms. . The experimental design consisted of randomized blocks, with three repetitions in 5 x 5 factorial scheme analyzed jointly. The irrigation depths were cultivation without irrigation, 25% of ETc (256,64 mm), 50% of ETc (513,29 mm), 75% of ETc (769,93 mm) e 100% of ETc (1.026,57 mm) with the respective effective precipitations of 780,06, 713,31, 487,54, 243,71 and 194,51 mm and the levels of zinc were 0, 1, 2, 3 and 4 kg ha⁻¹. The irrigation equipment used in this research was a fixed central pivot . The irrigation frequency was defined in function of physical properties of soil and frequency of irrigation was of nine days using 100% of soil moisture. ETo was defined through the tank Class "A" and ETc was calculated in function of the plant age and respective Kc. The effective precipitation during the interval of irrigation was subtracted from the calculation of depth of irrigation to be applied.. Until the seven months of age the mean reduction of 50% in number of plants occurred independently of the factors studied presenting significant differences at the end after one year of cultivation. The physiologic response to the studied factors, at the end of the year was significant, in plant height, leaf area index, total dry mass, dry mass of leaves and dry mass of stems. The point of view quality of the raw material. the minimum yield in recoverable total sugars (RTS) was of 96,57 kg t⁻¹ and the maximum was of 153,55 kg t⁻¹. The crop responded in terms of production significantly where the minimum was of 28,33 t ha⁻¹ and the maximum was of 101,05 t ha⁻¹. In terms of EUW (efficiency use water) for the crop, the minimum value was of 3,63 kg m⁻³ and the maximum was of 8,71 kg m⁻³. From the economical point of view, a model response function was calculations (P(L,Zn) = a+b*L+c*L²+d*Zn+e*Zn²+f*LZn) to estimate the combined effect of two factors, with combination (L, Zn) it would result in larger productivities (Lm, Znm) and larger gross profit (L*,Zn*). It was Verified that in agreement with the tendency of the model, the combination that had maximized the productivity of 181,26 t ha⁻¹ , was 1.947,82 mm with 3,94 kg ha⁻¹ of zinc, resulting in a gross profit (GP) of R\$ 16,57 t⁻¹. However, the same model estimated that the combination which maximizes the GP of R\$ 21,06 t⁻¹, consisted of 1.628,06 mm water with 1,80 kg ha⁻¹ of zinc, for a productivity of 168,59 t ha⁻¹. However, the adoption of irrigation depth that maximizes GP implicates in a larger volume of water compared to that applied to the crop when irrigated with 100% of the ETc (1.221,08 mm). the sugar cane without irrigation (control) resulted in a loss of R\$ -1,43t⁻¹ to producer, independently of the combination. When irrigation was applied equivalent to 25% of the ETc the loss was more, of the order of R\$ 9,64 t⁻¹ independently of studied combination. The combination (L₅₀, ZN₃) provided a GP of R\$ 5,86 t⁻¹. For L₇₅, ZN₃ GP was of R\$ 7,17 t⁻¹. The combination that provided highest GP (R\$ 19,60 t⁻¹) with a productivity of 101,05 t ha⁻¹ was 1.221,08 mm with 3,0 kg ha⁻¹ (L₁₀₀, ZN₃).

INTRODUÇÃO

Atingir a sustentabilidade implica encontrar o ponto de equilíbrio entre o capital, o social e o ambiental. Após a Segunda Guerra Mundial, os pensamentos direcionaram-se para uma reforma em busca da então recém-criada sustentabilidade. Muitos países caíram, outros tantos se reergueram e a humanidade, ainda hoje, busca encontrar-se diante dessa diversidade; controvérsias, usos e abusos dos direitos sagrados da humanidade.

Nos idos anos 90, a sociedade viveu um momento de grande euforia com a elaboração da Agenda 21, na ECO 92, realizada na cidade do Rio de Janeiro. Nela, discutiram-se as possibilidades e alternativas que têm os países desenvolvidos e subdesenvolvidos de mitigar suas ações sobre o ambiente. Temas como a redução do aquecimento global, consequência da diminuição da emissão de gases, despoluição dos rios, não contaminação do lençol freático com metais pesados, redução no uso dos agrotóxicos, foram amplamente discutidos, traçando-se metas a serem alcançadas.

O Tratado de Kyoto foi a nova estratégia na busca pela diminuição da emissão de gases de efeito estufa, com a conseqüente redução e desaceleração do aquecimento global, tornando-se prioridade rumo à sustentabilidade. Neste sentido, todos comungam de uma mesma opinião: reduzir a emissão de dióxido de carbono na atmosfera, com progressiva redução do uso das matérias-primas, cujo processamento e utilização contribuam para o aumento acelerado da temperatura do planeta.

Ante a possibilidade de redução do uso, instabilidade no fornecimento e previsível falta, no mercado, dos combustíveis fósseis, os países passaram a buscar alternativas sustentáveis, renováveis e limpas. O Brasil assume lugar de destaque nessa busca, sendo hoje o maior produtor de cana-de-açúcar do mercado internacional. Para tanto, vem aperfeiçoando o seu setor sucroalcooleiro, com o objetivo de atender às necessidades internas e externas, exportando a mais alta tecnologia em produção de álcool.

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).

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 vem 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.

São escassos os recursos bibliográficos sobre o desenvolvimento dessa cultura em regime irrigado no Brasil. Entre as pesquisas já realizadas nessa área no país e no exterior, algumas merecem destaque: Coelho et al. (2002a) e Coelho et al. (2002b) estudaram a cultura, em condições diferenciadas de irrigação no cerrado de Minas Gerais; Soares et al. (2004) investigaram os efeitos de cultivos em regime de sequeiro e irrigação, no Estado de Goiás; Wiedenfeld (1995) pesquisou os efeitos da irrigação e da adubação nitrogenada no rendimento e qualidade da cana; Robertson et al. (1999) avaliaram em cultura submetida ao estresse hídrico, impactos relacionados à fisiologia e à produtividade da cana; Keating et al. (1999) estudaram o desenvolvimento e o comportamento da cana, em novos modelos de produção na Austrália. O efeito do estresse hídrico em diferentes estádios de crescimento sobre o rendimento da cultura da cana no Texas, foram estudados por Wiedenfeld (2000). No Nordeste brasileiro, nos tabuleiros costeiros paraibanos, destaca-se o trabalho de Farias (2001) onde o enfoque da pesquisa foi determinar as características de crescimento da cultura, em condições de sequeiro e irrigada, caracterizando, inclusive, o sistema radicular na variedade SP 79 1011. Também na Paraíba, Azevedo (2002) inferiu, em sua pesquisa de doutoramento, sobre os custos de produção da cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011) submetida a variações na lâmina de irrigação dentro de um turno de rega de 12 dias, bem como as variações nos níveis de adubação de cobertura.

Cultivar cana-de-açúcar em tabuleiros costeiros consiste em superar os limites que são impostos pela natureza edafoclimática da região. Os teores de nutrientes no solo são fatores limitantes da produção. O solo, pobre em zinco, dificulta o crescimento e o desenvolvimento da cultura, tornando-se este, um dos fatores limitantes à produção (Alloway, 2004). A irregularidade do inverno tornou-se uma constante na realidade do produtor, o que também limita a produção. Foi dentro desse contexto, e ante aos elevados investimentos em adubações, cada vez mais incrementadas com micronutrientes, que surgiu a idéia de se desenvolver este estudo sobre o efeito da aplicação de zinco, e diferentes lâminas de água de irrigação, bem como, em cana de sequeiro nos tabuleiros costeiros da Paraíba, na tentativa de elucidar qual o comportamento da cultura diante de tal fertilização.

O trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento e desenvolvimento da cana 'SP 79 1011' no tocante às suas características morfofisiológicas e tecnológicas; mais

especificamente, analisar os custos de produção da cultura irrigada, em diferentes níveis de adubação com zinco e lâminas de água de irrigação.

REVISÃO DA 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), Arora & Gajri (2000), Bennett (2000) 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 & Souza (1978), trabalhando com variedades cultivadas no Sul/Sudeste brasileiro, encontraram, como temperatura crítica para o crescimento da cana-de-açúcar, 19-20°C, em culturas não irrigadas, e 18-19°C em culturas irrigadas. Também para Barbieri et al. (1979) e Demétrio & Scárdua (1979) a temperatura base (temperatura abaixo da qual o desenvolvimento pode ser considerado nulo) para a cana-de-açúcar situa-se em torno de 20°C. Fauconier & 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 & 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 Kassan (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.

Para tanto, Doorembos e Kassam (1979) determinaram o coeficiente de cultivo (kc) da cana-de-açúcar. Segundo os autores, o manejo da irrigação pode ser trabalhado conforme os elementos da tabela abaixo. Os autores acrescentam que, para o cultivo da cana-de-açúcar, com irrigação 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.

Tabela 1. Curva de crescimento e coeficientes de cultura para a cultura da cana-de-açúcar

Cobertura vegetal (%)	Duração do período	Kc
0 a 25	0 a 30	0,40
	30 a 45	0,50
	45 a 60	0,60
25 a 50	60 a 80	0,75
	80 a 100	0,85
50 a 75	100 a 125	0,95
75 a 100	125 a 180	1,10
Máxima demanda	180 a 270	1,20
	270 a 300	1,30
Início da senescência	300 a 330	1,00
Maturação	330 a 360	0,60

Adaptado de Doorembos e Kassam (1974)

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 45cm, 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 & Glasziou, 1980). Hayamichi (1988), Ellis & 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 & 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% compõe-se 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 & 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 conseqüência, 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 & 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 genotípicas. 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 & 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.

Em um estudo sobre a aplicação do modelo de Deardorf para simulação do balanço de energia da cultura da cana-de-açúcar com a variedade IAC 87-3396 (ressoca), Rolim et al. (2002) obtiveram para o IAF máximo 4,60. Leme et al. (1984), em estudo com a variedade de cana-de-açúcar CB 47 355, encontraram um IAF máximo de 4,50 para a cana ressoca, corroborando os resultados encontrados por Rolim et al. (2002).

No estudo de Simões et al. (2005), com a variedade SP 80 1842, no quarto ano de cultivo, o IAF máximo foi de 3,38, reduzindo-se no quinto ano para 1,88. Quando a pesquisa foi desenvolvida na safra 00/01 e 01/02, a variedade estudada apresentou IAF com

comportamento sigmoidal. De acordo com o estudo, o autor registrou uma tendência crescente, mesmo na fase de maturação da cultura; no quarto ano, a produtividade foi de 92,77 t ha⁻¹ e, no quinto ano, de 88,63 t ha⁻¹.

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 & 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 seqüência 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 &

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 & Orcutt, 1987).

A fotossíntese é o processo pelo qual se transforma energia solar em energia química, sendo a produtividade das culturas uma função direta da eficiência fotossintética (Larcher, 1995). Lopes et al. (1988) e Richie et al. (1990) são alguns dos pesquisadores que têm investigado a influência do déficit hídrico sobre a eficiência fotossintética de algumas culturas. O déficit hídrico reduz as trocas gasosas, especialmente de CO₂, e sua condução para a folha (Lopes et al., 1988). Com a interrupção do déficit hídrico, as trocas gasosas tendem a voltar ao normal, porém em velocidade lenta (Nobrega, 2000). Para Mota (1983), a recuperação passa a ser lenta, quando a planta se aproxima do ponto de murcha. Mas isso depende de fatores edáficos e do manejo da irrigação, além da espécie envolvida.

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 & Zeiger (1991), o déficit hídrico não é limitado apenas às regiões áridas e semi-áridas. Segundo observaram, mesmo em regiões consideradas climaticamente úmidas, a distribuição irregular das chuvas provoca períodos cuja disponibilidade hídrica limita o crescimento das plantas.

Kramer (1983) observou que o déficit hídrico se desenvolve durante períodos em que a perda de água por transpiração excede os ganhos por absorção. Para ele, o déficit hídrico na cana-de-açúcar pode ser causado tanto pela perda excessiva de água, quanto por uma baixa absorção de água. Pode ocorrer, ainda, pela associação dos dois processos, tendo o fator climático um papel dominante no crescimento da cultura.

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.

Taiz & Zeiger (1991) afirmam que um efeito de considerável importância, em resposta a um déficit hídrico, é a limitação da expansão da área foliar. Segundo eles, o decréscimo da área foliar é a primeira resposta ao déficit hídrico, podendo ser considerado como uma primeira linha de defesa contra a seca. O estresse hídrico não apenas limita o tamanho de cada folha, mas também pode reduzir o número de folhas, tanto pela diminuição no surgimento de novas folhas, como pelo aumento da abscisão foliar (o estresse hídrico provoca maior síntese e maior sensibilidade da planta ao hormônio etileno endógeno).

Segundo Kramer (1983), ocorre aumento da concentração de ácido abscísico em folhas com estresse hídrico, com conseqüente aumento na taxa de queda de folhas. Em algumas variedades de cana-de-açúcar, o dossel foliar entra em colapso e se torna senescente logo no início de uma seca, mas é capaz de rápida regeneração quando a seca é interrompida (Bull & Glasziou, 1975).

Yassen & Al-Omary (1994) afirmam que a redução da área foliar devido ao estresse hídrico pode ser atribuída, principalmente, à redução do número de células e do volume celular. O decréscimo em ambos os processos, segundo esclarecem, é altamente significativo, especialmente em condições de baixo potencial matricial. Os autores também encontraram diferentes respostas em função dos diferentes estádios de crescimento.

Sobre a importância do estágio do crescimento no grau de manifestação do estresse hídrico, também podem ser citados os trabalhos de Grimes et al. (1970) e Vaux Jr. & Pruitt (1983). Estes últimos afirmam que, em algumas culturas, o crescimento em um estágio depende, em parte, das condições de estresse hídrico ocorridas em um estágio anterior. Kleinendorst (1975) cita que, quando ocorre uma situação de estresse prolongado, as paredes celulares podem se tornar muito rígidas, reduzindo a expansão celular quando o turgor volta a aumentar, isto é, quando a situação de estresse acaba.

A relação entre a umidade do solo e o crescimento da cana-de-açúcar foi bastante estudado no Havaí. Em vários trabalhos realizados na primeira metade do século XX foi constatada a diminuição no crescimento da cultura, quando a umidade do solo decrescia

(Wadsworth, 1934a e Wadsworth, 1936b). Para Heck (1934), citado por Richards & Wadleigh (1952), a taxa de crescimento das plantas de cana no campo é significativamente reduzida se a tensão de água no solo sobe de 0,25 a 0,35 atm nos 30 cm superficiais do solo. Wiedenfeld (2000), estudando o efeito do estresse hídrico na cultura da cana-de-açúcar em cinco diferentes estádios (em um ano, com precipitação de 478 mm), observou uma redução de 8,3% a 15% no rendimento da cana, 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.

Robertson et al. (1999), estudando os efeitos do estresse hídrico em três estádios diferentes, na fisiologia e produtividade da cana-de-açúcar, verificaram diferenças de até 53% no rendimento total da biomassa, quando comparado ao tratamento de irrigação plena. O estresse foi realizado no início do ciclo e a avaliação feita aos 125 dias após o plantio. No mesmo experimento, em uma avaliação ocorrida aos 176 dias após o plantio, a redução foi de 78%. Os autores observaram decréscimos de 1,81 para 0,89 no índice de área foliar aos 125 dias após o plantio e de 3,06 para 2,65 aos 176 dias após o plantio.

Submetendo a cana ‘CP 65-357’ a três níveis de irrigação (alto: 95%, médio: 85% e baixo: 65% do conteúdo de água do solo), Wiedenfeld (1995) encontrou diferenças significativas no rendimento e na qualidade da cana, quando submetida a três níveis de irrigação (120; 89 e 70 t ha⁻¹, respectivamente).

Os vegetais são organismos capazes de se adaptar às mais variadas condições de adversidade. Dessa forma, ocorrendo um déficit hídrico de maneira abrupta, pode afetar os mecanismos de ajuste. Plantas cultivadas sob condições ótimas são menos resistentes que aquelas cultivadas sob condições de estresse hídrico. Levitt (1980) demonstrou que, em déficit hídrico, os ajustamentos fisiológicos determinam as respostas adaptativas de ordem morfoanatômicas.

É possível se observar a resposta morfoanatômica da cultura da cana-de-açúcar no trabalho desenvolvido por Robertson et al. (1999); os autores verificaram redução significativa, decorrente do estresse hídrico em alguns índices biométricos e qualitativos como o índice de área foliar, acúmulo de biomassa e rendimento em sacarose. Um período de déficit hídrico, por mais curto que seja, pode dar início a um processo de síntese de ácido abscísico e etileno, provocando a senescência prematura da planta como forma de diminuir a

evapotranspiração (Larcher, 1995). Na Figura 1 está representado o esquema dos efeitos na planta em resposta ao estresse hídrico.

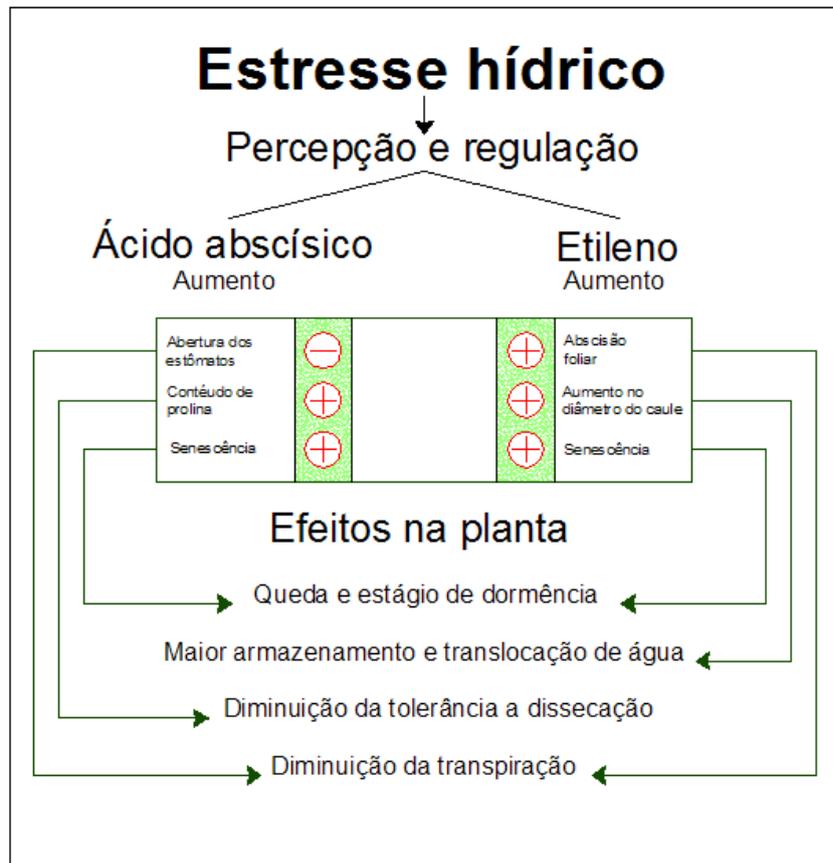


Figura 1. Efeito do estresse hídrico sobre a regulação de fitormônios. Adaptado de Larcher, (1995).

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 ha⁻¹, respectivamente; em relação à pureza, os resultados foram 87%, 86% e 85%, respectivamente. Wiedenfeld (2000), estudando o efeito do estresse hídrico na cultura da cana-de-açúcar em cinco 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.

Robertson e Donaldson (1998) estudaram os efeitos da suspensão da irrigação, por ocasião da colheita, em 37 experimentos realizados no período de 1966 a 1995, no Sul da África e observaram aumento de 10% no rendimento em sacarose da cultura, quando submetida ao “drying-off”. Estudando a cana-de-açúcar submetida a três tratamentos de irrigação (plena, semiplena e déficit severo), Robertson et al. (1999) verificaram queda no rendimento em sacarose com a baixa umidade. Reduziu de 2,79 para 0,91 t ha⁻¹, enquanto que o teor de sacarose decresceu, significativamente, de 0,32 para 0,22.

A condição de estresse hídrico pode ser causada por outros fatores e não apenas pela baixa umidade do solo. A salinidade do solo, por exemplo, pode atuar sobre a planta, de forma a impedir a absorção de água em função da diferença de potencial osmótico entre a planta e o solo. Alguns pesquisadores, como Lingle & Wiegand (1997) e Nelson & Ham (2000), estudaram o efeito da salinidade do solo sobre a qualidade da cana.

Durante décadas, os melhoristas procuraram desenvolver cultivares de cana-de-açúcar que fossem climatologicamente adaptadas às condições de baixa pluviometria das 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 cultivar SP 79 1011. Na mesma safra, 32,2 % do plantio foi realizado com essa cultivar (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).

2.7 FUNÇÕES DE RESPOSTA

2.6.1 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. Pouco se sabe sobre os reais benefícios da irrigação. No entanto, todos comungam da opinião de que, sem irrigação, o setor passaria por sérios problemas de produção.

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 cana 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⁻¹.

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 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.

Coelho et al.(2002a) estudaram a produção da cana-de-açúcar irrigada no cerrado de Minas Gerais, num experimento cujo tratamento de irrigação consistiu de uma lâmina mensal, equivalente à capacidade de campo, e um segundo fator relacionado à época de plantio. Os autores concluíram que, com tal manejo, a cana-de-açúcar plantada em abril e irrigada produziu 113,81t ha⁻¹, contra 52,86t ha⁻¹ de cana não irrigada.

Coelho et al.(2002b) implantaram outro experimento em cana-soca, buscando definir o melhor manejo para o cerrado de Minas Gerais. O estudo consistiu de tratamentos com dois fatores, épocas de corte e irrigação mensal, sendo observada maior resposta à irrigação em setembro, com rendimento de 101,00 t ha⁻¹; para a cana-de-açúcar em regime de sequeiro, o melhor mês foi maio, com rendimento de 57,38 t ha⁻¹.

Em experimento com a variedade SP 79 1011, Azevedo (2002) pesquisou a viabilidade econômica do aumento da lâmina de irrigação em três níveis de adubação nitrogenada. Concluiu que o aumento da lâmina de irrigação (praticada pelo produtor) de 27,5 mm para 48,5 mm tornou-se inviável, no sentido de que o aumento não auferia ao produtor sua máxima

receita líquida. Para ele, os investimentos devem seguir a linha de nutrição e não a do aumento da lâmina de irrigação.

Varela (2002) pesquisou, no Estado da Paraíba, a resposta à irrigação de duas variedades de cana-de-açúcar, SP 79 1011 e SP 71 6949, com aplicação de três tratamentos, em um turno de rega de 12 dias: W1 = 13,8 mm, W2 = 25,5 mm e W3 = 41,3 mm; a formação de perfilhos ocorreu de forma mais intensa na variedade SP 79 1011, independentemente da lâmina, enquanto a mortandade foi mais evidente na variedade SP 71 6949 (em torno de 20%). Na mesma pesquisa foi, também, constatado que a variedade SP 79 1011 desenvolveu mais perfilhos quando submetida ao tratamento com a lâmina W2, enquanto a variedade SP 71 6949 isso ocorreu com a aplicação da lâmina W3; independentemente da variedade. a lâmina de 41,3 mm resultou em um maior crescimento em altura, maior número de folhas, maior taxa de crescimento absoluto e maior rendimento de matéria verde e matéria seca do colmo. Os rendimentos da variedade SP 79 1011, em resposta aos tratamentos aplicados, foram: 67,40; 76,60 e 92,60 t ha⁻¹; e para a cana 'SP 71 6949' foram, respectivamente: 59,00; 65,90 e 86,00 t ha⁻¹.

Estudando a resposta da cultura, em regime irrigado e não-irrigado, 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.

Pesquisando a variedade SP 79 1011, primeira soca, nos tabuleiros costeiros da Paraíba, Figueiredo (2004) verificou uma queda de 6,06% na população de colmos em relação ao ano anterior, estudado por Azevedo (2002). Verificou também que a maior lâmina, ou seja, 48,5 mm, proporcionou a menor população de colmos (62.407) em relação à lâmina de 27,5 mm (91.203). O mesmo comportamento foi observado para a altura dos colmos. Com isso, Figueiredo (2004) comprovou que a lâmina mais econômica foi a de 27,5 mm mensais, haja vista a sua produtividade (104,23 t ha⁻¹), em relação à lâmina de 48,5 mm, com produtividade de 55,85 t ha⁻¹. O montante de água aplicada, somada à precipitação efetiva de 1.164 mm, equivalente ao tratamento com a lâmina de 27,5 mm de água, foi a melhor opção para aquele ano; no tratamento em que foi aplicada uma lâmina de 1.343 mm (48,5 mm de irrigação, somada à precipitação efetiva), a produtividade foi bem inferior.

Pedrosa et al. (2005), em um estudo com a variedade SP 79 1011, na fase de soca, nos tabuleiros costeiros da Paraíba, submetem essa variedade a três diferentes níveis de irrigação (13,8; 27,5 e 48,5 mm) e de adubação; não foram encontradas diferenças significativas no peso médio dos colmos, que variou de 0,99 a 1,09 kg/colmo tomando-se como base a irrigação praticada pelo produtor (27,5 mm).

Carvalho (2003) estudou a “terceira folha” da variedade SP 79 1011, aplicando 276 kg ha⁻¹ de adubação de cobertura (nível 1 de adubação) e 48,5 mm mensais (nível 3 de irrigação); foram alcançados os maiores valores de número de colmos, comprimento e peso de colmos, rendimento bruto de açúcar e rendimento bruto de álcool. Estudando a variedade MZE 74-275 sob regime de irrigação, Torres (1998) constatou uma produtividade variando de 131 a 147 t ha⁻¹, variando o rendimento em termos de TPH, de 16,1 a 18,1 t ha⁻¹.

A viabilidade da irrigação complementar da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo foi o tema central da pesquisa de Frizzone et al. (2001), que constataram potencial técnico e econômico desse modo de irrigação, com aumento na produtividade de até 20 t ha⁻¹, no entanto, observaram ser inviável a irrigação complementar em alguns períodos do ano, citando, como exemplo, o caso dos produtores paulistas que irrigam no período que vai de setembro a novembro. Para os autores, existe viabilidade técnica e econômica na irrigação suplementar de cana-soca do início até meados da safra, considerando os benefícios diretos do aumento da produtividade agrícola e da longevidade das soqueiras. Outros autores realizaram pesquisas demonstrando a importância da função de resposta na avaliação econômica de diferentes níveis de água na produção agrícola, destacando-se dentre eles: Hexen & Heady (1978), English (1990), Helweg (1991), Frizzone (1998) e Liu et al. (2002).

Para Hargreaves & Samani (1984) o trecho da curva da relação entre produção e água, aplicada até 50% da quantidade necessária que resulta na produção máxima, pode ser considerado uma reta. A partir daí, os acréscimos de água aplicados correspondem a acréscimos progressivamente menores na produção, até o ponto de máxima, a partir do qual os acréscimos na produção são negativos.

O modelo computacional SWAP 93 simula o balanço de água no solo cultivado com cana-de-açúcar num período de seis anos e foi utilizado por Qureshi et al. (2002), com o objetivo de desenvolver um esquema eficiente de manejo de irrigação para o Sindh,

Paquistão. Doze tratamentos de irrigação foram simulados, combinando quatro lâminas de irrigação (900, 1.200, 1.650 e 1.800mm) e três turnos de irrigação (7, 10 e 15 dias). Uma função de resposta da água foi desenvolvida para estimar a produtividade da cana-de-açúcar irrigada e determinar o uso eficiente da água, constatando-se que a otimização da produtividade e da eficiência do uso da água ocorreu quando foi utilizada uma lâmina de 1.600 mm com turno de irrigação de 15 dias.

Quanto mais a quantidade de água aplicada se aproxima da irrigação sem déficit, menos eficiente é a irrigação (English, 1990). O declínio da curva de produção, a partir do ponto máximo, deve-se à diminuição da aeração do solo, à lixiviação dos nutrientes e a doenças associadas com o solo úmido (Stegman et al., 1980).

Para Frizzone (1993), a representação gráfica dos custos de operação e aplicação de água é uma reta, enquanto a da função que representa a receita líquida é uma curva. Para o autor, a quantidade de água que proporciona a receita líquida máxima é inferior à quantidade de água que proporciona a máxima produção. Assim, dependendo do nível tecnológico, para um mesmo volume de água utilizado em três situações de eficiência tecnológica decrescente, obtém-se, em consequência, menor eficiência econômica e menor produtividade marginal.

Estudando a agricultura em regiões úmidas, Frizzone (1993) verificou que, em tais condições, a precipitação pluviométrica garante parte da produção agrícola. Esse fato não se verifica nas regiões áridas e semi-áridas. Em consequência, a representação gráfica da receita líquida, em função do volume de água disponível derivado para irrigação, sofre uma mudança na origem. Nesse caso, a receita líquida proporcionada pela água de irrigação só representa parte da receita total da atividade agrícola, cujo V (volume aplicado pela irrigação) é igual a V_2 (volume total de água utilizada pela cultura) menos V_1 (volume de água proveniente da precipitação efetiva).

Souza et al. (1999), trabalhando com três variedades de cana (RB 72 454; RB 76 5418 e SP 70 1011) irrigadas por aspersão, via canhão hidráulico, durante o período de agosto de 1995 a outubro de 1996, obtiveram produtividades de colmos máximas de 155,8; 126,9 e 141,9 t ha⁻¹ com lâminas totais (precipitação efetiva mais irrigação) de água de 1.568, 1.424 e 1.589 mm; as produtividades máximas de açúcar foram estimadas em 20,7; 17,1 e 19,3 t ha⁻¹ para lâminas totais de água de 1.678; 1.474 e 1.602 mm, respectivamente.

Quando a função de produção é baseada na lâmina de água aplicada, as conclusões, freqüentemente, se restringem ao local onde foi desenvolvido o experimento (Hexem e Heady, 1978). Stewart e Hagan (1974) já entendiam que, embora a evapotranspiração fosse o parâmetro hídrico associado mais diretamente à produtividade das culturas, a lâmina via sistema de irrigação era a variável independente que mais interessava aos engenheiros, irrigantes e economistas.

Batchelor et al. (1990) estudaram, nas Ilhas Maurício, em solo argiloso e com problemas graves de ferro, a cultura da cana submetida a quatro tratamentos diferenciados: cultura de sequeiro, 50% da ETc; 100% da ETc e 150% da ETc; no ano em que se realizou a pesquisa com uma soca de planta, os volumes de água de irrigação foram, respectivamente, 544 (precipitação efetiva), 357, 798 e 1.371 mm. Os autores concluíram que, para o período, o rendimento médio dos tratamentos aplicados foram: 105,5; 113; 144 e 137 t ha⁻¹, respectivamente. Obtiveram, ainda, diferenças significativas em termos de altura da planta, quando foram aplicados 150% da ETc (2,65 m) em relação ao tratamento de 100% da ETc (2,40 m), uma diferença de cerca de 25 cm de altura.

2.6.2 Energia e água *versus* irrigação: tarifações

Todas as discussões sobre manejo, receita bruta, custos de produção e receitas líquidas partem do princípio de que um dos insumos de custo mais elevado na irrigação é a energia. Porém, para Melo e Carvalho (2000), existem formas de redução nos gastos de energia elétrica mediante uma simples mudança na tarifa adotada pela empresa; de acordo com a classificação feita pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em 1981, os consumidores atendidos por rede trifásica com transformadores entre 112,5 e 1000 kVA estão enquadrados no grupo A. Para esse tipo de consumidor, é cobrada, além do consumo, a demanda, conforme a equação abaixo:

$$CF(R\$) = \frac{(C.Tc) + (D.Td)}{0,82} \quad \text{eq. (1)}$$

Onde: CF representa o custo final em R\$; C equivale ao consumo em kWh; Tc é a tarifa de

energia elétrica; D é a demanda e Td e a tarifa da demanda, em kW.

Para Melo e Carvalho (2000) o cálculo da demanda pode ser efetuado utilizando-se a equação:

$$D = \frac{Pn \cdot 0,736 \cdot IC}{\eta} \quad \text{eq. (2)}$$

Onde: Pn é a potência nominal em cv; IC é o índice de carregamento (adimensional) e η é o rendimento do motor (decimal).

Outro insumo de custo bastante elevado é a água, tendo em vista que, para fazer irrigação, o produtor deve contar com um grande volume hídrico por lâmina de irrigação. Carramaschi et al. (2000) afirmam que é difícil determinar valor a um recurso natural, embora reconheçam que esse valor exista, na medida em que seu uso altera o nível de produção e de consumo. Segundo os autores, o preço da água para a classe patronal irrigante varia entre R\$ 0,0015 m⁻³ a R\$ 0,2250 m⁻³.

2.7 ZINCO: PAPEL E MECANISMO DE ABSORÇÃO

Em seus estudos, diversos autores comprovaram a fragilidade dos solos dos tabuleiros costeiros do Nordeste. Farias et al. (2004a e 2004b), estudando a viabilidade química dos solos dos tabuleiros costeiros da Paraíba para o cultivo da cana-de-açúcar, bem como a variabilidade e seu grau de dependência espacial, observaram a baixa fertilidade desse tipo de solo.

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, 1991). 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 cultura. Segundo Andreis (1975), apud Orlando Filho (1983), em cada tonelada de colmos de cana-de-açúcar são exportados 2,3 g de zinco.

Para Pelegrino et al. (1962), a variedade Co 419 consegue extrair até $4,5 \text{ g t}^{-1}$ de zinco em uma marcha de absorção crescente até o 14º mês de cultivo. Orlando Filho et al. (1980) verificaram que a variedade CB 41 76 exporta, na fase de planta, até $4,76 \text{ g de Zn t}^{-1}$ de colmos, decrescendo na fase de soca, para $3,49 \text{ g de Zn t}^{-1}$ de colmo. Segundo os estudos de extração e exportação, de nutrientes pela cana-de-açúcar, realizados por Orlando Filho (1993), citado por Vitti (2003), em colmos e folhas da cana-de-açúcar se concentram cerca de 592 g para cada 100 t de colmos ou $5,92 \text{ g de Zn t}^{-1}$ de colmos.

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.

Lindsay (1972), citado por Santos et al. (2002), enfatiza que a solubilidade do zinco no solo é altamente dependente do pH, decrescendo cem vezes para cada aumento na unidade do pH. Esse resultado foi, também, apontado por Basta et al. (1992), ao observarem que o pH exerce forte influência sobre a retenção dos metais no solo, sendo esta maior em pH mais elevado.

Para Hart et al. (1998), a absorção do íon Zn^{2+} por duas cultivares de trigo foi severamente afetada por baixas temperaturas e altas concentrações de cálcio. Para os autores, a inibição da absorção do Zn^{2+} , em baixas temperaturas, sugere um sistema de transporte metabólico, por ser o fluxo interno de zinco no sistema radicular via simplástica. Decaro et al. (1983) estudaram os efeitos de doses e fontes de zinco na cultura do milho, registrando os seus efeitos positivos na altura das plantas.

Pelos estudos de Kochian (1993), citado por Hart et al. (1998), 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.

Em estudos sobre as interações entre zinco, boro e nitrogênio na produtividade do milho, Soares (2003) observou que o zinco não interferiu de forma significativa em índices como: número de folhas, índice de área foliar, comprimento do primeiro internódio do colmo e matéria seca do pendão. Quando conduziu o experimento em regime irrigado (dados de irrigação não divulgados), as doses testadas de zinco (2, 4, 8 e 16 kg ha⁻¹) não influenciaram os componentes de produção da cultura do milho, isto é, não houve efeito da adubação com zinco sobre a produtividade.

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 GENÓTIPO

A pesquisa foi desenvolvida com a cultivar SP 79-1011 de 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).

3.2. LOCALIZAÇÃO E ESQUEMA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido na Fazenda Capim II (latitude 6°54'59,88"S, longitude 35°09'17,86"O e altitude de 121 m), localizada no município de Capim/PB, conforme ilustrações das figuras a seguir. A fazenda situa-se sobre a bacia hidrográfica do Litoral Norte da Paraíba, sub-bacia 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 é de propriedade da 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”.

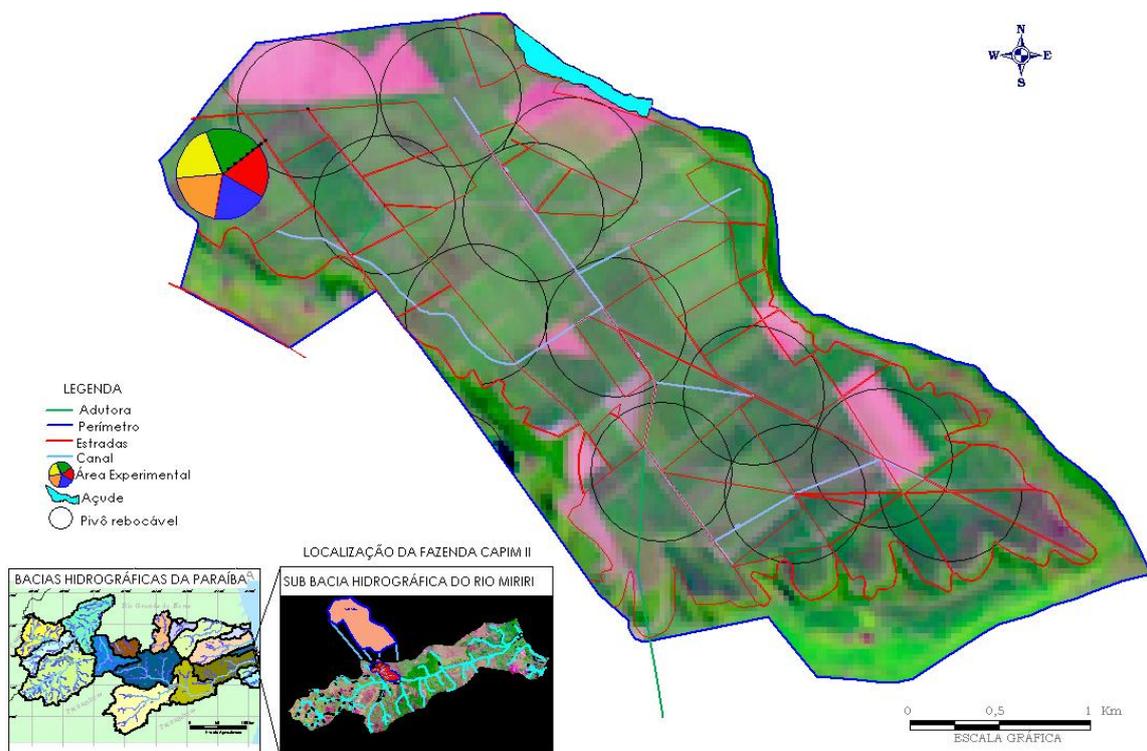


Figura 2. Mapa de localização da Fazenda Capim II e seu posicionamento na bacia hidrográfica, com destaque para a área experimental. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

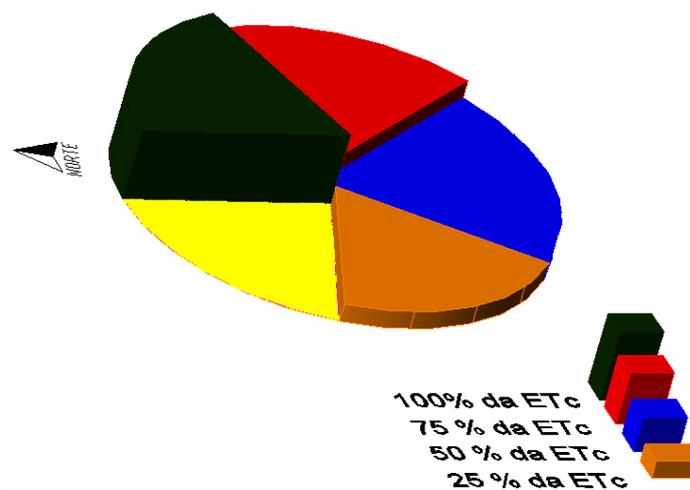


Figura 3. Croqui da área do experimento, com destaque para os setores de irrigação e suas lâminas correspondentes. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

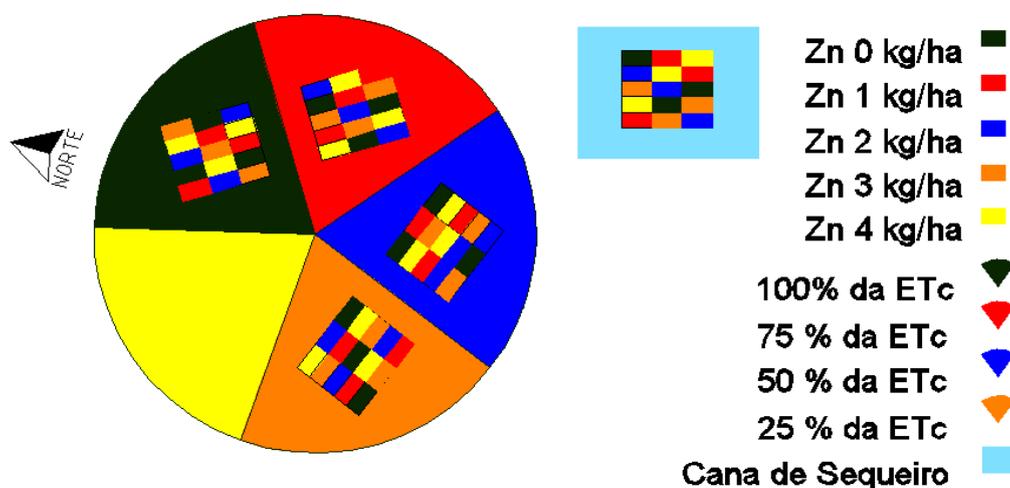


Figura 4. Croqui da área do experimento, com destaque para os níveis de adubação com zinco. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Estudou-se, nesta pesquisa, o efeito das lâminas de água de irrigação em termos de fração da ETc (sequeiro, 25 % da ETc, 50% da ETc, 75% da ETc e 100% da ETc.). 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 5 x 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).

As parcelas montadas para o estudo foram formadas por 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.

3.3 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 Köppen.

Tabela 2. Análise físico-hídrica do solo da área experimental. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Características físicas do solo	Profundidade (cm)		
	0 – 20	21 – 50	51 – 100
Granulometria (%)			
Areia	73,0	68,86	55,64
Silte	3,75	3,77	9,86
Argila	23,25	27,37	33,50
Textura	FAA	FAA	FAA
Densidade (g/cm ³)			
Aparente	1,40	1,40	1,33
Real	2,71	2,67	2,66
Porosidade (%)	48,33	47,56	50,00
Umidade natural			
Umidade (%)			
0,33 atm	6,37	9,37	14,84
15,00 atm	3,88	5,69	9,11
Água disponível	2,49	3,68	5,73

Tabela 3. Análise química do solo da área experimental. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Características Químicas do solo	Profundidade (cm)		
	0 – 20	21 – 50	51 – 100
Cálcio ¹	1,97	1,45	1,51
Magnésio ¹	2,46	3,19	3,85
Sódio ¹	0,01	0,01	0,01
Potássio ¹	0,01	0,02	0,005
Soma de bases ¹	4,45	4,67	3,87
Hidrogênio ¹	0,79	0,92	0,26
Alumínio ¹	0,20	0,40	0,40
CTC ¹	5,44	5,99	6,03
Carbono orgânico ²	0,40	0,41	0,38
Matéria orgânica ²	0,69	0,71	0,65
Nitrogênio ²	0,04	0,04	0,03
Fósforo ³	1,14	0,75	0,08

pH (H ₂ O)	6,8	5,36	4,71
CE ⁴	0,13	0,10	0,08
Zinco ⁵	0,90	0,8	0,5
Cobre ⁵	1,40	1,20	1,00
Ferro ⁵	120,00	140,00	155,00
Manganês ⁵	2,50	1,50	0,90

¹ meq/100g de solo; ² %; ³ mg/100g de solo; ⁴ mmhos/cm. 5- mg kg⁻¹.

3.4 IRRIGAÇÃO

3.4.1 Qualidade da água

As amostras de água foram analisadas pelo Laboratório de Irrigação e Salinidade do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande. Na Tabela 4 encontram-se expressos os resultados da análise da qualidade da água, classificada como de baixa salinidade, portanto, com pouca probabilidade de ocasionar problemas de salinidade .

Tabela 4. Análise química da água utilizada na irrigação da área do experimento

Características químicas da água	
pH	6,20
Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	110
Cálcio (meq L^{-1})	0,22
Magnésio (meq L^{-1})	0,43
Sódio (meq L^{-1})	0,55
Potássio (meq L^{-1})	0,07
Cloretos (meq L^{-1})	0,65
Sulfatos (meq L^{-1})	Ausência
Bicarbonatos (meq L^{-1})	0,23
Carbonatos (meq L^{-1})	0,00
Relação de adsorção de sódio - RAS (mmol L^{-1}) ^{1/2}	0,96
Classe de água	C ₁

3.4.2 Características do equipamento

A irrigação se deu via pivô central fixo (Figuras 5 e 42 do apêndice). 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 $172,8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.



Figura 5. Imagem da área do experimento irrigado via pivô central fixo, com destaque para o emissor tipo “rotator”

3.4.3 Avaliação do sistema de irrigação

O ensaio de precipitação permitiu que se conhecesse a 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 (Figura 38 no apêndice) além de possibilitar a formação da curva de controle, velocidade versus lâmina bruta (Figura 39 no apêndice). A construção da tabela de controle se deu após o ensaio, sendo determinada a vazão do pivô (hidrômetro instalado na entrada do pivô). Determinou-se, também, o raio irrigado em metros, contando com o canhão hidráulico no lance final (Figura 5). O levantamento de campo possibilitou o cálculo matemático do tempo de giro (T_g) quando o relé percentímetro estava regulado em 100%, conforme equação (3).

$$Tg = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{V} \quad \text{eq. (3)}$$

Onde: r é o raio do pivô até a última torre em metros e V é a velocidade do pivô (última torre) em m h^{-1} .

A determinação da lâmina bruta aplicada pelo equipamento, quando regulado em 100%, foi feita conforme a equação a seguir:

$$Lb = \frac{Q \cdot Tg}{10 \cdot A} \quad \text{eq. (4)}$$

Onde: Q é a vazão em $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ e A é a área irrigada (ha).

A determinação da uniformidade de distribuição foi fundamental para se avaliar eficiência na distribuição da água, ao longo da linha lateral do pivô, possibilitando a melhor localização dos blocos e das parcelas de adubação. A uniformidade de distribuição foi calculada, conforme descrito por Frizzone e Dourado Neto (2003), utilizando-se seguinte equação:

$$CUC = 100 \cdot \left[1 - \frac{\left(\frac{\sum_{i=1}^n i Y_i - \frac{\sum_{i=1}^n Y_i \cdot i}{\sum_{i=1}^n i}}{\sum_{i=1}^n Y_i \cdot i} \right)^2}{\sum_{i=1}^n Y_i \cdot i} \right] \quad \text{eq. (5)}$$

Onde: CUC é o coeficiente de uniformidade de Christianssen; i é o i -ésimo coletor e Y_i , lâmina coletada em mm no i -ésimo coletor.

Para que fosse possível a aplicação correta da lâmina de irrigação no momento dos eventos equivalentes aos tratamentos de irrigação, a cada nove dias, tornou-se fundamental o cálculo da eficiência em potencial de aplicação do pivô central utilizado. O procedimento de cálculo se deu conforme a seguinte equação:

$$E_{PA} = \frac{L_{R(100\%)}}{L_{B(100\%)}} \quad \text{eq. (6)}$$

Onde: L_R é a lâmina real (mm) e L_B é a lâmina bruta (mm)

3.5 BALANÇO HÍDRICO E MANEJO DE IRRIGAÇÃO

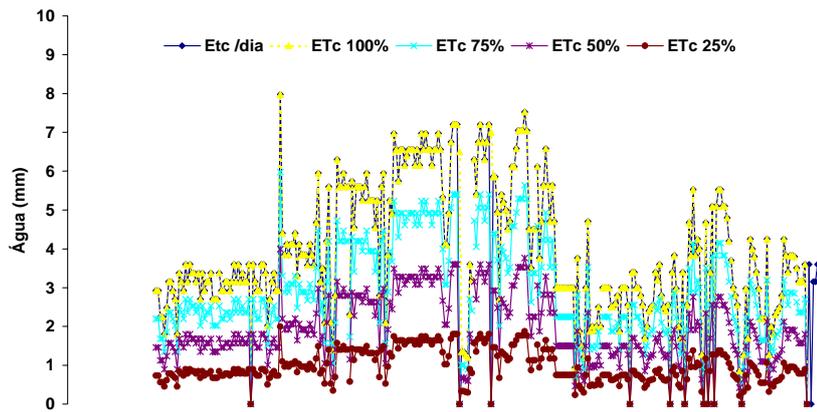
As lâminas de irrigação foram determinadas a partir da evapotranspiração de referência (ET_o), utilizando-se como base para o cálculo o tanque “classe A” com um coeficiente de correção de tanque (K_p) de 0,75. Os níveis de irrigação foram definidos em termos percentuais, em relação à evapotranspiração da cultura (ET_c). As irrigações foram realizadas em um turno de rega de nove dias. Na Figura 6A está representado, graficamente, o manejo adotado ao longo do ano de cultivo, destacando-se a ET_c (mm dia^{-1}), a lâmina aplicada em cada tratamento, a precipitação total e os padrões climáticos da região.

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 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.

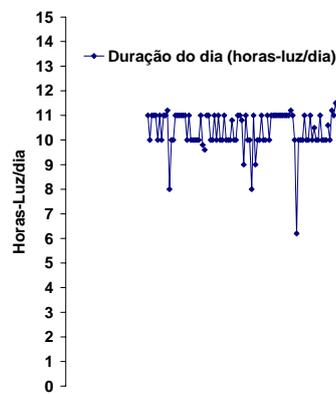
No quadro 1 estão expostas as lâminas de irrigação aplicadas ao longo do ano de cultivo, bem como as respectivas precipitações efetivas calculadas conforme descrito. Nota-se que as precipitações totalizaram 1.100 mm e que o total de água aplicado nos tratamentos que receberam 25, 50, 75 e 100% da ET_c foram bastante aproximados. Isso deve-se, provavelmente, ao fato de que, todo o período de chuva ocorreu em apenas três meses.

Quadro 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, 2005

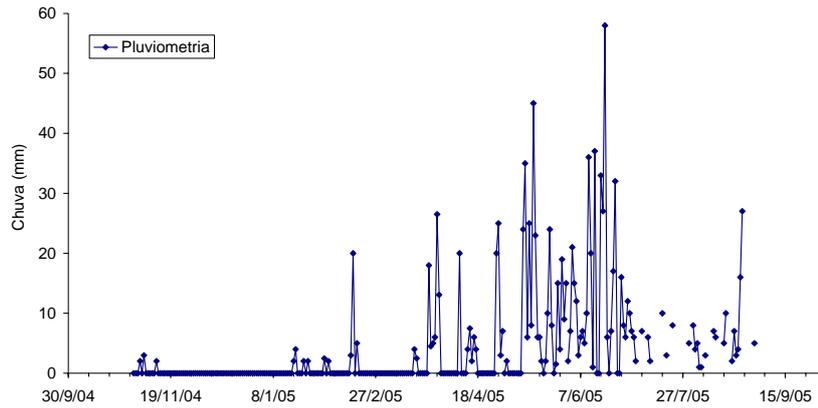
Tratamento de irrigação	Lâmina aplicada (mm)	Precipitação efetiva (mm)	Lâmina total aplicada à cultura	Precipitação total no ano de cultivo
Sequeiro	0	780,06	780,06	1.100 mm
25 % da ETc	256,64	731,31	987,95	
50 % da ETc	513,29	487,54	1.000,83	
75 % da ETc	769,93	243,77	1.013,70	
100 % da ETc	1.026,57	194,51	1.221,08	



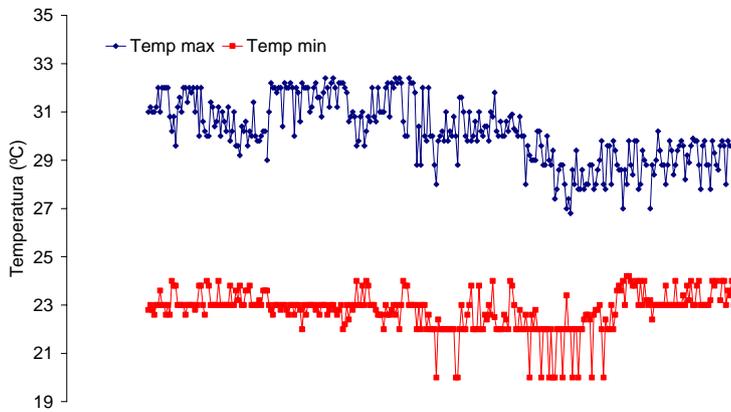
(A)



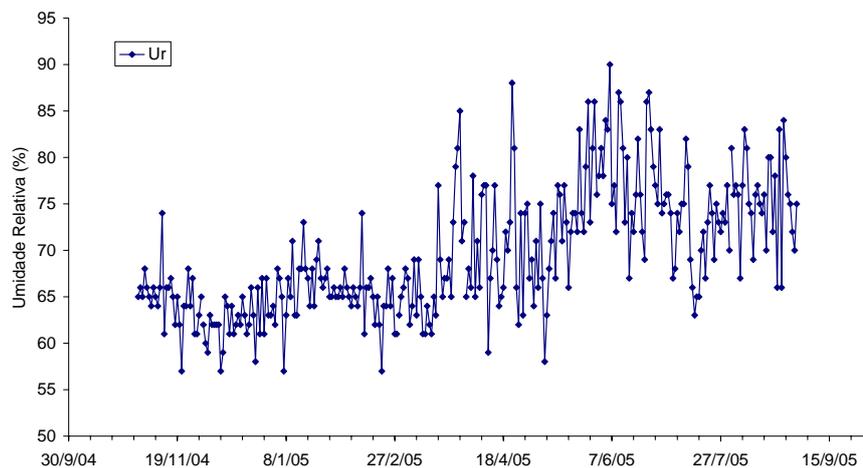
(B)



(C)



(D)



(E)

Figura 6. (A) água aplicada na irrigação, (B) horas de luz por dia, (C) pluviometria (mm), (D) temperaturas máxima e mínima, (E) umidade relativa do ar (%). Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

3.6 TRATOS CULTURAIS

Ao longo do cultivo foram realizados os tratos 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.

3.7 AMOSTRAGENS

Os dados foram coletados aos 90, 120, 150, 180, 210, 270 e 360 dias após a brotação. As amostras, do tipo destrutiva, consistiram de cinco plantas (secundárias e representativas da média padrão do tratamento, escolhidas com um auxílio de um paquímetro) tomadas aleatoriamente nas três repetições. No final do ano de cultivo, aos 12 meses de idade, foi também realizado o corte comercial em cada parcela do experimento, sendo a pesagem feita em balança tipo dinamômetro.

3.8 DESENVOLVIMENTO E CRESCIMENTO

Com o objetivo de se avaliar o efeito conjunto dos tratamentos sobre as variáveis fisiológicas de produção (mês a mês, ao longo do 2º ano de cultivo, cana soca) e econômicas, por ocasião do corte comercial, foram coletados dados a partir dos 90 dias após a brotação (DAB) para a realização das análises fisiológicas do crescimento.

As variáveis analisadas foram: número médio de plantas por metro, altura média de plantas, área foliar média, fitomassa total, fitomassa das folhas, fitomassa dos colmos, rendimento da cultura, taxa de crescimento absoluto, taxa de crescimento relativo, taxa de assimilação líquida, razão de área foliar e partição de assimilados.

A última coleta de dados, aos 360 dias após a brotação, foi tomada como base para a discussão econômica dos custos de produção da cana-de-açúcar, dentro de cada tratamento analisado. O rendimento da cultura e os lucros brutos de cada tratamento

foram avaliados, tanto contabilmente, como pela estimativa da função de resposta da cultura aos tratamentos.

A análise de crescimento de uma planta envolve diversos parâmetros sendo a área foliar e o peso de fitomassa dois dos mais importantes. Na determinação 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.

3.8.1 Perfilhamento e produtividade

Para avaliação do comportamento da cultura quanto à brotação das gemas, bem como da produtividade da cultura durante o ciclo foi realizada a contagem de perfilhos por repetição (em cinco metros lineares) em cada parcela. No que diz respeito à produtividade, a determinação foi realizada ao final do ciclo pesando a cana dos 70 m lineares da parcela útil (utilizando um dinamômetro com capacidade de 1.000,00 kg).

3.8.2 Fenologia da planta

Em todas as coletas, foram feitas determinações da altura das plantas (entendendo-se que a altura compreende o espaço 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.

3.8.3 Fitomassa da parte aérea

De acordo com Hunt (1982), a análise fisiológica do crescimento só é possível, caso seja determinada a quantidade de matéria seca da planta. Com esse intuito, em laboratório, foram separados os colmos (C), as lâminas foliares (F) e as bainhas (B), para posterior determinação da matéria seca total de cada amostra, em estufa de circulação forçada a 65°C, durante cinco dias. O peso da fitomassa total foi calculado pela soma de peso das partes.

3.8.4 Índice de área foliar

Watson (1947) introduziu o conceito de índice de área foliar (IAF), definindo-o como sendo a área foliar produzida por unidade de área sombreada ($m^2 m^{-2}$ ou $cm^2 cm^{-2}$ ou ainda $dm^2 dm^{-2}$), resultando na equação 10, utilizada para determinar o IAF.

$$IAF = \frac{A_F}{AT_S} \quad \text{eq. (7)}$$

Onde: A_F é a área foliar; AT_S é a área total sombreada pela cultura

3.9 ÍNDICES TECNOLÓGICOS

3.9.1 Sólidos solúveis totais

A determinação dos sólidos totais dissolvidos, ou °brix do caldo, foi efetuada em refratômetro digital da marca Acatec, modelo RDA 8600, provido de correção automática de temperatura e ajuste de campo com saída para ajuste magnético. O valor final foi expresso a 20°C. O funcionamento do equipamento é baseado na relação entre incidência e refração da luz, qual seja:

$$M = \frac{Sen i}{Sen r} \quad \text{eq. (8)}$$

Onde: M = índice de refração; $Sen i$ = seno do ângulo de incidência e $Sen r$ = seno do ângulo de refração.

3.9.2 Sacarose: Pol do caldo extraído

A determinação da pol (%) foi efetuada com um sacarímetro automático Acatec, modelo SDA 2500. Os sacarímetros são equipamentos que determinam a concentração de açúcares opticamente ativos, como a sacarose. São baseados em princípios físicos fundamentados na propriedade da luz e na sua natureza ondulatória. A base para as medidas sacarimétricas é a equação conhecida como lei de Biot (Caldas, 1998), a seguir apresentada:

$$C = \frac{100 \cdot \alpha}{l \cdot \alpha^T \cdot \lambda} \quad \text{eq. (9)}$$

Onde: C = concentração da atmosfera; α = ângulo de rotação do plano de vibração da luz polarizada; l = comprimento da coluna iluminada de líquido; $\alpha^T \cdot \lambda$ = rotação específica.

Após a leitura realizada pelo sacarímetro, é feita a correção na leitura sacarimétrica. Esta, por sua vez, é obtida quando o equipamento estiver com temperatura ambiente interna em torno de 20°C. A correção se dará através da seguinte equação de ajuste:

$$L_{\text{corrigida}} = L \cdot [1 + 0,000255(T - 20)] \quad \text{eq. (10)}$$

Onde: L = leitura sem correção, T = temperatura do laboratório e $L_{\text{corrigida}}$ = pol do caldo extraído (%).

3.9.3 Fibra industrial da cana

O cálculo da fibra industrial (%) da cana é baseado na correlação entre resíduo fibroso e a fibra industrial da cana, determinada, experimentalmente, pela seguinte equação (CRSPCTS/PB, 1997):

$$FI\%_{\text{CANA}} = \frac{(100 \cdot Ps) \cdot (Pu \cdot b)}{5 \cdot (100 - b)} \quad \text{eq. (11)}$$

Onde: Ps = peso do bolo seco em estufa a 105°C; Pu = peso do bolo úmido (resíduo fibroso) e b = brix do caldo extraído.

3.9.4 Pureza do caldo extraído

A pureza do caldo (%) é uma variável calculada com a percentagem de sólidos solúveis totais no caldo extraído. Após a determinação dos valores de pol e °brix (Berding et al., 1991a; Berding et al., 1991b; Caldas, 1998 e CRSPCTS/PB, 1997), foi expressa pela equação.

$$\text{Pureza} = \frac{\text{Pol}\%_{\text{caldo}}}{\text{Brix}\%_{\text{caldo}}} \cdot 100 \quad \text{eq. (12)}$$

3.9.5 Pol da cana corrigida

O pol da cana corrigida (PCC) é um índice (%) que determina o valor da tonelada de cana. Caso o PCC seja elevado, o preço da cana pode subir a patamares mais elevados. Ao contrário, se o PCC for baixo, o preço da cana pode cair. É o que se denomina de ágio ou deságio. Sua determinação dar-se-á através da equação seguinte:

$$PCC = L_{\text{corrigida}} \cdot (1 - 0,01 \cdot f) \cdot c \quad \text{eq. (13)}$$

onde: $L_{\text{corrigida}}$ = pol do caldo extraído (%), f = fibra industrial % da cana e $c = 0,955$, fator de transformação da pol do caldo extraído em pol do caldo absoluto.

3.10 ANÁLISE ECONÔMICA DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO

Todos os gastos com insumos e aplicações foram criteriosamente registrados ao longo do ano de cultivo (Quadros I a V do apêndice). Dessa forma, foi possível estabelecer uma função que representasse a melhor resposta física e econômica da cultura da cana-de-açúcar aos tratamentos estudados. Os dados foram tratados de acordo com a metodologia proposta por Frizzone (1993). Para a construção da função, alguns dados de entrada foram necessários, quais sejam:

- Preço de venda da cana em kg de ATR ha^{-1} - P_C .
- Preço de um kg de zinco na forma de sulfato de zinco heptaidratado ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) - P_{Zn} .
- Preço da água - P_A .
- Custo parcial da cultura - C_O .

A valoração da cana pode ser entendida de duas formas: uma, como sendo cana de fornecedor e, outra, como sendo cana própria. Neste último caso, o valor da cana passa a ser agregado e discutido em termos de litros de álcool ha^{-1} . No entanto, os custos serão aqui discutidos como sendo cana de fornecedor.

Para que compor o preço final de venda da tonelada de cana, os dados tecnológicos fornecidos pelo laboratório foram convertidos em açúcares totais recuperáveis (ATR), o produto final. O rendimento bruto em ATR foi calculado de

acordo com a metodologia apresentada pelo Consecana, segundo Burnquist (1999), e utilizada na Destilaria Miriri, conforme a seguinte equação:

$$P_C = ATR \cdot VART \cdot (P\%) \quad \text{eq. (14)}$$

onde: P_C é o valor base para a cana, em reais por tonelada posta na esteira da unidade industrial; ATR é o teor de açúcares totais recuperáveis; $VATR$ é o preço médio de um kg de ATR; $P\%$ é a participação média do produtor no teor ATR da cana entregue. Essa participação é dada por:

$$ATR = (10 \cdot 0,88 \cdot 1,0526 \cdot PC) + (10 \cdot 0,88 \cdot AR) \quad \text{eq. (15)}$$

$$AR = (9,9408 - 0,1049 \cdot P_{za}) \cdot (1 - 0,01 \cdot F) \cdot (1,0313 - 0,00575 \cdot F) \quad \text{eq. (16)}$$

Onde: PC é a pol% da cana pelo método da sonda e prensa hidráulica; AR são os açúcares redutores, em %; P_{za} é a pureza do caldo extraído da cana e F é o teor de fibra.

Na composição dos custos, o fator “adubação” (P_{Zn}) foi expresso em R\$ kg⁻¹ de zinco. O fator “lâmina” (P_L) foi calculado em R\$ mm⁻¹ ha⁻¹, tendo sido computados todos os gastos com água e energia. Nesse sentido, a valoração da água foi computada em R\$ 0,005 m⁻³ e o valor da energia foi computado como sendo R\$ 0,14 kwh⁻¹, mais impostos para o consumidor do “grupo A”, com transformadores de 12,5 a 1000 kVA. O custo parcial da cultura (C_o) em R\$ t⁻¹ consta de todos os outros custos de produção, incluindo: mão-de-obra, encargos, corte, colheita, transporte, distância da área de cana para a usina, equipamento de proteção individual (EPI), tratamentos culturais (insumos) e remuneração de capital.

A remuneração do capital incide sobre o capital total investido. Nesse caso, por ser a cana-de-açúcar uma cultura considerada permanente, atribuir-se-á à mesma, conforme Koczkoday (2005), uma duração mínima de quatro anos para a composição do cálculo da exaustão da cultura. No entanto, o autor prevê taxas para o cálculo da exaustão diferenciadas, em função da produtividade de uma safra para a outra. Tal fato encontra embasamento nos princípios citados pela Receita Federal (2005), quando afirma que “o custo de aquisição ou de formação deverá ser recuperado através da exaustão, calculada em função do volume extraído em cada período, confrontado com a produção total esperada, englobando os diversos cortes esperados”.

Isto posto, o cálculo da exaustão da cultura levou em consideração as perspectivas de produtividade da cultura em cada tratamento aplicado. Assim, fa-se-á uma estimativa de exaustão de sete anos, quando a cana-de-açúcar for irrigada com 100% da ETc; de cinco anos, quando for irrigada com 75%, 50% e 25 % da ETc, e de quatro anos para a cana cultivada em regime de sequeiro.

3.10.1 Modelo contendo um único fator como variável independente

A função de produção contendo somente um fator como variável independente é um polinômio de segundo grau. Foi determinada através da análise de regressão dos dados finais de rendimento da cana-de-açúcar, em t ha⁻¹, conforme a seguinte equação:

$$Z_p = a + bX + cX^2 \quad \text{eq. (17)}$$

Onde: Z_p é a produtividade da cana em t ha⁻¹; X é o fator variável independente (em mm quando for água e em kg quando for adubação com zinco); a , b , e c são os coeficientes da função de produção.

3.10.2 Determinação dos pontos de máximo rendimento físico e líquido

Para possibilitar a determinação dos níveis do fator variável, seja lâmina de irrigação ou níveis de adubação com zinco, que proporcione a máxima produção (F_m) e a máxima receita líquida (F^*), foram deduzidas as seguintes equações:

$$F_m = \frac{-b}{(2 \cdot c)} \quad \text{eq. (18)}$$

$$F^* = \frac{(C_F - P_C \cdot b)}{2 \cdot P_C \cdot c} \quad \text{eq. (19)}$$

onde: b e c são os coeficientes da função de produção aqui discutida; C_F é o custo com o fator (em R\$ mm⁻¹ ha⁻¹, se for água e em kg ha⁻¹, se adubação com zinco); P_C é o preço da cana paga ao fornecedor R\$ t⁻¹.

Uma vez apropriados os custos de produção da cana-de-açúcar, em cada agrossistema estudado, não se procedeu com a determinação da receita líquida, como

sugere Frizzone (1993), mas sim, do lucro bruto, como entende Marion (1999). Segundo este último autor, para que se possa apropriar a receita líquida, teriam que ser deduzidos todos os custos da venda do produto (ICMS, PIS, COFINS, etc.), bem como os custos administrativos. Como não é este o caso, pois o produto é a cana e não o álcool, Marion (1999) sugere atribuir ao cálculo a nomenclatura “lucro bruto” (receita bruta – custos de produção = LB). Portanto:

$$LB(F) = P_C \cdot Z_p - P_F \cdot F - C_o \quad \text{eq. (20)}$$

Onde: LB é lucro bruto obtido em função de um dos dois fatores variáveis supracitados nas suas respectivas unidades; P_C é o preço da cana pago ao fornecedor, em R\$ t⁻¹; Z_p é a produtividade agrícola, em t ha⁻¹; P_F é o preço do fator (em R\$ mm⁻¹ ha⁻¹, se for água e em R\$ kg⁻¹, se adubação com zinco); C_o representa os custos de produção (incluindo-se os custos com adubação e de entrega da matéria-prima) R\$ ha⁻¹.

3.10.3 Determinação do modelo contendo dois fatores como variáveis independentes

A partir dos dados finais de produção, obtidos em 01 de outubro de 2005, com o experimento envolvendo cinco lâminas de irrigação e cinco níveis de adubação com zinco, procedeu-se às análises de regressão múltipla. Para tanto, foi selecionado o modelo que melhor representa (matemática e biologicamente) a resposta da cana aos tratamentos aplicados. O critério matemático para a escolha tomou como base a seleção da função com o melhor R² e melhor R² ajustado, significativos. A equação selecionada através da análise de regressão está apresentada a seguir. Para tanto, utilizou-se o software SAEG 9.0, adotado por Ribeiro Junior (2001):

$$Z_p(L, Zn) = a + b \cdot L + c \cdot L^2 + d \cdot Zn + e \cdot Zn^2 + f \cdot L \cdot Zn \quad \text{eq. (21)}$$

onde: $Z_p(L, Zn)$ é a produtividade da cana-de-açúcar (t ha⁻¹), em função dos fatores estudados: lâmina de água de irrigação em mm e níveis de adubação com zinco em kg ha⁻¹; a, b, c, d, e, f são os coeficientes do modelo analisados pelo SAEG 9.0.

3.10.4 Determinação dos pontos de máximo rendimento bruto e líquido para o modelo com duas variáveis independentes

Com base na equação proposta no item anterior, efetuaram-se os cálculos de derivadas 1ª e 2ª, com o intuito de se determinar os valores das variáveis independentes L e Zn que maximizam a produção L_m e Zn_m e o Lucro Bruto L^* e Zn^* , utilizando-se das seguintes equações:

$$Zn_m = \frac{\partial Y}{\partial Zn} = b + 2cL + fZn = 0 \quad \text{eq. (22)}$$

$$L_m = \frac{\partial Y}{\partial L} = d + 2eZn + fL = 0 \quad \text{eq. (23)}$$

$$Zn^* = \frac{\partial Y}{\partial Zn} = d + 2eZn + fL = \frac{C_{Zn}}{P_y} \quad \text{eq. (24)}$$

$$L^* = \frac{\partial Y}{\partial L} = b + 2cL + fZn = \frac{C_L}{P_y} \quad \text{eq. (25)}$$

Onde: C_{Zn} e C_L , são os custos dos fatores zinco (R\$ kg⁻¹) e água (R\$ mm ha⁻¹); P_C é o preço da cana (R\$ t⁻¹); a, b, c, d, e, f são os coeficientes da função.

Ao final, determinou-se o lucro bruto para uma determinada combinação de fatores (lâmina de irrigação e doses de zinco), como descrito abaixo:

$$LB(L, Zi) = P_C \cdot Z - (C_L \cdot L) - (C_{Zn} \cdot Zn) - C_o \quad \text{eq. (26)}$$

Onde: LB é o lucro bruto em R\$ ha⁻¹, em função da combinação de dois fatores L e Zn (água em R\$ mm ha⁻¹ e zinco R\$ kg⁻¹), e P_C é o preço da cana, em R\$ t⁻¹.

3.10.5 Determinação da região factível

Na definição da região factível, os valores das variáveis independentes (lâminas de água de irrigação e zinco) foram determinados pelas equações 31 e 32. Para tanto, há de se considerar $L(Zn = 0)$ e $Zn(L = 0)$.

$$L(Zn = 0) = \left(\frac{-d}{2 \cdot e} \right) \quad \text{eq. (27)}$$

$$Zn(L = 0) = \left(\frac{-b}{2 \cdot c} \right) \quad \text{eq. (28)}$$

3.10.6 Determinação da produtividade física marginal

A produtividade física marginal para a lâmina de água de irrigação e para o zinco representa a produtividade da cana-de-açúcar por unidade de cada fator empregado na produção da cultura. Os fatores foram determinados através das equações:

$$PFM_L = b + 2 \cdot c \cdot L + f \cdot Zn \quad \text{eq. (29)}$$

$$PFM_{Zn} = d + 2 \cdot e \cdot Zn + f \cdot L \quad \text{eq. (30)}$$

Onde: PFM_L é a produtividade física marginal de água em tonelada de cana-de-açúcar por mm ha^{-1} ; PFM_{Zn} é a produtividade física marginal de zinco em tonelada de cana-de-açúcar por kg de zinco aplicado; L e Zn são, respectivamente, lâmina de água de irrigação e níveis de zinco aplicados.

3.10.7 Taxa marginal de substituição

A taxa marginal de substituição é uma medida com a qual se pode determinar até que ponto é possível substituir lâminas de água de irrigação por zinco ($TMS_{L/Zn}$), ou então, zinco por lâmina de água de irrigação ($TMS_{Zn/L}$). Para tanto, foram utilizadas, no cálculo, as seguintes equações:

$$(TMS_{L/Zn}) = -PFM_L / PFM_{Zn} \quad \text{eq. (31)}$$

$$(TMS_{Zn/L}) = -PFM_{Zn} / PFM_L \quad \text{eq. (32)}$$

Para Frizzone (1986 e 1993), as combinações dos fatores (L) e adubação com zinco que determinam o custo mínimo para cada curva de isoproducto são iguais às combinações que proporcionam a taxa marginal de substituição de água por zinco ($TMS_{L/Zn}$). Esta, por sua vez, se iguala à razão (P_L/P_{Zn}) entre o preço da água, em $\text{R\$ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$, e o preço do zinco, em $\text{R\$ kg}^{-1}$.

3.11 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todos os dados coletados neste experimento foram analisados, conforme Vieira (1999), Gomes (2000) e Santos (2003). Para os autores, em experimentos dessa natureza, o esquema de análise mais apropriado é a análise conjunta de experimentos e acrescentam que é preciso verificar a homogeneidade dos quadrados médios dos resíduos. Caso a relação entre o maior QMresíduo e o menor QMresíduo seja menor que 7, pode-se adotar a análise conjunta de experimentos.

Para Ribeiro Jr. (2001), o agrupamento de experimentos para uma análise conjunta poderá obedecer a diferentes critérios, dentre eles os setores geográficos. De acordo com o autor, os setores de irrigação podem ser entendidos como setores geograficamente diferentes, onde os níveis de zinco serão testados. Desta forma, conclusões locais podem ser obtidas, analisando-se individualmente cada experimento, obtendo-se resultados mais gerais com base na análise conjunta de grupos de experimentos. Recomenda Ribeiro Jr. (2001) que para a análise conjunta, o procedimento adotado deve obedecer à seguinte rotina, quando se está utilizando o software SAEG 9.0:

- Passo 1: selecionar observações.
- Passo 2: Definir parâmetros **lâminas = 1 ... lâminas = 5**. Desta forma dá-se prosseguimento às análises isoladas de cada setor de irrigação. Modelo: **variável 1 até variável n função de bloco zinco**.
- Passo 3: o modelo **variável 1 até variável n função de bloco lâmina zinco** com aninhamentos: **bloco/lâminas (bloco lâminas*bloco)** e efeitos simples: **lâmina zinco zinco*lâmina**.

Os dados de natureza quantitativa foram analisados mediante estudos de regressão polinomial, decompondo-se os graus de liberdade em componentes de regressão conforme Sousa (1998).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MORFOFISIOLOGIA

4.1.1 Perfilhamento

Na Tabela 5 são apresentados os índices da regressão, bem como o resumo da ANOVA para o modelo que melhor representa o perfilhamento da variedade SP 79 1011 na safra 2005/2006. Observa-se efeito altamente significativo ($p < 0,01$) para o número de perfilhos em relação ao fator lâmina de água de irrigação em todos os períodos. Não houve, para essa variável, efeito significativo dos níveis de zinco bem como para a interação lâmina 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. Na mesma tabela estão apresentados os modelos que melhor descrevem o comportamento da cultura da cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011) para cada nível de irrigação ao longo do tempo; tal comportamento pode ser observado na Figura 7.

Aos 90 dias após a brotação, a cana-de-açúcar cultivada em regime de sequeiro teve o seu perfilhamento prejudicado ($14,82$ perfilhos m^{-1}) em função da baixa pluviometria ocorrida na fase de brotação (Figura 6C). Por sua vez, quando irrigada com 100% da ETc, foram obtidos os valores mais altos dentre os tratamentos, com $23,06$ perfilhos por metro.

Tabela 5. Resumo da análise de variância e ANOVA da regressão para o número de perfilhos da cultura da cana-de-açúcar (variedade SP 79-1011). Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Fonte de variação	Dias após a brotação						
	90	150	180	210	270	300	360
Quadrados médios							
QMR	4,66	0,5604	0,331	0,472	0,1466	0,2466	0,226
CV (%)	10,61	5,34	4,96	7,4	4,55	5,66	8,08
Bloco/lâmina	11,1174*	3,3781*	0,6743ns	5,7237**	0,3466**	1,1466**	0,2933ns
Lâmina	188,3333**	13,8341**	140783**	3,9404**	172333**	19,6200**	24,4467**
Zinco	10,3450ns	1,1571ns	0,6355ns	0,01946ns	1,1000ns	0,3200ns	0,3466ns
Lâm. x zinco	5,8166ns	1,2678*	0,1840ns	0,69413ns	0,0833ns	0,2533ns	0,1466ns
Estudo de regressão (Linear Response Plateau)							
	Modelo				QMDR	F	Prob F
Sequeiro	-0,03574*DAB + 17,9580; R ² = 0,89; Plateau = 6,00				38,32	35,71	0,0039
25% ETc	-0,11552*DAB + 32,4400; R ² = 0,99; Plateau = 8,74				56,09	153,77	0,0512
50% ETc	-0,11291*DAB + 30,1800; R ² = 0,95; Plateau = 8,93				53,26	43,51	0,0958
75% ETc	-0,12461*DAB + 33,6140; R ² = 0,99; Plateau = 9,04				65,21	353,11	0,0338
100% ETc	-0,09202**DAB + 29,4248; R ² = 0,99; Plateau = 10,48				66,68	474,57	0,0021
Médias para lâmina de água de irrigação							
Sequeiro	14,82	13,40	10,88	8,64	7,00	7,60	6,00
25% ETc	21,44	14,62	11,96	9,31	8,20	8,13	7,93
50% ETc	22,36	12,60	11,64	9,28	8,26	8,60	8,26
75% ETc	22,11	14,58	11,41	9,13	8,53	8,33	8,30
100% ETc	23,06	14,80	13,07	10,06	10,00	10,20	9,93
Médias para níveis de zinco							
0	21,45	13,83	11,73	9,31	8,40	8,80	7,87
1	21,02	13,68	11,56	9,27	8,40	8,53	8,13
2	19,52	14,25	11,70	9,29	8,47	8,8	8,13
3	19,95	14,33	11,74	9,33	8,47	8,93	8,27
4	19,85	13,91	11,25	9,84	8,27	8,80	8,00

** significativo com 1%; * significativo com 5%; ns não significativo pelo teste F; x - valores não calculados pelo SAEG 9.0; QMR - quadrado médio do resíduo; CV(%) - coeficiente de variação; QMDR - quadrado médio devido a regressão; F - valor de F calculado; Prob. F - significância do modelo; Sequeiro - lâmina de irrigação 0 mm; 25% da ETc - lâmina de irrigação 256,64 mm; 50% da ETc - lâmina de irrigação 513,29 mm; 75% da ETc - lâmina de irrigação 769,93 mm; 100% da ETc - lâmina de irrigação 1026,57 mm

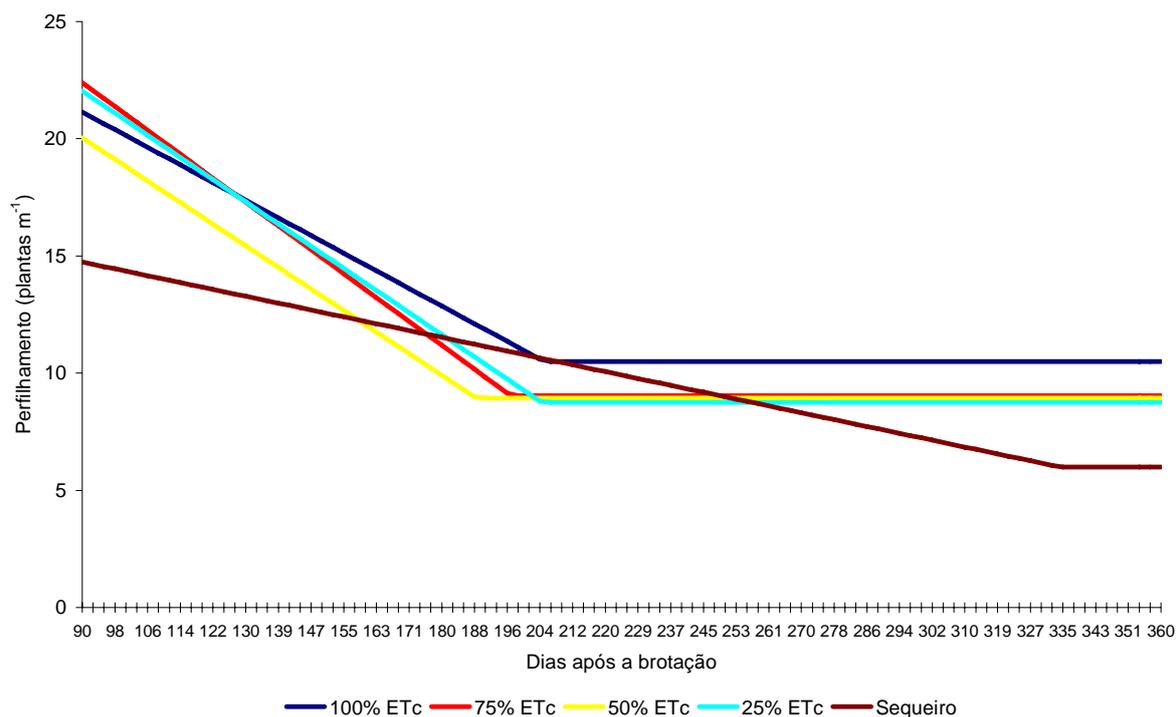


Figura 7. Comportamento da cana-de-açúcar, variedade SP 79 1011, quanto ao perfilhamento (Linear Response Plateau) ao longo do período de cultivo, para os cinco tratamentos estudados. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Na Figura 7, pode ser observado o comportamento da cultura em relação ao perfilhamento ao longo do tempo. A cana-de-açúcar teve seu “stand” severamente reduzido, independentemente da lâmina de água de irrigação, o seu comportamento se deu de forma decrescente ao longo do tempo até os 204 dias após a brotação, ponto no qual a população se encontrara com 8 ou 10 plantas por metro. Nesse período a menor queda no perfilhamento se deu na cana de sequeiro (27,72%); é um indicativo de que a cultura, nessas condições, reduz a competitividade entre os indivíduos, tornando o perfilhamento mais constante. Essa cana era a menos desenvolvida aos 90 dias após a brotação, ou seja, era a menor cana em altura e a menor área foliar; a consequência disso é uma menor competitividade.

A partir do momento em que melhoraram as condições hídricas do solo, a resposta da cultura em termos de crescimento e desenvolvimento foi maior, com o conseqüente aumento da competição, essencialmente, por água. Como a condição hídrica do solo foi suprida provavelmente a planta passou a competir por luz e nutrientes. Dessa forma, os indivíduos mais fracos não resistiram.

Aos 204 dias após a brotação o perfilhamento das plantas irrigadas com 100% da ETc reduziu 49,62%, com relação ao período anterior. Já os decréscimos para a cultura irrigada com 75%, 50%, 25% da ETc, e para a cultura de sequeiro foram, respectivamente, 63,15%, 64,31%, 59,75% e 27,72%. Os maiores efeitos das lâminas de água de irrigação são observados quando se compara a cana irrigada com 100% da ETc com a de sequeiro, e estas com os tratamentos intermediários, irrigada com 75%, 50% e 25%. Na primeira comparação, as diferenças foram maiores, em torno de 21,90%. Mas, quando foram comparados com os tratamentos intermediários, tal diferença foi de 12,78%.

Relacionando o comportamento da cultura aos 360 dias após a brotação, com o do período inicial (90 dias de idade) observa-se que a cana irrigada com 100% da ETc teve sua população reduzida em 50,42%. Da mesma forma, os decréscimos para a cultura, quando irrigada com 75%, 50%, 25 % da ETc e para a cultura de sequeiro, foram, respectivamente: 59,46%, 55,37%, 60,34% e 59,29%. Na Figura 7 pode ser observado que a queda na população para a cana irrigada se estabiliza em torno dos 204 dias após a brotação. A exceção, para esta ocorrência, se deu na cana de sequeiro que só estabiliza o seu ‘stand’ por volta dos 330 dia após a brotação.

Na Figura 8 está apresentado o modelo que melhor descreve o comportamento da cultura quanto ao seu perfilhamento, aos 12 meses de idade, em função da lâmina total aplicada (lâmina de água de irrigação mais precipitação efetiva). Nota-se que, ao final do ano de cultivo, as diferenças são marcantes na definição do rendimento da cultura. Diferença de 19,61% entre o perfilhamento da cana que recebeu 100% da ETc e número médio de perfilhos da cana submetida aos tratamento com 25, 50 e 75% da ETc. Aumentando para 39,26% quando a comparação foi feita com a cana em regime de sequeiro.

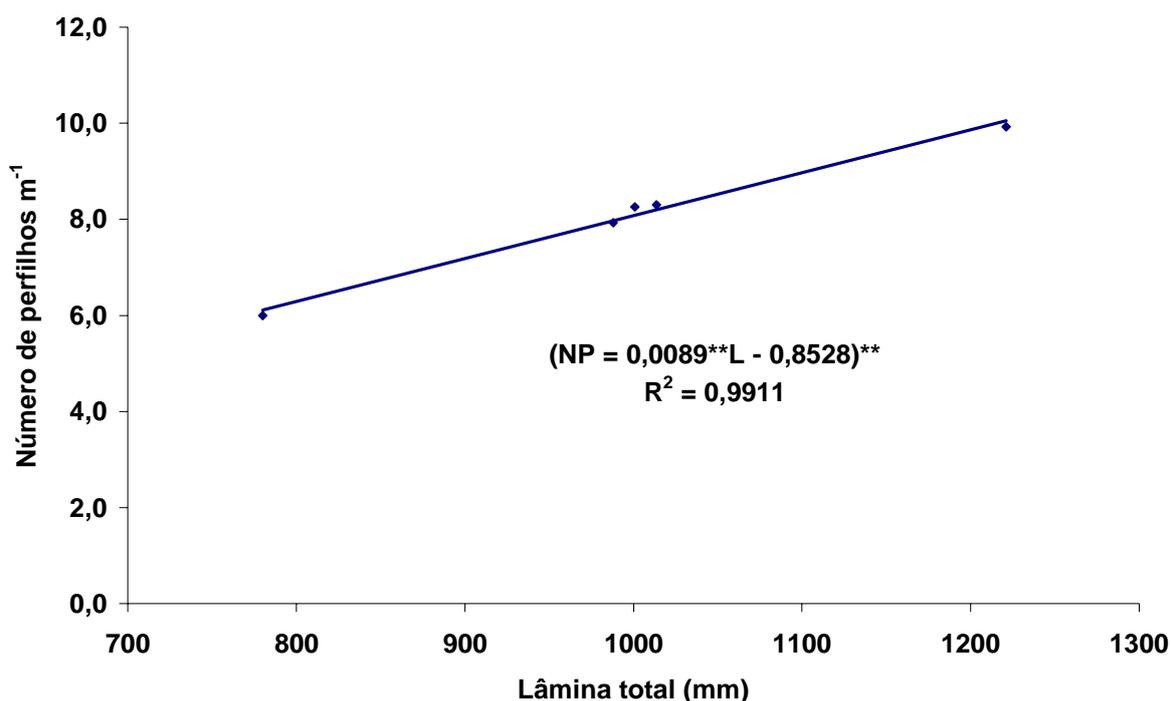


Figura 8. Número de perfilhos aos 360 dias após a brotação. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Na Tabela 36 (do apêndice) constam os resultados do estudo estatístico sobre a correlação entre o número de plantas e o índice de área foliar. A queda na população, ao longo do tempo, ocorreu mais em função do aumento do sombreamento causado pelo crescimento do índice de área foliar do que pela umidade do solo, em todos os tratamentos estudados.

Em estudo com a variedade SP 79 1011, Farias (2001) verificou resultados que se assemelham aos dados encontrados nesta pesquisa. Para o autor, o perfilhamento inicial da cana irrigada foi de 20,5 perfilhos m⁻¹, enquanto, na cana cultivada em regime de sequeiro, o número inicial foi de 12 perfilhos m⁻¹. Afirma que o número final de plantas por metro, na cana irrigada em turno de rega de 12 dias, foi de 17, enquanto na cana sob regime de sequeiro foi de 11. Entretanto, no ano de 2000, o período de inverno foi marcado com fortes e irregulares chuvas.

Já Machado (1981), quando determinou a curva de perfilhamento para a variedade NA 56 79, concluiu que, aos 100 dias após o plantio brotaram 12 perfilhos m⁻¹. No entanto, aproximadamente aos 150 DAP, o perfilhamento atingiu seu ponto de máxima brotação, com um total de 18 perfilhos. Machado et al. (1981) afirmam que o perfilhamento da cana-de-açúcar cai acentuadamente no período em que o índice de área foliar praticamente duplica. O

fenômeno deve-se ao aumento da área foliar e do conseqüente aumento do índice de área foliar. Tal fato proporciona uma elevação da competição por luz. Significa que a planta mais sadia compete mais por nutrientes e, em conseqüência, há uma mortalidade de plantas menos desenvolvidas.

4.1.2 Altura da planta

Houve efeito altamente significativo da lâmina de água de irrigação sobre o crescimento das plantas em altura, em todos os períodos analisados. No entanto, o mesmo não aconteceu para os níveis de zinco e sua interação com as lâminas de água de irrigação, exceto aos 360 dias após a brotação, quando foi comprovada a interação significativa entre os dois fatores (Tabela 6). Na mesma tabela podem ser observados os modelos que melhor descrevem o comportamento da cultura; nela consta o estudo estatístico de regressão ao longo do tempo, bem como os índices da ANOVA. O comportamento da cultura ao longo do tempo está apresentado na Figura 9, onde se percebe as diferenças ocorridas entre os tratamentos.

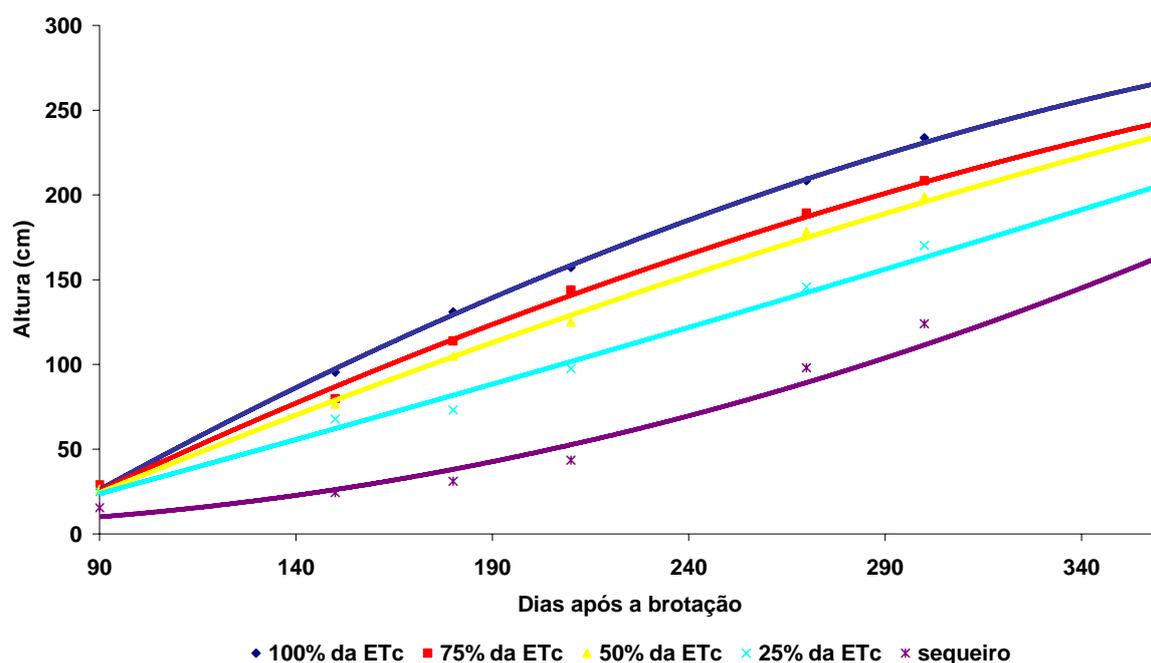


Figura 9. Altura da cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011). Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

De acordo com o modelo exposto na Tabela 6 a cana-de-açúcar quando cultivada em regime de sequeiro cresceu a uma taxa média de $0,4380 \text{ cm dia}^{-1}$ até o final do ano de cultivo (safra 2005/2006). A aplicação de 25% da ETc refletiu numa taxa média de crescimento em

altura de 0,5761 cm dia⁻¹. Para a cana irrigada com 50 e 75% da ETc, o crescimento em altura foi, respectivamente, de 0,6495 e 0,6772 cm dia⁻¹. Analogamente, foi observado um crescimento de 0,7382 cm dia⁻¹ para a cana irrigada com 100% da ETc.

Tabela 6. Resumo da análise de variância e ANOVA da regressão para altura da cana-de-açúcar (variedade SP 79-1011). Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Fonte de variação	Dias após a brotação						
	90	150	180	210	270	300	360
Quadrados médios							
QMR	9,68	97,64	76,37	0,0067	60,00	0,0063	144,90
CV (%)	12,7	14,36	9,52	7,14	4,57	4,27	5,49
Bloco/lâm.	9,5759 ^{ns}	85,8875 ^{ns}	0,0087 ^{ns}	0,0216 ^{**}	0,0223 ^{**}	0,0275 ^{**}	136,8628 ^{**}
Lâmina	418,4732 ^{**}	10736,85 ^{**}	2,7178 ^{**}	2,8964 ^{**}	2,8164 ^{**}	2,6342 ^{**}	27100,29 ^{**}
Zn	21,3667 ^{ns}	133,4341 ^{ns}	0,0073 ^{ns}	0,0165 ^{ns}	0,0071 ^{ns}	0,0058 ^{ns}	2532,43 ^{**}
Lâm. x Zn	6,5781 ^{ns}	34,4272 ^{ns}	0,00681 ^{ns}	0,0067 ^{ns}	0,0048 ^{ns}	0,0074 ^{ns}	301,3857 ^{**}
ANOVA e índices da regressão							
	Modelo			QMDR	F	Prob F	
Sequeiro	0,0014 ^{**} DAB ² - 0,0741 ^{ns} DAB + 5,1368; R ² = 0,9754			41909,60	348,26	0,0000	
25% ETc	0,0002 [*] DAB ² + 0,05996 ^{ns} DAB - 31,485; R ² = 0,9815			57846,02	558,98	0,0000	
50% ETc	-0,0006 [*] DAB ² + 1,0576 ^{**} DAB - 65,883; R ² = 0,9895			49340,09	1997,50	0,0000	
75% ETc	-0,001 ^{**} DAB ² + 1,2698 ^{**} DAB - 80,328; R ² = 0,996			84656,62	1445,60	0,0000	
100% ETc	-0,0014 ^{**} DAB ² + 1,5304 ^{**} DAB - 100,06; R ² = 0,9914			103009,9	1414,51	0,0000	
Médias para lâmina de água de irrigação							
Sequeiro	15,44	24,37	33,31	46,22	98,00	124,07	154,77
25% ETc	24,75	67,82	75,24	100,03	145,67	170,20	201,35
50% ETc	26,35	76,51	105,40	126,10	178,60	199,04	232,33
75% ETc	26,95	79,77	113,02	144,56	189,22	208,38	241,06
100% ETc	28,97	95,45	131,60	158,98	208,38	233,69	265,11
Médias para níveis de zinco							
0	26,09	68,41	89,18	111,04	162,72	183,91	208,57
1	23,38	64,24	89,96	112,27	160,76	187,02	212,93
2	23,09	68,34	91,80	115,82	166,02	186,51	217,00
3	25,03	71,87	94,60	118,00	165,29	188,60	241,51
4	24,09	71,04	94,03	118,36	165,09	188,73	214,62

^{**} significativo com 1%; ^{*} significativo com 5%; ^{ns} não significativo pelo teste F; x - valores não calculados pelo SAEG 9.0; QMR - quadrado médio do resíduo; CV(%) - coeficiente de variação; QMDR - quadrado médio devido a regressão; F - valor de F calculado; Prob. F - significância do modelo; Sequeiro - lâmina de irrigação 0 mm; 25% da ETc - lâmina de irrigação 256,64 mm; 50% da ETc - lâmina de irrigação 513,29 mm; 75% da ETc - lâmina de irrigação 769,93 mm; 100% da ETc - lâmina de irrigação 1026,57 mm

Aos 360 dias após a brotação constatou-se efeito significativo para os níveis de zinco e sua interação com a lâmina de água de irrigação (Tabela 6). Isto posto, observa-se na Tabela 7, as médias para o desdobramento da interação significativa. Quando a cultura foi irrigada

com 100% da ETc e adubada com 3 kg ha⁻¹ de zinco, a sua taxa de crescimento em altura foi de 0,8149 mm dia⁻¹.

Tabela 7. Médias do desdobramento da interação L x Zn para altura de plantas de cana-de-açúcar aos 360 dias após a brotação. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

FV		Altura (cm)	FV		Altura (cm)
L em Zn ₀	Sequeiro	152,89	Zn em Seq.	Zn ₀	152,89
	25% ETc	190,78		Zn ₁	162,56
	50% ETc	220,89		Zn ₂	157,44
	75% ETc	228,22		Zn ₃	148,11
	100% ETc	250,11		Zn ₄	152,89
	Média	208,57		Média	154,77
L em Zn ₁	Sequeiro	162,56	Zn em 25%ETc	Zn ₀	190,78
	25% ETc	187,89		Zn ₁	187,89
	50% ETc	224,89		Zn ₂	198,11
	75% ETc	235,00		Zn ₃	237,78
	100% ETc	254,33		Zn ₄	192,22
	Média	212,93		Média	201,35
L em Zn ₂	Sequeiro	157,44	Zn em 50%ETc	Zn ₀	220,89
	25% ETc	198,11		Zn ₁	224,89
	50% ETc	229,44		Zn ₂	229,44
	75% ETc	236,33		Zn ₃	255,67
	100% ETc	263,67		Zn ₄	230,78
	Média	216,99		Média	232,33
L em Zn ₃	Sequeiro	148,11	Zn em 75%ETc	Zn ₀	220,89
	25% ETc	237,78		Zn ₁	224,89
	50% ETc	255,67		Zn ₂	229,44
	75% ETc	268,56		Zn ₃	255,67
	100% ETc	297,44		Zn ₄	230,78
	Média	241,51		Média	232,33
L em Zn ₄	Sequeiro	152,89	Zn em 100%ETc	Zn ₀	250,11
	25% ETc	192,22		Zn ₁	254,33
	50% ETc	230,78		Zn ₂	263,67
	75% ETc	237,22		Zn ₃	297,44
	100% ETc	260,00		Zn ₄	260,00
	Média	214,62		Média	265,11

Na Tabela 8 está apresentada a ANOVA para o estudo dos modelos de regressão que melhor representam o fenômeno, tanto do ponto de vista biológico, quanto matemático. Observou-se, ao final do ano de cultivo, que o aumento na lâmina de irrigação correspondeu a um maior efeito dos níveis de zinco até o limite de 3 kg ha⁻¹ do elemento.

Tabela 8. Estudo de regressão, desdobramento da interação L x Zn, para altura da planta, aos 360 dias após a brotação, da variedade SP 79 1011. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Coeficientes		Equação polinomial		
		Altura (L,Zn) = $a + b*L + c*L^2 + d*Zn + e*Zn^2 + f*LZn$		
		Valor	Teste T	Prob>T
<i>a</i>	Constante	-0,317012E+03		
<i>b</i>	Lâmina	0,835310E+00	4,349990	0,0001
<i>c</i>	Lâmina ²	-0,307666E-03	-3,240560	0,0006
<i>d</i>	Zinco	-0,140132E+01	-0,110004	0,4500
<i>e</i>	Zinco ²	-0,300317E+01	-2,227046	0,0130
<i>f</i>	Lâmina * zinco	0,174680E-01	1,529418	0,0531
-----Análise de variância do modelo-----				
R ²				0,79
QM				20833,73
Teste F				54,56
Prob>F				0,0000

Na Figura 10 está ilustrado, graficamente, o comportamento da cultura em relação à interação entre os fatores estudados. A diferença entre a cana que recebeu 100% da ETc e a que recebeu 75% da ETc foi de 9,97%. A mesma comparação pode ser feita entre a cana irrigada com 100% da ETc e as demais. As diferenças foram, respectivamente, 14,10%, 31,66% e 71,29% em relação à cultura quando recebeu 50% e 25% da ETc e sequeiro. É importante destacar o aumento na altura da planta, quando foi irrigada com 25% da ETc e quando foi submetida ao regime de sequeiro. Estas cresceram, a partir dos 270 dias após a brotação, respectivamente, 38,22% e 57,69%, enquanto a cana irrigada com 100%, 75% e 50% da ETc teve uma taxa de crescimento, respectivamente, de 27,22%, 27,39% e 30,08%.

A cana de sequeiro começou a crescer em altura, a partir dos 210 dias após a brotação, com 110,34 cm de diferença entre os extremos. No entanto, as diferenças diminuíram à medida que foi aumentado a lâmina de água de irrigação. Para a cana irrigada com 50% e 75% da ETc não houve diferença.

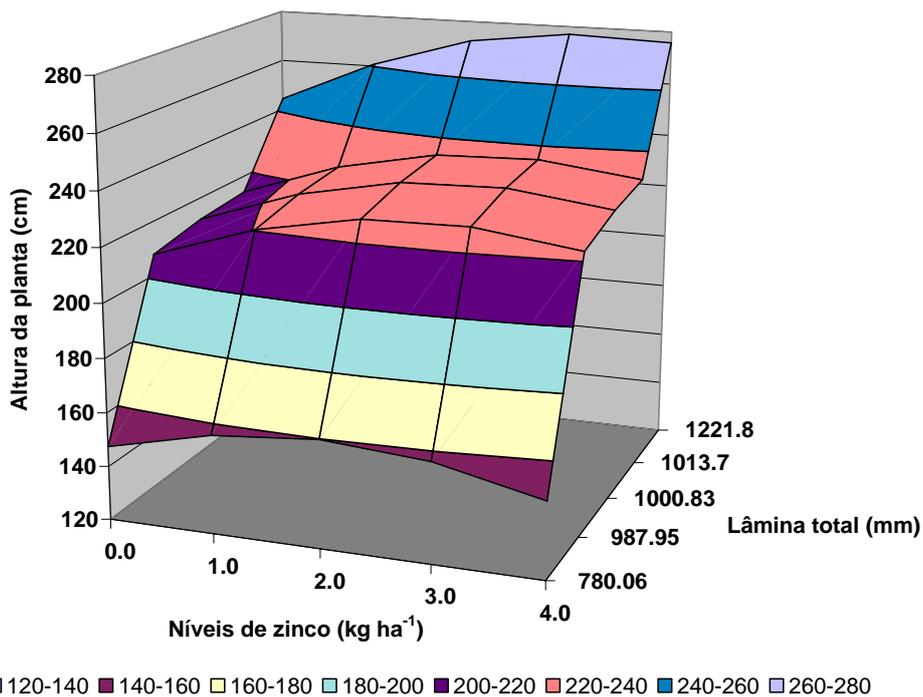


Figura 10. Efeito da interação entre lâmina de irrigação e níveis de zinco na altura da planta aos 360 dias após a brotação da variedade SP 79 1011. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Verifica-se que aos 270 dias após a brotação, a cultura atingiu sua fase de maturação, quando a sua demanda evapotranspirativa, representada pelo Kc, caiu (Quadro 1). Esta fase representa o período de maturação “4b”, conforme Dorenboos e Kassam (1974). No ano de 2005, as chuvas chegaram ao seu final em meados do mês de setembro. Na Figura 6C, podem ser observadas as condições climáticas vigentes até o dia do corte comercial da cana; no período, a umidade relativa do ar aumentou de 62% para 80% (Figura 6E) e a duração do dia era menor, em torno de 8,5 horas de luz por dia (Figura 6B).

Estudos anteriores demonstram 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, conforme visto na Figura 1 (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. A água desempenha um papel de fundamental importância no alongamento dos perfilhos e na altura final dos colmos da cana-de-açúcar (Chang et al.,

1968). Já que os tecidos mais afetados pelo estresse hídrico são os de alongamento meristemático (Hartt, 1967).

Koehler et al. (1982) afirmam que plantas sob condições de estresse hídrico podem ter 80% do seu alongamento reduzido. Os resultados obtidos encontrados pelos autores não se aproximam dos resultados obtidos nesta pesquisa. As plantas aos 90 dias após a brotação atingem um diferencial de 14,57% quando se compara com a cana irrigada com 100% da ETc (28,97 cm), ou mesmo quando irrigada com 25% da ETc 24,75 cm (Tabela 6). Portanto, os resultados estão bem abaixo dos valores preconizados pelos autores. Thompson (1976) 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), 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.

Para Simões et al. (2005), a cana-de-açúcar, no quarto ano de cultivo, atinge sua fase de maturação aos 398 dias de idade, com uma altura média de 3,5 m. De acordo com o mesmo estudo, na safra 2001/2002, a cultura atingiu a fase de maturação aos 369 dias, com uma altura média de 3,2 m.

Para Anderson e Bowen (1992), a cana-de-açúcar responde a aplicações de zinco na dosagem de 7 kg ha⁻¹ na forma de sulfato de zinco. Decaro et al. (1983) também confirmam o efeito positivo do zinco no crescimento da cultura do milho.

Em razão dos diferentes tratamentos, salvaguardando-se as diferenças genótípicas e edafoclimáticas, os resultados foram significativos. Portanto, podem ajudar na tomada de decisão sobre o manejo de irrigação da cana-de-açúcar mais adequado para a região dos tabuleiros costeiros da Paraíba.

4.1.3 Índice de área foliar (área foliar)

Evidencia-se, na Tabela 9 efeito altamente significativo ($p < 0,01$) para lâminas de água de irrigação; observou-se tal efeito do início até o final do ano de cultivo. Notadamente, aos 90 dias após a brotação, a área foliar da cana-de-açúcar cultivada em regime de sequeiro (635,05 cm²) foi 50,21% menor que à da cana cultivada sob condições de irrigação plena (1.275,69 cm²). Ao final do período, a cana de sequeiro atingiu uma área foliar de 2.135,09 cm², enquanto a cana irrigada com 100% da ETc apresentou-se, com uma área foliar de 2.277,32 cm²; uma diferença de 6,24% em área foliar. Observou-se maior taxa de crescimento

da cana de sequeiro e da cana irrigada com 25% da ETc, a partir dos 270 DAB; isso deveu-se à resposta da cultura à chegada do período chuvoso na região, onde as precipitações pluviométricas aumentaram consideravelmente (Figura 6C).

Tabela 9. Resumo da análise de variância e ANOVA da regressão para a área foliar da cana-de-açúcar (variedade SP 79-1011). Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Fonte de variação	Dias após a brotação						
	90	150	180	210	270	300	360
Quadrados médios							
QMR	20005,19	58866,63	74526,71	52230,76	55850,03	78471,69	48185,20
CV (%)	14,15	11,75	12,66	10,91	9,19	10,03	9,89
Bloco/lâm.	49427,67**	284430,1**	198679,0*	79635,24 ^{ns}	149335,6*	150307,2 ^{ns}	69429,0 ^{ns}
Lâmina	905424,1**	2371150**	23999,86**	1553727**	891394,1**	555526,2**	110591,7 ^{ns}
Zn	23498,23 ^{ns}	339658,9**	93236,91 ^{ns}	96352,48 ^{ns}	120533,2 ^{ns}	81618,81 ^{ns}	44417,26 ^{ns}
Lâm. x Zn	18501,01 ^{ns}	114949,3**	119481,3 ^{ns}	22648,31 ^{ns}	19189,43 ^{ns}	45364,81 ^{ns}	74376,20 ^{ns}
ANOVA e índices da regressão							
	Modelo			QMDR	F	Prob F	
Sequeiro	-0,0230**DAB ² + 18,547**DAB - 846,89; R2 = 0,9228			6873603	106,20	0,0000	
25% ETc	-0,0322**DAB ² + 18,98**DAB - 234,12; R2 = 0,7134			4131785	82,79	0,0000	
50% ETc	-0,0456**DAB ² + 23,671**DAB - 480,79; R2 = 0,8282			3494918	126,45	0,0000	
75% ETc	-0,0440**DAB ² + 22,765**DAB - 322,27; R2 = 0,8442			3527935	63,86	0,0000	
100% ETc	-0,0602**DAB ² + 30,668**DAB - 872,21; R2 = 0,9057			5845773	72,16	0,0000	
Médias para lâmina de água de irrigação							
Sequeiro	635,05	1434,76	1608,65	1750,91	2381,71	2843,35	2135,09
25% ETc	932,65	2075,70	1956,22	1983,90	2431,98	2737,81	2113,36
50% ETc	987,54	2151,22	2241,76	2277,82	2513,24	2653,71	2181,10
75% ETc	1166,03	2123,92	2291,63	2335,38	2535,78	2623,58	2249,88
100% ETc	1275,69	2538,37	2680,16	2552,90	2992,87	3100,33	2277,32
Médias para níveis de zinco							
0	1002,44	1889,72	2136,34	2083,60	2554,22	2851,99	2336,02
1	1033,85	1943,43	2040,26	2123,86	2826,25	2879,26	2207,60
2	977,02	2167,19	2167,32	2137,20	2596,11	2767,99	2198,93
3	944,62	2250,95	2258,79	2162,07	2660,59	2696,40	2223,93
4	1039,00	2072,67	2175,72	2252,17	2618,45	2763,11	2196,48

** significativo com 1%; * significativo com 5%; ^{ns} não significativo pelo teste F; x - valores não calculados pelo SAEG 9.0; QMR - quadrado médio do resíduo; CV(%) - coeficiente de variação; QMDR - quadrado médio devido a regressão; F - valor de F calculado; Prob. F - significância do modelo; Sequeiro - lâmina de irrigação 0 mm; 25% da ETc - lâmina de irrigação 256,64 mm; 50% da ETc - lâmina de irrigação 513,29 mm; 75% da ETc - lâmina de irrigação 769,93 mm; 100% da ETc - lâmina de irrigação 1026,57 mm

Os resultados expostos na Tabela 9, são evidências de que a maior área foliar ao longo do período de cultivo ocorreu quando foram aplicados 100% da ETc. De acordo com o

modelo exposto na mesma tabela um pico de 2.910,19 cm² atingidos aos 300 DAB. Na Figura 12 pode ser observado, graficamente, o comportamento da cultura quanto a sua área foliar.

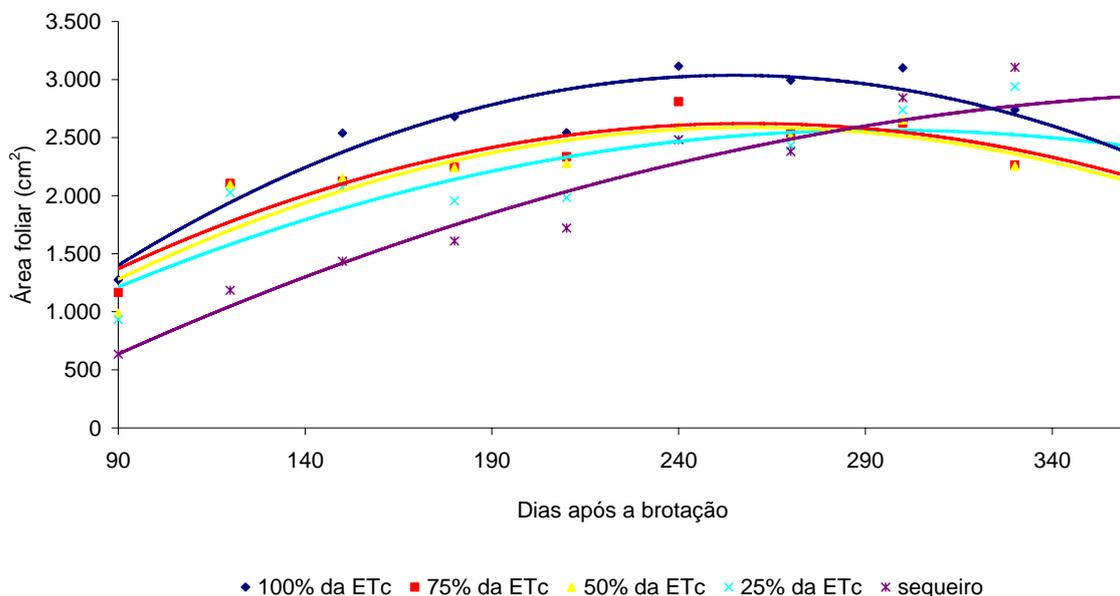


Figura 11. Evolução da área foliar da cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011) no período de cultivo, para os cinco tratamentos de irrigação estudados na fazenda capim II, Capim/PB, 2005

O fato de ter sido significativa a interação entre os níveis de zinco e as lâminas de água de irrigação aos 150 dias após a brotação, evidencia que quanto maior o teor de água no solo, maior a eficácia do zinco no desenvolvimento da folha, nesta fase. Na Tabela 10 estão expostas as médias para o desdobramento da referida interação significativa. O estudo de regressão múltipla constante na Tabela 11 comprova o ocorrido entre os dois fatores estudados. Segundo Carrijo et al. (2004), para os nutrientes que apresentam 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, aumenta a eficiência da adubação, especialmente em solos arenosos. Os autores concluem que a umidade proporciona maior disponibilidade do nutriente para a planta e favorece sua movimentação no solo.

As diferenças na altura da planta, observadas e analisadas, estão relacionadas com as diferenças de área foliar. Pois uma maior área foliar é um dos promotores de um maior

crescimento e desenvolvimento. Neste sentido, os estudos de Hesketh e Baker (1967), Irvine (1975), Machado (1985), Trpani et al. (1992), Farias (2001) e Varela (2003) apresentam resultados que se aproximam dos resultados encontrados nesta pesquisa.

Tabela 10. Médias do desdobramento da interação L x Zn para a área foliar da cana-de-açúcar, aos 150 dias após a brotação. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

FV	Área foliar (cm ²)		FV	Área foliar (cm ²)	
L em Zn ₀	Sequeiro	1263,96	Zn em Seq.	Zn ₀	1263,96
	25% ETc	2019,49		Zn ₁	1388,56
	50% ETc	2133,14		Zn ₂	1472,25
	75% ETc	2065,33		Zn ₃	1642,09
	100% ETc	1966,69		Zn ₄	1400,97
	Média	1889,72		Média	1433,56
L em Zn ₁	Sequeiro	1388,56	Zn em 25%ETc	Zn ₀	2019,49
	25% ETc	1988,66		Zn ₁	1988,66
	50% ETc	2070,66		Zn ₂	2148,77
	75% ETc	2156,76		Zn ₃	2125,94
	100% ETc	2112,65		Zn ₄	2095,69
	Média	1943,46		Média	2075,71
L em Zn ₂	Sequeiro	1473,25	Zn em 50%ETc	Zn ₀	2133,14
	25% ETc	2148,77		Zn ₁	2070,66
	50% ETc	2194,55		Zn ₂	2194,55
	75% ETc	2173,30		Zn ₃	2201,44
	100% ETc	2847,12		Zn ₄	2156,35
	Média	2167,40		Média	2151,22
L em Zn ₃	Sequeiro	1642,09	Zn em 75%ETc	Zn ₀	2065,33
	25% ETc	2125,94		Zn ₁	2156,76
	50% ETc	2201,44		Zn ₂	2173,30
	75% ETc	2175,03		Zn ₃	2175,03
	100% ETc	3110,27		Zn ₄	2049,20
	Média	2250,95		Média	2123,92
L em Zn ₄	Sequeiro	1406,97	Zn em 100%ETc	Zn ₀	1966,69
	25% ETc	2095,69		Zn ₁	2112,65
	50% ETc	2156,35		Zn ₂	2847,12
	75% ETc	2049,20		Zn ₃	3110,27
	100% ETc	2655,17		Zn ₄	2655,17
	Média	2072,68		Média	2538,38

Tabela 11. Estudo de regressão, desdobramento da interação L x Zn, para área foliar da cana-de-açúcar, variedade SP 79 1011, aos 150 dias após a brotação. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Coeficientes	Equação polinomial			
	Área foliar (L,Zn) = a + b*L + c*L ² + d*Zn + e*Zn ² + f*LZn			
		Valor	Teste T	Prob>T
a	Constante	0,144801E+04		
b	Lâmina	0,379126E+01	2,910716	0,0018
c	Lâmina ²	-0,567813E-02	-1,638298	0,0507
d	Zinco	0,172587E+03	1,584637	0,0565
e	Zinco ²	-0,431435E+02	-1,780377	0,0375
f	Lâmina * zinco	0,402597E+00	1,660420	0,0484
-----Análise de variância do modelo-----				
R ²				77
QM				1874491
Teste F				15,20
Prob>F				0,0000

Fica, também, evidenciado que o ponto de máxima área foliar, aos 150 DAB, se deu quando foi aplicada a dosagem de 3 kg ha⁻¹ de zinco, ocorrendo uma sensível queda quando foram aplicados 4 kg de Zn ha⁻¹. A Figura 11 ilustra o comportamento da cultura frente aos vários tratamentos estudados, e é o resultado da função de resposta para área foliar, apresentada na Tabela 11.

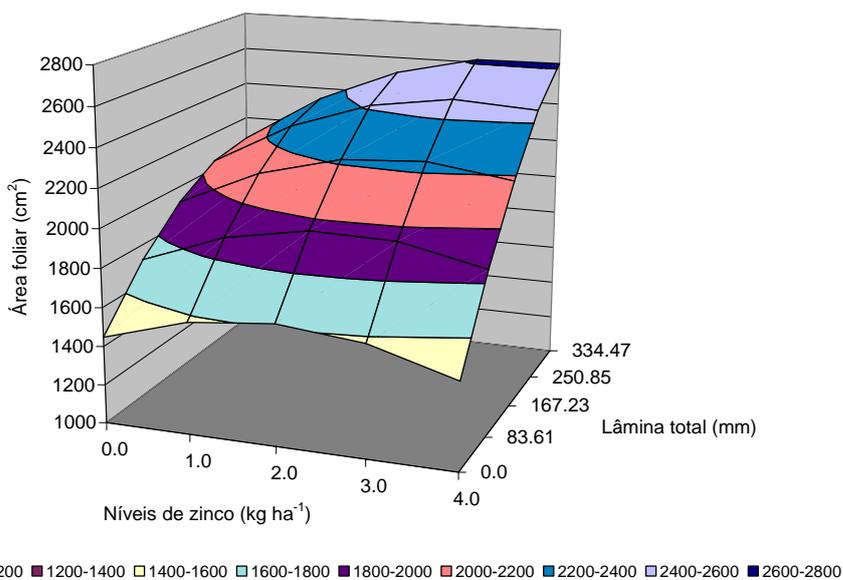


Figura 12. Efeito da interação entre lâmina de irrigação e níveis de zinco na área foliar da cana-de-açúcar, variedade SP 79 1011, aos 150 dias após a brotação. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Em termos de área foliar, aos 180 dias após a brotação, a cultura atingiu o seu ponto de máxima área foliar, quando submetida ao maior nível de irrigação (100% da ETc), conforme se depreende dos modelo constante na Tabela 10.

As diferenças, em termos percentuais, entre a cana irrigada com 100% da ETc e 3 kg de Zn ha⁻¹, e a cana irrigada com 75% da ETc (estresse de 25%), também adubada com 3 kg de Zn ha⁻¹, giram em torno de 30,00%. Analogamente, em relação à cultura irrigada com 50% (estresse de 50%), 25% (estresse de 75%) e sob condições de sequeiro são, respectivamente: 17,08%, 31,64% e 38,15%.

Comparando-se os dados obtidos dos 180 aos 210 dias após a brotação, notou-se que houve uma diminuição no ritmo de crescimento da área foliar, quando a cultura foi irrigada. Todavia, o mesmo não foi observado quando a cana foi submetida ao estresse hídrico severo (cana de sequeiro). Na segunda quinzena de maio (210 DAB), iniciou-se o período de chuvas na região. A partir desse período, a duração do dia é reduzida de 11 para 8 horas de luz

enquanto o volume de chuvas aumenta abruptamente. Tais fatos justificam a estabilização do crescimento da área foliar para cana irrigada e o aumento da área foliar da cana cultivada em regime de sequeiro.

Ao se comparar a área foliar da planta aos 270 dias após a brotação, com a área foliar aos 210 dias, verificam-se evidentes diferenças: quando irrigada com 100% da ETc cresceu 17,69%, enquanto a cana irrigada com 75% da ETc, cresceu 8,58% e, analogamente, quando recebeu 50% da ETc, cresceu 10,33%. Os maiores crescimentos foram observados nos tratamentos onde a irrigação correspondeu a 25% da ETc e sequeiro, registrando-se diferenças, respectivamente, de 22,58% e 38,39%. Os maiores aumentos em altura foram, também nos tratamentos de sequeiro e 25% da ETc e nesse período, tiveram início as chuvas. Assim, em resposta à maior umidade do solo, a cultura reagiu, tentando recuperar-se do prejuízo causado pela longa estiagem. A justificativa para tal comportamento encontra forte embasamento no fato de que, nesse mesmo período, houve também um maior crescimento da área da folha para a cana, quando submetida ao regime de sequeiro e 25% da ETc.

Na Tabela 9, estão apresentados os dados de área foliar aos 360 dias após a brotação. Não houve diferença estatisticamente significativa para nenhum dos fatores envolvidos nesta pesquisa. Ao final do ano de cultivo, a área foliar média foi de 2.230,60 cm². Tal fato encontra embasamento nas afirmações de Larcher (1995), quando afirma que a produção de hormônios controladores do crescimento na fase de maturação aumenta a senescência e a abscisão foliar. Como pode ser observado na Figura 12, ao final do ano de cultivo, o comportamento da área foliar da cana que recebeu 100%, 75% e 50% da ETc foi decrescente, tendo em vista o processo de maturação no qual se encontrava e em consequência da alta taxa de abscisão foliar.

Em contrapartida, a cana irrigada com 25% da ETc, bem como a cana submetida ao regime de sequeiro, dada a sua baixa maturação (assunto que será abordado adiante) encontravam-se, na época do corte, ainda em condições de crescimento. Esse fenômeno foi favorecido pelo aumento da quantidade de água sobre a cultura, decorrentes das chuvas. Desta forma, sob estresse mais severo, a cultura começa a recuperar seu crescimento. O reflexo dessa reação é o aumento da área da folha que, nesse caso, foi igual em todos os tratamentos.

A análise da área foliar remete a discussão para a análise do índice de área foliar (IAF). A compreensão desse índice (Figuras 13 e 14) (m^2 de área foliar/ m^2 de área coberta) é fundamental nesta discussão.

Na Tabela 12, consta o resumo da ANOVA para o índice de área foliar. Observa-se que houve efeito significativo, com nível de significância de 5% de probabilidade, para os blocos, quando analisados isoladamente (bloco/lâmina) e para o fator zinco. Nota-se, também que houve efeito, com nível de significância de 1%, para o fator lâmina de água de irrigação aos 150 dias após a brotação.

O índice de área foliar decresce com a redução do número de perfilhos m^{-1} e da área foliar. Esta, por sua vez, decresce com a diminuição da umidade do solo, como discutido anteriormente. O efeito significativo da interação da água com zinco, aos 150 e 180 dias após a brotação, evidencia a importância do elemento zinco no aumento da área da folha e, conseqüentemente, na taxa de fotossíntese da planta. A esse respeito, Taiz e Zeiger (1991) fazem a seguinte afirmação: “Especificamente o zinco é constituinte da enzima álcool desidrogenase e esse elemento pode ser exigido para a síntese de clorofila em algumas plantas. Ele é essencial para a biossíntese do 3-indol-acético (AIA) conhecido regulador do crescimento”.

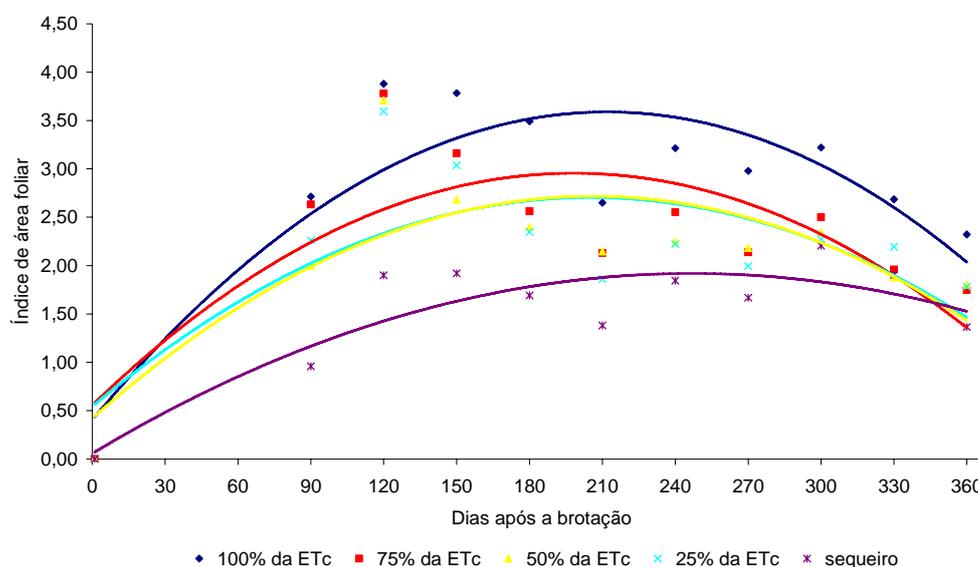


Figura 13. Evolução do índice de área foliar da cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011) no período de cultivo, para os cinco tratamentos de irrigação estudados na fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Týpani (1992) afirma que a interceptação da luz está diretamente relacionada com o índice de área foliar. Para Heskth e Baker (1967), o valor do IAF está intimamente associado à quantidade de luz absorvida com a fotossíntese total. Nesse sentido, o aproveitamento da luz solar, pelo dossel foliar, passa a ser relacionado com o índice de área foliar. Assim, quanto maior o IAF, maior é a capacidade da planta aproveitar a luz. Na Tabela 13, a seguir, está apresentado o desdobramento da interação entre lâminas de água de irrigação e níveis de zinco aplicados no solo para o índice de área foliar.

Verificou-se que o aumento da lâmina de água de irrigação proporcionou um maior efeito dos níveis de zinco. Dessa forma, aos 150 dias após a brotação, a cultura atingiu valores máximos de IAF, para um mesmo tratamento de irrigação, quando adubada com 3 kg de Zn ha⁻¹. No entanto, o índice de área foliar máximo aos 150 DAB (5,11), foi atingido quando a cultura foi irrigada com 100% da ETc.

Segundo Chang (1968), o ideal é que o índice de área foliar máximo ocorra sob condições climáticas satisfatórias à fotossíntese, ou seja, na época de maior radiação solar. Uma planta em condições de estresse hídrico pode ter o seu crescimento reduzido em até 80% (Koehler, 1982). O índice de área foliar máximo aos 180 dias após a brotação (4,00), foi atingido quando a cultura foi irrigada com 100% da Etc e foi adubada com 3 kg de Zn ha⁻¹. Portanto, verifica-se que a cultura passa por uma fase de declínio em termos de IAF. A referida redução dos 150 para os 180 DAB foi da ordem 21,72%.

Aos 180 dias após a brotação, os valores obtidos nesta pesquisa estão próximos aos encontrados por Robertson et al. (1999), que detectaram 4,92, como IAF máximo. Porém, distanciaram-se dos que foram constatados por Farias (2001), máximo de 6,48, e por Chang (1968) para quem o IAF está entre 9 e 12.

Tabela 12. Resumo da análise de variância e ANOVA da regressão para o índice de área foliar da cana-de-açúcar (variedade SP 79-1011). Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Fonte de variação	Dias após a brotação						
	90	150	180	210	270	300	360
Quadrados médios							
QMR	0,1316	0,1700	0,1020	0,080	0,056	0,0941	0,036
CV (%)	17,35	14,31	12,20	14,00	8,95	12,47	10,57
Bloco/lâm.	0,3223*	0,7230**	0,2058 ^{ns}	0,2292**	0,4115*	0,2979**	0,0315 ^{ns}
Lâmina	0,6228**	6,7191**	6,0334**	2,3355**	3,6299**	2,4896**	1,7134**
Zn	0,3883 ^{ns}	1,2390**	0,1919*	0,0780 ^{ns}	0,1000 ^{ns}	0,0197 ^{ns}	0,0208 ^{ns}
Lâm. x Zn	0,0810 ^{ns}	0,4488**	0,2042*	0,0402 ^{ns}	0,0157 ^{ns}	0,0798 ^{ns}	0,0662 ^{ns}
ANOVA e índices da regressão							
	Modelo				QMDR	F	Prob F
Sequeiro	-3E-05**DAB ² + 0,0151**DAB + 0,0568; R2 = 0,7669				1,459776	15,08	0,0000
25% ETc	-5E-05 ^{ns} DAB ² + 0,0211 ^{ns} DAB + 0,5428; R2 = 0,5365				0,644710	4,70	0,0162
50% ETc	-5E-05 ^{ns} DAB ² + 0,0223 ^{ns} DAB + 0,42; R2 = 0,6127				0,288178	0,46	Ns
75% ETc	-6E-05 ^{ns} DAB ² + 0,0242 ^{ns} DAB + 0,5563; R2 = 0,6231				1,155006	8,33	0,0012
100% ETc	-7E-05**DAB ² + 0,0301**DAB + 0,4047; R2 = 0,7771				2,101296	7,02	0,0030
Médias para lâmina de água de irrigação							
Sequeiro	0,94	1,93	1,75	1,49	1,66	2,17	1,36
25% ETc	1,98	3,03	2,33	1,84	1,99	2,22	1,77
50% ETc	2,00	2,71	2,38	2,11	2,07	2,27	1,80
75% ETc	2,58	3,10	2,61	1,12	2,16	2,45	1,74
100% ETc	2,93	3,77	3,50	2,56	2,99	3,16	2,31
Médias para níveis de zinco							
0	2,20	2,60	2,52	1,96	2,16	2,51	1,81
1	2,27	2,67	2,37	1,97	2,05	2,47	1,80
2	1,93	3,10	2,54	1,94	2,21	2,44	1,78
3	1,94	3,29	2,68	2,11	2,27	2,42	1,86
4	2,11	2,88	2,45	2,10	2,18	2,44	1,76

** significativo com 1%; * significativo com 5%; ^{ns} não significativo pelo teste F; x - valores não calculados pelo SAEG 9.0; QMR - quadrado médio do resíduo; CV(%) - coeficiente de variação; QMDR - quadrado médio devido a regressão; F - valor de F calculado; Prob. F - significância do modelo; Sequeiro - lâmina de irrigação 0 mm; 25% da ETc - lâmina de irrigação 256,64 mm; 50% da ETc - lâmina de irrigação 513,29 mm; 75% da ETc - lâmina de irrigação 769,93 mm; 100% da ETc - lâmina de irrigação 1026,57 mm

Tabela 13. Médias do desdobramento da interação L x Zn para o índice de área foliar da cana-de-açúcar aos 150 e 180 dias após a brotação. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

FV	Índice de área foliar (cm ² /cm ²)		
	150 dias após a brotação	180 dias após a brotação	
L em Zn ₀	Sequeiro	1,78	1,81
	25% ETc	2,60	2,31
	50% ETc	2,89	2,18
	75% ETc	2,96	2,73
	100% ETc	2,81	3,60
	Média	2,61	2,52
L em Zn ₁	Sequeiro	1,79	1,76
	25% ETc	2,52	2,14
	50% ETc	2,85	2,00
	75% ETc	3,19	2,36
	100% ETc	3,02	3,63
	Média	2,67	2,38
L em Zn ₂	Sequeiro	1,96	1,81
	25% ETc	2,74	2,46
	50% ETc	3,15	2,30
	75% ETc	3,36	2,88
	100% ETc	4,29	3,67
	Média	3,10	2,62
L em Zn ₃	Sequeiro	2,20	1,80
	25% ETc	2,78	2,56
	50% ETc	3,23	2,67
	75% ETc	3,14	2,67
	100% ETc	5,11	4,00
	Média	2,29	2,74
L em Zn ₄	Sequeiro	1,94	1,57
	25% ETc	2,92	2,51
	50% ETc	3,08	2,77
	75% ETc	2,87	2,47
	100% ETc	3,63	2,99
	Média	2,88	2,46
Zn em Seq.	Zn ₀	1,78	1,57
	Zn ₁	1,79	1,80
	Zn ₂	1,96	1,83
	Zn ₃	2,20	1,76
	Zn ₄	1,94	1,81
	Média	1,93	1,75
Zn em 25%ETc	Zn ₀	2,60	2,31
	Zn ₁	2,52	2,14
	Zn ₂	2,74	2,46
	Zn ₃	2,78	2,26
	Zn ₄	2,92	2,51
	Média	2,71	2,33
Zn em 50%ETc	Zn ₀	2,89	2,18
	Zn ₁	2,85	2,00
	Zn ₂	3,15	2,30
	Zn ₃	3,23	2,67
	Zn ₄	3,08	2,77
	Média	3,04	2,38
Zn em 75%ETc	Zn ₀	2,96	2,73
	Zn ₁	3,19	2,36
	Zn ₂	3,36	2,88
	Zn ₃	3,14	2,67
	Zn ₄	2,87	2,42
	Média	3,10	2,61
Zn em 100%ETc	Zn ₀	2,81	3,60
	Zn ₁	3,02	3,63
	Zn ₂	4,29	3,27
	Zn ₃	5,11	4,00
	Zn ₄	3,36	2,99
	Média	3,71	2,50

Tabela 14. Estudo de regressão, desdobramento da interação L x Zn, para o índice de área foliar da cana-de-açúcar aos 150 dias após a brotação da variedade SP 79 1011. Fazenda Capim II, capim/PB, 2005

Coeficientes	Equação polinomial			
	Índice de área foliar (L,Zn) = $a + b*L + c*Zn + d*Zn^2 + e*LZn$			
		Valor	Teste T	Prob>T
<i>a</i>	Constante	0,195847E+01		
<i>b</i>	Lâmina	0,328518E-02	3,080341	0,0003
<i>c</i>	Zinco	0,354590E+00	1,813080	0,0349
<i>d</i>	Zinco ²	-0,840756E-01	-1,932121	0,0267
<i>e</i>	Lâmina * zinco	0,596693E-03	1,370460	0,0853
-----Análise de variância do modelo-----				
R ²				57
Qd. médio				6,369689
Teste F				15,94
Prob>F				0,0000

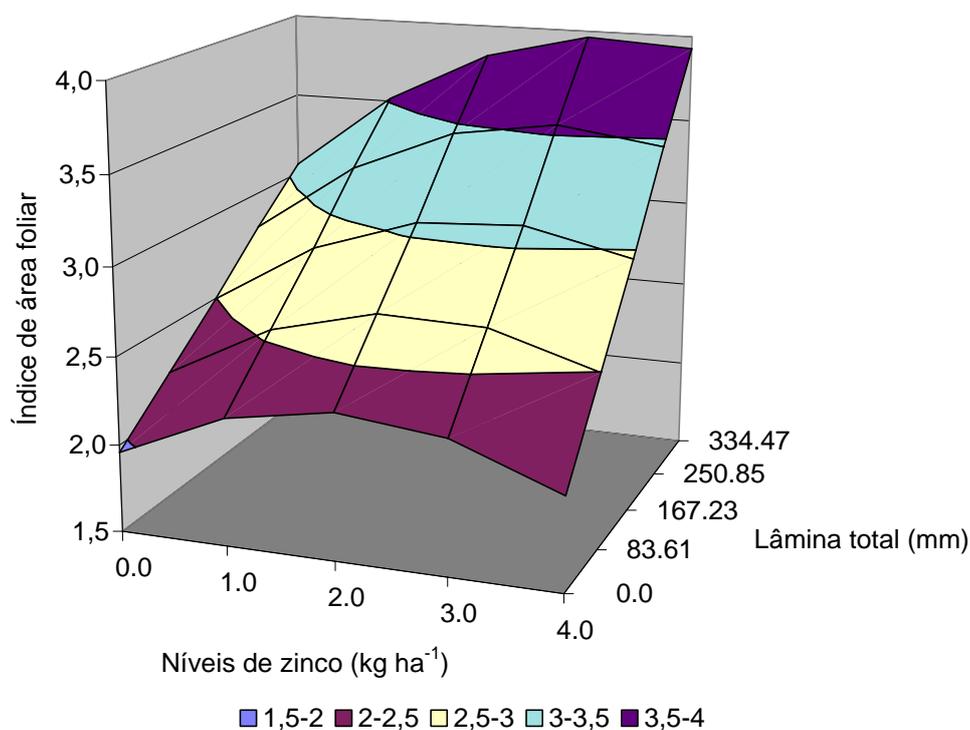


Figura 14. Efeito da interação entre lâmina de irrigação e níveis de zinco no índice área foliar da cana-de-açúcar aos 150 dias após a brotação da variedade SP 79 1011. Fazenda Capim II, capim/PB, 2005

Tabela 15. Estudo de regressão, desdobramento da interação L x Zn, para o índice de área foliar da cana-de-açúcar aos 180 dias após a brotação da variedade SP 79 1011. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Coeficientes	Equação polinomial			
	Índice de área foliar (L,Zn) = $a + b*L + c*Zn$			
		Valor	Teste T	Prob>T
<i>a</i>	Constante	0,170165E+01		
<i>b</i>	Lâmina	0,321422E-02	10,871591	0,0001
<i>c</i>	Zinco	0,152979E-01	0,441316	0,3295
-----Análise de variância do modelo-----				
R ²				68
QM				10,66910
Teste F				59,19
Prob>F				0,0000

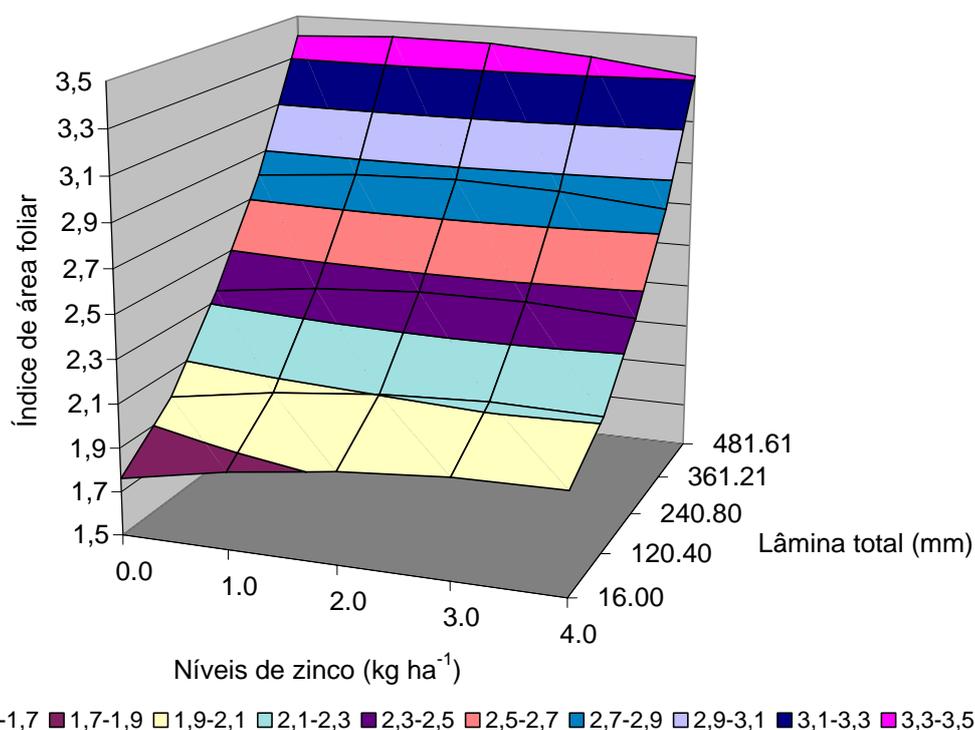


Figura 15. Efeito da interação entre lâmina de irrigação e níveis de zinco no índice área foliar da cana-de-açúcar aos 180 dias após a brotação da variedade SP 79 1011. Fazenda Capim II, capim/PB, 2005

Na Tabela 14, estão apresentados os dados referentes ao índice de área foliar. Pode-se observar que, em relação a esse índice a cultura respondeu, de forma significativa aos

níveis de lâmina de água de irrigação. Aos 360 dias após o plantio, o índice de área foliar máximo foi atingido, quando a cultura foi irrigada com 100% da ETc (2,31 cm² cm⁻²). O IAF da cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011), irrigada com 75%, 50% e 25% da ETc, não foram estatisticamente diferente, sendo em média (1,77 cm² cm⁻²). O menor índice foi encontrado na cultura, quando submetida ao regime de sequeiro (1,36 cm² cm⁻²). Nota-se que as diferenças, nesse sentido, são evidentes e que, ao final, a senescência das folhas equaliza a diferença entre a área foliar dos tratamentos.

4.1.4 Fitomassa total

O resumo da ANOVA para cada período de coleta está exposto na Tabela 16, onde pode ser observado efeito significativo ($p < 0,01$) para lâminas de água de irrigação, em todos os períodos avaliados. Do início do crescimento até os 210 dias após a brotação não foi observado efeito significativo para os níveis de zinco testados. Aos 270 e 360 dias após a brotação foi verificado efeito significativo da aplicação de Zn, com 1% de probabilidade.

Na Tabela 16 verifica-se o resumo da análise de variância para os modelos de regressão apresentados na Figura 16, onde está representado o comportamento da cultura dos 90 aos 360 dias após a brotação. Evidenciando-se que o aumento da lâmina de água de irrigação acarretou em uma maior fitomassa acumulada. Pelas médias expostas na Tabela 16, já aos 90 dias após a brotação, a fitomassa da cana 'SP 79 1011' aumentou de 12,18 g/planta, quando cultivada em regime de sequeiro (780,00 mm), para 23,38 g/planta quando irrigada com 100% da ETc (1.221,08 mm). Aos 360 dias após a brotação, quando submetida ao regime de sequeiro acumulou 222,00 g/planta, e quando irrigada com 100% da ETc o acúmulo no mesmo período foi de 417,99 g/planta, ou seja, um aumento de 88,28%. Isso é uma evidência do dano causado pelo estresse hídrico à cultura da cana-de-açúcar.

Irvine (1975) afirma que, quanto maior for o órgão fotossintetizador e, conseqüentemente, o índice de área foliar, maior será a quantidade de luz interceptada e maior também a produção de biomassa. Os resultados encontrados nesta pesquisa confirmam a afirmação do autor, haja visto o fato de que o índice de área foliar foi crescente durante todo o período, elevando-se à medida que aumentou a lâmina de água de irrigação. De acordo com Taiz & Zeiger (1991), em resposta ao déficit hídrico, a limitação à expansão da área foliar, com possível decréscimo, é a primeira resposta ao déficit hídrico, podendo ser considerado como uma primeira adaptação da planta contra a seca.

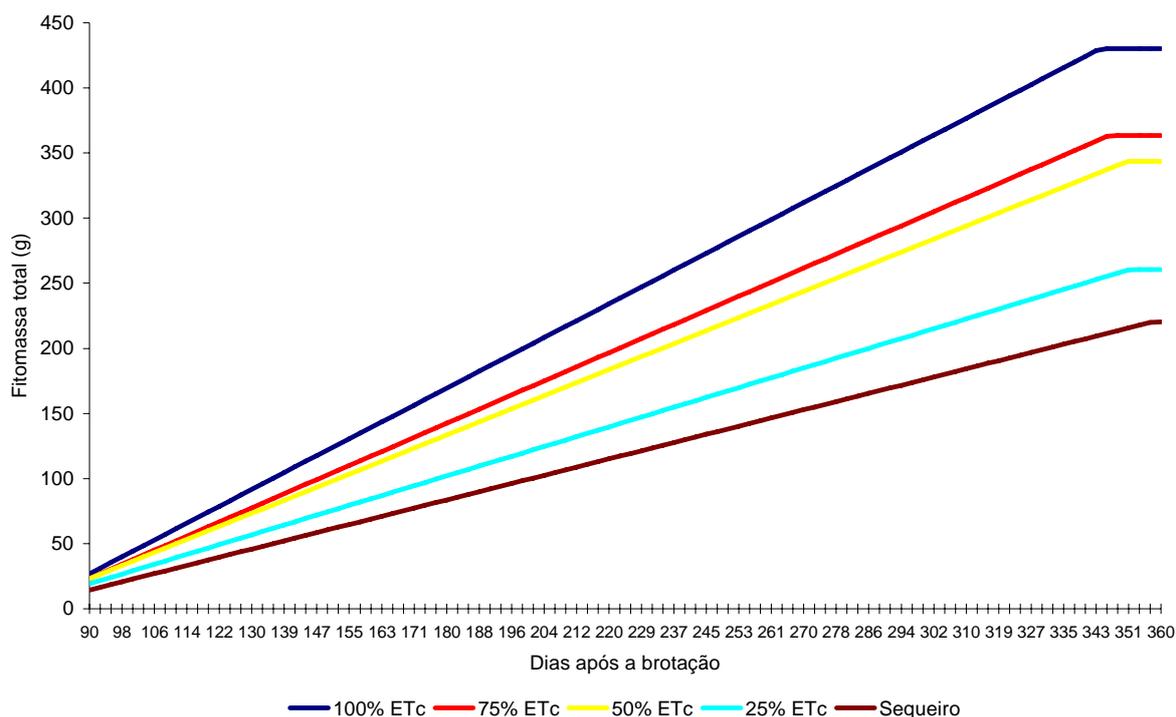


Figura 16. Evolução fitomassa total, variedade SP 79 1011, (Linear response plateau) ao longo do período de cultivo, para os cinco tratamentos estudados. Fazenda Capim II, Capim/ PB, 2005

Na Tabela 18, estão apresentados os dados referentes ao estudo da correlação de Pearson entre as variáveis, índice de área foliar e fitomassa total. Observa-se que a correlação foi sempre positiva. Dessa forma, quanto maior o índice de área foliar também maior será a fitomassa total, em grau muito forte de correlação entre ambas. Aos 360 dias após a brotação ocorreu efeito significativo com nível de 1% de probabilidade para a interação entre as lâminas de água de irrigação e os níveis de zinco estudados.

Na Tabela 17, estão expostas as médias para o desdobramento da interação, constatando-se que com a aplicação de 1.013,70 mm (75% da ETc + PE) associada a 3 kg de zinco ha⁻¹ a fitomassa acumulada foi de 482,82 g/planta. Quando a cultura foi submetida ao regime de sequeiro e sem zinco, a média desse desdobramento foi de 215,57 g/planta.

Tabela 16. Resumo da análise de variância e ANOVA da regressão para a fitomassa total da cana-de-açúcar (variedade SP 79-1011). Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Fonte de variação	Dias após a brotação						
	90	150	180	210	270	300	360
Quadrados médios							
QMR	5,99	188,82	160,54	358,85	13998,08	531,34	1117,11
CV (%)	12,85	13,92	10,61	11,87	8,95	8,72	10,01
Bloco/lâm.	12,3477 ^{ns}	327,76 ^{ns}	-461,95 ^{**}	1620,65 ^{**}	1169,97 ^{**}	1101,42 [*]	1050,19 ^{ns}
Lâmina	346,4913 ^{**}	13864,65 ^{**}	39429,7 ^{**}	95542,85 ^{**}	92355,92 ^{**}	99876,18 ^{**}	174534,3 ^{**}
Zn	4,8941 ^{ns}	285,54 ^{ns}	223,15 ^{ns}	789,79 ^{ns}	1163,76 ^{**}	449,69 ^{ns}	18086,93 ^{**}
Lâm. x Zn	7,5183 ^{ns}	88,15 ^{ns}	355,87 ^{ns}	371,87 ^{ns}	244,50 ^{ns}	437,19 ^{ns}	5036,22 ^{**}
ANOVA e índices da regressão (linear response plateau)							
	Modelo				QMDR	F	Prob F
Sequeiro	0,2222 ^{**} DAB - 76,95; R2 = 0,93: Plateau = 220,22				82186,96	428,80	0,0072
25% ETc	0,9212 ^{**} DAB - 63,83; R2 = 0,97: Plateau = 260,48				126878,8	584,48	0,0000
50% ETc	1,2257 ^{**} DAB - 87,1826; R2 = 0,99: Plateau = 343,68				45072,58	827,58	0,0000
75% ETc	1,3239 ^{**} DAB - 95,846; R2 = 0,98: Plateau = 363,46				52583,17	276,82	0,0001
100% ETc	1,5836 ^{**} DAB - 115,663; R2 = 0,96: Plateau = 430,23				75236,48	120,26	0,0004
Médias para lâmina de água de irrigação							
Sequeiro	12,18	32,19	43,38	48,69	92,13	144,39	222,00
25% ETc	16,36	76,59	100,89	119,50	168,93	228,99	291,97
50% ETc	19,97	87,51	143,85	170,79	237,6	289,08	258,68
75% ETc	23,3	84,23	150,46	189,61	233,50	298,85	378,46
100% ETc	23,38	113,39	158,06	258,81	290,06	360,37	417,99
Médias para níveis de zinco							
0	19,35	80,86	115,80	148,10	197,97	255,83	315,68
1	18,18	76,10	114,89	157,91	204,27	268,36	314,69
2	18,93	77,89	120,30	160,17	221,37	261,70	331,89
3	19,09	84,60	122,47	164,38	212,79	266,67	382,73
4	19,71	86,40	123,29	166,84	208,71	268,71	324,11

^{**} significativo com 1%; ^{*} significativo com 5%; ^{ns} não significativo pelo teste F; x - valores não calculados pelo SAEG 9.0; QMR - quadrado médio do resíduo; CV(%) - coeficiente de variação; QMDR - quadrado médio devido a regressão; F - valor de F calculado; Prob. F - significância do modelo; Sequeiro - lâmina de irrigação 0 mm; 25% da ETc - lâmina de irrigação 256,64 mm; 50% da ETc - lâmina de irrigação 513,29 mm; 75% da ETc - lâmina de irrigação 769,93 mm; 100% da ETc - lâmina de irrigação 1026,57 mm

Tabela 17. Médias do desdobramento da interação L x Zn para fitomassa total da cana-de-açúcar aos 360 dias após a brotação. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

FV		Fitomassa total (g)	FV	Fitomassa total (g)	
L em Zn ₀	Sequeiro	215,57	Zn ₀	215,57	
	25% ETc	274,02	Zn ₁	220,12	
	50% ETc	335,50	Zn em Seq.	Zn ₂	222,58
	75% ETc	343,26	Zn ₃	226,12	
	100% ETc	410,08	Zn ₄	225,62	
	Média	315,68	Média	222,00	
L em Zn ₁	Sequeiro	220,12	Zn em 25%ETc	Zn ₀	274,02
	25% ETc	283,49	Zn ₁	283,49	
	50% ETc	366,13	Zn ₂	303,12	
	75% ETc	353,98	Zn ₃	319,60	
	100% ETc	349,76	Zn ₄	279,62	
	Média	314,69	Média	291,97	
L em Zn ₂	Sequeiro	222,58	Zn em 50%ETc	Zn ₀	320,50
	25% ETc	303,12	Zn ₁	351,13	
	50% ETc	358,76	Zn ₂	343,76	
	75% ETc	357,03	Zn ₃	344,98	
	100% ETc	418,00	Zn ₄	358,08	
	Média	331,89	Média	343,69	
L em Zn ₃	Sequeiro	226,12	Zn em 75%ETc	Zn ₀	291,59
	25% ETc	319,60	Zn ₁	302,31	
	50% ETc	359,98	Zn ₂	305,37	
	75% ETc	482,82	Zn ₃	431,16	
	100% ETc	425,14	Zn ₄	303,57	
	Média	362,75	Média	326,80	
L em Zn ₄	Sequeiro	225,62	Zn em 100%ETc	Zn ₀	411,75
	25% ETc	279,62	Zn ₁	460,81	
	50% ETc	373,08	Zn ₂	497,20	
	75% ETc	355,24	Zn ₃	657,81	
	100% ETc	387,00	Zn ₄	540,27	
	Média	324,11	Média	513,56	

Tabela 18. Estudo da correlação de Pearson entre o índice de área foliar e o acúmulo de fitomassa total, ao longo do tempo, para a variedade de cana SP 79 1011. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Período	Variável	Variável	Observações	Correlação ¹	T	Significância ²
90 DAB	IAF	FT	75	0,7837	10,7806	0,0001
150 DAB	IAF	FT	75	0,7276	9,0620	0,0001
180 DAB	IAF	FT	75	0,6974	8,3130	0,0001
210 DAB	IAF	FT	75	0,7394	9,3845	0,0001
270 DAB	IAF	FT	75	0,7238	8,9633	0,0001
300 DAB	IAF	FT	75	0,6327	6,9809	0,0001
360 DAB	IAF	FT	75	0,6584	7,4741	0,0001

1- Correlação > 0: é positiva e quanto maior a variável 1 maior a variável 2. Correlação = 0: não há relação alguma entre as variáveis. Correlação < 0: significa que, quanto maior a variável 1, menor é a variável 2. 2 - 0,0001 é significativo à 1%.

O modelo exposto na Tabela 19 para o comportamento da cultura aos 360 dias após a brotação foi estudado estatisticamente. Pode-se observar, na mesma tabela, a significância para cada coeficiente da equação que melhor se ajustou aos dados de campo. Tal ajuste, foi traduzido graficamente na Figura 17. Conforme o polinômio, o acúmulo de fitomassa no final do ano de cultivo por parte da cana-de-açúcar foi de 185,76 g/planta quando a cana foi submetida ao regime de sequeiro e sem aplicação de zinco; e 400,05 g/planta quando foi irrigada com 100% da ETc, uma diferença substancial em termos de matéria seca de 115,53%. O fato da interação ter sido significativa comprova a importância da participação do elemento zinco na nutrição da cultura da cana-de-açúcar. Significa dizer, também, que o efeito do zinco é maior quanto maior for a umidade do solo e que sua absorção é prejudicada quando a cultura é cultivada em regime de sequeiro ou ainda com níveis de irrigação deficitários.

Carrijo et al. (2004) cita que para os nutrientes que apresentam 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 devido a 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.

Kochian (1993), citado por Hart et al. (1998), afirma que a absorção do zinco ocorre por um processo termodinamicamente passivo, cuja translocação se processa através da

plasmalema. Segundo o autor, trata-se de um processo afetado pela temperatura e que provavelmente, a baixa temperatura, de forma indireta, inibe o potencial da membrana, reduzindo a absorção do zinco. Neste caso, pressupõe-se que temperaturas mais elevadas favorecem a absorção do zinco e como o processo é difusivo os tratamentos os quais foram submetidas as canas favoreceram uma maior absorção dependendo da umidade do solo em virtude da superficialização do sistema radicular.

Tabela 19. Estudo de regressão, desdobramento da interação L x Zn, a fitomassa total da cana-de-açúcar, variedade SP 79 1011, aos 360 dias após a brotação. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Coeficientes	Equações polinomiais			
	Fitomassa total (L,Zn) = a + b*L + c*L ² + d*Zn + e*Zn ² + f*LZn			
		Valor	Teste T	Prob>T
<i>a</i>	Constante	-0,564610E+03		
<i>b</i>	Lâmina	0,135203E+01	2,457679	0,0070
<i>c</i>	Lâmina ²	-0,473287E-03	-1,740075	0,0409
<i>d</i>	Zinco	0,709166E+01	0,194320	0,4230
<i>e</i>	Zinco ²	-0,583077E+01	-1,509292	0,0556
<i>f</i>	Lâmina * zinco	0,247020E-01	0,754939	0,0725
-----Análise de variância do modelo-----				
R ²				0,70
QM				66287,20
Teste F				21,15
Prob>F				0,0000

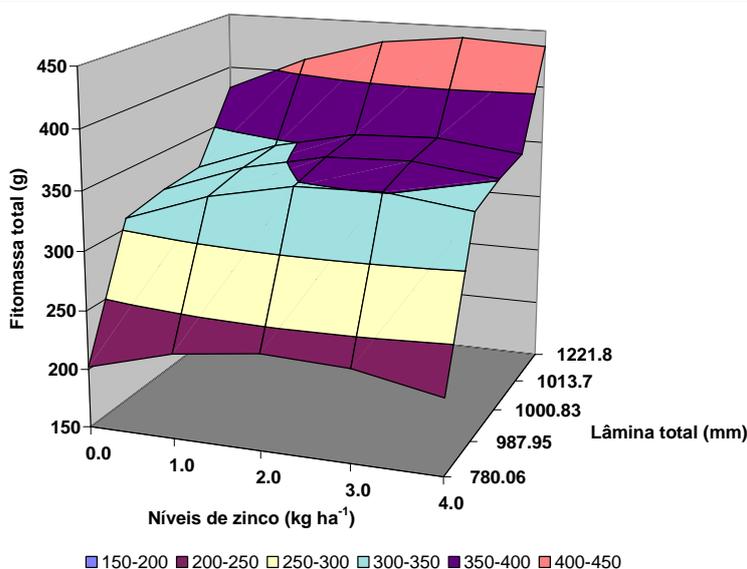


Figura 17. Efeito da interação entre lâmina de irrigação e níveis de zinco na fitomassa total da cana-de-açúcar, variedade SP 79 1011, aos 360 dias após a brotação. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

4.1.4 Partição de biomassa

Na Tabela 20 consta o resultado da ANOVA para a fitomassa acumulada nas folhas ao longo do tempo, onde pode ser observado efeito significativo de lâminas de água de irrigação ($p < 0,01$) em todos os períodos analisados.

O zinco não alterou o comportamento da cultura, exceto na colheita realizada aos 150 dias após a brotação onde a interação foi significativa. O estudo do desdobramento dessa interação está apresentado na Tabela 21 na qual pode ser observado que o modelo que melhor representa o acúmulo de fitomassa nas folhas, na realidade não apresenta o coeficiente da interação significativo; no entanto, a equação é válida pela alta significância apresentada do teste F. Graficamente tal efeito pode ser visualizado na Figura 18.

A fitomassa acumulada pela planta, nos colmos, ao longo do tempo, também foi estudada e o resumo da ANOVA está exposto na Tabela 22. Houve efeito significativo para a lâmina de água de irrigação, com nível de 1%, em todos os períodos avaliados. Entretanto não foi observado efeito significativo no acúmulo de fitomassa no colmo, até os 210 dias após a brotação; aos 270 dias após a brotação o efeito se tornou significativo, culminando com uma interação altamente significativa, somente aos 360 dias após a brotação. O desdobramento dessa interação pode ser observado na Tabela 23 em que consta o resumo da ANOVA para fitomassa dos colmos aos 360 dias após a brotação, e sua representação gráfica na Figura 19. Segundo o modelo, aos 360 dias após a brotação, a cana cultivada em regime de sequeiro e sem zinco acumulou 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%.

Uma justificativa para essa diferença, é o fato de que a área foliar se comportou de forma altamente significativa, quanto à lâmina, durante todo o período (Tabela 9), a planta, ao final do ano de cultivo, teve sua altura afetada, também, de forma altamente significativa pelos dois fatores estudados (Tabela 6); isso é um indicativo de que aos 360 dias após a brotação a fitomassa acumulada no colmo se deve ao seu crescimento diferenciado. E mais,

ao final do ano de cultivo a cultura reduziu o acúmulo de fitomassa na folha e passou a acumulá-la no colmo em forma de alongamento dos internódios.

Tabela 20. Resumo da análise de variância e ANOVA da regressão para a fitomassa das folhas para a cana-de-açúcar (variedade SP 79-1011). Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Fonte de variação	Dias após a brotação						
	90	150	180	210	270	300	360
Quadrados médios							
QMR	5,99	16,14	18,42	85,02	16,19	17,71	27,81
CV (%)	12,85	8,81	8,19	17,47	7,98	7,70	9,62
Bloco/lâm.	12,34 ^{ns}	61,62 ^{**}	72,97 ^{**}	238,26 ^{**}	28,59 ^{ns}	18,11 ^{ns}	30,29 ^{ns}
Lâmina	346,49 ^{**}	1039,44 ^{**}	1405,97 ^{**}	2316,97 ^{**}	364,26 ^{**}	388,84 ^{**}	214,69 ^{**}
Zn	4,89 ^{ns}	67,45 ^{**}	7,09 ^{ns}	39,53 ^{ns}	22,97 ^{ns}	0,75 ^{ns}	14,72 ^{ns}
Lâm. x Zn	5,99 ^{ns}	32,95 ^{**}	54,50 ^{ns}	73,58 ^{ns}	11,90 ^{ns}	15,34 ^{ns}	28,30 ^{ns}
Médias para lâmina de água de irrigação							
Sequeiro	12,18	32,19	37,78	35,96	45,76	51,40	56,42
25% ETc	16,36	41,29	47,98	45,47	46,90	53,03	56,54
50% ETc	19,97	45,97	57,35	58,38	50,26	51,48	50,50
75% ETc	23,33	44,94	56,15	55,75	50,51	49,88	51,16
100% ETc	23,38	53,62	62,55	68,32	58,36	62,56	59,26
Médias para níveis de zinco							
0	19,35	43,87	52,04	50,80	49,14	53,94	54,21
1	18,18	42,79	51,98	54,79	49,57	53,81	56,21
2	18,93	46,81	52,13	51,83	52,18	53,69	54,80
3	19,09	47,23	53,59	52,43	49,88	53,56	55,10
4	19,71	47,31	52,08	54,03	51,04	53,36	53,58

** significativo com 1%; * significativo com 5%; ^{ns} não significativo pelo teste F; x - valores não calculados pelo SAEG 9.0; QMR - quadrado médio do resíduo; CV(%) - coeficiente de variação; QMDR - quadrado médio devido a regressão; F - valor de F calculado; Prob. F - significância do modelo; Sequeiro - lâmina de irrigação 0 mm; 25% da ETc - lâmina de irrigação 256,64 mm; 50% da ETc - lâmina de irrigação 513,29 mm; 75% da ETc - lâmina de irrigação 769,93 mm; 100% da ETc - lâmina de irrigação 1026,57 mm

Tabela 21. Resumo da análise de variância e ANOVA da regressão para a fitomassa do colmo para a cana-de-açúcar (variedade SP 79-1011). Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Fonte de variação	Dias após a brotação						
	90	150	180	210	270	300	360
Quadrados médios							
QMR	0	122,08	119,2179	355,486	324,47	457,12	1024,80
CV (%)	0	31,05	16,30	17,67	11,66	10,15	11,94
Bloco/lâm.	0	143,14 ^{ns}	227,89 ^{ns}	832,37*	878,28*	1094,47*	1036,64 ^{ns}
Lâmina	0	7504,87**	22155,26**	68748,00**	82781,37**	9303,27**	170758,00**
Zn	0	162,21 ^{ns}	190,27 ^{ns}	633,51 ^{ns}	904,45*	475,86 ^{ns}	17997,39**
Lâm. x Zn	0	43,11 ^{ns}	175,91 ^{ns}	243,40 ^{ns}	217,83 ^{ns}	356,85 ^{ns}	4753,39**
Médias para lâmina de água de irrigação							
Sequeiro	0	0,00	5,59c	12,72	47,16	92,99	165,58
25% ETc	0	35,29	52,91b	74,03	122,03	175,95	235,42
50% ETc	0	41,53	86,50a	112,41	187,33	237,59	308,17
75% ETc	0	39,29	94,31a	143,85	204,98	248,56	327,30
100% ETc	0	61,77	95,51a	190,49	231,69	297,81	358,73
Médias para níveis de zinco							
0	0	37,01	63,76	97,29	148,83	201,89	261,47
1	0	33,31	62,81	103,11	154,66	214,55	258,48
2	0	31,07	68,17	108,33	169,13	208,01	277,09
3	0	37,43	68,87	111,95	157,66	213,10	327,63
4	0	39,09	71,21	112,81	157,66	215,35	270,52

** significativo com 1%; * significativo com 5%; ^{ns} não significativo pelo teste F; x - valores não calculados pelo SAEG 9.0; QMR - quadrado médio do resíduo; CV(%) - coeficiente de variação; QMDR - quadrado médio devido a regressão; F - valor de F calculado; Prob. F - significância do modelo; Sequeiro - lâmina de irrigação 0 mm; 25% da ETc - lâmina de irrigação 256,64 mm; 50% da ETc - lâmina de irrigação 513,29 mm; 75% da ETc - lâmina de irrigação 769,93 mm; 100% da ETc - lâmina de irrigação 1026,57 mm

Tabela 22. Estudo de regressão, desdobramento da interação L x Zn, para a fitomassa da folha da cana-de-açúcar, variedade SP 79 1011, aos 150 dias após a brotação. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Coeficientes	Equações polinomiais		
	Fitomassa da folha (L,Zn) = a+b*L+c*Zn+d*LZn		
	Valor	Teste T	Prob>T
a	Constante	0,356380E+02	
b	Lâmina	0,460506E-01	3,617596
c	Zinco	0,133363E+01	1,252937
d	Lâmina x zinco	-0,119628E-03	-0,230195
-----Análise de variância do modelo-----			
R ²			56
QM			731,5922
Teste F			12,91
Prob>F			0,0000

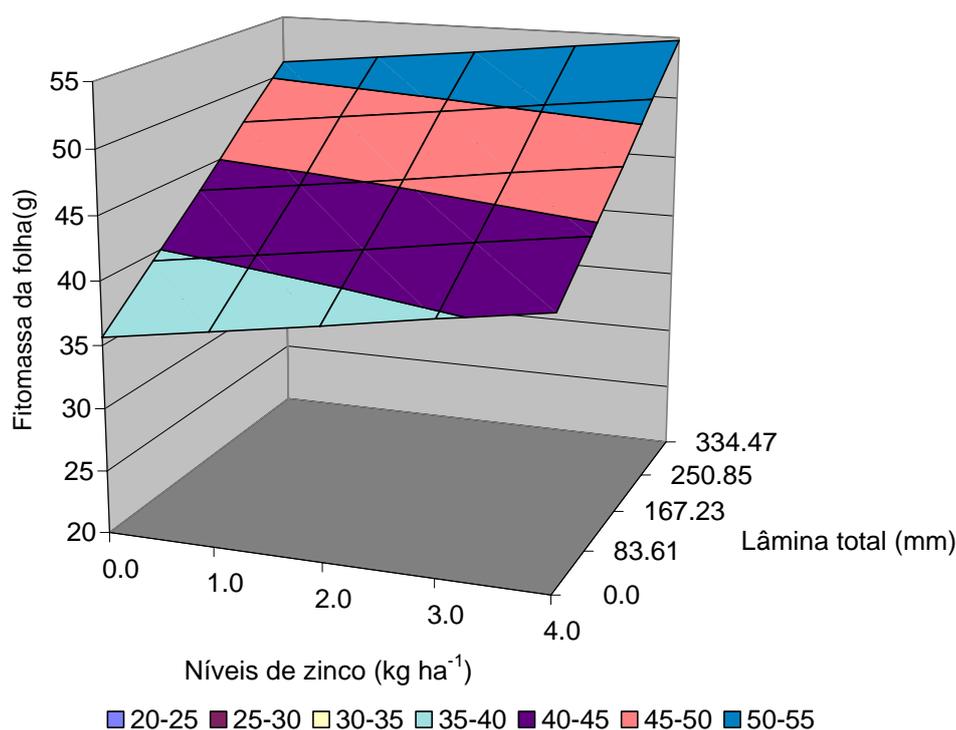


Figura 18. Efeito da interação entre lâmina de irrigação e níveis de zinco na fitomassa da folha da cana-de-açúcar aos 150 dias após a brotação da variedade SP 79 1011. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Tabela 23. Estudo de regressão, desdobramento da interação L x Zn, para a fitomassa do colmo da cana-de-açúcar, variedade SP 79 1011, aos 360 dias após a brotação. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Coeficientes	Equações polinomiais			
	Fitomassa do colmo (L,Zn) = $a+b*L+c*L^2+d*Zn+e*Zn^2$			
		Valor	Teste T	Prob>T
<i>a</i>	Constante	-0,766228E+03		
<i>b</i>	Lâmina	0,160665E+01	2,9256	0,0017
<i>c</i>	Lâmina ²	-0,578632E-03	-2,1161	0,0172
<i>d</i>	Zinco	0,305222E+02	1,8840	0,0298
<i>e</i>	Zinco ²	-0,544923E+01	-1,4030	0,0803
-----Análise de variância do modelo-----				
R ²				60
QM				81628,45
Teste F				25,79
Prob>F				0,0000

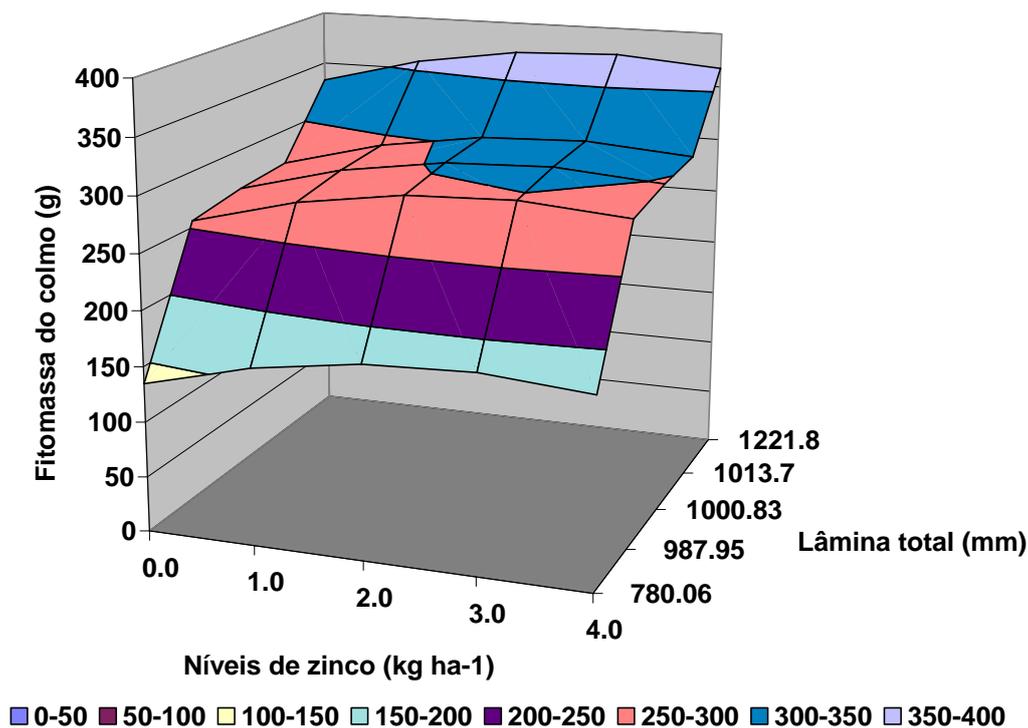


Figura 19. Efeito da interação entre lâmina de irrigação e níveis de zinco na fitomassa do colmo da cana-de-açúcar, variedade SP 79 1011, aos 360 dias após a brotação. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

A partição de matéria seca na cana ‘SP 79 1011’ ao longo de um ano, pode ser observada nas Figuras 20 a 24. Na Figura 20 estão os dados da partição da fitomassa da cana cultivada em regime de sequeiro, notando-se que até os 150 dias após a brotação, a cultura ainda não havia formado colmos. Os primórdios dos colmos foram quantificados somente aos seis meses de idade, com uma contribuição de 12,90% da massa seca total da planta. Há três meses para o final do primeiro ano de cultivo, como já foi abordado, a cana cultivada em regime de sequeiro, reagiu com a chegada do período de chuvas, respondendo com aumentos nos crescimentos foliar e caulinar, porém com maior acúmulo percentual nos colmos: 64,40% a 74,59%. Na referida figura, está expressa a produtividade final da cana, média dos cinco tratamentos com zinco.

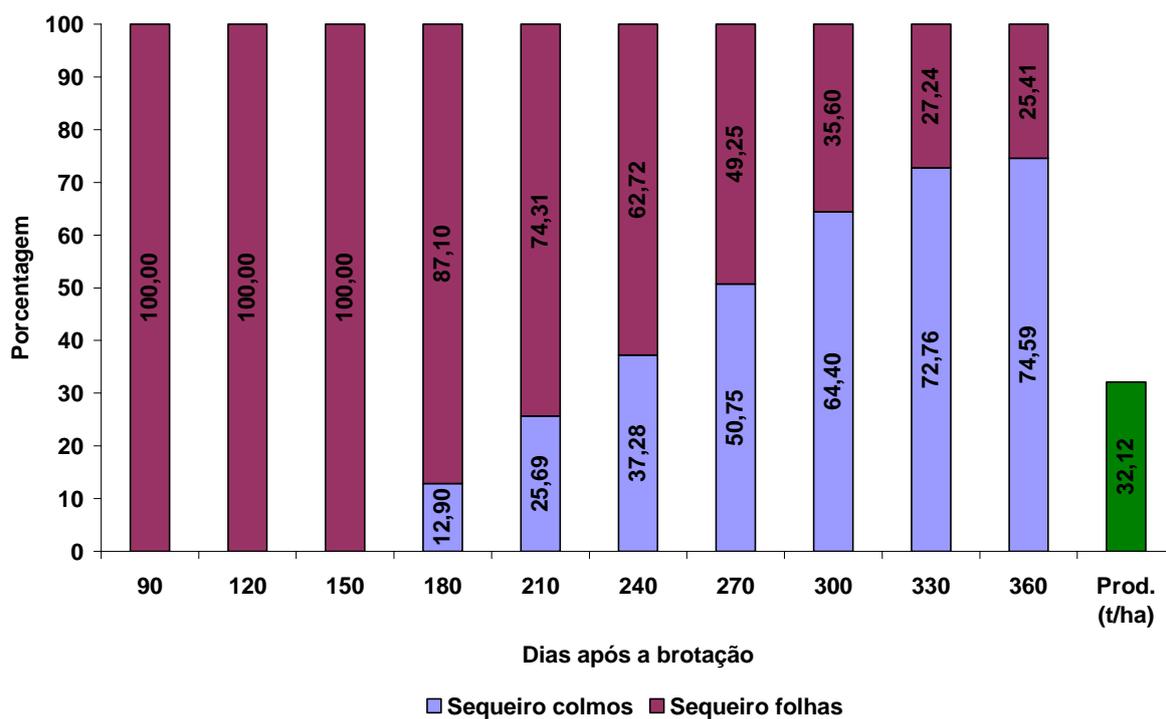


Figura 20. Partição e produtividade da fitomassa da cana'SP 79 1011' durante o período de cultivo, para o tratamento de sequeiro. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

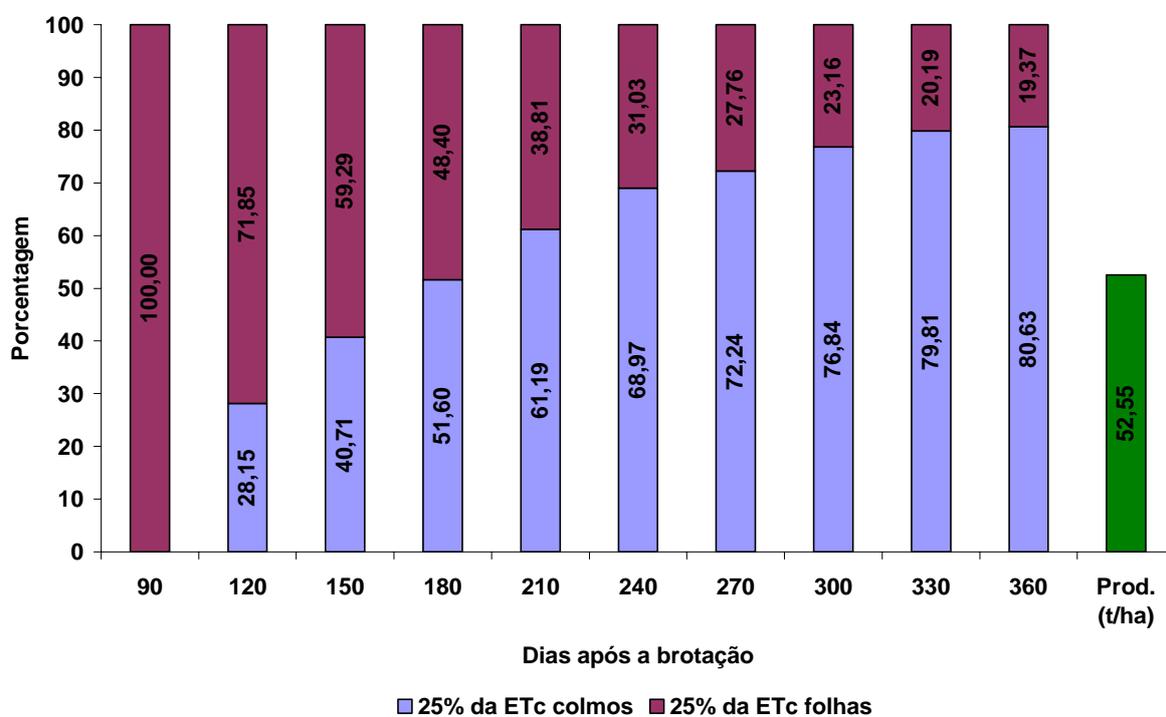


Figura 21. Partição e produtividade da fitomassa da cana'SP 79 1011' durante o período de cultivo, para o tratamento de 25% da ETC. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

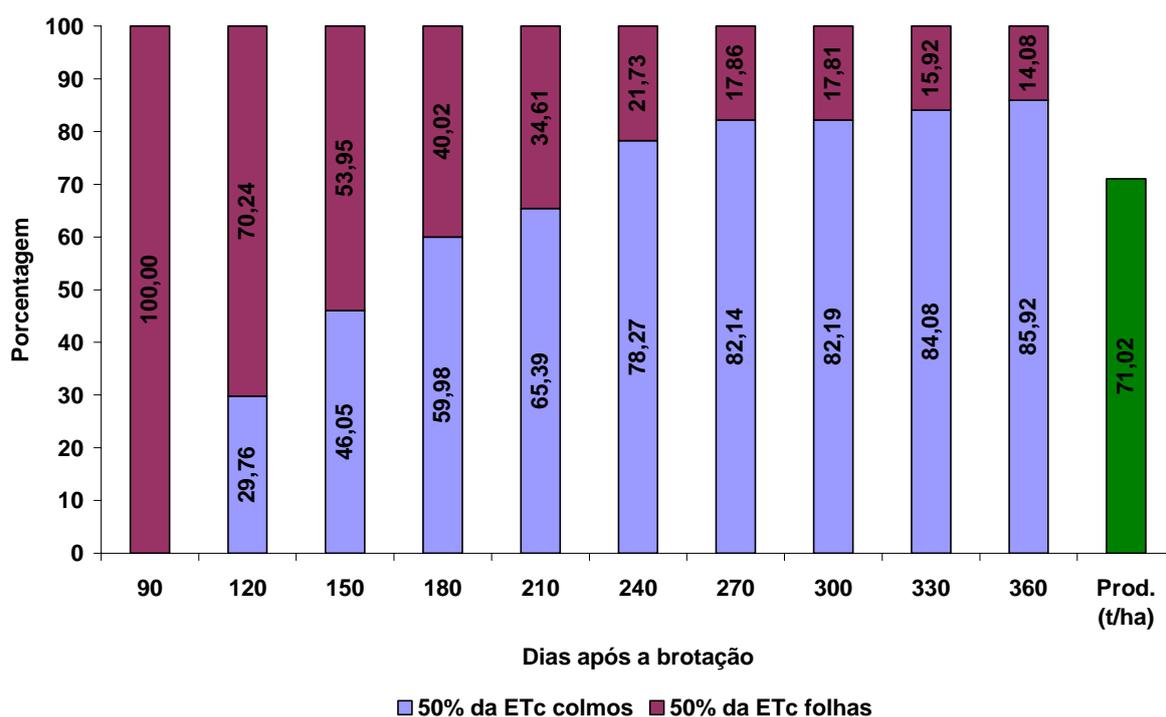


Figura 22. Partição e produtividade da fitomassa da cana'SP 79 1011' durante o período de cultivo, para o tratamento que recebeu 50% da ETC. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

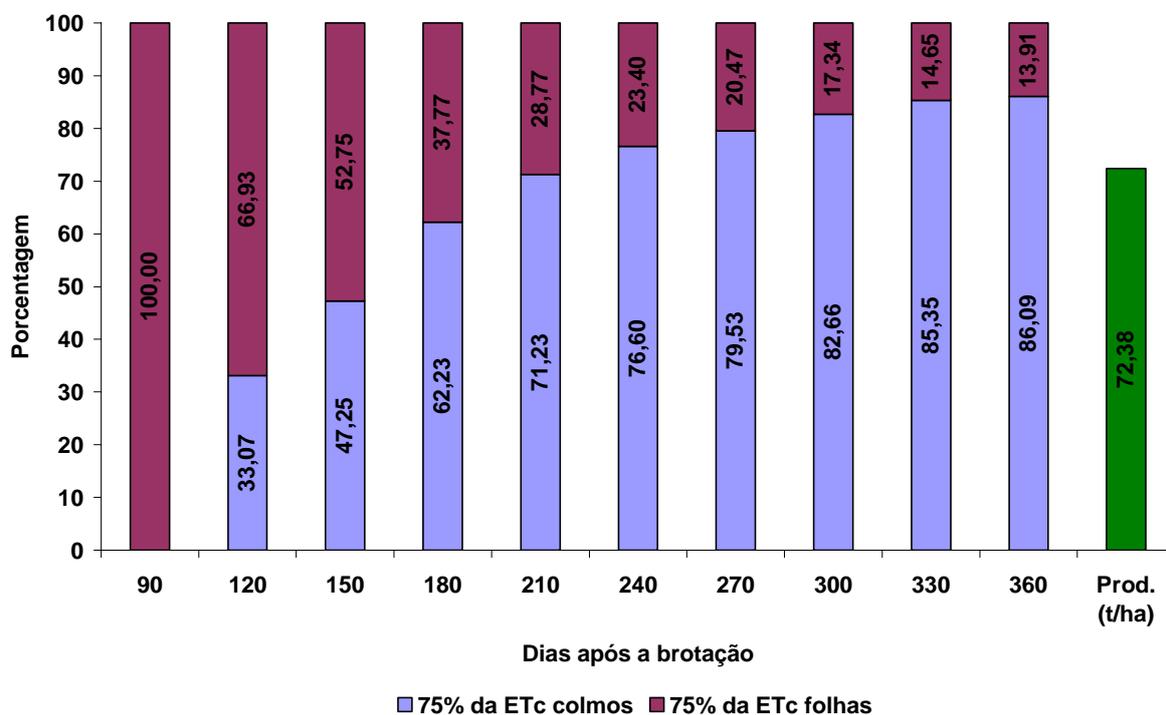


Figura 23. Partição e produtividade da fitomassa da cana'SP 79 1011' durante o período de cultivo, para o tratamento que recebeu 75% da ETC. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

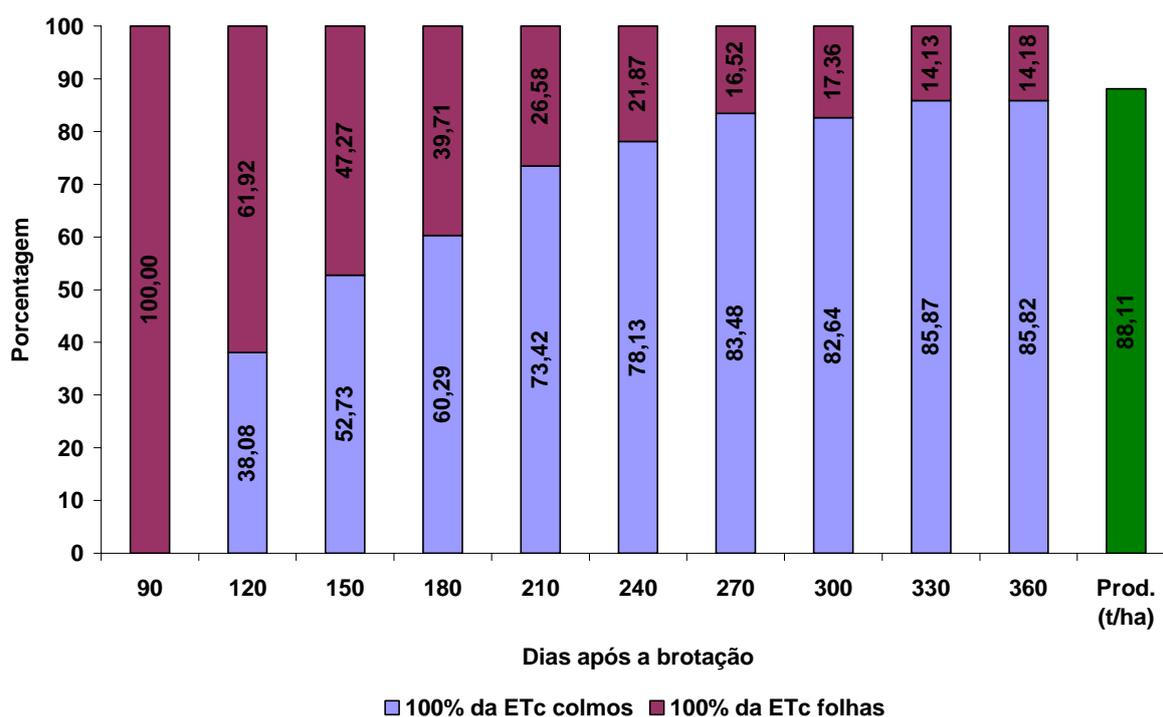


Figura 24. Partição e produtividade da fitomassa da cana'SP 79 1011' durante o período de cultivo, para o tratamento que recebeu 100% da ETc. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Na Figura 21 observa-se o comportamento da partição de fitomassa na cana, quando irrigada com 25% da ETc. Nesse caso, a cultura emitiu seus colmos entre 90 e 120 dias após a brotação. Com esse nível de irrigação, a fitomassa das folhas, aos 360 dias após a brotação, equivaleu a 19,37% da fitomassa total. Esse tratamento que representou, do período de setembro de 2004 a maio de 2005 (Figura 6C), 75% de estresse hídrico, induz, sob a ótica de Maddonni & Otegui (1996); Robertson et al. (1996) e Muchow et al. (1990), a um crescimento deficitário. A resposta da cultura ao período chuvoso foi semelhante à resposta da cana de sequeiro.

Analogamente, quando se aplicou à cana 50% da ETc + PE (1.000,83 mm), a formação de seus colmos se iniciou entre 90 e 120 DAB e ao final, na fase de maturação, 14,08% da fitomassa total foi direcionada para as folhas e 85,92% para a produção dos colmos (Figura 22).

Da análise da partição de fitomassa, quando a cultura foi irrigada com 75% da ETc (Figura 23), depreende-se que, no primeiro ano de cultivo, a semelhança entre essa cana e aquela na qual se aplicou 1.000,83 mm (50% da ETc + PE), foi marcante. Aos 360 dias após a

brotação, 86,09% da fitomassa total foi direcionada para a formação dos colmos e 13,91% acumulada nas folhas.

Na Figura 24 está representado o comportamento da cana irrigada com 100% da ETc, quanto a partição da fitomassa. Aos 360 dias após a brotação, 85,82% da fitomassa total foi direcionada à produção de colmos e 14,18% foi acumulada nas folhas. Na mesma figura observa-se uma tendência à estabilização do acúmulo de fitomassa desde os 270 dias após a brotação.

Machado (1981), em estudo com a variedade NA 5679, em condições de sequeiro, verificou que aos 350 dias após o plantio, tal variedade direcionou aproximadamente 10,00% da fitomassa total para a produção de folhas e 90,00% para colmos. O autor verificou também que, aos 100 dias após o plantio, 42,00% da fitomassa total foi direcionada para a produção de colmos.

Os resultados desta pesquisa evidenciam a importância do manejo adequado da irrigação da cana-de-açúcar para os tabuleiros costeiros da Paraíba. As condições edafoclimáticas desfavoráveis, bem como a variação genotípica são as causas das diferenças entre os resultados desta pesquisa e os apresentados por Machado (1981). No entanto, o comportamento bastante diferente entre os tratamentos desta pesquisa e a semelhança entre a cana de sequeiro no Estado de São Paulo, citada pelo autor, e a cana irrigada com 100% da ETc na Paraíba, assegura a importância da água para a cultura da cana-de-açúcar no Nordeste.

4.2 QUALIDADE DA MATÉRIA-PRIMA: ANÁLISES DOS ÍNDICES TECNOLÓGICOS

Na Tabela 24, consta o resultado do estudo da correlação de Pearson. Verificou-se que, entre a lâmina de irrigação e os sólidos solúveis totais, houve uma significativa correlação positiva ($r_p > 0$; $r_p = 0,8122$). Tal fato evidencia a hipótese de que, quanto maior o nível de irrigação, maior o teor de sólidos solúveis totais no caldo da cana. Na Tabela 25, está exposta a análise dos índices tecnológicos, observando-se não terem sido influenciados pela variação dos níveis de zinco estudados. Ao contrário, a lâmina de água de irrigação teve papel fundamental na composição dos índices tecnológicos, haja vista a alta significância, com nível de 1% de probabilidade, para esse fator. Em termos de sólidos solúveis totais, expressos em °Brix, a diferença entre a média dos tratamentos que receberam 100%, 75% e 50% da ETc

(20,06 °Brix) e a cana sob regime de sequeiro (17,98 °Brix) foi de 16,08%. A diferença em relação à cana que recebeu 25% da ETc foi menor, situando-se em torno de 11,09%.

Tabela 24. Estudo de correlação de Pearson entre as variáveis: pureza, fibra e açúcares totais recuperáveis. Correlação de Pearson entre os fatores lâminas e zinco com pureza, fibra e açúcares totais recuperáveis. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Variável	Variável	Correlação	T	Significância
PRZ	FIB	-0,3408	-3,0973	0,0010
PRZ	ATR	0,9337	22,2840	0,0001
FIB	ATR	-0,4814	-4,6921	0,0001
Lâmina	SST	0,8122	11,8956	0,0001
Lâmina	POL	0,8448	13,4903	0,0001
Lâmina	PRZ	0,8237	12,4130	0,0001
Lâmina	FIB	-0,5097	-5,0616	0,0001
Lâmina	PCC	0,8704	15,1055	0,0001
Lâmina	PC	0,8764	15,5463	0,0001
Lâmina	PBU	-0,4805	-4,6815	0,0001
Lâmina	ATR	0,8584	14,2969	0,0001
Zn	SST	0,0458	0,3917	0,3476
Zn	POL	0,0634	0,5431	0,2935
Zn	PRZ	0,0068	0,0580	0,4769
Zn	FIB	-0,1857	-1,6144	0,0532
Zn	PCC	0,0722	0,6182	0,2682
Zn	PC	0,0802	0,6875	0,2459
Zn	PBU	-0,1930	-1,6807	0,0464
Zn	ATR	0,0887	0,7611	0,2233

PRZ – pureza; FIB – fibra; ATR – açúcares totais recuperáveis; SST – sólidos solúveis totais; POL – polarização (sacarose); PCC – pol da cana corrigida; PC – pol da cana; PBU – peso do bolo úmido; T – teste T

A Pol seguiu o mesmo padrão de comportamento dos sólidos solúveis totais, sendo crescente a resposta da cana-de-açúcar, em função das lâminas de água de irrigação. A diferença entre a cana que recebeu 100% da ETc (18,45) e a cana sob regime de sequeiro (14,16) foi de 30,01%. Analogamente, as diferenças em relação aos tratamentos que receberam 25%, 50% e 75% da ETc foram, respectivamente, de 14,82%, 4,77% e 3,83%. O grau de correlação entre a lâmina aplicada e a Pol foi evidenciado neste estudo. Ainda conforme dados expostos na Tabela 24, verifica-se que houve uma forte correlação positiva ($r_p = 0,8448$), com significância de 1% de probabilidade. Portanto, segundo os resultados desta pesquisa pode-se inferir que, quanto maior for o nível de irrigação (até o limite de 100% da ETc), maior será a Pol no caldo da cana.

A pureza variou de forma significativamente diferente em resposta às lâminas de água de irrigação, utilizadas nesta pesquisa; O maior efeito em termos de pureza (Tabela 25) foi encontrado quando a cultura foi irrigada com 100% da ETc (90,47%). Quando se comparou a cana que recebeu o maior nível de irrigação com aquela cultivada em regime de sequeiro, a diferença foi de 10,55%. Em relação à cana cultivada com 25%, 50% e 75% da ETc, as diferenças foram: 4,75%, 1,76% e 2,55%.

Tabela 25. Resumo da análise de variância para os índices tecnológicos da cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011), no primeiro ano do experimento. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Fonte de variação	ANOVA/Índices tecnológicos da cana-de-açúcar						
	SST ¹	POL ²	PUR ³	FIB ⁴	PBU ⁵	PCC ⁶	ATR ⁷
Quadrados médios							
QMR	0,3951	0,6154	2,6473	0,5578	0,3294	51,8306	33,2443
CV (%)	3,27	4,66	1,86	5,05	4,24	4,95	4,34
Bloco/lâm.	0,3306ns	0,3011ns	2,2069ns	0,2821ns	18,8762ns	0,2630ns	22,4426ns
Lâmina	24,2310**	43,9960**	164,16**	4,1023**	360,5232**	31,6989**	2692,208**
Zn	0,2006ns	0,8303ns	1,2704ns	0,5882ns	51,2568ns	0,3952ns	58,1339ns
Lâm. x Zn	0,8341ns	0,8563ns	2,7462ns	0,2455ns	39,5197ns	0,5336ns	45,1272ns
ANOVA e índices da regressão							
Modelo	Linear	Linear	Linear	Quadrático	Quadrático	Linear	Quadrático
Sig. beta 1	0,0243	0,0183	0,0134	0,0378	0,01132	0,0105	0,0138
Sig. beta 2	-	-	-	0,0273	0,0090	-	0,2001
QMDR	5,0138	9,5178	38,3346	0,5359	47,7942	7,3618	333,70
F	10,36	12,99	16,56	38,65	145,38	19,88	13,22
Prob. F	0,0486	0,0366	0,0268	0,0252	0,0068	0,0210	0,0403
Médias para lâmina de água de irrigação							
Sequeiro	17,98	14,16	81,83	15,01	149,28	12,34	112,27
25% ETc	18,57	16,05	86,36	14,97	147,56	12,84	127,92
50% ETc	19,86	17,59	88,99	14,80	147,32	14,16	138,03
75% ETc	19,96	17,75	88,56	14,66	145,90	14,12	138,28
100% ETc	20,37	18,45	90,47	13,73	136,88	15,11	147,47
Médias para níveis de zinco							
0	19,07	16,60	86,86	14,88	148,21	13,35	139,30
1	19,17	16,97	87,18	14,63	145,49	13,39	145,49
2	19,27	16,90	87,46	14,80	145,80	13,61	145,80
3	19,38	17,17	87,40	14,43	143,62	13,75	143,62
4	19,18	16,72	86,84	14,45	143,83	13,54	143,83

1-sólidos solúveis totais; 2- leitura polarimétrica; 3-pureza; 4-teor de fibra; 5- peso do bolo úmido; 6-pol da cana corrigida; 7-açúcares totais recuperáveis

Pela análise da Tabela 25 observa-se que o teor de fibra decresceu à medida que a lâmina de água de irrigação aumentou. A cana submetida ao tratamento de 100% da ETc apresentou o menor teor de fibra (13,73%). Sua diferença em relação à média dos demais tratamentos (14,86%) foi de 7,60%.

Na Tabela 24, estão apresentados os resultados do estudo de correlação de Pearson entre a pureza e o teor de fibra, bem como entre a pureza e o fator lâmina de água de irrigação (lâmina). Os dados desta pesquisa provam que há uma fraca correlação negativa ($r_p < 0$) entre as variáveis pureza e fibra. Assim, à medida que a pureza cresce, o teor de fibra decresce. De acordo a Sistema de Pagamento de Cana pelo Teor de Sacarose (SPCTS), a pureza está relacionada diretamente com o teor de fibra. Dessa forma, quanto maior for a pureza, menor será o teor de fibra.

A pureza, por sua vez, apresentou um grau de correlação positivo, considerado forte ($r_p = 0,8237$, com significância de 1% de probabilidade) com as lâminas de água de irrigação. Portanto, à medida que aumentou a lâmina de água de irrigação, aumentou também a pureza e como consequência, o teor de fibra decresceu.

A cultura respondeu de forma altamente significativa ($p < 0,01$) às lâminas de água de irrigação aplicadas para a característica pol da cana corrigida (PCC), (Tabela 24), sendo de 31,39% a diferença entre a cana que recebeu 100% da ETc e a cana submetida ao regime de sequeiro. Na comparação desse nível mais elevado de irrigação com os dados de PCC obtidos com 25%, 50% e 75% da ETc, registraram-se as seguintes diferenças: 17,40%, 6,70% e 7,01%. Conforme dados da Tabela 25, a pol da cana corrigida se correlacionou, positivamente ($r_p > 0$) com a lâmina de água de irrigação. Assim, quando se aumentou o nível de irrigação, aumentou também o PCC.

O comportamento da variável pol da cana pode ser analisado observando-se os dados constantes na Tabela 24, constatando-se haver semelhança com a pol da cana corrigida. Isto se deve ao fato de que, a pol da cana é o índice através do qual é calculada a correção da leitura. Assim, a pol da cana passa a ser interpretada como PCC. É notória a diferença entre os tratamentos de irrigação comparando-se a cana irrigada com 100% da ETc com a cana submetida aos demais tratamentos (sequeiro, 25%, 50% e 75% da ETc); as diferenças foram, respectivamente, de 25,91%, 10,45%, 0,69% e 0,55%. Ainda segundo o estudo de correlação

de Pearson, exposto na Tabela 24, a exemplo da pol da cana corrigida há correlação positiva ($r_p > 0$) da pol da cana (PC) com a lâmina de água de irrigação.

O peso do bolo úmido (PBU), cujos dados podem ser observados na Tabela 25, é utilizado na determinação do cálculo do teor de fibra. Assim, nota-se que o mesmo comportamento do PBU com o teor de fibra, sendo um parâmetro muito influenciado pelos níveis de lâminas de água de irrigação. Entre os tratamentos de sequeiro, 25%, 50%, e 75% da ETc, não houve diferença estatisticamente significativa. Entre esta e a cana que recebeu 100% da ETc a diferença foi da ordem de 7,76% menor.

O estudo de correlação da Pearson apresentado na Tabela 24, pelo exposto há uma moderada correlação negativa ($r_p > 0$; $r_p = - 0,4805$), estatisticamente significativa, com nível de 1% de probabilidade. Assim, à medida que se aumentou a lâmina de irrigação, reduziu-se o peso do bolo úmido.

Em todo o Brasil, a cana-de-açúcar tem sido remunerada por suas características qualitativas, de modo que quanto melhor a qualidade da matéria-prima, maior é o preço pago por tonelada de cana-de-açúcar. Todos os índices vistos até agora são usados como base de cálculo para determinar a quantidade de açúcares totais recuperáveis, expressos em kg de ATR t⁻¹ de cana.

Pelos resultados desta pesquisa comprova-se que a qualidade da matéria-prima pode ser melhorada com a irrigação. Conforme os dados expostos na Tabela 25 observa-se que em termos de ATR, a cana-de-açúcar foi fortemente influenciada pela lâmina de água de irrigação. com significância de 1% de probabilidade. Não houve significância estatística para os níveis de zinco estudados.

Com o cultivo de cana em regime de sequeiro obteve-se uma produtividade agrícola em açúcar equivalente a 3.494,96 kg ha⁻¹, enquanto que a irrigada com 25% da ETc produziu 6.720,90 kg ha⁻¹; ao ser cultivada com 50% da ETc a produção média, em açúcar por hectare, foi de 9.978,18 kg ha⁻¹, passando para 10.007,32 kg ha⁻¹ quando a cultura foi irrigada com 75% da ETc. Um grande diferencial para a cana-de-açúcar irrigada com 100% da ETc foi a sua produtividade em açúcar de 12.992,10 kg ha⁻¹, evidenciando o acréscimo em açúcar com a utilização correta da tecnologia de irrigação, via pivô central.

O maior teor de ATR, em relação aos tratamentos aplicados, se deu quando a cultura foi cultivada com 100% da ETc (147,47 kg t⁻¹). Observa-se que a cana que recebeu 75% e a

que recebeu 50% da ETc, não diferiram entre si, com média de 138,16 kg t⁻¹. Neste caso, a diferença, foi de 9,31 kg t⁻¹ (6,31%) quando comparada à cana irrigada com 100% da ETc.

Segundo os valores da correlação de Pearson, apresentados na Tabela 24, obteve-se forte correlação positiva ($r_p > 0$, $r_p = 0,8584$) e significativa, com 1% de probabilidade, entre a lâmina de água de irrigação e a ATR. Portanto, à medida que se aumenta a lâmina, cresce o teor de ATR.

Quando se comparou a cana que recebeu 100% da ETc (147,47 kg de ATR t⁻¹) com a cana irrigada com 25% da ETc (127,92 kg de ATR t⁻¹), a diferença foi de 19,55 kg de ATR t⁻¹ de cana (13,25%). A mesma comparação foi realizada em relação à cana de sequeiro (112,27 kg de ATR t⁻¹), observando-se diferença de 35,20 kg de ATR t⁻¹ de cana (31,35%). Vale ressaltar que a cana foi cortada no mês de setembro de 2005 (primeiro mês de moagem), e que, no período de 01/09/2005 a 30/09/2005 a Destilaria Miriri moeu 103.088,490 toneladas de cana-de-açúcar, sendo o teor de ATR, média do mesmo período, 110,27 kg t⁻¹.

Analogamente, comparando-se o teor médio de ATR da cana irrigada com 100% da ETc com a média de ATR do mês de setembro, a diferença foi de 37,20 kg t⁻¹. Da mesma forma, em relação à cana irrigada com 75%, 50%, 25% da ETc e de sequeiro, as respectivas diferenças foram 28,01 kg t⁻¹, 27,76 kg t⁻¹, 17,65 kg t⁻¹ e 2 kg t⁻¹.

De acordo com Burnquist (1999), o sistema Consecana elegeu a definição de açúcares totais recuperáveis como base de cálculo para a constituição do valor da tonelada de cana. A Associação dos Plantadores de Cana-de-açúcar da Paraíba (ASPLAN), em seu relatório anual, divulgou o preço médio da ATR para o mês de setembro de 2005, fixando-o em R\$ 0,3177 kg⁻¹ de ATR (valor líquido).

Observa-se na Figura 25 o comportamento da cultura em relação aos seus índices tecnológicos através do estudo de regressão. As curvas estão em função das lâminas de água de irrigação por ter sido, das variáveis estudadas, a única que foi estatisticamente significativa; fato esse que não se repetiu para os níveis de zinco testados em nenhuma das variáveis analisadas. Nota-se, pela Figura 25, comportamento linear da cana quanto ao teor de sólidos solúveis totais, com um ponto de máxima atingido quando se irrigou com 100% da ETc (20,37°Brix). Na Figura 25 (B) está ilustrado o padrão de comportamento linear para a Pol, em relação à lâmina de água de irrigação; o ponto de máximo foi atingido, também, quando a cana foi irrigada com 100% da ETc (18,43%). Pelo estudo da regressão, observa-se

a significância, com um nível de 5% de probabilidade, para o coeficiente beta 1 (β_1) da equação apresentada.

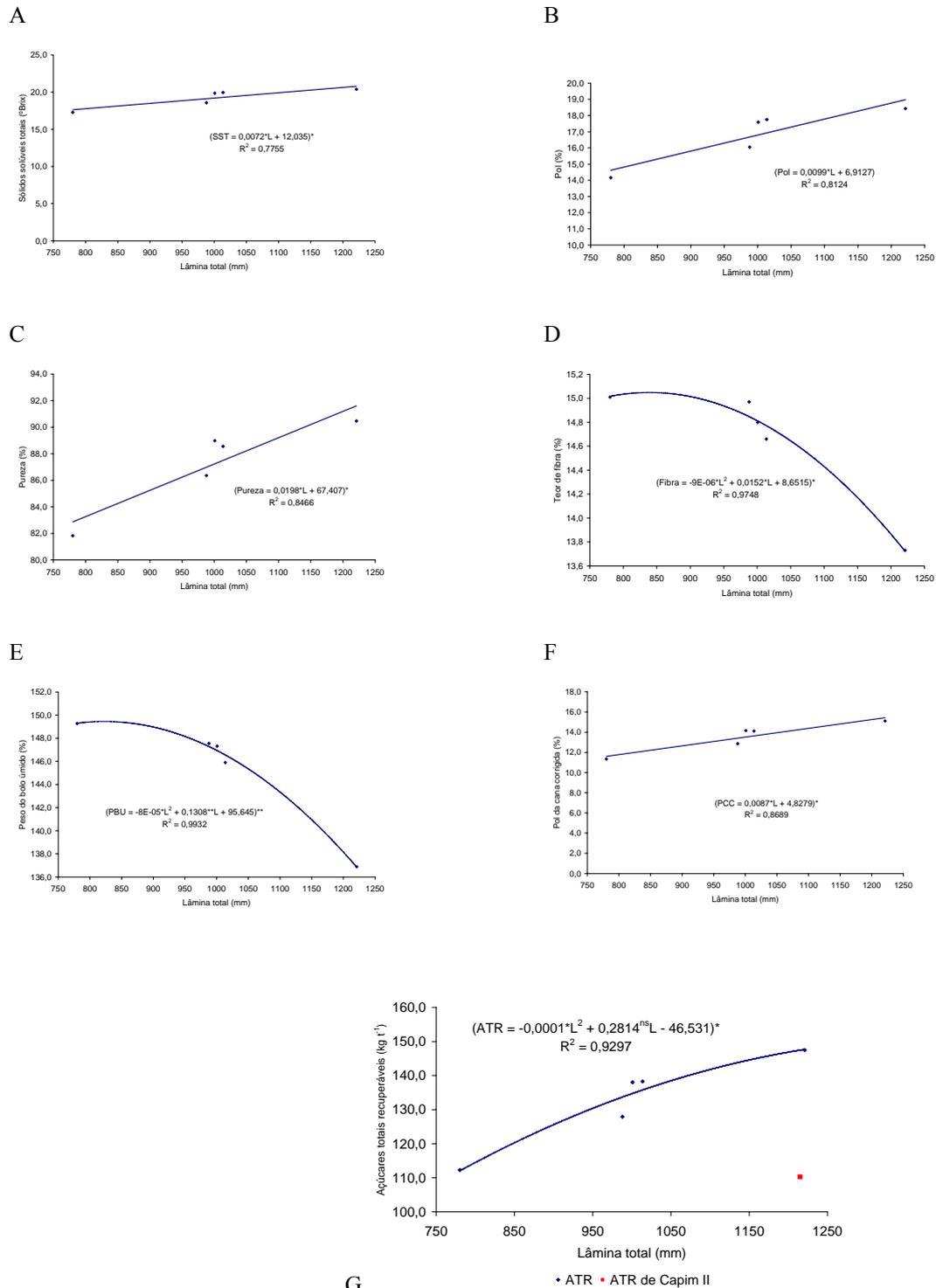


Figura 25. Estudo de regressão para os índices tecnológicos da cana: (A) sólidos solúveis totais, em ° brix; (B) pol, %; (C) pureza, %; (D) teor de fibra, %; (E) PBU em g; (F) PCC % (G) açúcares totais recuperáveis ATR, em kg t⁻¹. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

A função de melhor ajuste para a pureza em função da lâmina de água de irrigação, foi a linear (Figura 25C), neste caso, houve significância, com um nível de 5% de probabilidade do coeficiente β_1 da respectiva equação, com ponto de máximo (90,47%) quando a cana foi irrigada com 100% da ETc. Em (D) está exposto o comportamento da cana quanto ao teor de fibra. Na figura está ilustrado o fenômeno detectado pelo estudo de correlação de Pearson, constante na Tabela 24; o aumento no teor de pureza resultou em decréscimo do teor de fibra, com o ponto de mínimo observado quando a cana foi irrigada com 100% da ETc (13,73%), obtendo-se função quadrática.

A curva que melhor representa o comportamento da cana em relação à PCC está representada na Figura 25 (F). Verifica-se que o melhor ajuste foi o da função linear, sendo o seu coeficiente β_1 é significativo ($p < 0,05$). Segundo a análise do modelo, o ponto de máxima PCC ocorreu quando a cana foi irrigada com 100% da ETc. Na função quadrática variou, também, o comportamento da cana quanto ao teor de ATR. Na Figura 25 (G) está representado o teor de ATR em função das lâminas de água de irrigação. Também observa-se ponto de máximo (147,47 kg de ATR t⁻¹) quando se irrigou a cultura com 100% da ETc.

4.3 ANÁLISE FÍSICA E ECONÔMICA DA PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR

4.3.1 Efeito das lâminas de irrigação mais precipitação efetiva

Na Tabela 26 estão os dados referentes à ANOVA para a produtividade e eficiência do uso da água pela planta. Observa-se efeito altamente significativo de lâminas ($p < 0,01$) para as variáveis. Os níveis de zinco testados, apresentaram efeitos estatisticamente significativos para produtividade e para a eficiência no uso da água, com nível de 5% de probabilidade. A interação entre os dois fatores não foi significativa para as duas variáveis. Na Figura 26 está representado o padrão de comportamento pluviométrico (mm), em termos de precipitação efetiva, bem como a lâmina total de água aplicada com a irrigação, constando o total de água aplicado na cultura durante o experimento nos setores que receberam os tratamentos de 25%, 50% e 75% da ETc, ao final do ano de cultivo. Observou-se pouca diferença em lâmina total para os referidos tratamentos.

Os resultados desta pesquisa comprovam que o manejo da irrigação é de fundamental importância para se obter a produtividade desejada. Observa-se que a cana irrigada com 25%

da ETc (em um turno de rega de nove dias) atingiu um nível de produtividade superior ao da Fazenda Capim II, irrigada com o equivalente a 40% da ETc dentro de um turno de rega de 12 a 14 dias. A lâmina total de água aplicada (irrigação + precipitação efetiva) na Fazenda Capim II (1.215,00 mm) foi aproximadamente igual à lâmina total aplicada na cana irrigada com 100% da ETc (1.221,08 mm). Assim, comparando-se a produtividade alcançada pela cana em condições de sequeiro e de irrigação (25%, 50%, 75% e 100% da ETc) com a produtividade média da Fazenda Capim II, as diferenças, em termos percentuais, foram, respectivamente: 30%, -17,04%, -60,83%, -61,21 e -96,25%.

Trabalhando com a variedade RB 72 454, Gomes (1999) observou uma produtividade média de colmos na cana-planta de 130,00 t ha⁻¹ para uma lâmina média de 1.195,00 mm, com acréscimo médio da produtividade de 28,34 t ha⁻¹. As diferenças edafoclimáticas e genotípicas devem ser observadas. No entanto, vale ressaltar que a lâmina total aplicada à cultura, na pesquisa de Gomes (1999), em muito se assemelha à lâmina total aplicada nesta pesquisa.

Tabela 26. Resumo da análise de variância para produtividade ($t\ ha^{-1}$) e eficiência no uso da água ($kg\ m^{-3}$) pela cultura da cana-de-açúcar (variedade SP 79-1011), aos 360 dias após a brotação. Fazenda Capim II, Capim/PB 2005

Fonte de variação	Análise de variância	
	Produtividade	Eficiência no uso da água
Quadrados médios		
QMR	32,7661	0,3076
CV (%)	9,04	8,97
Bloco/lâmina	21,54ns	0,2179ns
Lâmina	7234,33**	32,30**
Zinco	120,09*	1,03*
Lâmina x zinco	25,75ns	0,16ns
ANOVA e índices da regressão		
Modelo	Quadrático	Quadrático
Sig. beta 1	0,4893	0,0001
Sig. beta 2	0,0001	0,0001
QMDR	13939,24	62,10
F	288,62	169,79
Prob. F	0,0000	0,0001
Médias para lâminas de água de irrigação		
Sequeiro	31,13	3,99
25% ETc	52,54	5,31
50% ETc	72,29	7,13
75% ETc	72,37	7,21
100% ETc	88,10	7,22
Médias para os níveis de zinco		
0	60,37	5,89
1	62,42	6,10
2	64,25	6,27
3	67,69	6,57
4	61,75	6,03

QMR-quadrado médio do resíduo; QM-quadrado médio; CV(%)-coeficiente de variação; Prob>F-significância do Teste F (valores entre zero e 0,01 são significativos a 1%; valores entre 0,01 e 0,05 são significativos a 5%). Na coluna, valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey 5%.

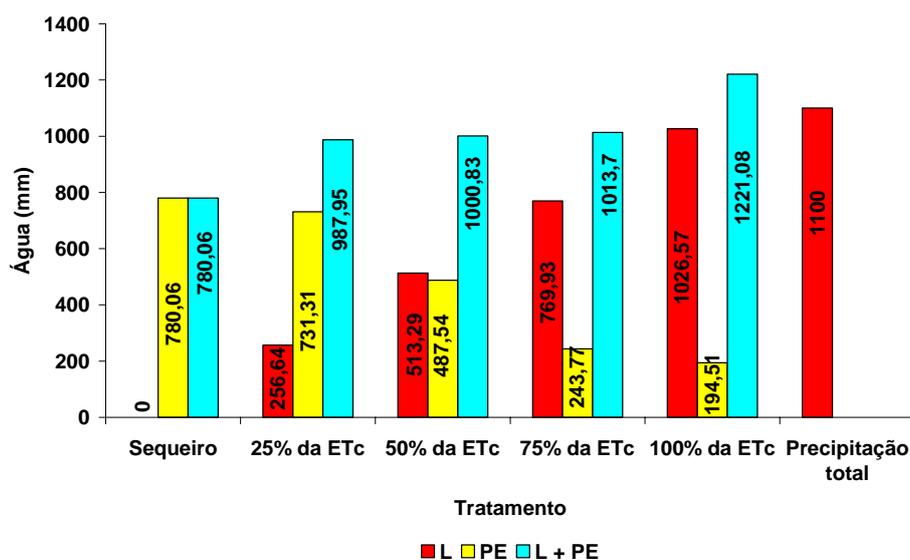


Figura 26. Lâmina de irrigação (L), precipitação efetiva (PE) e lâmina total aplicada (L + PE) no período de setembro de 2004 a setembro de 2005. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Os resultados da pesquisa de Azevedo (2002) se aproximam dos resultados apresentados nesta pesquisa, tendo em vista que o manejo de irrigação executado no experimento leva em consideração que o turno de rega deve ser respeitado. Entretanto, a pesquisa de Azevedo (2002) consta-se como produtividade média $77,4 \text{ t ha}^{-1}$, sendo a produtividade mínima de $48,2 \text{ t ha}^{-1}$, alcançada com a aplicação de 609 mm e fertilização com 85 kg ha^{-1} de 12:00:24, enquanto a produtividade máxima foi de $103,2 \text{ t ha}^{-1}$, obtida com 1.043 mm e fertilização com 458 kg ha^{-1} de 12:00:24. Como se observa, os dados desta pesquisa diferem, em termos de produtividade média em $10,9 \text{ t ha}^{-1}$ a mais, em relação aos resultados do estudo de Azevedo (2002).

Varela (2002) pesquisou, no Estado da Paraíba, a resposta da variedade SP 79 1011 em três lâminas de irrigação em um turno de rega de 12 dias ($W1 = 13,8 \text{ mm}$, $W2 = 25,5 \text{ mm}$ e $W3 = 41,3 \text{ mm}$). De acordo com os resultados da pesquisa, os rendimentos da variedade SP 79 1011, em função dos tratamentos aplicados, foram: $67,4$, $76,6$ e $92,6 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente.

Na Tabela 27 está apresentado o estudo da viabilidade econômica para os tratamentos de lâmina de água de irrigação (L) que maximiza a produtividade média (L_m), bem como a lâmina que maximiza o lucro bruto (L^*). Com base nos valores médios observados para os tratamentos aplicados ao longo do ano de cultivo, foi elaborado um modelo de função de

produção, cujo ajuste, muito embora tenha sido quadrático, verifica-se uma tendência de aumento da produtividade.

Tal fato ficou evidenciado quando a lâmina que maximiza a produtividade foi igual à lâmina que maximiza o lucro bruto ($L_m = L^* = 1.445,00$ mm). No entanto, de acordo com o modelo, L_m e L^* , os resultados são superiores à lâmina máxima de irrigação aplicada (100% da $ET_c = 1026,57$ mm), registrando-se uma diferença de 418,43 mm. Somando-se à lâmina de 1.026,57 mm, a precipitação efetiva de 194,51 mm ($L + PE = 1.221,08$ mm), essa diferença cai para 223,92 mm.

Tabela 27. Análise econômica para lâminas de água de irrigação (L) que maximizam a produtividade (L_m) e o lucro bruto (L^*). Resultados do experimento para os tratamentos aplicados à cana 'SP 79 1011'. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Variável	L. total (mm)	ATR (kg t ⁻¹)	Prod. (t ha ⁻¹)	Custo de produção (R\$ t ⁻¹)	Receita bruta (R\$ t ⁻¹)	Lucro bruto (R\$ t ⁻¹)	IL*
							(%)
L_m	1445,00	153,72	94,74	29,44	49,19	19,75	67,08
L^*	1445,01		94,74	29,44	49,19	19,75	67,08
Sequeiro	0,00	112,28	31,12	37,36	35,92	-1,43	-3,82
25% da ET_c	256,64	127,93	52,55	50,58	40,93	-9,64	-19,06
50% da ET_c	513,29	138,04	71,02	39,22	44,17	4,95	12,62
75% da ET_c	769,93	138,29	72,38	39,35	44,25	4,90	12,45
100% da ET_c	1026,57	147,47	88,11	32,47	47,19	14,72	45,33

* Índice de lucratividade. Foi considerada para fins de cálculo a cana irrigada com 50% da ET_c e sem zinco. Custo da água na Paraíba foi estimado em R\$ 0,005 m⁻³.

Conforme os dados apresentados na Tabela 27, a produtividade média esperada para L_m e para L^* foi de 94,74 t ha⁻¹. Observa-se, também, que pelo modelo apresentado na Figura 25 (G) a lâmina que maximizou o rendimento em ATR (L_m ATR) foi de 1.420,00 mm e que a produtividade em ATR foi de 153,72 kg t⁻¹ de cana. Assim, em termos de produtividade, a diferença entre L_m , L^* e 100% da ET_c foi de 6,61 t ha⁻¹ de cana. Em termos de açúcares totais recuperáveis, a média para a cana irrigada com 100% da ET_c foi de 147,47 kg t⁻¹. Portanto, a diferença em ATR, quando se compara com L_m ATR, foi de 6,25 kg t⁻¹. Um kg de ATR, no mês de setembro de 2005, foi remunerado em R\$ 0,3177. Observa-se que a diferença entre a estimativa de L_m e de L^* em relação ao maior tratamento de irrigação foi de R\$ 13,12 ha⁻¹. De acordo com a tendência do modelo, o índice de lucratividade poderia ter sido maior (67,08%) que o máximo índice apresentado nesta pesquisa (47,89%).

Diante dos resultados apresentados nesta discussão, observa-se que a lâmina que maximiza a produtividade (L_m), bem como a lâmina que maximiza o lucro bruto (L^*) foram estimadas com valores superiores aos tratamentos estudados. Esse fato encontra explicação na ausência de um tratamento que exceda aos 100% da ETc.

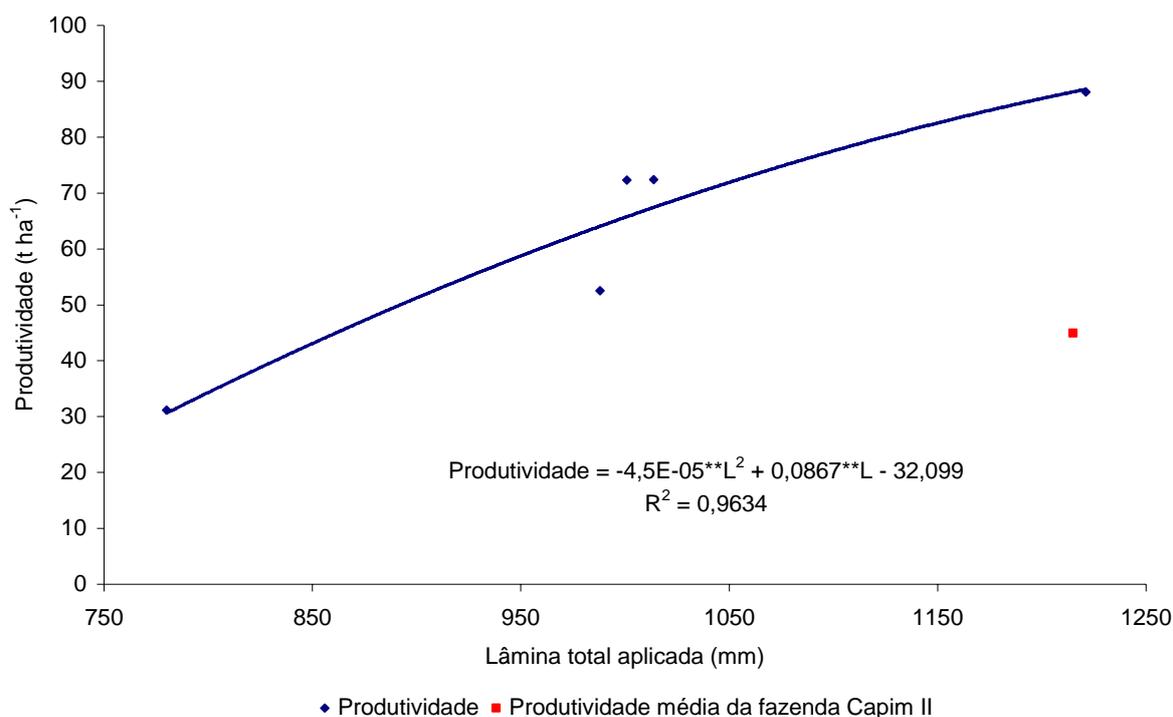


Figura 27. Produtividade da cana-de-açúcar ($t\ ha^{-1}$) em função da lâmina de água de irrigação. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Observando-se a Tabela 27, depreende-se que, na safra em estudo (2005/2006), a cana irrigada com 25% da ETc (256,64 mm) gerou para o produtor um prejuízo de 19,06%. Fica, portanto, demonstrado que esta não é uma decisão viável para o ganho de produtividade em um ano de seca, como foi a safra 2005/2006, ano do experimento. Quando a cana foi cultivada em regime de sequeiro (precipitação efetiva), o prejuízo foi bem menor. Dessa forma, a cana de sequeiro seria uma alternativa mais viável (com um menor prejuízo), considerando-se o prejuízo que representou a aplicação de 256,64 mm de irrigação, na safra 2005/2006.

Conforme se observa na mesma tabela, o comportamento da cana irrigada com 50% da ETc (513,29 mm), em termos de lucro bruto, não apresentou diferença em relação à cana

irrigada com 75% da ETc (769,93 mm). Logo demonstra, claramente, que não há compensação econômica em irrigar a cultura com 75% da ETc. Isso porque o lucro auferido de 12,46% foi muito próximo do lucro obtido para a cana irrigada com 50% da ETc, com 12,63% de ganho. Os resultados desta pesquisa demonstram que, entre a cana irrigada com 50% e 75% da ETc, a menor lâmina é uma opção mais sustentável do ponto de vista de uso do recurso natural água.

Sendo a cana irrigada com 100% da ETc (1.026,57 mm), constataram-se, desde o início de seu desenvolvimento, diferenças em relação aos demais tratamentos. Conforme foi visto anteriormente, as diferenças em termos de índice de área foliar, altura da planta e fitomassa, dentre outros índices, proporcionaram uma cana de melhor qualidade e mais produtiva. A análise econômica para a cana irrigada com 1.026,57 mm demonstra claramente a sua viabilidade, pois o seu lucro bruto gerou um ganho de R\$ 14,72 t⁻¹ de cana, com base na média do tratamento. Registrou-se, portanto, uma diferença de R\$ 9,77 t⁻¹ de cana em relação à cana irrigada com 50% da ETc.

4.3.2 Efeito dos níveis de zinco

De acordo com os dados constantes na Tabela 26, observa-se que a cana respondeu, de forma significativamente diferente, aos níveis de zinco estudados, com probabilidade de 5% . O comportamento da cana-de-açúcar quando adubada com zinco está graficamente ilustrado na Figura 28 . A produtividade média mínima foi de 60,37 t ha⁻¹, testemunha (sem zinco) e a máxima foi 67,69 t ha⁻¹ (adubada com 3 kg ha⁻¹ de zinco). Uma diferença de 7,32 t ha⁻¹ de matéria-prima.

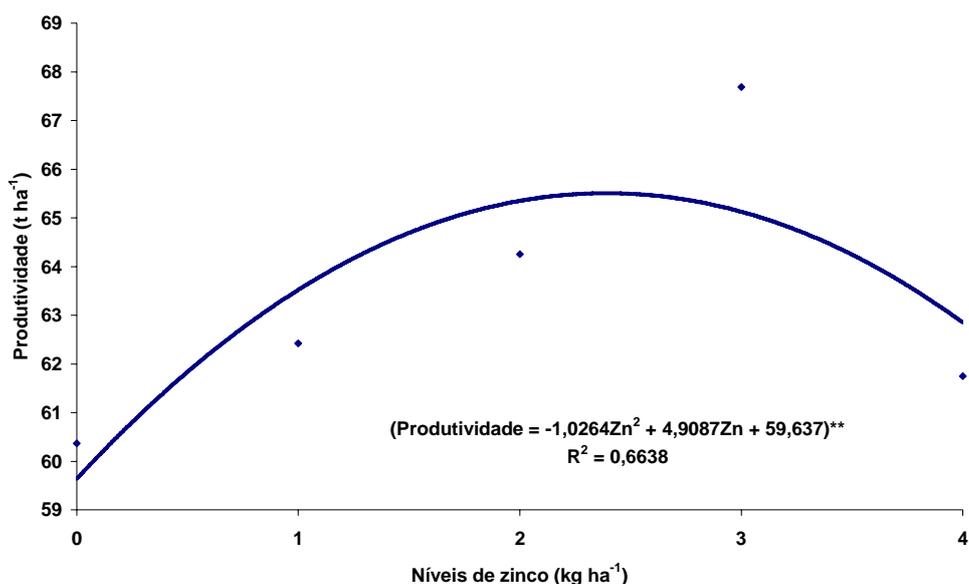


Figura 28. Produtividade da cana-de-açúcar (t ha⁻¹) em função dos níveis de zinco. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Na Tabela 28, constata-se a análise econômica para os tratamentos de zinco (Zn). O estudo define o nível de zinco que maximiza a produtividade média (Zn_m), bem como o nível de zinco que maximiza o lucro bruto (Zn^*). Observa-se que Zn_m (2,39 kg ha⁻¹) foi igual a Zn^* (2,40 kg ha⁻¹), demonstrando que não há diferença quanto ao lucro bruto. Entretanto, como a cana-de-açúcar é remunerada pelo teor de ATR, foi estimada a seguinte função de produção de açúcares totais recuperáveis ($ATR = -0,5993Zn^2 + 3,2301Zn + 129,94$; $R^2 = 0,87$). O modelo estimou o nível de zinco que maximiza a produtividade em ATR ($Zn_m = 1,35$ kg ha⁻¹), estimando o teor de Zn_m ATR em 133,39 kg t⁻¹.

Segundo o modelo, a qualidade da cana confere uma receita bruta diferenciada em R\$ 0,92 por tonelada de cana, quando se compara a tendência do modelo com a cana cultivada sem adubação com zinco. O lucro bruto (R\$ 3,36 t⁻¹) para o nível de zinco que maximiza a produtividade (2,39 kg ha⁻¹) foi menor que o lucro bruto (R\$ 6,22 t⁻¹), quando a cana foi adubada com 3 kg ha⁻¹, auferindo um índice de lucratividade de 16,36%.

Tabela 28. Análise econômica para níveis de zinco (Zn) que maximizam a produtividade (Zn_m) e o lucro bruto (Zn^*). Resultados do experimento para os tratamentos aplicados à variedade SP 79 1011. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Variável	Zinco total (kg ha ⁻¹)	ATR (kg t ⁻¹)	Prod. (t ha ⁻¹)	Custo de produção (R\$ t ⁻¹)	Receita bruta (R\$ t ⁻¹)	Lucro bruto (R\$ t ⁻¹)	IL* (%)
Zn_m	2,39	133,59	65,51	39,39	42,75	3,36	8,53
Zn*	2,40		65,51	38,74	42,75	4,01	10,35
Zn₀	0,00	130,49	60,37	41,13	41,76	0,63	1,52
Zn₁	1,00	131,53	62,42	39,23	42,09	2,86	7,29
Zn₂	2,00	133,79	64,25	39,73	42,81	3,08	7,76
Zn₃	3,00	138,29	67,69	38,03	44,25	6,22	16,36
Zn₄	4,00	132,66	61,75	40,86	42,45	1,59	3,89

Foi considerada para fins de cálculo a cana irrigada com 50% da ETc e sem zinco; custo do sulfato de zinco heptahidratado R\$ 2,40 kg⁻¹.

4.3.3 Efeito conjunto: lâminas de irrigação mais precipitação efetiva e níveis de zinco

A função de produção leva a discussão para uma visão mais ampla do comportamento da cultura em termos de produtividade, ao mesmo tempo em que facilita a compreensão dos efeitos dos tratamentos.

De acordo com Frizzone (1993), uma função de resposta da cultura, seja de qualquer variável, é uma relação física entre as quantidades de certo conjunto de insumos (lâmina de irrigação e níveis de zinco, por exemplo) e as quantidades físicas máximas que podem ser obtidas do produto para dada tecnologia conhecida. Neste sentido, na Figura 29 está representado, graficamente, o comportamento da cultura quanto à sua produtividade, segundo o modelo de função de produção exposto na Tabela 29.

Observa-se, também, na referida tabela, o resultado da análise estatística para o modelo apresentado (definido com base nos dados de campo pelo programa estatístico SAEG 9.0). Nota-se que o modelo obteve um bom ajuste ($R^2 = 0,83$) e foi significativo, com nível de 1%. Estão, ainda, apresentados os coeficientes da equação e suas significâncias pelo teste T.

Tabela 29. Função de produção (lâmina versus zinco) e índices do modelo para a cultura da cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011). Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Coeficientes	Modelo de função de produção			
	Produtividade (L,Zn) = $a + b*L + c*L^2 + d*Zn + e*Zn^2 + f*LZn$			
		Valor	Teste T	Prob>T
<i>a</i>	Constante	-0,188825E+03		
<i>b</i>	Lâmina	0,376620E+00	4,472113	0,0001
<i>c</i>	Lâmina ²	-0,125788E-03	-3,021018	0,0013
<i>d</i>	Zinco	0,168063E+01	0,300824	0,0381
<i>e</i>	Zinco ²	-0,103134E+01	-1,743895	0,0406
<i>f</i>	Lâmina * zinco	0,326309E-02	0,646057	0,2591
-----Análise de variância do modelo-----				
R ²				0,83
QM				5257,574
Teste F				71,58
Prob>F				0,0000

De acordo com o modelo, o ponto de máxima produtividade (181,26 t ha⁻¹) foi alcançado com a combinação de uma lâmina (L_m) de 1.947,82 mm e com uma adubação (Zn_m) de 3,94 kg ha⁻¹ de zinco. Para esses níveis de L_m e Zn_m, no modelo apresentado na Tabela 35 (apêndice) o teor de ATR é de 133,03 kg t⁻¹. Dessa forma, a receita bruta proporcionada por estimativa seria de R\$ 42,57 t⁻¹ de cana-de-açúcar. A equação 30 foi utilizada para estimar o lucro bruto (LB) de R\$ 16,57 t⁻¹, apresentado na Tabela 30, a seguir.

No mesmo modelo a lâmina que maximiza o lucro bruto (L*) é de 1.628,06 mm, em combinação com um nível de zinco que maximiza o LB (Zn*) de 1,8 kg ha⁻¹ para um ponto de máxima produtividade de 168,59 t ha⁻¹. Pelo modelo apresentado na Tabela 35 (apêndice) o teor de ATR foi de 146,89 kg t⁻¹, conferindo uma receita bruta de R\$ 47,01 t⁻¹ e, conseqüentemente, um lucro bruto de R\$ 21,06 t⁻¹. Comparando-se o lucro bruto da combinação que maximiza a produtividade (L_m e Zn_m) (R\$ 16,57 t⁻¹) com o lucro bruto da combinação que maximiza o LB L* e Zn* (R\$ 21,06 t⁻¹), verifica-se um ganho de R\$ 4,5 t⁻¹ ao se adotar a combinação que maximiza o lucro bruto (L* e Zn*).

Ainda para o mesmo modelo a produtividade gira em torno de 121,12 t ha⁻¹ quando a combinação entre a lâmina e o nível de zinco é a do produtor, ou seja, 1.215,00 mm sem

adubação com zinco. Com tal combinação, segundo o modelo constante na Tabela 35, o teor de ATR seria de 142,56 kg t⁻¹, conferindo, desta forma, uma receita bruta de R\$ 45,62 t⁻¹ e um lucro bruto de R\$ 13,05 t⁻¹. A frequência de irrigação, bem como a regularidade pluviométrica, é preponderante na formação da safra. O valor estimado para L_p e Z_{n_p} foi demasiadamente diferente da realidade, comparado ao turno de rega adotado pelo produtor e com as condições climáticas vigentes no período do experimento.

Conforme se observa na Tabela 30, as combinações que envolvem a cana cultivada em regime de sequeiro (L₀) com os níveis de zinco estudados (Zn₀, Zn₁, Zn₂, Zn₃ e Zn₄) geraram, em média, um lucro bruto de R\$ -1,43 t⁻¹ (prejuízo). A baixa produtividade de 31,12 t ha⁻¹, acompanhada de um teor de ATR de 112,28 kg t⁻¹ (deságio de 6% em relação ao teor padrão de ATR, que é de 119 kg t⁻¹), conferiu uma receita bruta de R\$ 35,93 t⁻¹, portanto, aquém do custo de produção. No entanto, a média foi bastante afetada pelos extremos. Em consequência, para os níveis de 1, 2 e 3 kg ha⁻¹ de zinco, o lucro bruto foi, respectivamente, 1,97; 0,95 e 0,16 R\$ t⁻¹, evidenciando a não viabilidade do aumento da aplicação de zinco em cana sob regime de sequeiro.

Para uma lâmina equivalente a 25% da ET_c, (256,64 mm + 731,31 mm) observou-se que a melhor combinação foi com 3 kg ha⁻¹ de zinco, devendo esse caso ser discutido em termos de média. Nota-se, então, que a produtividade da cana irrigada com esse nível de estresse hídrico (L + PE = 987,95 mm) foi de 52,35 t ha⁻¹ com um ATR de 127,93 kg t⁻¹ conferindo ao produtor uma receita bruta de R\$ 40,94 t⁻¹. Como o custo de produção foi de R\$ 50,58 t⁻¹, o produtor, na realidade, passou a aumentar o seu prejuízo, em termos de lucro bruto (R\$ -9,64 t⁻¹) com a aplicação de 25% da ET_c em irrigação. Quando se compara este resultado com os resultados obtidos pela cana submetida ao regime de sequeiro, observa-se que é uma estratégia inviável do ponto de vista econômico.

Tabela 30. Estudo econômico de lâminas (L) versus zinco (Zn) que maximiza a produtividade (L_m e Zn_m) e o lucro bruto (L^* e Zn^*). Combinação de lâmina e zinco do produtor (L_p e Zn_p) e resultados do experimento em todas as combinações testadas com a variedade SP 79 1011. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Efeitos	Insumo		ATR (kg t ⁻¹) ¹	Produ. (t ha ⁻¹)	Custo com		Custo ⁴ sem L e Zn	Custo de produção ⁵		Receita bruta	Lucro bruto
	L	Zn			L ²	Zn ³		R\$ e	R\$ t ⁻¹		
	(mm)	(kg ha ⁻¹)			R\$ ha ⁻¹ mm ⁻¹	R\$ kg ⁻¹					
---Tendências do modelo---											
L_m, Zn_m	1.947,82	3,94	133,03	181,26	0,99	2,40	1.153,33	2.742,01	42,57	16,57	
L^*, Zn^*	1.628,06	1,80	146,89	168,59	0,99	2,40	1.154,33	2.742,01	47,01	21,06	
L_p, Zn_p	1.215,00	0,00	142,56	121,12	0,99	2,40	1.155,33	2.742,01	45,62	13,05	
---Valores reais obtidos no experimento---											
L_0, Zn_0	780,06	0,00	108,80	28,80	230,58	2,40	1.153,33	40,04	34,82	-5,22	
L_{25}, Zn_0	987,95	0,00	130,10	49,82	1,87	2,40	2.596,54	52,25	41,63	-10,62	
L_{50}, Zn_0	1.000,83	0,00	136,04	71,46	0,99	2,40	2.742,01	38,51	43,53	5,02	
L_{75}, Zn_0	1.013,08	0,00	133,33	68,98	0,67	2,40	2.876,76	40,80	42,67	1,87	
L_{100}, Zn_0	1.221,08	0,00	144,16	82,81	0,51	2,40	2.817,83	34,05	46,13	12,08	
Média zinco Zero			130,49	60,37	1,01			41,13	41,76	0,63	
Média sequeiro			112,28	31,12	221,38			37,36	35,93	-1,43	
L_0, Zn_1	780,06	1,00	113,92	31,10	215,78	2,40	1.165,22	34,48	36,45	1,97	
L_{25}, Zn_1	987,95	1,00	126,37	52,64	1,90	2,40	2.633,50	50,63	40,44	-10,19	
L_{50}, Zn_1	1.000,83	1,00	132,94	71,17	0,99	2,40	2.752,91	38,85	42,54	3,69	
L_{75}, Zn_1	1.013,08	1,00	140,30	73,09	0,68	2,40	2.887,76	38,42	44,90	6,48	
L_{100}, Zn_1	1.221,08	1,00	144,10	84,09	0,51	2,40	2.828,73	33,77	46,11	12,34	
Média zinco 1			131,53	62,42	1,02			39,23	42,09	2,86	
Média 25% da ETc			127,93	52,55	1,90			50,58	40,94	-9,64	
L_0, Zn_2	780,06	2,00	116,96	32,30	217,95	2,40	1.176,93	36,48	37,43	0,95	
L_{25}, Zn_2	987,95	2,00	121,91	53,00	1,91	2,40	2.644,20	50,68	39,01	-11,67	
L_{50}, Zn_2	1.000,83	2,00	141,03	69,28	1,00	2,40	2.763,61	40,71	45,13	4,42	
L_{75}, Zn_2	1.013,08	2,00	141,08	74,68	0,68	2,40	2.898,47	38,51	45,15	6,64	
L_{100}, Zn_2	1.221,08	2,00	147,97	88,04	0,51	2,40	2.839,43	32,27	47,35	15,08	
Média zinco 2			133,79	63,46	1,03			39,73	42,81	3,08	
Média 50% da ETc			138,04	71,02	1,00			39,22	44,17	4,95	
L_0, Zn_3	780,06	3,00	116,27	32,20	220,19	2,40	1.184,04	37,05	37,21	0,16	
L_{25}, Zn_3	987,95	3,00	134,30	54,19	1,92	2,40	2.655,31	49,04	42,98	-6,06	
L_{50}, Zn_3	1.000,83	3,00	138,40	72,58	1,00	2,40	2.774,72	38,43	44,29	5,86	
L_{75}, Zn_3	1.013,08	3,00	139,06	76,08	0,68	2,40	2.909,58	37,33	44,50	7,17	
L_{100}, Zn_3	1.221,08	3,00	149,69	101,05	0,51	2,40	2.850,55	28,30	47,90	19,60	
Média zinco 3			135,54	67,22	1,03			38,03	43,37	5,34	
Média 75% da ETc			138,29	72,38	0,68			39,35	44,25	4,90	
L_0, Zn_4	780,06	4,00	105,47	31,20	222,40	2,40	1.200,96	38,75	33,75	-5,00	
L_{25}, Zn_4	987,95	4,00	126,95	53,10	1,92	2,40	2.666,23	50,30	40,62	-9,68	
L_{50}, Zn_4	1.000,83	4,00	141,78	70,63	1,01	2,40	2.785,64	39,60	45,37	5,77	
L_{75}, Zn_4	1.013,08	4,00	137,66	69,06	0,68	2,40	2.920,50	41,69	44,05	2,36	
L_{100}, Zn_4	1.221,08	4,00	151,45	84,56	0,52	2,40	2.861,47	33,95	48,46	14,51	
Média zinco 4			132,66	61,71	1,03			40,86	42,45	1,59	
Média 100% da ETc			147,47	88,11	0,51			32,47	47,19	14,72	

1-ATR calculada pelo modelo constante na Tabela 35, em função das combinações (L_m e Zn_m , L^* e Zn^* e L_p e Zn_p); 2- custo equivalente da irrigação com 50% da ETc; 3-custo com o sulfato de zinco heptahidratado (22% de Zn); 4-considerou-se o custo da cana em regime de sequeiro e sem zinco; 5- para a estimativa do modelo em R\$, considerando a cana irrigada com 50% da ETc e para os valores reais obtidos no experimento em R\$ t⁻¹ de cana.

Na Tabela 30, estão apresentados os dados referentes à aplicação de irrigação equivalente a 50% da ETc. Conforme se observa, a combinação que resultou em maior lucro bruto para esse tratamento foi L_{50} com Zn_3 . Observou-se, também, que o teor de ATR de 138,40 kg t⁻¹ conferiu uma receita bruta de R\$ 44,29 t⁻¹ e que, para esse tratamento, a produtividade foi de 72,58 t ha⁻¹, com um custo de produção de R\$ 38,43 t⁻¹. Nesse caso, o lucro bruto foi de R\$ 5,86 t⁻¹. Comparando-se com a combinação estimada segundo o modelo constante na Tabela 29, que maximiza o lucro bruto (L^* e Zn^*) em R\$ 21,06 t⁻¹, observa-se

que haverá um ganho de 259,58% se o produtor adotar a combinação de L* com Zn* (1.628,06 mm e 1,8 kg ha⁻¹).

Segundo o modelo apresentado na Tabela 35, para a determinação do teor de açúcares totais recuperáveis (ATR), há uma interação significativa, com nível de 7%, para o efeito conjunto de lâmina e zinco. No tratamento em que a cana recebeu 75% da ETc, a melhor combinação foi L₇₅ com Zn₃ (1.013,08 mm com 3,00 kg ha⁻¹). Com produtividade média da cana de 76,08 t ha⁻¹ e teor de ATR de 139,06 kg t⁻¹. Nesse caso, a receita bruta foi de R\$ 44,50 t⁻¹, resultando em um lucro bruto de R\$ 7,17 t⁻¹. Comparando-se com a combinação que resulta no máximo lucro bruto (L*, Zn*), a diferença foi de 193%. Portanto, ao se adotar L* e Zn*, há superávit de R\$ 13,89 t⁻¹. Entretanto, na média, a adoção da lâmina correspondente a 75% da ETc foi uma alternativa inviável do ponto de vista econômico, haja visto o fato de que o lucro bruto médio na cana irrigada com 50% da ETc foi R\$ 4,95 t⁻¹ contra R\$ 4,90 t⁻¹ da cana irrigada com 75% de estresse hídrico.

A combinação de lâmina (L₁₀₀) na quantidade de 1.221,08 mm com o nível de zinco (Zn₃) de 3 kg ha⁻¹ resultou numa produtividade média de 101,05 t ha⁻¹ com um teor de ATR de 149,69 kg t⁻¹, conferindo à cana uma receita bruta de R\$ 47,90 t⁻¹ e um lucro bruto de R\$ 19,60 t⁻¹. Assim, é mais vantajosa para o produtor, do ponto de vista da utilização da água, a adoção dessa combinação quando comparada com a combinação de L* e Zn*, em razão da economia na utilização da água. No entanto, a adoção de uma ou de outra combinação resultará em um grande volume de água necessário para satisfazer a cultura.

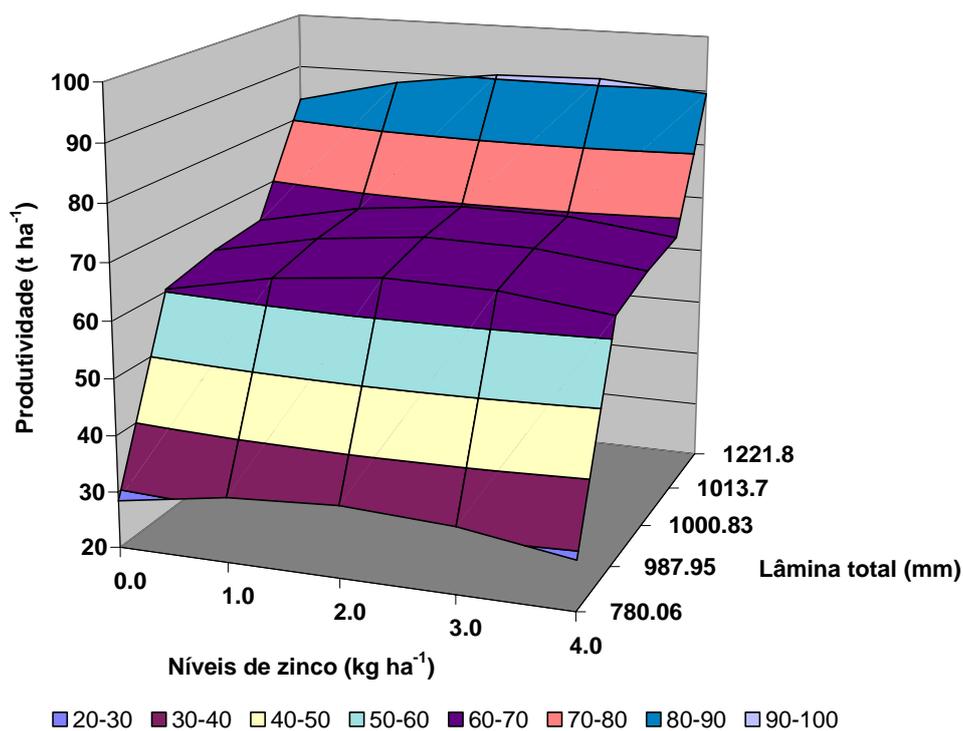


Figura 29. Produtividade da cana-de-açúcar em função da lâmina total aplicada e dos níveis de zinco. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

4.3.4 Produtividade física marginal

Na Tabela 31, constam as produtividades físicas marginais da água (PFM_a) e da adubação com zinco (PFM_{Zn}). Como se pode observar, a PFM_a diminui quando varia a lâmina de água de irrigação; decresce, também, a PFM_{Zn} com o aumento do nível de zinco. Para a aplicação de zinco de 2 kg ha^{-1} e tratamentos de irrigação (sequeiro, 25, 50, 75 e 100% da ETC) as produtividades físicas marginais para o insumo água, foram respectivamente, de 0,22, 0,18; 0,18; 0,17 e 0,13 toneladas de cana-de-açúcar por mm de água de irrigação.

Fixando-se a lâmina de água de irrigação em 1.000,83 mm e estudando o efeito do aumento do nível de zinco, observa-se que as produtividades físicas marginais para o insumo zinco variam de forma decrescente de 4,98 a -3,27. Significa dizer que o lucro bruto será aumentado com o aumento da lâmina de água de irrigação até o limite entre 2 e 3 kg ha^{-1} , quando os PFM_{Zn} começam a ficar negativos.

O conceito de produtividade física marginal permite inferir sobre uma regra básica de decisão; enquanto o crescimento na receita bruta for maior que o gasto adicional com o insumo variável compensa continuar usando maiores quantidades desse insumo, desde que

mantidas as outras condições inalteradas (Contini et al., 1986). Nesse caso, a quantidade ótima do insumo a ser usada é aquela que torna o valor da produtividade marginal do insumo igual ao seu custo.

Na curva descrita na Figura 43 (apêndice) se considerou os dois insumos variáveis (água e zinco). Na Tabela 30, consta o custo de cada insumo. Observa-se que o custo varia com a variação dos tratamentos. Assim, o custo da irrigação com 100% da ETc em cada nível de zinco varia de R\$ 0,51 a 0,52. Portanto, é viável irrigar a cana-de-açúcar até o ponto em que a PFMa se iguale ao custo dessa modalidade de irrigação.

Da mesma forma, observa-se na Tabela 31 que a PMFa varia de acordo com os níveis de zinco. Nota-se também, que as canas de sequeiro e irrigada com 25% da ETc geraram, ambas, uma produtividade marginal bem abaixo do custo do insumo, não sendo, portanto, viáveis.

Tabela 31. Produtividade física marginal da água (tonelada de cana-de-açúcar por mm de água de irrigação) e da adubação com zinco (tonelada de cana-de-açúcar por kg de zinco) para os diferentes tratamentos com a cana ‘SP 79 1011’. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Lâminas	mm	P. física marginal	Níveis de zinco em kg ha ⁻¹				
			0	1	2	3	4
L1	780,06	PFMa	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23
		PFM Zn	4,25	2,19	0,13	-1,93	-4,00
L2	987,95	PFMa	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19
		PFM Zn	4,94	2,88	0,82	-1,25	-3,31
L3	1000,83	PFMa	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19
		PFM Zn	4,98	2,92	0,86	-1,20	-3,27
L4	1013,70	PFMa	0,17	0,18	0,18	0,18	0,19
		PFM Zn	5,03	2,96	0,90	-1,16	-3,22
L5	1221,80	PFMa	0,13	0,14	0,14	0,14	0,15
		PFM Zn	5,71	3,65	1,59	-0,48	-2,54

4.3.5 Taxa marginal de substituição

Na Tabela 32 estão apresentados os valores absolutos para a taxa marginal de substituição de água por adubação com zinco. Com base nos dados, depreende-se que a TMS_{a/Zn} para qualquer produtividade (cita-se, como exemplo, a produtividade de 50 t ha⁻¹) aumenta com o acréscimo da adubação com zinco e a redução da lâmina de água de irrigação.

Os valores absolutos e negativos, constantes na Tabela 32, significam economia em unidade de água (mm) por unidade de adubação com zinco em kg ha^{-1} , levando-se em consideração os limites apontados para a adubação constantes na mesma tabela.

Na Tabela 33, estão apresentados os resultados referentes à $\text{TMS}_{\text{Zn/a}}$ observando-se o seu aumento, em termos absolutos, com o aumento da adubação e diminuição da lâmina de irrigação. Significa dizer que, dentro de um mesmo nível de produtividade, houve economia em unidade de adubação (kg ha^{-1}) com zinco para cada unidade de água aplicada em mm.

Tabela 32. Disposição metódica entre níveis de adubação com zinco e lâminas de água de irrigação equivalentes à taxa marginal de substituição de água por adubação com zinco na produção de cana-de-açúcar 'SP 79 1011'. Fazenda Capim II, Capim /PB, 2005

Zn kg ha^{-1}	50 t ha^{-1}		70 t ha^{-1}		80 t ha^{-1}		100 t ha^{-1}	
	L (mm)	$\text{TMS}_{\text{a/Zn}}$	L (mm)	$\text{TMS}_{\text{a/Zn}}$	L (mm)	$\text{TMS}_{\text{a/Zn}}$	L (mm)	$\text{TMS}_{\text{a/Zn}}$
0,00	986,00	-27,51	1.073,00	-32,23	1.173,00	-39,10	1.221,00	-43,13
0,40	946,00	-21,08	1.070,00	-26,76	1.170,00	-32,77	1.221,00	-36,53
0,80	906,00	-15,25	1.067,00	-21,42	1.167,00	-26,62	1.221,00	-30,06
1,20	866,00	-9,95	1.064,00	-16,19	1.164,00	-20,62	1.221,00	-23,72
1,60	826,00	-5,11	1.061,00	-11,09	1.161,00	-14,78	1.221,00	-17,50
2,00	786,00	-0,66	1.058,00	-6,10	1.158,00	-9,08	1.221,00	-11,40
2,40	746,00	3,43	1.055,00	-1,22	1.155,00	-3,53	1.221,00	-5,41
2,80	706,00	7,21	1.052,00	3,55	1.152,00	1,89	1.221,00	0,46
3,20	690,00	10,61	1.049,00	8,22	1.149,00	7,17	1.221,00	6,23
3,60	680,00	13,87	1.046,00	12,79	1.146,00	12,32	1.221,00	11,89
4,00	665,00	17,04	1.043,00	17,26	1.140,00	17,35	1.221,00	17,45

Tabela 33. Disposição metódica entre níveis de adubação com zinco e lâminas de água de irrigação equivalentes à taxa marginal de substituição de adubação com zinco por água na produção de cana 'SP 79 1011'. Fazenda Capim II, Capim /PB, 2005

Zn kg ha^{-1}	50 t ha^{-1}		70 t ha^{-1}		80 t ha^{-1}		100 t ha^{-1}	
	L (mm)	$\text{TMS}_{\text{Zn/a}}$	L (mm)	$\text{TMS}_{\text{Zn/a}}$	L (mm)	$\text{TMS}_{\text{Zn/a}}$	L (mm)	$\text{TMS}_{\text{Zn/a}}$
0,00	986,00	-0,04	1.073,00	-0,03	1.173,00	-0,03	1.221,00	-0,02
0,40	946,00	-0,05	1.070,00	-0,04	1.170,00	-0,03	1.221,00	-0,03
0,80	906,00	-0,07	1.067,00	-0,05	1.167,00	-0,04	1.221,00	-0,04
1,20	866,00	-0,11	1.064,00	-0,07	1.164,00	-0,05	1.221,00	-0,05
1,60	826,00	-0,25	1.061,00	-0,11	1.161,00	-0,08	1.221,00	-0,07
2,00	786,00	2,61	1.058,00	-0,24	1.158,00	-0,15	1.221,00	-0,11
2,40	746,00	0,23	1.055,00	1,66	1.155,00	-0,79	1.221,00	-0,36
2,80	706,00	0,12	1.052,00	0,19	1.152,00	0,24	1.221,00	0,33
3,20	690,00	0,09	1.049,00	0,10	1.149,00	0,11	1.221,00	0,11
3,60	680,00	0,07	1.046,00	0,07	1.146,00	0,07	1.221,00	0,07
4,00	665,00	0,06	1.043,00	0,05	1.140,00	0,05	1.221,00	0,05

4.4 EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA PELA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

4.4.1 Efeito das lâminas de irrigação mais precipitação efetiva

Na Figura 30, estão apresentados os dados de eficiência no uso da água (EUA). Com melhor ajuste através do modelo quadrático. A equação estimada em função de lâmina total aplicada ($L + PE$) tem significância de 1% de probabilidade, observando-se a alta significância do efeito quadrático da equação. Assim, a diferença quanto ao uso eficiente da água, entre a cana irrigada com 100% da ET_c ($7,22 \text{ kg m}^{-3}$) e a cana sob regime de sequeiro ($3,99 \text{ kg m}^{-3}$), foi de $3,23 \text{ kg m}^{-3}$. Comparando-se esse resultado ao comportamento da cultura irrigada com 100% da ET_c e da cana irrigada com 50% da ET_c , verifica-se que não há diferença entre a média dos tratamentos, em termos de diferença de eficiência no uso da água.

Para Doorembos e Kassan (1979), a eficiência no uso da água na cultura da cana-de-açúcar cultivada nos trópicos e subtropicais secos, com irrigação, em solos com 80% de umidade (ou seja, $p = 20\%$) varia de 5 a 8 kg m^{-3} . Pelos resultados desta pesquisa constata-se que a eficiência no uso da água, apresentada pelos citados autores, pode ser realmente aplicada para a região do litoral paraibano; para a cana-de-açúcar irrigada na região tropical (litoral paraibano), o limite médio superior pode ser de $7,22 \text{ kg m}^{-3}$.

Esta pesquisa estimula o debate para uma faixa mais ampla de eficiência no uso da água, incluindo, também, a cana-de-açúcar cultivada em regime de sequeiro. Verifica-se que, nas condições climáticas vigentes no período do experimento (safra 2005/2006), a cultura utilizou a água (780 mm de PE) de forma ineficiente, com valores muito baixos ($3,99 \text{ kg m}^{-3}$) de EUA; a eficiência no uso da água foi influenciada pela distribuição temporal da precipitação. A má distribuição e a alta concentração das chuvas em um curto período foram as causas da baixa eficiência no uso da água pela cana de sequeiro.

Do ponto de vista sócio-ambiental o que se deseja, é que a prática de uma agricultura sustentável, culmine na utilização da água de forma mais eficiente. Nota-se que, o produtor pode manejar de forma mais adequada a sua irrigação, no sentido de economizar a energia e a água, que por sua vez se torna cada vez mais limitante à produção. A busca por um sistema de produção que tenha maior eficiência no uso da água pode trazer à sociedade um benefício; uma água mais socializada entre agropecuaristas, comunidades e indústrias.

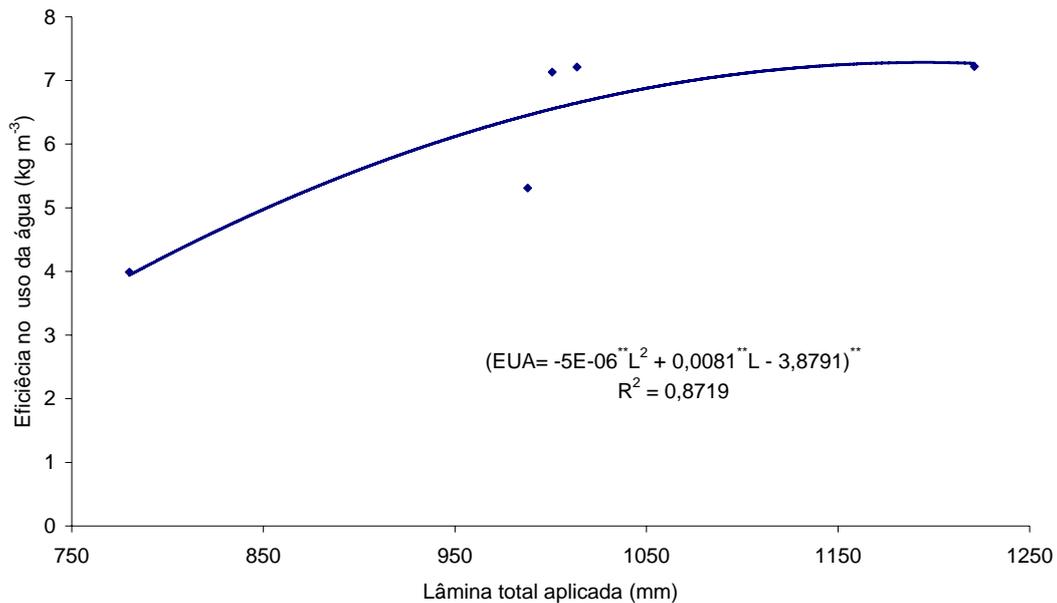


Figura 30. Eficiência no uso da água (kg m⁻³) em função das lâminas de irrigação. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

4.4.2 Efeito dos níveis de zinco

Na Figura 31 está apresentado, de forma gráfica, o comportamento da cultura em relação aos diferentes níveis de zinco estudados, sendo significativo o modelo, com probabilidade de 5%. Analisando-se a curva, observa-se que o ponto de máxima eficiência foi detectado, quando a cultura foi adubada com 3 kg ha⁻¹. Entretanto, pela equação de ajuste quadrático ($EUA = -0,0979Zn^2 + 0,4664Zn + 5,8263^*$, $R2 = 0,79$) estima-se que o nível de zinco que maximiza a eficiência no uso da água (Znm) seria de 2,38 kg ha⁻¹. Então, de 2,38 kg ha⁻¹ a 3 kg ha⁻¹, seria a variação ideal, em termos de eficiência no uso da água para a cultura da cana-de-açúcar, com uma queda após essa faixa de dosagem de zinco.

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

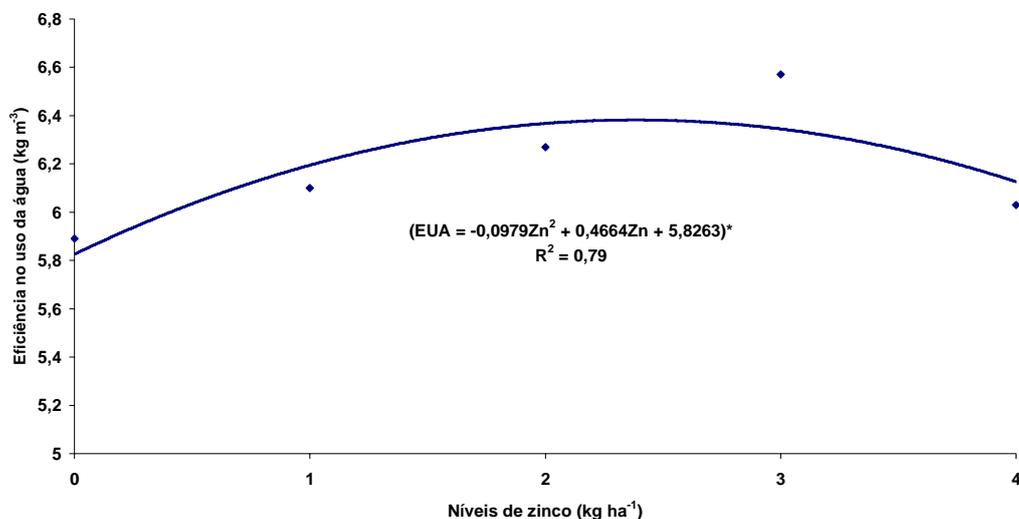


Figura 31. Eficiência no uso da água (kg m^{-3}) na variedade SP 79 1011, em função de níveis de zinco. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Estudando plantas de arroz, Barbosa Filho (1987) verificaram que a deficiência de zinco traz como consequência o encurtamento do internódio, reduzindo o crescimento. Para Epstein e Bloom (2005) o zinco é um elemento necessário à formação do triptofano, aminoácido precursor do ácido indolacético (AIA), um hormônio do crescimento sendo uma justificativa para a redução do crescimento da planta.

Estudando as interações entre zinco, boro e nitrogênio na produtividade do milho, Soares (2003) constatou não haver interferência desses micronutrientes em índices como: número de folhas, índice de área foliar, comprimento do primeiro internódio do colmo e matéria seca do pendão, Não foram observados, também, efeitos sobre os componentes de produção e produtividade na cultura do milho.

4.4.3 Efeito conjunto: lâminas de irrigação mais precipitação efetiva e níveis de zinco

O resumo da análise do efeito conjunto de lâminas de água de irrigação com os níveis de zinco testados nesta pesquisa, para avaliar a eficiência no uso da água na cana, está exposta na Tabela 34.

Tabela 34. Regressão múltipla (lâmina versus zinco) e índices do modelo para eficiência no uso da água da cultura da cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011). Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Coeficientes	Modelo de função de produção			
	EUA (L,Zn) = $a + b*L + c*L^2 + d*Zn + e*Zn^2 + f*LZn$			
		Valor	Teste T	Prob>T
<i>a</i>	Constante	-0,206663E+2		
<i>b</i>	Lâmina	0,466055E-01	5,684807	0,0001
<i>c</i>	Lâmina ²	-0,197304E-04	-4,867639	0,0001
<i>d</i>	Zinco	0,269092E+00	0,494777	0,0304
<i>e</i>	Zinco ²	-0,991202E-01	-1,721663	0,0426
<i>f</i>	Lâmina * zinco	0,202602E-03	0,415493	0,3389
-----Análise de variância do modelo-----				
R ²				0,68
QM				20,50585
Teste F				26,46
Prob>F				0,0000

A visualização do comportamento da cultura de forma mais ampla, é facilitada quando se observa o modelo contendo duas variáveis independentes. Com esse tipo de análise, são observados os limites máximo e mínimo, não com base na média, mas sim nos dados reais da avaliação ora apresentada.

Na Figura 32 está apresentado graficamente o comportamento da cultura quanto à eficiência no uso da água face aos tratamentos estudados (lâminas irrigação mais precipitação efetiva e níveis de zinco). Com base no modelo constante na Tabela 34, observa-se que, quanto maior a lâmina total aplicada, maior foi a resposta da cultura ao zinco em termos de EUA.

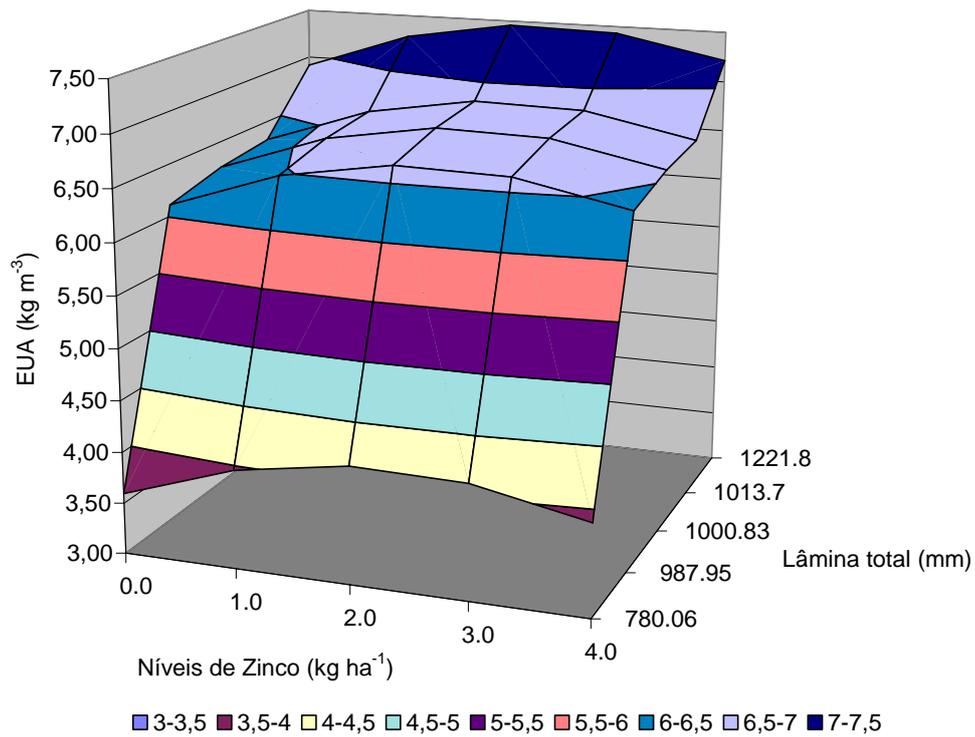


Figura 32. Eficiência no uso da água na cana ‘SP 79 1011’ em função da lâmina total aplicada e dos níveis de zinco. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

CONCLUSÕES

1. Até 204 dias após plantio, o perfilhamento não varia, independentemente da condição de irrigação ou de sequeiro. Mas, ao final do ano de cultivo, a irrigação com 100% da ETc (1.221,08 mm, L + PE) resultou em maior perfilhamento (10 plantas m⁻¹), enquanto que irrigações com 25% (987,95 mm), 50% (1.000,83 mm) e 75% da ETc (1.013,70 mm) garantiram sobrevivência, em média, de 8 plantas m⁻¹. A cana em regime de sequeiro chegou ao final do ano de cultivo com 6 plantas m⁻¹.
2. Plantas irrigadas com 100% da ETc cresceram, ao final do ano de cultivo, 9,08% a mais que a cana irrigada com 75% da ETc. Há uma redução no crescimento de 12,37% da cana irrigada com 50% da ETc, quando comparada à que recebeu 100% da ETc. É de 20,66% a redução no crescimento das plantas irrigadas com 25% da ETc, em relação às que receberam 100% da ETc. Entre a cana cultivada com 100% da ETc e a sob regime de sequeiro a diferença é de 41,63%.
3. A fitomassa acumulada pela cana-de-açúcar irrigada com 100% da ETc foi 9,45% a mais que a cana irrigada com 75% da ETc. Há uma redução na fitomassa de 38,11% da cana irrigada com 50% da ETc para a cana que recebeu 100% da ETc. É de

30,14% a redução no crescimento entre a cana irrigada com 25% da ETc e a que recebeu 100% da ETc. Entre a cana que recebeu 100% da ETc e a sob regime de sequeiro a diferença é de 46,88%.

4. Em termos de altura do colmo, o melhor tratamento consistiu na aplicação de 2,39 kg ha⁻¹ de zinco com 100% da ETc; sendo de 0,8149 mm dia⁻¹ a taxa de crescimento em altura. Nessas condições, em termos de fitomassa ao final do ano de cultivo, a cultura acumulou 1,8022 g dia⁻¹.

5. Há uma forte correlação positiva entre a lâmina de água de irrigação e o teor de sólidos solúveis totais (0,81) e entre o nível de irrigação e o teor de açúcares totais recuperáveis (0,85).

6. Em termos de Açúcares Totais Recuperáveis, a cana irrigada com 100% da ETc produziu 147,47 kg t⁻¹; plantas com 75 e 50% da ETc produziram, 138,03 e 138,28 kg t⁻¹; com 25% da ETc a produção de açúcar foi de 127,92 kg t⁻¹. A cana sob regime de sequeiro obteve 112,27 kg t⁻¹.

7. A produtividade média da cana-de-açúcar irrigada com 100% da ETc é de 88,10 t ha⁻¹; 72,37 t ha⁻¹ quando irrigada com 75% da ETc; 72,29 t ha⁻¹ com 50% da ETc; o rendimento cai para 52,54 t ha⁻¹ com 25% da ETc e para 31,13 t ha⁻¹ quando em regime de sequeiro.

8. Com regime pluviométrico irregular, é inviável a cana cultivada em regime de sequeiro, gerando ao final do ano, um prejuízo de R\$ 1,43 t⁻¹. A aplicação de 25% da ETc resulta em lucro bruto negativo (prejuízo) de R\$ 9,64 t⁻¹. A cana-de-açúcar irrigada com 50% e 75% da ETc gerou um lucro bruto médio de R\$ 4,92 t⁻¹. A irrigação da cana-de-açúcar com 100% da ETc, combinada com a aplicação de 2,39 kg ha⁻¹ de zinco, conferiu um lucro bruto de R\$ 19,60 t⁻¹.

9. Em cana sob condições de sequeiro a eficiência no uso da água foi de 3,99 kg m⁻³ de água, aumentando para 5,31 kg m⁻³ quando foi irrigada com 25 % da ETc; 7,13 kg m⁻³ com 50% da ETc; 7,21 kg m⁻³ para a cana cultivada com 75% da ETc e 7,22 kg m⁻³ para a cana irrigada com 100% da ETc.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, D. L.; BAWEN, J. E. Nutrição da cana-de-açúcar (tradução de José Orlando Filho). Piracicaba/SP POTAFOS. 40p.

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.

ALLOWAY, B. J. Zinc in soils and crop nutrition. International Zinc Association (IZA), Belgica, 116 p. 2004

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 adubação de cobertura nos tabuleiros costeiros da Paraíba. UFCG, 2002, 110p. (Tese de Doutorado).

BACCHI, O.O.S.; SOUZA, J.A.G.C. Minimum threshold temperature for sugar cane growth. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS. Proceedings, São Paulo, Impress, 1978, V2, p. 1733-41.

BARBOSA FILHO, M.P. Nutrição e adubação do arroz: sequeiro e irrigado. Piracicaba: POTAFOS, 1987, 120p. (Boletim Técnico).

BARBIERI, V; BACCHI, O.O.S., VILLA NOVA, N.A. Análise do fator temperatura média do ar no desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). In: I Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Mossoró, 1979.

BARLOW, E.W.R.; MUNNS, R.E.; BRADY, L.J. Drought responses of apical meristems: Adaptation of plants to water and high temperature stress. In: TURNER, N.C. & KRAMER, P.J. (eds.). New York, Wiley, 1980, p.191-205.

BASTA, N. T.; PANTONE, D. J.; TABATABAI, M. A. Path analysis of heavy metal adsorption by soil. *Agronomy Journal*, madson, 1992, v. 85, p. 195-204.

BATCHELOR, C.H.; SOOPRAMANIEN, G.C.; BELL, J.P.; NAYAMUTH, R.; HODNET, M.G. Importance of irrigation regime, dripline placement end row spacing in the drip irrigation of sugar cane. *Agricultural water manegment*, Amsterdan, 1990, n. 17 p. 75-94.

BENICASA, M.M.P. Análise de crescimento de plantas. Jaboticabal: FUNEP, 1988, 42p.

BENNET, A.J. Environmental consequences of increasing production: some current perspectives. *Agriculture Ecosystems & Environmente*. Elsevier, 2000, v.82 p.89-95.

BERDING, N., BROTHETON, G.A., LE BROCCQ, D.G., SKINNER, J.C. Near ifrared reflectance spectroscopy for analysis of sugar cane from clonal avaluetion trials: I Fibrated cane. *Crop Science*, 1991a, v.31, n.4, p.1017-1023.

BERDING, N., BROTHETON, G.A., LE BROCCQ, D.G., SKINNER, J.C. Near ifrared reflectance spectroscopy for analysis of sugar cane from clonal avaluetion trials: Expressed juice. *Crop Science*, 1991b, v.31, n.4, p.1024-1028.

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.

BURNQUIST, H. L. Pagamento de cana: o sistema de remuneração da tonelada de cana pela qualidade – CONSECANA. *Preços Agrícolas*, 1999, p.14-16.

BRUNCE, J.A. Effects of prolonged darkness on the sensitivity of leaf respiration to carbon dioxide concentration in C₃ and C₄ species. *Annals of Botany*. Ideal, 2001, v.87 p.463-468.

CALDAS, C. Manual de análises selecionadas: para indústrias sucroalcooleiras. Maceió-AL, 1998, 438p.

CARRAMASCHI, E.C.; CORDEIRO NETO, O. M.; NOGUEIRA, J.M. O preço da água para irrigação: um estudo de dois métodos de avaliação econômica – contingente e dose resposta. *Cadernos de Ciência e Tecnologia*, Brasília. v.17, n.3, 2000, p. 59 - 81

CARRIJO, O. A.; SOUSA, R. B. de; MAROUELLI, W. A.; ANDRADE R. J. de. Circular Técnica 32: fertirrigação de hortaliças, EMBRAPA DF, 2004,13p.

CARVALHO, M. de C. Rendimento da cana, terceira folha, sob diferentes níveis de irrigação nos tabuleiros costeiros da Paraíba. Campina Grande. UFCG, 2003, 87p.

CHANG, J. *Climate and agriculture: in ecological survey*. Chicago, Aldine, 1968, 304p.

COELHO, M.B.; BARBOSA, M.H.P.; MACIEL, M.L. Produção de cana-de-açúcar irrigada no cerrado de Minas Gerais. In: 8º Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil. Recife/PE, 2002, p. 555-560.

COELHO, M.B.; BARBOSA, M.H.P.; MACIEL, M.L. Manejo de irrigação na cana soca no cerrado de minas gerais. IN: 8º Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil. Recife/PE, 2002, p.591-598.

CONTINE, E.; ARAÚJO, J. D. de; OLIVEIRA, A. J. de; GARRIDO, W. E. Planejamento da propriedade agrícola: modelos de decisão. Brasília/DF. 2 ed. 1986. 300p.

CRSPCTS/PB. Manual técnico operacional, 1997, 4 ed., 238p.

DECARO, S.T.; VITTI, G.C.; FORNACIERE FILHO, D.; MELLO, W.J. Efeito de doses e fontes de zinco na cultura do milho (*Zea mays L.*). *Revista de Agricultura*, 1983, v.58, n. 1. p. 25-36.

DEMÉTRIO, V. A.; SCÁRDUA, R. Efeitos da água do solo e temperatura ambiente no rendimento agrícola da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). In: CONGRESSO NACIONAL STAB, 1, Anais, Maceió, 1979, v.1, p.257-64.

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. Desempenho morfofisiológico da cana-de-açúcar em regime irrigado e de sequeiro na Zona da Mata paraibana. UFPB/PB, 2001, 78p. (Dissertação de Mestrado).

FARIAS, C. H. de A.; OLIVEIRA, K. S. de; ANTUNES, V. L.; SILVA, P. C. M. da. Variabilidade química do solo dos tabuleiros costeiros paraibanos I: fósforo, cálcio e alumínio. XXXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. CD ROM, São Pedro, SP, 2004a. 4p.

FARIAS, C. H. de A.; OLIVEIRA, K. S. de; ANTUNES, V. L.; SILVA, P. C. M. da. Variabilidade química do solo dos tabuleiros costeiros paraibanos II: potássio, magnésio e matéria orgânica. XXXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. CD ROM, São Pedro, SP, 2004b. 4p.

FAUCONIER, R.; BASSEREAU, D. La caña de azúcar. Barcelona, Blume, 1975, 433p.

FERNANDES, J. A. A subsolagem no controle da compactação do solo na cana soca (*Saccharum sp.*) variedade CB 4176 e seus efeitos no rendimento agrícola e no sistema radicular. ESALQ- USP, Piracicaba, 1979 (Dissertação de Mestrado).

FIGUEREDO, J.L. da C. Produção e qualidade da cana-de-açúcar, segunda folha, sob condições de irrigação suplementar nos tabuleiros costeiros da Paraíba. UFPB/PB, 2004, 62p. (Dissertação de Mestrado).

FRIZZONE, J.A. Funções de resposta das culturas à irrigação. Piracicaba: ESALQ-USP, 1993, 42p. v.6 (Série didática).

FRIZZONE, J.A. Funções de produção. In: FARIAS, M.A., SILVA, E.L., VILELA, L.A.A., SILVA, A.M. eds. Manejo de irrigação. Poços de Caldas: UFL/SBEA, 1998, cap.1, p.86-116.

FRIZZONE, J.A.; MATIOLE, C.S.; RESENDE, R. E GONÇALVES, A.C.A. Viabilidade econômica da irrigação suplementar da cana-de-açúcar, *Saccharum spp.*, para a região Norte do Estado de São Paulo. Acta Scientiarum .Maringá, 2001, v.23 n.5 p.1131 -1137.

FRIZZONE, J.A. Função de resposta do feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) ao uso de nitrogênio e lâminas de irrigação. Piracicaba: ESALQ/USP, 1986, 133 p. (Tese Doutorado).

FRIZZONE, J. A.; DOURADO NETO, D. Avaliação de sistemas de irrigação. In: Irrigação (Série Engenharia Agrícola),2003, v.2, p. 573 – 651.

GOMES, F.P. Curso de estatística experimental. Piracicaba/SP, 2000, 14 ed. 477p.

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 Mestrado).

GOSNELL, J.M. Some effects of increasing age on sugarcane growth. Sugar cane Technology, Taiwan, 1968, n. 12, p. 499-513.

GRIMES, D. W.; MILLER, R. J.; DICKENS, L. Water stress during flowering of cotton. California Agriculture, 1970, 24: 4-6.

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.

HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A. Economics considerations of deficit irrigation. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1984, v.110, n.3, p.343-358.

- HART, J.J., NORVELL, W.A., WELCH, R.M., SULLIVAN, L.A. KOCHIAN, L.V. Characterization of zinc uptake, binding, and translocation, in intact seedlings of Bread en durum wheat cultivars. *Plant Physiology*, 1998, n.118 p.219-226.
- HATE, M. G.; ORCUTT, D. M. *The physiology of plant under stress*, 1987, 250p.
- HELWEG, O.J. Functions of crop yield from applied water. *Agronomy Journal*, 1991, v.83, n.4, p.769–773.
- HESKETH, J.; BAKER, D. Light and carbon assimilation by plants communities. *Crop Science*, 1967, 7: 285-93.
- HEXEM, R.W.; HEADY, E.O. *Water production functions for irrigated agriculture*. Ames: Iowa State University Press, 1978, 215 p.
- HUMBERT, R .P. *The growing of sugar cane*. Amsterdam, Elsevier, 1968.779p.
- HUNT, R. *Plant growth curves: the functional approach to plant growth analysis*. 1982, 1 ed. 247p.
- 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*, 1988, v.33, n.2, p.139-148.
- IRVINE, J. E. Relations of photosynthetic rates and leaf and canopy characters to sugarcane yield. *Crop Science*, 1975, 15: 671-6.
- 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.
- KEATING, B. A.; ROBERTSON, R. C.; MUCHOW, R. C. & HUTH, N. I. Modeling sugar cane production systems I. Development and performance of the sugar cane module. *Field Crop Research*, v.61, p.253-271, 1999.
- KING, N. J.; MONTGOMERY, R.W.; HUGHES, C. G. *Manual of cane growing*. Sidney, Elsevier, 1965. 375p.

KLEINENDORST, A. An explosion of leaf growth after stress conditions. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 23: 139-44, 1975.

KOCZKODAY, L.C. O processo de acumulação de custos na formação de lavouras temporárias e de lavouras permanentes em Mato Grosso. *UNITAS/MT* (<http://www.classecontabio.com.br/trabalhos.php>), 2005, 31p.

KOEHLER, P. H.; MOORE, P. H.; JONES, C. A.; DELA CRUZ A.; MARETZIKI, A. Response of drip-irrigated sugarcane to drought stress. *Agronomy Journal*, 1982, v. 74, n. 5 p. 906-911.

KOFFLER, N. F.; DONZELI, P. L. Avaliação dos solos brasileiros para a cultura da cana-de-açúcar: cultivo e utilização. In: *PARANHOS, S. B.*, v.1, Fundação Cargil, 1987, 431p.

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.

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

LEVITT, J. *Response of plant to environmental stress. II water radiation salt and other stresses*. New York Academic Press, 1980, 606p.

LIU, W.Z.; HUNSAKER, D.J.; LI Y.S.; XIT X.Q.; WALL, G.W. Interrelations of yield, evapotranspiration and water use efficiency from marginal analysis of water production functions. *Agricultural Water Management*, 2002, v.56, p.143-151.

LOPES, B. F.; SETER, T. L.; McDAVID, C. R. Photosynthesis and water vapor exchange of pigeonpea leaves in response to water deficit and recover. *Crop Science*. Madison, 1988, v.28 p.141-145.

LINGLE, S. E.; WIEGAND, C. L. Soil salinity and sugar cane juice quality. *Field Crop Research*, 1997, v.54, p.259-268.

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

MACHADO, E.C. Fisiologia da produção de cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. (coord.) Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Campinas, Fundação Cargill, 1987, v.1, 431p.

MACHADO, E. C.; PEREIRA, A. R.; FAHL, J. I.; ARRUDA, H. V. & CIONE, J. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 1982, 17 (9): 1323-9, set.

MACHADO, E. C.; PEREIRA, A. R.; CAMARGO, M. B. P.; GAHL, J. I. Relações radiométricas de uma cultura de cana-de-açúcar. Bragantia, Campinas, 1985, 44 (1): 229-38.

MACLEAN, F. G.; MCDAVID, C. E.; SINGH, Y. Preliminary results of net assimilation rate studies in sugarcane. Proceedings of the International Society of Sugar Cane technologists, 1968, 13: 849-58.

MADDONNI, G. A.; OTEGUI, M. E. Leaf area, light interception and crop development in maize. Field Crop Research, Elsevier, 1996, v. 48, p.81-87.

MARION, J.C. Contabilidade Básica, Atlas, 2 ed. São Paulo, 1989, 214p.

MELLO, C. R.; CARVALHO, J. A. Aplicação de tarifas energéticas em sistemas de irrigação

MONGELARD, J. C.; MIMURA, L. Growth studies on the sugar cane plant. I - Effects of temperature. Crop Science, 1971, 2: 795-800.

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.

MOTA, F.S. Meteorologia agrícola. São Paulo. Nobel, 7.ed,1983.

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.

MUCHOW, R. C.; ROBERTSON, M. J.; WOOD, A.W.; KEATING, B. A. Effect of nitrogen on the time course of sucrose accumulation in sugar cane *Field Crop Research*. Elsevier, 1996b, v.47 p. 143-153.

NELSON, P. N.; HAM, G. J. Exploring the response of sugar cane to sodic and saline conditions through natural variations in the field. *Field Crop Research*, 2000,v.66, p.245-255.

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*, 1995, v.87, p.698-707.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELO JUNIOR; HAAG, H.P. Absorção e remoção de zinco pela cana-de-açúcar, variedade CB 41 76 em três solos do Estado de São Paulo. *Brasil açucareiro*, Rio de Janeiro, 1980, n.96, v.1, p.31-41.

PÁEZ, A.; GONZÁLES, M. E.; YARUSQUI, O. X. Water stress and clipping management effects on guinea grass: I Growth and biomass allocation. *Agronomy Journal*, 1995, v.87, p.698-707.

PEDROSA, R. M.; SANTOS, J. S.; ALBUQUERQUE, W. G.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, H. M. de; DANTAS NETO, J. Avaliação dos parâmetros dos colmos da cana-de-açúcar, segunda folha, submetida a níveis irrigação e adubação. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*. 2005, v. 5, n. 1 p. 5.

QURESHI, S.A.; MADRAMOOTOO, C.A.; DODDS, G.T. Evaluation of irrigation Scheme for sugarcane in Sindh, Pakistan, using SWP93. *Agricultural Water Management*, 2002, v.54, p.37–48.

RADFORD, P. F. Growth analysis formulae: their use and abuse. *Crop Science*, 1967, n.7, p.171-175.

RECEITA FEDERAL. Apropriação das quotas de depreciação, amortização e exaustão. <http://www.receita.fazenda.gov.br/PessoaJuridica/DIPJ/2005/PergResp2005/pr409a412.htm>

RIBEIRO JUNIOR, J.I. Análises estatística no SAEG. Viçosa/MG, 2001, 301p.

RICHARDS, L. A. & WADLEIGH, C. H. Soil water and plant growth. In: SHAW, B.T. (ed.). *Soil Physical conditions and plant growth*, New York, Academic Press, 1952, Chap. 3, p.73-251 (Agronomy - A series of monographs, vol II).

RIDESA. Programa de melhoramento genético da cana-de-açúcar: variedades RB, relatório anual. UFRPE/EECA, 2003, 256p.

RITCHIE, S. W.; NGUIEN, H. T. & HOLADAY, A.S. Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, Madison, 1990, v.30, p.105-111.

ROBERTSON, M .J.; DONALDSON, M. J. Changes in the components of cane and sucrose yield in response to drying-off before harvest. *Field Crop Research*. Elsevier. 1998, v.55 p.201-208.

ROBERTSON, M .J., INMAM-BAMBER, N. G., .MUCHOW, R. C.; WOOD, A. W. Physiology and productivity of sugar cane with early and mid-season water deficit. *Field Crop Research*. Elsevier, 1999, v.64 p.211-227.

ROBERTSON, M. J.; MUCHOW, R.C.; WOOD, A. W & CAMPBEL, J. A. Accumulation of reducing sugars by sugar cane: Effects of crop age, nitrogen supply and cultivar. *Field Crop Research*. Elsevier, 1996, v.49 p.39-50.

ROBERTSON, M .J., WOOD, A. W. & .MUCHOW, R. C. Growth of sugar cane under high input conditions on tropical Australia. I Radiation use, biomass accumulation and partitioning. *Field Crop Research*. Elsevier, 1996, v.48 p.11-25.

ROLIM, G. de S.; ESCOBEDO, J.F.; OLIVEIRA A.P. Aplicação do modelo de deardorf (1978) para simulação do balanço de energia da cana-de-açúcar: resultados de primavera. XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz do Iguaçu/SP, 2002, p.2774-2782.

ROSA, G. R. da; RIGON, L.; CORREIA, S.; VENCATO, A.; BELING, R. R. Brazilian sugar cane yearbook, Gazeta Santa Cruz, Santa Cruz do Sul/SP, 2005, 136p.

SAN JOSÉ, J. J.; MEDINA, E. Análisis de la productividad de caña de azúcar. I. crecimiento, desarrollo de la superficie foliar y contenido de clorofila de caña de azúcar 'PR 980'. Turrialba, 1970, 20 (2): 143-8.

SANTOS, G. C. G dos; ABREU, C. A. de; CAMARGO O. A. de; ABREU, M. F. de. Pó-de-aciaria como fonte de zinco para o milho e seu efeito na disponibilidade de metais pesados. Bragantia, Campinas/SP, 2002, v. 61 n. 3 p.257-266.

SANTOS, J.W. dos; GHEYI, H.R. Estatística experimental aplicada. Campina Grande/PB, 2003, 213p.

SILVA, C.L.A.; RAMOS, M.M.; FERREIRA, P.A.; SEDIYAMA; G.C.; LOUREIRO, B.T. Modelagem da precipitação efetiva na cultura do milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília. 1994. v. 29, n. 6, p. 929-937.

SIMÕES, M. dos S.;ROCHA, J.V.; LAMPARELLI, R.A.C. Growth índices end productivity in sugarcane. Ciencia Agrícola, Piracicaba/SP, 2005, v.62 n.1 p.23-30.

SINGH, R. B. Environmental consequences of agricultural development: A case study from the green revolution state of Haryana, India. Agriculture Ecosystems & Environment, Elsevier, 2000, v.82 p.97-103.

SOARES, M.A. Influência de nitrogênio, zinco e boro e de suas respectivas interações no desempenho da cultura do milho (*Zea mays L.*). Piracicaba/ SP, 2003, 92p. (Dissertação de Mestrado).

SOARES, R.A.B.; OLIVEIRA, P.F.M.; CARDOSO, H.R.; VASCONSELOS, A.C.M.; LANDELLE, M.G.A.; ROSENFELD, U. Efeito da irrigação sobre o desenvolvimento e

a produtividade da cana-de-açúcar colhida em início de safra. Revista STAB, 2004, v.22 n.4.

SOUSA, G. da S. e. Introdução aos modelos de regressão linear e não-linear. EMBRAPA, Brasília/DF, 1998, 489 p.

SOUZA, E.F., BERNARDO, S.; CARVALHO, J.A. Função de produção da cana-de-açúcar em relação à água para três variedades, em Campos dos Goytacazes, RJ. Engenharia Agrícola. Jaboticabal, 1999, v.19, n.1, p.28-12, set.

STEGMAN, E.C., MUSICK, J.T.; STWART, J.I. Irrigation water management. In: JENSEN, M.E.; ed Design and operation of farm irrigation systems. St. Joseph: ASAE, 1980, 829p.

STEWART, J.I.; HAGAN, R.M. Functions to predict effects of crop water deficits. Journal of the Irrigation and Drainage, New York, 1974, v.99, n.4, p.421-439.

TAIZ, L., ZEIGER, E. Plant physiology. Redwood City, Benjamin/Cummings, 2002, 565p.

THOMPSON, G.D.; DU TOIT, J.L. the effects of row spacing on sugarcane in natal. Sugarcane Technology, Porto Rico, 1965, n. 12, p.103-112.

TORRES, J.S. a simple visual aid for sugar cane irrigation. Agricultural Water Management, 1998, n.38, p.77-83.

TRPANI, N.; HALL, A.J.; SADRAS, V.O.; VILELLA, F. ontogenic changes in radiation use frequency of sunflower (*Helianthus annuus* L.) crops. Field Crop Research. Elsevier, 1992, v.29 p.301-316.

VAN DILLEWIJN, C. Botânica de la caña de azúcar. Instituto del Libro, 1950, 460p.

VARELA, A.C.G., Análise do comportamento morfofisiológico da cana-de-açúcar irrigada, variedades SP 791011 e SP 716949, nos tabuleiros costeiros paraibanos. UFPB 2002, 89p. (Dissertação de Mestrado).

- VAUX JR, H. J.; PRUITT, W. O. Crop-water production functions. In: HILLEL, D. (ed.). *advances in Irrigation*, New York, Academic Press, 1983, vol 2. p.61-97.
- VIEIRA, S. *Estatística experimental*. São Paulo/SP, 1999, 2 ed. 185p.
- VITTI, G.C. *Uso eficiente de fertilizantes na cana-de-açúcar*, Araçatuba/SP, 2003, 28p.
- WADSWORTH, H. A. Soil moisture and the sugar cane plant. *Hawaiian planter's record*, 1934a, 38: 111-9.
- WADSWORTH, H. A. Some aspects of the internal water economy of the sugar cane plant. *Hawaiian planter's record*, 1936b, 40: 21-33.
- WATSON, D. J. Comparative physiological studies on the growth of field crops. I variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within between years. *Annals of Botany*, 1947, v.11 n.41.
- WATSON, D. J. The physiological basis of variation in yield. *Advance in Agronomy*. 1952, v. 4, p.101-145.
- WEELER, T. R.; CRAUFORD, P. Q.; ELLIS, R.H.; PORTER, J.R.; VARA PRASAD, P.V. Temperature variability and the yield of annual crops, *Agriculture Ecosystems & Environment*, Elsevier, 2000, v.82 p.159-167.
- WIEDENFELD, R. P. Effects of irrigation and N fertilizer application on sugar cane yield and quality. *Field Crop Research*, Elsevier, 1995, v.43 p. 101-108.
- WIEDENFELD, R. P. Water stress during different sugar cane growth periods on yield and response to N fertilizer. *Agriculture Water Management*. Elsevier. V.43 p.173-182, 2000.
- YASSEEN, B.T.; AL-OMARY, S. S. Analysis of the effects os water stress os leaf growth and yield of three barley cultivars. *Irrigation Science*, 1994, 14: 157-62.
- YOON, C. N. Growth studies on sugarcane. *The Malaysian Agricultural Journal*, 1971, 48 (2): 47-59.

APÊNDICE

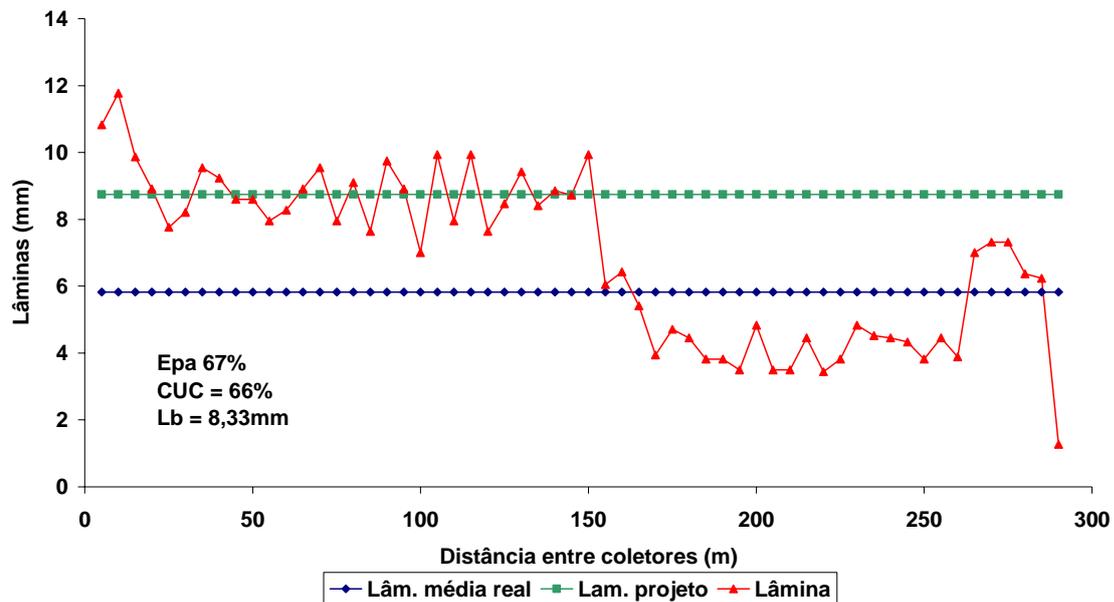


Figura 33. Resultado do 1º ensaio de precipitação, antes da montagem do experimento na Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

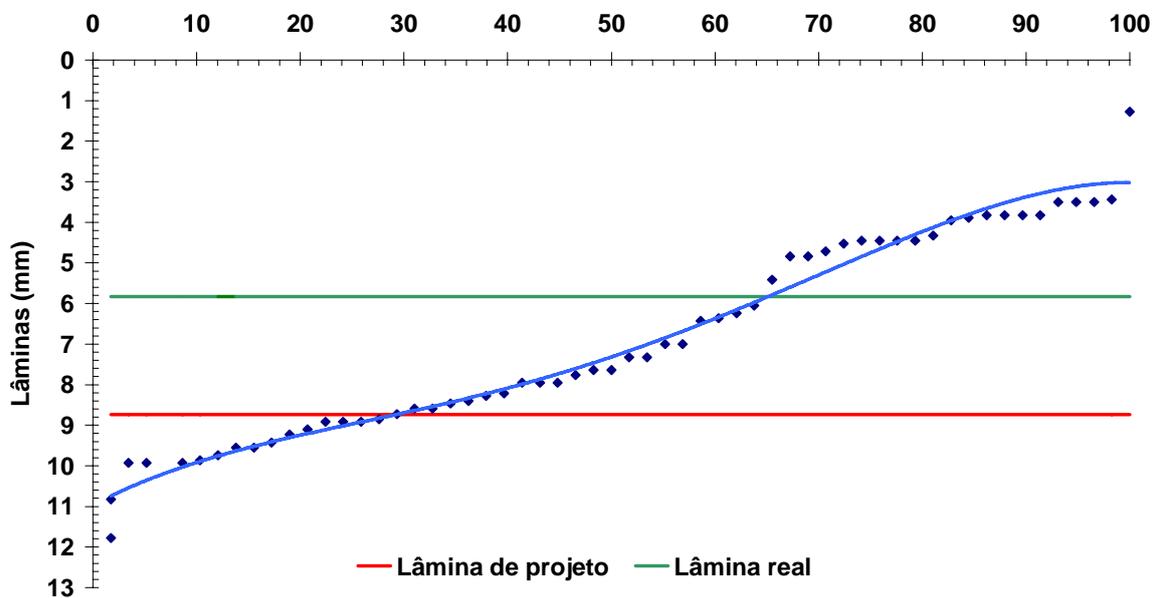


Figura 34. Adequabilidade da irrigação antes da montagem do experimento na Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

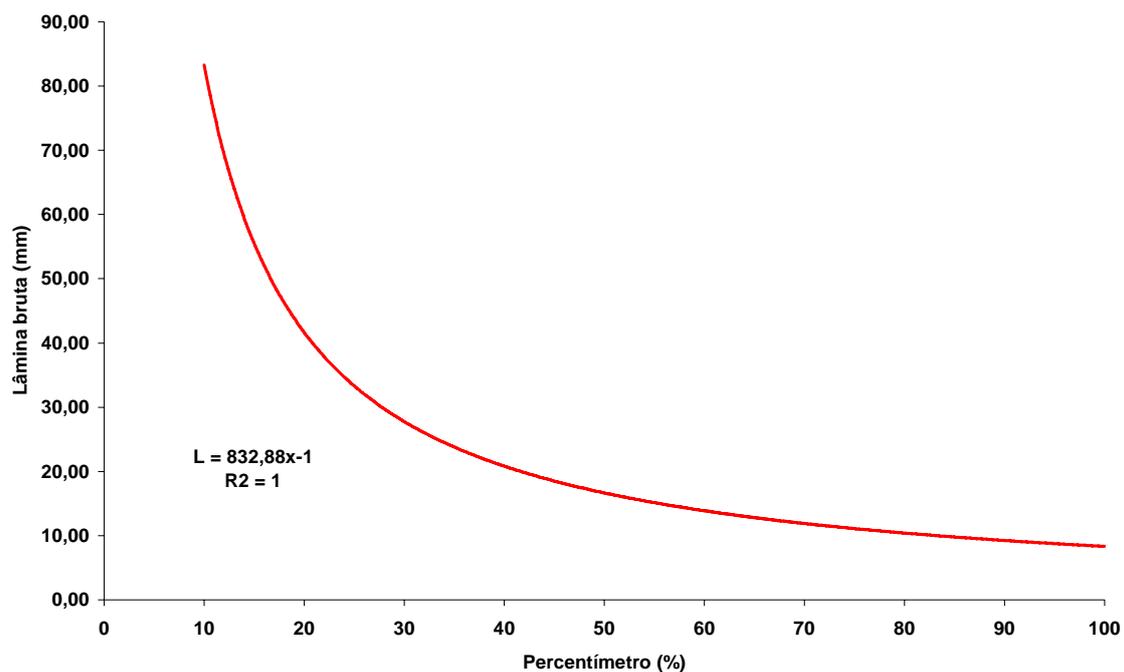


Figura 35. Curva de lâmina bruta de irrigação aplicada pelo equipamento antes da montagem do experimento na Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

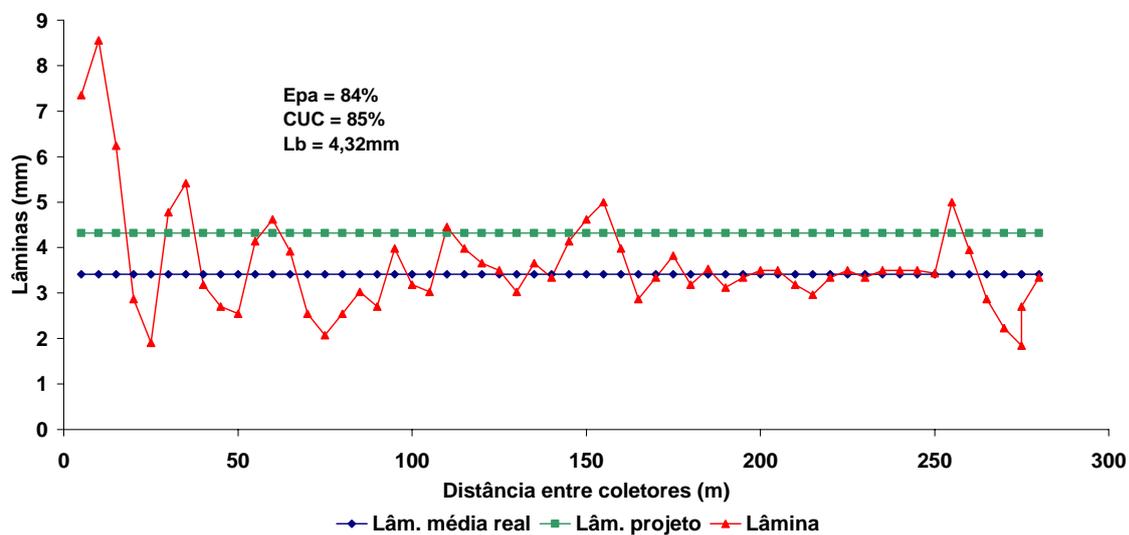


Figura 36. Resultado do 2º ensaio de precipitação após mudanças no projeto do equipamento na Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

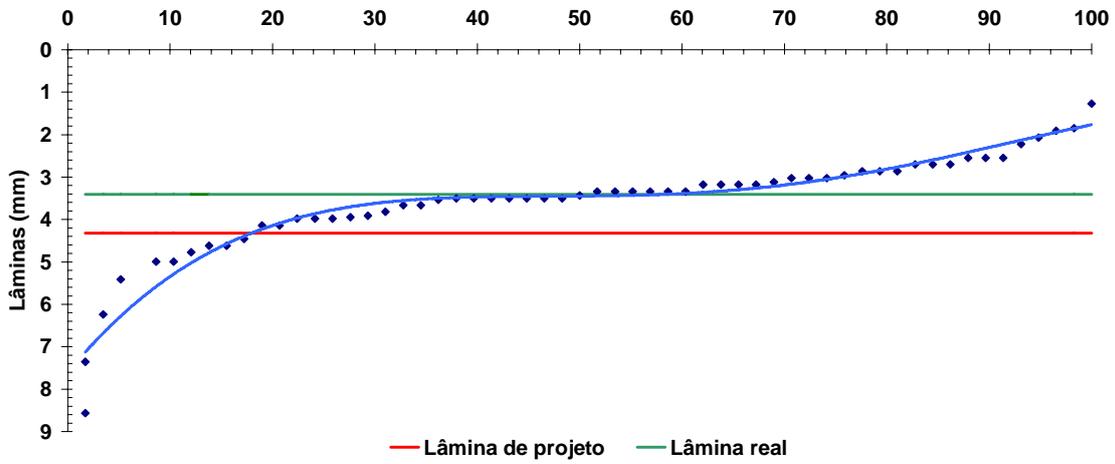


Figura 37. Adequabilidade da irrigação após mudanças no projeto do equipamento na Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

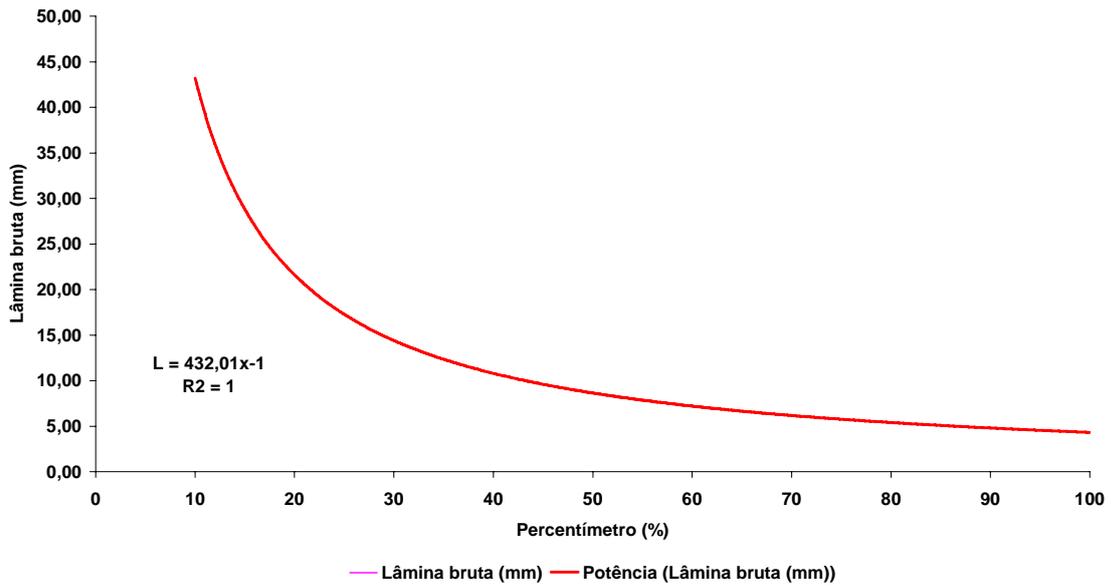


Figura 38. Curva da lâmina bruta de irrigação aplicada pelo equipamento após mudanças no projeto do equipamento na Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005



Figura 39. Medidor de vazão instantâneo (l/s) e totalizador (m³) acoplado ao pivô central na Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005



Figura 40. Bocais utilizados no equipamento de irrigação na Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005



Figura 41. Vista panorâmica do pivô central em funcionamento na Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

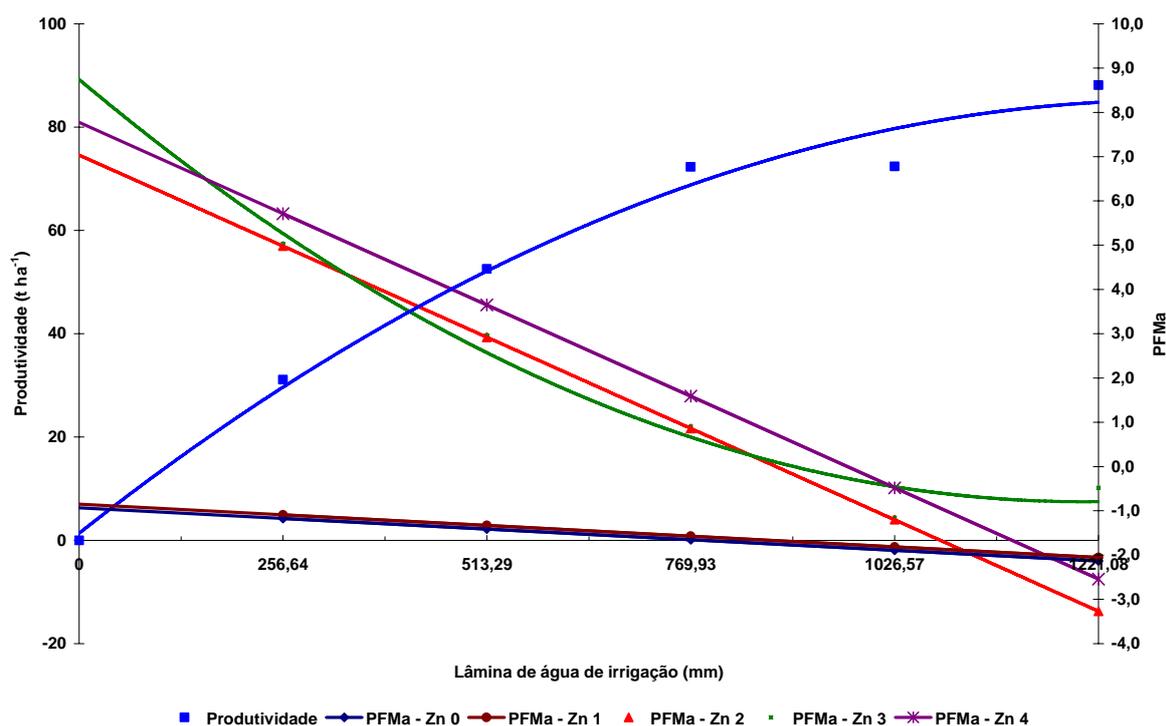


Figura 42. Produtividade física marginal do zinco dentro de cada lâmina de água de irrigação na Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Tabela 35. Função de produção em açúcares totais recuperáveis L x Zn e parâmetros do modelo para a cultura da cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011). Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Coeficientes	Modelo de função de produção			
	ATR (L,Zn) = a + b*L + c*L ² + d*Zn + e*Zn ² + f*LZn			
		Valor	Teste T	Prob>T
a	Constante	-38,16080		
b	Lâmina	0,27024	4,174968	0,0001
c	Lâmina ²	-0,00010	-3,132064	0,0009
d	Zinco	-2,40602	-0,560325	0,2876
e	Zinco ²	-0,59802	-1,315634	0,0942
f	Lâmina * zinco	0,00563	1,462073	0,0719
-----Análise de variância do modelo-----				
R ²				0,770
Qd. médio				2056,750
Teste F				47,400
Prob>F				0,0000

Tabela 36. Estudo da correlação de Pearson entre o número de plantas por metro (perfilhamento) e o índice de área foliar, ao longo do tempo, para a cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011). Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

Período	Variável	Variável	Observações	Correlação	T	Significância*
90 DAB	NP	IAF	75	0,8126	11,9133	0,0001
120 DAB	NP	IAF	75	0,7696	10,2974	0,0001
150 DAB	NP	IAF	75	0,5960	6,3420	0,0001
180 DAB	NP	IAF	75	0,6300	6,9314	0,0001
210 DAB	NP	IAF	75	0,6882	8,0382	0,0001
240 DAB	NP	IAF	75	0,7575	9,9137	0,0001
270 DAB	NP	IAF	75	0,8797	15,80,46	0,0001
300 DAB	NP	IAF	75	0,8117	11,8752	0,0001
330 DAB	NP	IAF	75	0,4419	4,2092	0,0001
360 DAB	NP	IAF	75	0,8462	13,5659	0,0001

- Significância de 0,0001 é sinônimo de significativo a 1%.

Quadro 2. Mapa do custo de produção para a cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011), cultivada em regime de sequeiro. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

D E S C R I Ç Ã O	Sequeiro				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
DADOS COMPLEMENTARES					
Área irrigada (ha)	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4
Área irrigada acumulada absoluta (ha)	0	0	0	0	0
Horas de funcionamento (h)	0	0	0	0	0
Número de irrigações	0	0	0	0	0
Lâmina total (mm)	0	0	0	0	0
Volume de água (m ³)	0	0	0	0	0
Energia gasta (Kwh)	0	0	0	0	0
Preço da energia (R\$/kw)	0	0	0	0	0
Preço da água (R\$/m ³)	0	0	0	0	0
Preço do sulfato de zinco	2,400	2,400	2,400	2,400	2,400
INSUMOS	458,48	469,38	480,08	491,19	502,11
Gasto com sulfato de zinco	0,00	10,90	21,60	32,71	43,63
Gasto com energia elétrica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gasto com água	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Adubação de cobertura (12 00 24)	302,54	302,54	302,54	302,54	302,54
Herbicidas (2.4-D e Advance)	155,94	155,94	155,94	155,94	155,94
ENCARGOS	66,14	66,14	66,14	66,14	66,14
Salários	45,51	45,51	45,51	45,51	45,51
Férias	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14
13º salário	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86
INSS	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
FGTS	6,45	6,45	6,45	6,45	6,45
EPI	3,93	3,93	3,93	3,93	3,93
MATERIAIS E PCAS DE REPOSIÇÃO	7,15	8,15	9,15	10,15	11,15
Combustíveis	7,15	7,15	7,15	7,15	7,15
Lubrificantes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pneus	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00
Acessórios					
SERVIÇOS	21,56	21,56	21,56	21,56	21,56
Operação de corte	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74
Transporte, carregamento e lambaio	8,31	8,31	8,31	8,31	8,31
Serviços prestados - PJ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transporte de pessoal	5,81	5,81	5,81	5,81	5,81
Aluguéis de veículo	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Aluguéis de motos	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
REMUNERAÇÃO DE CAPITAL	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00
Depreciações					
Exaustões	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00
TOTAL =====>	1.153,33	1.165,22	1.176,93	1.189,04	1.200,96

Quadro 3. Mapa do custo de produção para a cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011) irrigada com 25% da ETC. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

D E S C R I Ç Ã O	25 % da ETP				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
DADOS COMPLEMENTARES					
Área irrigada (ha)	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4
Área irrigada acumulada absoluta (ha)	97,2	97,2	97,2	97,2	97,2
Horas de funcionamento (h)	73,15	73,15	73,15	73,15	73,15
Número de irrigações	18	18	18	18	18
Lâmina total (mm)	256,64	256,64	256,64	256,64	256,64
Volume de água (m ³)	13858,56	13858,56	13858,56	13858,56	13858,56
Energia gasta (Kwh)	4.092,74	4.092,74	4.092,74	4.092,74	4.092,74
Preço da energia (R\$/kw)	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175
Preço da água (R\$/m ³)	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Preço do sulfato de zinco	2,400	2,400	2,400	2,400	2,400
INSUMOS	603,95	614,84	625,55	636,66	647,58
Gasto com sulfato de zinco	0,00	10,90	21,60	32,71	43,63
Gasto com energia elétrica	132,64	132,64	132,64	132,64	132,64
Gasto com água	12,83	12,83	12,83	12,83	12,83
Adubação de cobertura (12 00 24)	302,54	302,54	302,54	302,54	302,54
Herbicidas (2.4-D e Advance)	155,94	155,94	155,94	155,94	155,94
ENCARGOS	66,14	66,14	66,14	66,14	66,14
Salários	45,51	45,51	45,51	45,51	45,51
Férias	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14
13º salário	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86
INSS	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
FGTS	6,45	6,45	6,45	6,45	6,45
EPI	3,93	3,93	3,93	3,93	3,93
MATERIAIS E PCAS DE REPOSIÇÃO	9,56	9,56	9,56	9,56	9,56
Combustíveis	7,15	7,15	7,15	7,15	7,15
Lubrificantes	2,41	2,41	2,41	2,41	2,41
Pneus	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acessórios	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SERVIÇOS	21,56	47,62	47,62	47,62	47,62
Operação de corte	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74
Transporte, carregamento e lambaio	8,31	8,31	8,31	8,31	8,31
Serviços prestados - PJ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transporte de pessoal	5,81	29,07	29,07	29,07	29,07
Aluguéis de veículo	0,28	1,39	1,39	1,39	1,39
Aluguéis de motos	0,42	2,11	2,11	2,11	2,11
REMUNERAÇÃO DE CAPITAL	1.895,33	1.895,33	1.895,33	1.895,33	1.895,33
Depreciações	1.415,33	1.415,33	1.415,33	1.415,33	1.415,33
Exaustões	480,00	480,00	480,00	480,00	480,00
T O T A L =====>	2.596,54	2.633,50	2.644,20	2.655,31	2.666,23

Quadro 4. Mapa do custo de produção para a cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011) irrigada com 50% da ETC. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

D E S C R I Ç Ã O	50 % da ETP				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
DADOS COMPLEMENTARES					
Área irrigada (ha)	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4
Área irrigada acumulada absoluta (ha)	97,2	97,2	97,2	97,2	97,2
Horas de funcionamento (h)	146,3	146,3	146,3	146,3	146,3
Número de irrigações	18	18	18	18	18
Lâmina total (mm)	513,29	513,29	513,29	513,29	513,29
Volume de água (m ³)	27717,66	27717,66	27717,66	27717,66	27717,66
Energia gasta (Kwh)	8.185,49	8.185,49	8.185,49	8.185,49	8.185,49
Preço da energia (R\$/kw)	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175
Preço da água (R\$/m ³)	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Preço do sulfato de zinco	2,400	2,400	2,400	2,400	2,400
INSUMOS	749,41	760,31	771,01	782,13	793,05
Gasto com sulfato de zinco	0,00	10,90	21,60	32,71	43,63
Gasto com energia elétrica	265,27	265,27	265,27	265,27	265,27
Gasto com água	25,66	25,66	25,66	25,66	25,66
Adubação de cobertura (12 00 24)	302,54	302,54	302,54	302,54	302,54
Herbicidas (2.4-D e Advance)	155,94	155,94	155,94	155,94	155,94
ENCARGOS	66,14	66,14	66,14	66,14	66,14
Salários	45,51	45,51	45,51	45,51	45,51
Férias	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14
13º salário	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86
INSS	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
FGTS	6,45	6,45	6,45	6,45	6,45
EPI	3,93	3,93	3,93	3,93	3,93
MATERIAIS E PCAS DE REPOSIÇÃO	9,56	9,56	9,56	9,56	9,56
Combustíveis	7,15	7,15	7,15	7,15	7,15
Lubrificantes	2,41	2,41	2,41	2,41	2,41
Pneus	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acessórios	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SERVIÇOS	21,56	21,56	21,56	21,56	21,56
Operação de corte	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74
Transporte, carregamento e lambaio	8,31	8,31	8,31	8,31	8,31
Serviços prestados - PJ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transporte de pessoal	5,81	5,81	5,81	5,81	5,81
Aluguéis de veículo	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Aluguéis de motos	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
REMUNERAÇÃO DE CAPITAL	1.895,33	1.895,33	1.895,33	1.895,33	1.895,33
Depreciações	1.415,33	1.415,33	1.415,33	1.415,33	1.415,33
Exaustões	480,00	480,00	480,00	480,00	480,00
TOTAL =====>	2.742,01	2.752,91	2.763,61	2.774,72	2.785,64

Quadro 5. Mapa do custo de produção para a cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011), irrigada com 75% da ETC. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

D E S C R I Ç Ã O	75 % da ETP				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
DADOS COMPLEMENTARES					
Área irrigada (ha)	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4
Área irrigada acumulada absoluta (ha)	97,2	97,2	97,2	97,2	97,2
Horas de funcionamento (h)	213,6	213,6	213,6	213,6	213,6
Número de irrigações	18	18	18	18	18
Lâmina total (mm)	769,93	769,93	769,93	769,93	769,93
Volume de água (m ³)	41576,22	41576,22	41576,22	41576,22	41576,22
Energia gasta (Kwh)	11.950,81	11.950,81	11.950,81	11.950,81	11.950,81
Preço da energia (R\$/kw)	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175
Preço da água (R\$/m ³)	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Preço do sulfato de zinco	2,400	2,400	2,400	2,400	2,400
INSUMOS	884,27	895,17	905,87	916,98	927,90
Gasto com sulfato de zinco	0,00	10,90	21,60	32,71	43,63
Gasto com energia elétrica	387,29	387,29	387,29	387,29	387,29
Gasto com água	38,50	38,50	38,50	38,50	38,50
Adubação de cobertura (12 00 24)	302,54	302,54	302,54	302,54	302,54
Herbicidas (2.4-D e Advance)	155,94	155,94	155,94	155,94	155,94
ENCARGOS	66,14	66,14	66,14	66,14	66,14
Salários	45,51	45,51	45,51	45,51	45,51
Férias	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14
13º salário	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86
INSS	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
FGTS	6,45	6,45	6,45	6,45	6,45
EPI	3,93	3,93	3,93	3,93	3,93
MATERIAIS E PCAS DE REPOSIÇÃO	9,56	9,56	9,56	9,56	9,56
Combustíveis	7,15	7,15	7,15	7,15	7,15
Lubrificantes	2,41	2,41	2,41	2,41	2,41
Pneus	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acessórios	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SERVIÇOS	21,56	21,56	21,56	21,56	21,56
Operação de corte	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74
Transporte, carregamento e lambaio	8,31	8,31	8,31	8,31	8,31
Serviços prestados - PJ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transporte de pessoal	5,81	5,81	5,81	5,81	5,81
Aluguéis de veículo	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Aluguéis de motos	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
REMUNERAÇÃO DE CAPITAL	1.895,33	1.895,33	1.895,33	1.895,33	1.895,33
Depreciações	1.415,33	1.415,33	1.415,33	1.415,33	1.415,33
Exaustões	480,00	480,00	480,00	480,00	480,00
TOTAL =====>	2.876,87	2.887,76	2.898,47	2.909,58	2.920,50

Quadro 6. Mapa do custo de produção para a cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011) irrigada com 100% da ETC. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

D E S C R I Ç Ã O	100% da ETP				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
DADOS COMPLEMENTARES					
Área irrigada (ha)	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4
Área irrigada acumulada absoluta (ha)	97,2	97,2	97,2	97,2	97,2
Horas de funcionamento (h)	292,6	292,6	292,6	292,6	292,6
Número de irrigações	18	18	18	18	18
Lâmina total (mm)	1026,57	1026,57	1026,57	1026,57	1026,57
Volume de água (m ³)	55434,78	55434,78	55434,78	55434,78	55434,78
Energia gasta (Kwh)	16.370,97	16.370,97	16.370,97	16.370,97	16.370,97
Preço da energia (R\$/kw)	0,175	0,175	0,175	0,175	0,175
Preço da água (R\$/m ³)	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Preço do sulfato de zinco	2,400	2,400	2,400	2,400	2,400
INSUMOS	962,38	973,28	983,98	995,09	1.006,01
Gasto com sulfato de zinco	0,00	10,90	21,60	32,71	43,63
Gasto com energia elétrica	530,54	530,54	530,54	530,54	530,54
Gasto com água	51,33	51,33	51,33	51,33	51,33
Adubação de cobertura (12 00 24)	302,54	302,54	302,54	302,54	302,54
Herbicidas (2.4-D e Advance)	77,97	77,97	77,97	77,97	77,97
ENCARGOS	66,14	66,14	66,14	66,14	66,14
Salários	45,51	45,51	45,51	45,51	45,51
Férias	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14
13º salário	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86
INSS	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
FGTS	6,45	6,45	6,45	6,45	6,45
EPI	3,93	3,93	3,93	3,93	3,93
MATERIAIS E PCAS DE REPOSIÇÃO	9,56	9,56	9,56	9,56	9,56
Combustíveis	7,15	7,15	7,15	7,15	7,15
Lubrificantes	2,41	2,41	2,41	2,41	2,41
Pneus	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acessórios	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SERVIÇOS	21,56	21,56	21,56	21,56	21,56
Operação de corte	6,74	6,74	6,74	6,74	6,74
Transporte, carregamento e lambaio	8,31	8,31	8,31	8,31	8,31
Serviços prestados - PJ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transporte de pessoal	5,81	5,81	5,81	5,81	5,81
Aluguéis de veículo	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Aluguéis de motos	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
REMUNERAÇÃO DE CAPITAL	1.758,19	1.758,19	1.758,19	1.758,19	1.758,19
Depreciações	1.415,33	1.415,33	1.415,33	1.415,33	1.415,33
Exaustões	342,86	342,86	342,86	342,86	342,86
T O T A L =====>	2.817,83	2.828,73	2.839,43	2.850,55	2.861,47

Quadro 7. Controle de irrigação para a cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011) irrigada com 100% da ETc. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

SETOR	SETOR 01				
Nº de Irrigação	DATA	100% ETP	Água m ³	Temp. func.	kw
	6/11/2004	75,06	4.053,38	23,20	1.298,04
1	15/11/2004	42,75	2.308,50	12,80	716,16
2	24/11/2004	49,50	2.673,00	14,40	805,68
3	3/12/2004	45,00	2.430,00	13,40	749,73
4	12/12/2004	48,00	2.592,00	14,20	794,49
5	21/12/2004	43,13	2.328,75	12,80	716,16
6	30/12/2004	46,13	2.490,75	13,40	749,73
7	8/1/2005	66,92	3.613,50	19,60	1.096,62
8	17/1/2005	59,13	3.192,75	17,00	951,15
9	26/1/2005	34,67	1.872,00	10,20	570,69
10	4/2/2005	62,75	3.388,50	18,20	1.018,29
11	13/2/2005	82,25	4.441,50	23,20	1.298,04
12	22/2/2005	20,42	1.102,50	6,00	335,70
13	3/3/2005	96,35	5.202,90	28,40	1.588,98
14	12/3/2005	98,40	5.313,60	28,40	1.588,98
15	21/3/2005	58,88	3.179,61	28,40	1.588,98
16	30/3/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
17	8/4/2005	53,84	2.907,47	8,80	492,36
18	17/4/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
19	26/4/2005	74,57	4.026,55	15,00	839,25
20	5/5/2005	43,91	2.371,03	8,40	469,98
21	14/5/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
22	23/5/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
23	1/6/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
24	10/6/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
25	19/6/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
26	28/6/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
27	7/7/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
28	16/7/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
29	25/7/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
30	3/8/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
31	12/8/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
32	21/8/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
33	30/8/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
34	8/9/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
35	17/9/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
36	26/9/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
ENERGIA (KW)	17669,01				
VOLUME (m ³)	55.434,91				
LÂMINA TOTAL	1026,57				

Quadro 8. Controle de irrigação para a cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011) irrigada com 75% da ETc. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

SETOR	SETOR 02				
Nº de Irrigação	DATA	100% ETP	Água m ³	Temp. func.	kw
	6/11/2004	75,06	4.053,38	16,94	947,57
1	15/11/2004	32,06	1.731,38	9,34	522,80
2	24/11/2004	37,13	2.004,75	10,51	588,15
3	3/12/2004	33,75	1.822,50	9,78	547,30
4	12/12/2004	36,00	1.944,00	10,37	579,98
5	21/12/2004	32,34	1.746,56	9,34	522,80
6	30/12/2004	34,59	1.868,06	9,78	547,30
7	8/1/2005	50,19	2.710,13	14,31	800,53
8	17/1/2005	44,34	2.394,56	12,41	694,34
9	26/1/2005	26,00	1.404,00	7,45	416,60
10	4/2/2005	47,06	2.541,38	13,29	743,35
11	13/2/2005	61,69	3.331,13	16,94	947,57
12	22/2/2005	15,31	826,88	4,38	245,06
13	3/3/2005	72,26	3.902,18	20,73	1.159,96
14	12/3/2005	73,80	3.985,20	20,73	1.159,96
15	21/3/2005	44,16	2.384,70	20,73	1.159,96
16	30/3/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
17	8/4/2005	40,38	2.180,61	6,42	359,42
18	17/4/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
19	26/4/2005	55,92	3.019,91	10,95	612,65
20	5/5/2005	32,93	1.778,27	6,13	343,09
21	14/5/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
22	23/5/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
23	1/6/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
24	10/6/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
25	19/6/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
26	28/6/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
27	7/7/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
28	16/7/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
29	25/7/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
30	3/8/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
31	12/8/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
32	21/8/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
33	30/8/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
34	8/9/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
35	17/9/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
36	26/9/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
ENERGIA (KW)	12898,38				
VOLUME (m ³)	41.576,18				
LÂMINA TOTAL	769,93				

Quadro 9. Controle de irrigação para a cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011) irrigada com 50% da ETc. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

SETOR	SETOR 03				
Nº de Irrigação	DATA	100% ETP	Água m ³	Temp. func.	kw
	6/11/2004	75,06	4.053,38	11,60	649,02
1	15/11/2004	21,38	1.154,25	6,40	358,08
2	24/11/2004	24,75	1.336,50	7,20	402,84
3	3/12/2004	22,50	1.215,00	6,70	374,87
4	12/12/2004	24,00	1.296,00	7,10	397,25
5	21/12/2004	21,56	1.164,38	6,40	358,08
6	30/12/2004	23,06	1.245,38	6,70	374,87
7	8/1/2005	33,46	1.806,75	9,80	548,31
8	17/1/2005	29,56	1.596,38	8,50	475,58
9	26/1/2005	17,33	936,00	5,10	285,35
10	4/2/2005	31,38	1.694,25	9,10	509,15
11	13/2/2005	41,13	2.220,75	11,60	649,02
12	22/2/2005	10,21	551,25	3,00	167,85
13	3/3/2005	48,18	2.601,45	14,20	794,49
14	12/3/2005	49,20	2.656,80	14,20	794,49
15	21/3/2005	29,44	1.589,80	14,20	794,49
16	30/3/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
17	8/4/2005	26,92	1.453,74	4,40	246,18
18	17/4/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
19	26/4/2005	37,28	2.013,28	7,50	419,63
20	5/5/2005	21,95	1.185,51	4,20	234,99
21	14/5/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
22	23/5/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
23	1/6/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
24	10/6/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
25	19/6/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
26	28/6/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
27	7/7/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
28	16/7/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
29	25/7/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
30	3/8/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
31	12/8/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
32	21/8/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
33	30/8/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
34	8/9/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
35	17/9/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
36	26/9/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
ENERGIA (KW)	8834,51				
VOLUME (m ³)	27.717,45				
LÂMINA TOTAL	513,29				

Quadro 10. Controle de irrigação para a cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011) irrigada com 25% da ETc. Fazenda Capim II, Capim/PB, 2005

SETOR	SETOR 04				
Nº de Irrigação	DATA	100% ETP	Água m ³	Temp. func.	kw
	6/11/2004	75,06	4.053,38	5,80	324,51
1	15/11/2004	10,69	577,13	3,20	179,04
2	24/11/2004	12,38	668,25	3,60	201,42
3	3/12/2004	11,25	607,50	3,35	187,43
4	12/12/2004	12,00	648,00	3,55	198,62
5	21/12/2004	10,78	582,19	3,20	179,04
6	30/12/2004	11,53	622,69	3,35	187,43
7	8/1/2005	16,73	903,38	4,90	274,16
8	17/1/2005	14,78	798,19	4,25	237,79
9	26/1/2005	8,67	468,00	2,55	142,67
10	4/2/2005	15,69	847,13	4,55	254,57
11	13/2/2005	20,56	1.110,38	5,80	324,51
12	22/2/2005	5,10	275,63	1,50	83,93
13	3/3/2005	24,09	1.300,73	7,10	397,25
14	12/3/2005	24,60	1.328,40	7,10	397,25
15	21/3/2005	14,72	794,90	7,10	397,25
16	30/3/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
17	8/4/2005	13,46	726,87	2,20	123,09
18	17/4/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
19	26/4/2005	18,64	1.006,64	3,75	209,81
20	5/5/2005	10,98	592,76	2,10	117,50
21	14/5/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
22	23/5/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
23	1/6/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
24	10/6/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
25	19/6/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
26	28/6/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
27	7/7/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
28	16/7/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
29	25/7/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
30	3/8/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
31	12/8/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
32	21/8/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
33	30/8/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
34	8/9/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
35	17/9/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
36	26/9/2005	0,00	0,00	0,00	0,00
ENERGIA (KW)	4417,25				
VOLUME (m ³)	13.858,73				
LÂMINA TOTAL	256,64				

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)