

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

**RESPOSTA DA CANA-DE-AÇÚCAR A NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO E ADUBAÇÃO
DE COBERTURA NOS TABULEIROS COSTEIROS DA PARAÍBA**

HAMILTON MEDEIROS DE AZEVEDO

**CAMPINA GRANDE – PARAÍBA - BRASIL
AGOSTO - 2002**

HAMILTON MEDEIROS DE AZEVEDO

**RESPOSTA DA CANA-DE-AÇÚCAR A NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO E ADUBAÇÃO
DE COBERTURA NOS TABULEIROS COSTEIROS DA PARAÍBA**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em
Recursos Naturais da Universidade Federal de
Campina Grande, em cumprimento às exigências
para obtenção do grau de Doutor em Engenharia de
Recursos Naturais

Área de Concentração: Solo e Água

JOSÉ DANTAS NETO

Orientador

CAMPINA GRANDE – PARAÍBA - BRASIL

AGOSTO – 2002



Azevedo, Hamilton Medeiros de

A994r
2002

Resposta da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e adubação de cobertura nos tabuleiros costeiros da Paraíba / Hamilton Medeiros de Azevedo. – Campina Grande : UFCCG, 2002.

110p. : il

Tese (Doutorado). UFCCG/CCT
Inclui bibliografia

1. Cana-de-Açúcar Irrigada 2. Irrigação por Aspersão
3. Pivô Cental 4. Função de Produção I. Título

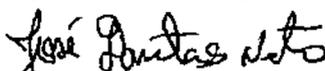
CDU: 631.674.5 : 664.111

HAMILTON MEDEIROS DE AZEVEDO

RESPOSTA DA CANA-DE-AÇUCAR A NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO E
ADUBAÇÃO DE COBERTURA NOS TABULEIROS COSTEIROS DO
ESTADO DA PARAÍBA

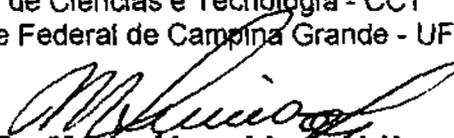
APROVADA EM: 16/08/2002

BANCA EXAMINADORA:



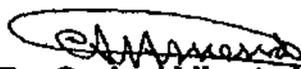
Prof. Dr. José Dantas Neto

Departamento de Engenharia Agrícola - DEAg
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG



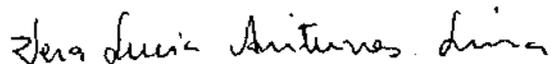
Prof. Dr. Mário Alves Lima Júnior

Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo - PPA/CS
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE



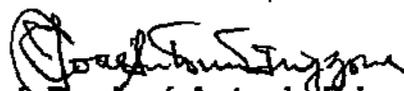
Prof. Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo

Departamento de Engenharia Agrícola - DEAg
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG



Profa. Dra. Vera Lucia Antunes de Lima

Departamento de Engenharia Agrícola - DEAg
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG



Prof. Dr. José Antonio Frizzone

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

DEDICATÓRIA

A

MEUS PAIS E IRMÃOS

exemplos de fé, amor, luta, honestidade,
justiça e compromisso

A

MINHA ESPOSA, NORMA CESAR

parceira no amor, sócia da felicidade,
companheira na construção permanente da
qualidade de vida conjugal e no crescimento
de nossos filhos

A

MEUS FILHOS, JOÃO AUGUSTO, CHRISTIAN E
ARTHUR

pelo amor, afeto e admiração e por me terem
ajudado a aprender a respeitar, admirar e amar
as pessoas nas diferenças

A

MEUS SOGRO E SOGRA

pelo carinho, amizade e apoio

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela vida e pelas oportunidades

À Sociedade Brasileira, pelo ensino público e gratuito sem o qual não teria chegado até o doutorado

Ao Bacharel em Administração, Gilvan Celso Cavalcanti de Moraes Sobrinho, Diretor Superintendente da Destilaria Miriri, pelo financiamento de todos os custos na condução da pesquisa em campo e pelo fornecimento de todas as informações tecnológicas e comerciais necessárias ao desenvolvimento do trabalho

Ao Professor José Dantas Neto, Doutor em Irrigação, pela sugestão do tema, orientação, dedicação e apoio nas atividades de campo. À Professora Norma César de Azevedo, ao Professor José de Arimatea de Matos e à Nísia Leão, pelas sugestões e revisão do trabalho

Ao Engenheiro Civil Demócrito de Souza Farias, especialista em irrigação, pela confiança em nos indicar para orientar o manejo da irrigação na Destilaria Miriri

Ao Engenheiro Químico Emanuel Pinheiro de Melo, Diretor Industrial da Destilaria Miriri, e a toda sua equipe, principalmente, a Severino Egidio de Moura, chefe do laboratório, pelo fornecimento de bibliografias, determinação e assessoramento na interpretação dos parâmetros tecnológicos

Ao Gerente Agrícola da Destilaria Miriri, Gabriel Saturnino de Oliveira e sua equipe de campo, em particular ao Engenheiro Agrícola Carlos Henrique de A. Farias, ao Técnico Francisco Lourival de Souza e ao encarregado dos pivôs Geraldo Rodrigues, pelo apoio na implantação, condução do experimento e coleta dos dados de campo

Aos professores do doutorado Iêde de Brito Chavês, José Dantas Neto, Márcia Maria Rios Ribeiro, Marx Prestes Barbosa e Rosires Catão Curi, pela qualidade, conteúdo e atualidade de suas disciplinas, pelo apoio e incentivo. Aos meus colegas de estudo, Augusto Francisco da Silva Neto, Hamilcar José Almeida Filgueira e Mônica Garcia Agra de Medeiros, pela amizade e apoio.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	xix
SUMMARY	xx
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 – Sobre a Cultura	3
- A planta	3
- Ciclo Fenológico	6
- O Meio (Solo e Clima)	8
- Necessidades Nutricionais	11
- Necessidade Hídrica	20
2.2 – Funções de Produção	27
CAPÍTULO III - MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1 – Cultura, Solo e Clima	33
3.2 – Tratamentos e Delineamento Estatístico	35
3.3 -- Instalação e Condução do Experimento	35
3.4 – Variáveis Avaliadas	38
- Rendimento Bruto de Açúcar	38
- Rendimento Bruto de Álcool	39
3.5 – Função de Produção	39
3.5.1- Função de produção, tendo um único fator como variável	40
a) Receita líquida	40
- Preço do produto	40
- Preço do fator água	41
- Preço do fator adubação de cobertura	42
- Custos dos fatores fixos	42
b) Nível F_m do fator variável, que proporciona a máxima produção	45
c) Nível F^* do fator que proporciona a receita máxima	45
d) Nível F_c do fator que proporciona a receita equivalente	45
3.5.2 - Função de produção tendo dois fatores como variáveis	46
a) Produto físico marginal	47
b) Taxa marginal de substituição	48
c) Região de produção racional	48
d) Combinação de custo mínimo	49
CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.1 – Lâminas de Irrigação e Níveis de Adubação	50
4.2 – Parâmetros Organográficos.	52
- Número de Colmos	52
- Peso Médio por Colmo	52
- Diâmetro Médio do Colmo	53
- Comprimento Médio por Colmo	55
- Número de Internódios	55

	Página
4.3 – Incidência de Diatraea	57
4.4 – Produção de Colmos	58
4.5 – Rendimento Bruto de Açúcar	61
4.6 – Rendimento Bruto de Álcool	63
4.6.1 - Preços e custos de produção	63
4.6.2 - Função de produção, tendo como único fator variável a lâmina de água (irrigação)	63
4.6.3 - Função de produção, tendo como único fator variável o nível de adubação de cobertura	66
4.6.4 - Função de produção, tendo dois fatores como variáveis, água e adubação de cobertura (nitrogênio mais potássio)	69
a) Produto físico marginal	75
b) Taxa marginal de substituição	76
c) Região de produção racional	77
d) Combinação de custo mínimo	79
4.6.5 – Análise comercial dos resultados	81
CAPÍTULO V - CONCLUSÕES	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
ANEXOS	94

LISTA DE QUADROS

	Página
Quadro 2.1: Ciclos da cana-de-açúcar e fases do ciclo fenológico, segundo Scardua & Rosenfeld (1987)	8
Quadro 2.2: Critérios para classificação da aptidão dos solos para a cultura da cana-de-açúcar conforme Koffler & Donzeli (1987)	9
Quadro 2.3: Teores de umidade, concentração de macro e micronutrientes de cana-de-açúcar, variedade CB 41-76, valores médios obtidos dos resultados de pesquisas realizadas por Orlando Filho (1978) e Orlando Filho et al. (1980) em três tipos de solo (Latosolo Roxo, Latossolo Vermelho-Escuro Orto e Podzólico Vermelho-Amarelo variedade Laras)	14
Quadro 2.4: Produção de matéria seca e extração de macronutrientes de cana-de-açúcar, variedade CB 41-76, valores médios obtidos dos resultados de pesquisas realizadas por Orlando Filho (1978) e Orlando Filho et al. (1980) em três tipos de solo (Latosolo Roxo, Latossolo Vermelho-Escuro Orto e Podzólico Vermelho-Amarelo variedade Laras)	15
Quadro 2.5: Extração de micronutrientes de cana-de-açúcar, variedade CB 41-76, valores médios obtidos dos resultados de pesquisa realizada por Orlando Filho (1978) e Orlando Filho et al. (1980) em três tipos de solo (Latosolo Roxo, Latossolo Vermelho-Escuro Orto e Podzólico Vermelho-Amarelo variedade Laras)	16
Quadro 2.6: Teores de macro e micronutrientes por tonelada de colmo de cana-de-açúcar, variedade CB 41-76, Orlando Filho (1978) e Orlando Filho et al. (1980)	16
Quadro 2.7: Valores de consumo máximo, mínimo e médio de água da cana-de-açúcar, obtidos por diversos métodos e diferentes autores, segundo Scardua & Rosenfeld (1987)	21
Quadro 2.8: Coeficientes de cultivo da cana-de-açúcar, de acordo com Scardua & Rosenfeld (1987)	21
Quadro 2.9: Potenciais mínimos de água no solo e água disponível consumida, segundo diferentes autores, citados por Scardua & Rosenfeld (1987)	23
Quadro 3.1: Custo da água utilizada na irrigação em R\$ (mm ha) ⁻¹ com base na quantidade utilizada no nível W ₃ do experimento de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m	41
Quadro 3.2: Custo da adubação de cobertura (nitrogênio mais potássio) em R\$ kg ⁻¹ com base na quantidade utilizada no nível N ₃ do experimento de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e	42

	Página
espaçamento entre fileiras de 1,2 m	
Quadro 3.3: Custos fixos em R\$ ha ⁻¹ de implantação (primeiro ano) de cultivo de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m	43
Quadro 3.4: Custo de manutenção da cultura, colheita e transporte dos colmos de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m	44
Quadro 3.5: Custos de colheita e transporte expressos em R\$ por litro de álcool bruto de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m	44
Quadro 4.1a: Análise de variância, teste F e coeficiente de variação de número de colmos ¹ de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m	53
Quadro 4.1b: Análise das médias de colmos ¹ pelo teste de Tukey para o fator água e fator adubação de cobertura, de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m	53
Quadro 4.2a: Análise de variância, teste F e coeficiente de variação do peso (kg) por colmo de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m	54
Quadro 4.2b: Análise média do peso (kg) por colmos pelo teste de Tukey para o fator água, de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m	54
Quadro 4.3: Análise de variância, teste F e coeficiente de variação dos diâmetros dos colmos de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m	55
Quadro 4.4a: Análise de variância, teste F e coeficiente de variação do comprimento (m) por colmo de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m	56
Quadro 4.4b: Análise das médias dos comprimentos (m) por colmos pelo teste de Tukey para o fator água, de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de	56

	1,2 m	
Quadro 4.5a:	Análise de variância, teste F e coeficiente de variação do número de internódios por colmo de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m	57
Quadro 4.5b:	Análise das médias do número de internódios por colmo pelo teste de Tukey para o fator água, de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m	57
Quadro 4.6a:	Análise de variância, teste F e coeficiente de variação da incidência de <i>Diatraea saccharalis</i> em % (internódios atacados divididos pelo total de internódios), em cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m	58
Quadro 4.6b:	Análise das médias de incidência <i>Diatraea saccharalis</i> (internódios atacados divididos pelo total de internódios pelo teste de Tukey para o fator adubação de cobertura, de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m	59
Quadro 4.7a:	Análise de variância, teste F e coeficiente de variação da produção de colmo de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m	60
Quadro 4.7b:	Análise das médias de produtividade de colmo em t ha ⁻¹ pelo teste de Tukey para o fator água e fator adubação de cobertura de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m	60
Quadro 4.8a:	Análise de variância, teste F e coeficiente de variação do rendimento bruto de açúcar em t ha ⁻¹ de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação e adubação e espaçamento entre fileiras de 1,2 m	61
Quadro 4.8b:	Análise das médias do rendimento bruto de açúcar em t ha ⁻¹ pelo teste de Tukey para o fator água e fator adubação de cobertura, de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m	62
Quadro 4.9:	Resumo da análise de variância, teste F e coeficiente de variação do rendimento bruto de álcool em m ³ ha ⁻¹ de cana-de-açúcar planta	64

	Página
(<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, adubação de cobertura constante e espaçamento entre fileiras de 1,2 m	
Quadro 4.10: Quantidade de água que maximiza a produção, a receita líquida máxima, a que proporciona a receita líquida equivalente da função de produção do rendimento bruto de álcool de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, adubação de cobertura constante e espaçamento entre fileiras de 1,2 m	66
Quadro 4.11: Resumo da análise de variância, teste F e coeficiente de variação do rendimento bruto de álcool em $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de adubação de cobertura, quantidade de água total constante e espaçamento entre fileiras de 1,2 m	67
Quadro 4.12: Adubação de cobertura que maximiza a produção, a que proporciona a receita líquida máxima e a que proporciona a receita líquida equivalente da função de produção de rendimento bruto de álcool de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de adubação de cobertura, nível de água constante e espaçamento entre fileiras de 1,2 m	69
Quadro 4.13a: Análise de variância, teste F e coeficiente de variação do rendimento bruto de álcool em $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura (nitrogênio mais potássio) e espaçamento entre fileiras de 1,2 m	70
Quadro 4.13b: Análise das médias do rendimento bruto de álcool em $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ pelo teste de Tukey para o fator água e fator adubação de cobertura, de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m	70
Quadro 4.14: Rendimentos brutos de álcool, receitas brutas, custos, receitas líquidas e respectivos níveis de irrigação e de adubação de cobertura (nitrogênio mais potássio) aplicados em cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011)	74
Quadro 4.15: Produto físico marginal da água (L de álcool bruto mm^{-1} de água de irrigação) e da adubação de cobertura (L de álcool bruto kg^{-1} de nitrogênio mais potássio) para os diferentes níveis de água e de adubação de cobertura na produção de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011)	75
Quadro 4.16: Combinação de níveis de água e adubação de cobertura e correspondentes taxas marginais de substituição de água por adubação de cobertura na produção de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011)	76
Quadro 4.17: Combinação de níveis de água e adubação de cobertura e corres-	77

	Página
pondentes taxas marginais de substituição de adubação de cobertura por água na produção de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011)	77
Quadro 4.18: Combinação de níveis de água e de adubação de cobertura que proporcionam $ TMS_{NW} $ e custo mínimo de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011).	80
Quadro 4.19: Rendimentos bruto de álcool, receitas brutas, custos, receitas líquidas, custos totais por litro de álcool, receitas líquidas por litro de álcool bruto produzido e respectivos valores médios de PCC (percentagem de sacarose bruta) por níveis de irrigação e de adubação de cobertura em cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011).	82
Quadro A ₁ : Análises químicas e físicas do solo da Fazenda Capim da Destilaria Miriri, Município de Capim, PB, feitas pelo Laboratório de Irrigação e Salinidade da UFPB	95
Quadro A ₂ : Aplicação de água do pivô central 2 da Fazenda Capim da Destilaria Miriri, Município de Capim-PB	96
Quadro A ₃ : Quantidades líquidas programadas e aplicadas de água por tratamento mais precipitação efetiva, em mm, para intervalos de 24 dias e suspensão da irrigação 24 dias antes da colheita. Fazenda Capim da Destilaria Miriri município de Capim, PB	97
Quadro A ₄ : Número de colmos por hectare de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação e adubação e espaçamento de 1,2 m entre fileiras	98
Quadro A ₅ : Peso médio de colmos em kg de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras	99
Quadro A ₆ : Diâmetros médios dos colmos em mm de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras	100
Quadro A ₇ : Comprimentos médios dos colmos em m de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras	101
Quadro A ₈ : Número de internódios por colmo em cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 entre fileiras	102
Quadro A ₉ : Incidência de <i>Diatraea saccharalis</i> em % (internódios atacados divididos pelo total de internódios vezes 100) em cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob dife-	103

	Página
rentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras	103
Quadro A ₁₀ : Produção em kg ha ⁻¹ de colmo de cana de açúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras	104
Quadro A ₁₁ : Percentagem de sólidos solúveis (Brix) média por colmos de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras	105
Quadro A ₁₂ : Percentagem de sacarose (Pol do caldo em %) média de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras	105
Quadro A ₁₃ : Percentagem de fibra industrial na cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras	105
Quadro A ₁₄ : Pureza do caldo em % da cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras	106
Quadro A ₁₅ : Percentagem de açúcar bruto (PCC) na cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras	106
Quadro A ₁₆ : Rendimento bruto de açúcar em kg ha ⁻¹ da cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras	107
Quadro A ₁₇ : Rendimento bruto de álcool em L ha ⁻¹ da cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) em função do fator variável água, o fator adubação de cobertura constante e espaçamento de 1,2 m entre fileiras	108
Quadro A ₁₈ : Rendimento bruto de álcool em L ha ⁻¹ da cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) em função do fator adubação de cobertura variável, o fator água constante e espaçamento de 1,2 m entre fileiras	109
Quadro A ₁₉ : Rendimento bruto de álcool em litros por hectare da cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, níveis de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras	110

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1: Períodos de desenvolvimento da cana-de-açúcar, segundo Kuyper (1952) citado por Doorenbos & Kassan (1979)	7
Figura 2.2: Distribuição das áreas com solos favoráveis à canavieira sob condições climáticas não limitantes, conforme Koffler & Donzeli (1987)	9
Figura 2.3: Classes de aptidões climáticas para a cultura da cana-de-açúcar, de acordo com Camargo et al. (1977): A – Apto ($T_a > 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $D_a < 200\text{ mm}$ - condições térmicas e hídricas satisfatórias); B – Marginal ($18 < T_a < 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_7 > 14\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $D_a < 200\text{ mm}$ - restrições térmicas); C – Marginal ($T_a > 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $200 < D_a < 400\text{ mm}$, - restrições hídricas, recomendável irrigar); D - Marginal a Inapto ($T_a > 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ - ausência de estação de repouso por frio ou seca); E – Inapto ($D_a > 400\text{ mm}$ - deficiências hídricas excessivas, apto com irrigação); F – Inapto ($T_a < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ou $T_7 < 14\text{ }^{\circ}\text{C}$ - Insuficiência térmica ou geadas severas). Sendo T_a = temperatura média anual; T_7 = temperatura média do mês de julho e D_a =déficit hídrico	12
Figura 2.4: Evolução dos valores de evapotranspiração ao longo do ciclo fenológico da cana-de-açúcar planta em São Paulo segundo Scardua & Rosenfeld (1987)	22
Figura 2.5: Evolução dos valores de evapotranspiração ao longo do ciclo fenológico da cana-de-açúcar soca em São Paulo, com base em Scardua & Rosenfeld (1987)	22
Figura 2.6: Relação entre o rendimento relativo de sacarose e a evapotranspiração relativa de cana-de-açúcar em função do ciclo vegetativo total, segundo Doorenbos & Kassan (1979)	25
Figura 2.7: Relação entre o rendimento relativo de sacarose e a evapotranspiração relativa de cana-de-açúcar por período fenológico, de acordo com Doorenbos & Kassan (1979)	25
Figura 2.8: Esquema de funções de receita bruta (a), custos (b) e receita líquida (c), em que W_m e W^* são, respectivamente, as quantidades de água que proporcionam a máxima produção e a máxima receita líquida, segundo Frizzone (1993)	28
Figura 2.9: Produtividade marginal da água a diferentes níveis de eficiência econômica, sendo E1, E2 e E3 eficiências econômicas e b1, b2 e b3 produtividades marginais, com base em Frizzone (1993)	29
Figura 2.10: Mudança de origem nas coordenadas em regiões úmidas, em que RLT, RL1 e RLI são, respectivamente, a receita líquida total, a receita líquida proporcionada pela precipitação efetiva e a receita líquida proporcionada pela quantidade de água da irrigação, segundo	29

	Página
Frizzone (1993)	
Figura 3.1: Localização e classe de solo da Fazenda Capim, da Destilaria Miriri, Município de Capim, PB (Classe (PV3) predominando uma associação de Podzólico Vermelho-Amarelo variação Acinzentado (SUDENE, 1972))	34
Figura 3.2: Área irrigada da Fazenda Capim, da Destilaria Miriri, Município de Capim, PB, área de atuação dos pivôs 1 e 2, localização das bases dos pivôs. Área total da fazenda 780,7 ha	34
Figura 3.3: Croqui do experimento – localização das lâminas de irrigação	36
Figura 3.4: Detalhes das parcelas do experimento - área total, bordadura e área líquida	37
Figura 4.1: Quantidade total de água (irrigação + precipitação efetiva) recebida ao longo do ciclo pela cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) Fazenda Capim, Destilaria Miriri, Capim, PB	51
Figura 4.2: Rendimento bruto de álcool em L ha ⁻¹ de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) em função de diferentes níveis de irrigação e adubação de cobertura constante.	65
Figura 4.3: Rendimento bruto de álcool em L ha ⁻¹ de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) em função de diferentes níveis de adubação de cobertura e níveis de irrigação constantes	68
Figura 4.4a: Superfície de resposta em rendimento bruto de álcool de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) em função de diferentes níveis de irrigação e adubação de cobertura, Fazenda Capim, da Destilaria Miriri, Município de Capim, PB	72
Figura 4.4b: Superfície de resposta em rendimento bruto de álcool de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) em função de diferentes níveis de irrigação e adubação de cobertura, Fazenda Capim, da Destilaria Miriri, Município de Capim, PB	73
Figura 4.5: Rendimento bruto de álcool, receitas brutas, custos, receitas líquidas e respectivos níveis de irrigação e de adubação de cobertura, aplicados em cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011)	74
Figura 4.6: Superfície de resposta em álcool bruto de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) função de diferentes níveis de irrigação e de adubação de cobertura, Fazenda Capim, da Destilaria Miriri, Município de Capim, PB	78
Figura 4.7: Superfície de resposta em álcool bruto de cana-de-açúcar planta (<i>Saccharum officinarum</i> L., variedade SP-79 1011) pontos de custo mínimo e respectivos níveis de irrigação e de adubação de cobertura, Fazenda Capim, da Destilaria Miriri, Município de Capim, PB	80

SIMBOLOGIA

- A_0 , A_1 e A_2 - Parâmetros da função de produção para um único fator como variável do modelo polinomial de segundo grau
- A_0 - Parâmetro constante da função de produção
- A_{00} , A_{01} , A_{02} , A_{10} , A_{11} e A_{20} são coeficientes da função de produção com dois fatores variáveis, do modelo polinomial do segundo grau com duas variáveis independentes
- A_{00} - Parâmetro constante da função de produção
- A_{01} - Parâmetro do fator água de primeiro grau ($A_{01}.W$)
- A_{02} - Parâmetro do fator água de segundo grau ($A_{02}.W^2$)
- A_1 - Parâmetro do fator variável de primeiro grau
- A_{10} - Parâmetro do fator adubação de cobertura de primeiro grau ($A_{10}.N$)
- A_{11} - Parâmetro do fator adubação de cobertura de segundo grau ($A_{11}.N^2$)
- A_2 - Parâmetro do fator variável de segundo grau
- A_{20} - Parâmetro do produto da combinação adubação de cobertura e água de primeiro grau
- AR - Açúcares redutores em %
- ARL - Açúcares redutores livres em %
- ART - Açúcares redutores totais em % ou em kg.t^{-1} de colmos
- C_0 - Custo fixos em $\text{R\$ ha}^{-1}$, compreenderam todos os custos de produção excetuando-se os custos relacionados diretamente com os fatores estudados (água ou adubação de cobertura) e os custos variáveis de corte e transporte da cana
- C_f - Custo do fator variável
- $C_f(F_m)$ - Custo do fator variável no nível máximo F_m
- C_n - Custo do fator adubação de cobertura em $\text{R\$ kg}^{-1}$
- C_w - Custo do fator água em $\text{R\$ (mm kg}^{-1})$
- ETr - Evapotranspiração real em mm
- EV - Evaporação do tanque "classe A" em mm
- F - Fator de transformação estequiométrica de sacarose, em uma molécula de glicose mais uma de frutose
- F_c - Nível do fator variável (em mm quando o fator é água, e em kg ha^{-1} quando o fator é adubação de cobertura) que proporciona a receita equivalente à receita da produção máxima em $\text{R\$ ha}^{-1}$
- Fg - Fator de Gay Lussac
- F_m - Nível do fator (em mm quando o fator é água, e em kg ha^{-1} quando o fator é adubação de cobertura) que proporciona a produção máxima

- F_p - Fator de preço pago aos fornecedores em R\$ L⁻¹ de álcool
- K_2O - Fertilizante potássio
- K_c - Coeficiente de cultivo segundo Doorenbos & Kassan (1979) adaptado para o período de 14 meses por DSF (1999)
- N - Fertilizante nitrogênio
- N_0 - Nível de 85 kg ha⁻¹ de adubação de cobertura (44 kg de N e 41 kg de K₂O)
- N_1 - Nível de 167 kg ha⁻¹ de adubação de cobertura (86 kg de N e 81 kg de K₂O)
- N_2 - Nível de 305 kg ha⁻¹ de adubação de cobertura (157 kg de N e 148 kg de K₂O)
- N_3 - Nível de 458 kg ha⁻¹ de adubação de cobertura (236 kg de N e 222 kg de K₂O)
- $N(W=0)$ - Nível de adubação de cobertura em kg ha⁻¹ para o nível de água igual a zero.
- N^* - Nível do fator adubação de cobertura em kg ha⁻¹, que proporciona a máxima receita líquida
- N_m - Nível do fator adubação de cobertura em kg ha⁻¹, que proporciona a máxima produção
- PC - Produção de colmos em kg ha⁻¹
- PCC - Quantidade de açúcar bruto em % contido nos colmos e determinada em laboratório.
- P_f - Preço do fator em R\$ (mm ha)⁻¹ quando o fator variável é água, e em R\$ kg⁻¹ quando o fator variável é adubação
- PFM_N - é o produto físico marginal da adubação de cobertura em litro de álcool bruto por kg de adubação de cobertura
- PFM_w - Produto físico marginal da água em litro de álcool bruto por mm de água aplicado
- P_i - Perdas industriais (extração, torta, água de lavagem e perdas indeterminadas) em %
- P_m - Preço de mercado do álcool em R\$ L⁻¹, pago às destilarias
- P_N - Preço da adubação de cobertura em R\$ kg⁻¹, composto pelos custos de aquisição dos fertilizantes no mercado, e custos de aplicação
- P_w - Preço da água em R\$ (mm ha)⁻¹ equivalendo ao preço em R\$ de 10 m³ de água)
- P_z - Preço do álcool bruto pago aos fornecedores de cana em R\$ L⁻¹
- RA - Rendimento bruto de álcool L t⁻¹ de cana
- $RAç$ - Rendimento bruto de açúcar em kg ha⁻¹
- RA_{Max} - Rendimento bruto máximo de álcool, proporcionado pela combinação dos fatores variáveis adubação de cobertura no nível (N_m) e água no nível (W_m)
- $RL(F)$ - Receita líquida em R\$ do produto (rendimento bruto de álcool) obtida em função do fator variável estudado (água ou adubação)
- $RL(F_c)$ - Receita líquida em R\$ ha⁻¹, proporcionada pelo nível equivalente do fator variável
- $RL(F_m)$ - Receita líquida em R\$ ha⁻¹ proporcionada pela produção máxima
- RL_{max} - Receita líquida máxima proporcionada pela combinação dos fatores variáveis adubação de cobertura no nível (N^*) e água no nível (W^*)

TMS_{NW} - Taxa marginal de substituição do fator adubação de cobertura, pelo fator água

TMS_{WN} - Taxa marginal de substituição do fator água, pelo fator adubação de cobertura

W - Quantidade do fator água, em mm

W_0 - Lâmina 0=zero mm de água de irrigação

W_1 - Lâmina 1=13,8 mm de água de irrigação

W_2 - Lâmina 2=27,5 mm de água de irrigação

W_3 - Lâmina 3=41,3 mm de água de irrigação

$W(N=0)$ - Nível de água em mm para o nível de adubação de cobertura igual a zero

W^* - Nível do fator água em mm que proporciona a máxima receita líquida

W_m - Nível do fator água em mm que proporciona a máxima produção

Z - Produção em kg de colmos ha^{-1} , em kg de açúcar ha^{-1} ou em litros de álcool bruto ha^{-1}

$Z(F_e)$ - Produção equivalente, proporcionada pelo nível equivalente (F_e) do fator variável

$Z(F_m)$ - Produção máxima de colmos proporcionada pelo nível F_m do fator variável

$Z(N,W)$ - Produção em função da combinação dos fatores variáveis adubação de cobertura e água

RESPOSTA DA CANA-DE-AÇÚCAR A NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO E ADUBAÇÃO DE COBERTURA NOS TABULEIROS COSTEIROS DA PARAÍBA

Autor : Hamilton Medeiros de Azevedo

Orientador: Dr. José Dantas Neto

RESUMO

Com o objetivo de se estudar dois fatores para determinar a função de resposta da cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) tendo como variável dependente o rendimento bruto de álcool e, como variáveis independentes, os fatores de produção água (W) e de adubação de cobertura (N) e, estudar e identificar os níveis de água e de adubação de cobertura que proporcionam as maiores produções e melhores resultados econômicos, instalou-se um experimento na Fazenda Capim, da Destilaria Miriri, no Município de Capim, Estado da Paraíba. O experimento consistiu de um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições e arranjo fatorial 4 x 4. Os níveis do fator água foram lâminas de irrigação $W_0=0$; $W_1=152$; $W_2=303$ e $W_3=454$ mm e os do fator adubação de cobertura, $N_0=85$; $N_1=167$; $N_2=305$ e $N_3=458$ kg ha⁻¹. As aplicações de água foram feitas através de um sistema de irrigação tipo pivô central rebocável, em turnos de 12 dias e a evapotranspiração calculada com base no tanque "classe A", menos a precipitação efetiva. O número máximo de colmos por hectare obtido 92.130 ($W=905$ mm e $N=458$ kg ha⁻¹) foi superior ao limite mínimo ideal de 90.000 colmos ha⁻¹ constante na literatura. A produção de colmos foi influenciada significativamente pelos fatores água e adubação de cobertura e não significativamente pela interação água x adubação de cobertura. A produção média de colmos obtida no experimento, foi de 77,4 t ha⁻¹, a menor 48,2 t ha⁻¹ ($W=609$ mm e $N=85$ kg ha⁻¹) e a maior 103,2 t ha⁻¹ ($W=1.043$ mm e $N=458$ kg ha⁻¹). A produção média de açúcar bruto foi de 12,3 t ha⁻¹, a menor de 6,7 t ha⁻¹ ($W=609$ mm e $N=85$ kg ha⁻¹) e a maior de 16,241 t ha⁻¹ ($W=1.043$ mm e $N=458$ kg ha⁻¹). O preço do litro de álcool bruto, da água e da adubação de cobertura aplicada (nitrogênio mais potássio) foram, respectivamente, R\$ 0,3107 L⁻¹; R\$ 1,6355 (mm ha)⁻¹ e R\$ 1,1310 kg⁻¹; os custos fixos (implantação e custeio) foram de R\$ 360,29 ha⁻¹ ano⁻¹ e os custos variáveis (corte e transporte dos colmos) de R\$ 7,55 t⁻¹ de colmos. As combinações de adubação de cobertura (N_i) em kg ha⁻¹ e de irrigação (W_i) em mm ($N_m=551, W_m=397$) e ($N^*=307, W^*=308$) proporcionaram, respectivamente, o máximo rendimento 11.609 L ha⁻¹ e a máxima receita líquida R\$ 1.439 ha⁻¹. A receita líquida máxima foi 1,2; 2,6 e 1,1 vezes maior que as receitas geradas pelas combinações de adubação de cobertura (N_i) em kg ha⁻¹ e de irrigação (W_i) em mm ($N_m=551, W_m=397$); ($N=376, W=0$) e ($N=0, W=344$) respectivamente. As combinações de N e W que proporcionaram a máxima receita líquida e as que proporcionaram os custos mínimos por curva de isoproducto (11.000, 10.000 e 9.000 L ha⁻¹) produziram receitas 2,0 vezes maiores que as proporcionadas pelas combinações dos níveis N_0 e W_0 ; e, mais de 2,8 vezes superiores às receitas proporcionadas pelos valores de produção média estadual de álcool. Verificou-se que a produção média estadual de rendimento bruto de álcool estimado em 3.451 L ha⁻¹, representa, respectivamente 34 % e 32 % do rendimento bruto de álcool e da receita líquida obtida pela combinação ($N^*=159, W^*=308$) que proporciona a máxima receita líquida.

RESPONSE OF SUGARCANE TO IRRIGATION AND MANURING LEVELS IN THE COASTAL TABLE LANDS

Student: Hamilton Medeiros de Azevedo

Major Professor: Dr. José Dantas Neto

SUMMARY

This research had the purpose of studying the response of sugarcane crop (*Saccharum officinarum* L., variety SP-79 1011) to different combinations of water and manuring, at the time of planting, levels, considering the alcohol gross yield as the dependent variable and the water and manuring factors as the independent variables. The amounts of water and manuring at the time of planting that will promote the higher productions and best economic results were studied. An experiment was installed in the Capim Farm at the Miriri distillery, in the municipality of Capim, Paraíba State. The treatments studied were the water (W) and manuring (N) factors and the experiment was constituted of a 4 x 4 factorial scheme with completely casualized plots and with three replications. The levels for the total water depth and for the manuring at the time of planting were, respectively, $W_0=0$, $W_1=152$, $W_2=303$ and $W_3=454$ mm, and $N_0=85$, $N_1=167$, $N_2=305$ and $N_3=458$ kg ha^{-1} . The water application was made by a mobile Center Pivot irrigation system. The water amount applied was equal to the evapotranspiration based on the Class A tank subtracting the effective precipitation. The maximum values applied in irrigation intervals of 12 days were equal to the net water depth per treatment: W_1 (water depth 1=13.8 mm); W_2 (water depth 2=27.5 mm, corresponding to the water depth adopted at the Capim Farm); and, W_3 (water depth 3=41.3 mm). The highest number of colms per hectare obtained was 92,130 ($W=905$ mm and 236 kg ha^{-1} N), which was superior to the lower optimum limit of 90,000 colms ha^{-1} found in literature. The colms production was significantly influenced by the water and manuring, but not by the interaction between these factors. The mean production of colms obtained in the experiment was 77.44 t ha^{-1} , the lowest 48.2 t ha^{-1} ($W=609$ mm e $N=85$ kg ha^{-1}) and the highest 103.2 t ha^{-1} ($W=1,043$ mm e $N=458$ kg ha^{-1}). The mean production of the gross sugar was 12.3 t ha^{-1} , the lowest 6,7 t ha^{-1} ($W=609$ mm e $N=85$ kg ha^{-1}) and the highest 16.3 t ha^{-1} ($W=1,043$ mm e $N=458$ kg ha^{-1}). The price of the gross alcohol, water and fertilizers (nitrogen plus potassium) were, respectively, R\$ 0.3107 L^{-1} ; R\$ 1.6355 (mm ha^{-1}) and R\$ 1.1310 kg^{-1} . The fixed costs (implanting and recurring costs) were R\$ 360.29 $ha^{-1} \cdot year^{-1}$ and the variable costs (cutting and transport of colms) were R\$ 7.55 t^{-1} . The combinations of manuring at the time of planting (N) in kg ha^{-1} and of irrigation (W) in mm ($N_m=551, W_m=397$) and ($N^*=307, W^*=308$) promoted, respectively, the maximum yield of 11,609 L ha^{-1} and a maximum net income of R\$ 1.439 ha^{-1} . The maximum net income was 1.2; 2.6 e 1.1 times higher than the incomes generated by combinations of manuring at the time of planting (N) in kg ha^{-1} and of irrigation (W), in mm, ($N_m=551, W_m=397$); ($N=376, W=0$) and ($N=0, W=344$), respectively. The combinations of N and W that promoted the maximum net income and the ones that promoted the minimum costs per isoproduct curve (11,000; 10,000 and 9,000 L ha^{-1}), produced incomes 2.0 times higher than the proportionated by the combinations of the levels N_0 and W_0 ; and, more than 2.8 times superior to the incomes proportionated by the values of the state mean production of alcohol. It was verified that the state mean production of gross alcohol yield, estimated in 3,451 L ha^{-1} , represents, respectively, 34 % and 32 % of the alcohol gross yield and a net income by combination ($N^*=307, W^*=308$) that promotes the maximum net income.

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, com uma produção de 338 milhões de toneladas, ICIDCA (1999). Em 2000, a produção nacional numa área cultivada de 4,8 milhões de hectares, foi de 326,12 milhões de toneladas, que gerou uma receita de 6,65 bilhões de reais. A região Sudeste detém primeiro lugar no País, com uma produção de 217,21 milhões de toneladas, seguida pela Região Nordeste, com 58,86 milhões de toneladas, IBGE (2000).

O custo de produção, de US\$ 216,05 e 283,29 ha⁻¹, coloca o Brasil e a Região Nordeste em primeiro e em quarto menor custo de produção do mundo, o que demonstra nossa alta capacidade de competição no mercado internacional, SINDAÇÚCAR (1997).

O açúcar contribui com 4 % na formação do produto interno bruto e o setor sucroalcooleiro como um todo, representa 1,2 milhões de postos de emprego em toda a cadeia produtiva, ou seja 600 vezes mais que os postos gerados pelo setor do petróleo, ICIDCA (1999).

A Paraíba ocupa a sexta posição no cenário nacional, produzindo 8,9 milhões de toneladas, o que lhe confere uma receita anual de 120 milhões de reais. Com esta cifra, a cana-de-açúcar é o produto, dentro da agropecuária, mais importante do Estado, seguido de: bovinos (44 milhões de reais), feijão em grão (18 milhões de reais),

aves (18 milhões de reais), banana (17 milhões de reais), milho em grão (13 milhões de reais), abacaxi 10 (milhões de reais) e inhame (10 milhões de reais) IBGE (1996).

A produtividade da cana-de-açúcar na Paraíba é a mais baixa entre os oito maiores Estados produtores: Mato Grosso (96,5 t/ha), Goiás (73,4 t/ha), São Paulo (72,9 t/ha), Paraná (73,4), Minas Gerais (56,9 t/ha), Alagoas (55,7 t/ha), Pernambuco (43,3 t/ha) e Paraíba (41,2 t/ha), IBGE (1996). Os principais fatores da baixa produtividade no estado são o empobrecimento dos solos e a pluviosidade insuficiente. Esses dois fatores apontam para uma política de pesquisa com adubação e irrigação da cultura visando a resultados diretos, como o aumento da produtividade e rendimento de açúcar e/ou álcool e, como efeito indireto, diminuição da área plantada, minimizando custos de transporte, insumos, plantio, tratos culturais e liberação de área para diversificação de culturas e preservação.

O objetivo do presente trabalho, foi: determinar a função de produção da cana planta, tendo como variável dependente o rendimento bruto de álcool e, como variáveis independentes, os fatores de produção água e adubação de cobertura e estudar e identificar os níveis de água e de adubação de cobertura que proporcionam as maiores produtividades e melhores resultados econômicos.

CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – Sobre a Cultura

A planta

A cana-de-açúcar é uma planta da Família Gramineae Endl. Gen. 77. Lindl. Veg. Kindgd. 106, sendo a *Saccharum officinarum* L. a espécie de maior importância econômica; o termo saccharum significa açúcar, substância doce, com sabor de sacarina, e o termo officinarum expressa oficina, fábrica, laboratório; os estudos botânicos que individualizam uma cultivar de potencial econômico por suas características de produtividade e resistência aos fatores externos, pragas e moléstias, baseiam-se em doze aspectos organográficos: aspecto da touceira, folhas, aurícula, bainha, palha, colmo, internódio, gemas, perfilhamento, cicatriz foliar, nós e lígula (Aranha & Yahn, 1987). Para Haag et al. (1987) o crescimento aéreo da cana-de-açúcar, expresso em termos de alongamento, inclui o aumento da matéria seca que compreende o aumento do tamanho e a massa da planta e, também, dos fatores: variedade, idade, umidade, fertilidade do solo, temperatura, luz, vento, condições físicas do solo e da superfície foliar. A cana-de-açúcar apresenta uma larga escala de adaptação, sendo cultivada principalmente em regiões

situadas entre os paralelos 35° N e 35° S, visto que no Brasil as variações climáticas possibilitam duas épocas de colheita anual, uma no norte-nordeste, de setembro a abril, e a outra no centro-sul, de junho a dezembro (Alfonsi et al., 1987).

A **propagação da cultura** é feita através de partes do colmo (rebolo) com 45 cm de comprimento em média, contendo três ou mais gemas, na base das quais se desenvolve o sistema radicular (King et al. 1965). O rebolo garante o suprimento de água e nutrientes nos primeiros dias após a brotação das gemas (Bull & Glasziou 1975). Para Casagrande (1991) um novo sistema radicular é formado ao mesmo tempo em que ocorre a brotação, etapa do ciclo muito importante para alimentação dos rebentos em sua fase de desenvolvimento inicial.

Segundo Doorenbos & Kassan (1979) o **sistema radicular** da cana-de-açúcar atinge até 5 m de profundidade, mas em áreas irrigadas 100% da água são extraídos de 1,2 a 2,0 m de profundidade, no máximo. O desenvolvimento do sistema radicular se inicia com as raízes de fixação que, após a brotação das gemas, irão suprir os rebentos; a proliferação das raízes é favorecida pelas condições de água disponível e aeração do solo; a distribuição do sistema radicular apresenta aproximadamente 50% (em massa) de raízes nos primeiros 20 cm de profundidade e 85% até os 60 cm de profundidade do solo (Blackburn, 1984). O crescimento das raízes é lento até o sexto mês e, a partir deste momento, aumenta rapidamente, até atingir seu tamanho máximo até o décimo segundo mês, Lee (1926) citado por Machado (1987). Sampaio et al. (1987) constataram que 75% das raízes se encontravam nos primeiros 20 cm de profundidade do solo e que 55% delas estavam concentradas num raio de 30 cm da touceira. Inforzato & Alvarez (1957) verificaram que 59% da concentração radicular se encontram nos primeiros 30 cm de profundidade, enquanto Ball-Coelho et al. (1992) encontraram que 62,69% da matéria seca das raízes estão nos primeiros 50 cm, 38 a 48% das raízes ativas estão nos 30 cm superficiais e que nas condições em que foram realizados os estudos não foram encontradas raízes após 100 cm de profundidade do solo. Alvarez et al. (2000) determinaram que, para cana crua, cerca de 75% e 72% das raízes se concentravam até os 40 cm de profundidade nos primeiro e segundo anos, enquanto para a cana queimada encontraram, respectivamente, valores de 72% e 68%; e que, no final do ciclo da cultura, as raízes mais novas oriundas das ramificações secundárias, são mais superficiais, de uma vez que elas surgem dos nós situados acima dos rebentos. Para Sampaio et al. (1987) o sistema radicular da cana planta é muito importante na regeneração das socas após o corte.

Fernandes (1979) observou que o sistema radicular de cana planta é mais desenvolvido que o da cana soca, fato não confirmado nos estudos de Ball-Coelho et al. (1992) que encontram sistema radicular mais desenvolvido em cana soca que em cana planta.

A **folha** da cana-de-açúcar consiste de uma lâmina e uma bainha envolvendo o colmo, distribuindo-se de forma alternada e oposta (Blackburn, 1984). As principais funções da folha são a fotossíntese (produção de carboidratos), síntese de outros compostos a partir dos carboidratos e transpiração; nas plantas jovens, o número de folhas é pequeno e aumenta com o crescimento do colmo, atingindo 10 a 15 folhas por planta no máximo, dependendo da variedade; após atingir o número máximo de folhas, as mais velhas vão morrendo e caem à medida que as mais novas emergem (Humbert, 1968). Segundo Lercher (1995) o total de matéria seca de uma folha é de 59% de polissacarídeos, 25% de proteínas, 6% de lipídios e 10% de matéria mineral e, para produzir esses índices, são necessários, respectivamente, 1,5; 2,5; 2,94 e 0,1 gramas de glicose. A densidade de área foliar que cobre um terreno é medido em m^2 de folha m^{-2} de terreno e denominado índice de área foliar - IAF (Watson, 1974). Para Chang (1968) o índice de área foliar ótimo varia entre 9 e 12 m^2 de folhas por m^2 de terreno. San José & Medina (1970), Yoon (1971), Machado (1981), Robertson et al. (1999) e Keating et al. (1999) encontraram valores máximos de IAF de 7,60; 5,00; 3,70; 4,11 e 7,00 $m^2 m^{-2}$, respectivamente.

O **colmo** é cilíndrico, ereto, fibroso e constituído de nós e internódios; a altura varia de 1,0 a 5,0 m e o diâmetro pode variar desde menos de 1,0 cm até 5,0 cm; os internódios são a parte mais mole do colmo, apresentam uma quantidade de feixes fibrovasculares que é aproximadamente a metade da quantidade existente no nós; e os nós apresentam elementos utilizados na identificação das variedades, entre eles as gemas (Graner & Godoy, 1964). O colmo é o fruto agrícola da cana-de-açúcar em cujos vacúolos das células a sacarose se acumula no período de maturação (Taupier e Rodrigues, 1999).

A cana-de-açúcar é uma planta do grupo C4, em cujo processo de **fotossíntese** há uma via metabólica adicional para fixação do CO_2 com formação do melato, um composto de 4 átomos de carbono, segundo Kortschak et al., 1965 e Hatch, 1971 e 1976, citados por Machado (1987). Esta característica de planta do grupo C4 (via o ácido dicarboxílico) confere à cana-de-açúcar o mecanismo fisiológico mais aperfeiçoado para produção da sacarose tornando-a, entre as culturas comerciais, a que detém maiores qualidades na capacidade de produzir matéria verde composta por açúcares, amidos e compostos lignocelulósicos, sendo todos matéria-prima de um vasto campo de produção

econômica (Taupier e Rodrigues, 1999).

A **produtividade** da cana-de-açúcar depende da eficiência da integração do seu sistema produtivo formado pelas folhas fotossinteticamente ativas, do escoamento e distribuição do produto fotossintetizado, do consumo pela planta no seu desenvolvimento e reprodução e do acúmulo e armazenamento de sacarose (Machado, 1987). Para Irvine (1975) existe uma associação entre a produtividade da cultura e a superfície total fotossinteticamente ativa, representada pelo índice de área foliar. Segundo Van den Berg et al. (2000) o rendimento da cana-de-açúcar é tanto maior quanto maior for o volume de raízes por camada. Conforme Taupier e Rodrigues (1999) são necessários pelo menos 90 mil colmos por hectare para se atingir produtividades máximas. A produtividade média de três cortes (cana planta, soca e ressoca) no estado de São Paulo, é de 50 t ha⁻¹ (Graner & Godoy, 1964). Scardua & Rosenfeld (1987) pesquisando sobre produtividade de cana-de-açúcar em vários países, encontraram valores de 135 a 220 t ha⁻¹ para cana planta irrigada, por sulco e de 70 a 235 t ha⁻¹ para cana irrigada por aspersão; para cana planta não irrigada, a produtividade variou de 62 a 116 t ha⁻¹, enquanto a produtividade média de 7 cortes de cana irrigada por sulco no município de Araras, SP, foi de 97 t ha⁻¹ e para cana não irrigada foi de 75,8 t ha⁻¹. A produtividade da cana-de-açúcar no estado da Paraíba, de acordo com os dados do IBGE, Censo Agropecuário 1995-1996, é da ordem de 41,2 t ha⁻¹. O potencial da cana-de-açúcar irrigada, de acordo com Doorenbos & Kassan (1979) é de 100 a 150 t ha⁻¹, mais de três vezes a produtividade do estado demonstrando, assim, a possibilidade de crescimento da produção da cultura em áreas efetivamente irrigáveis. Maule et al. (2001) trabalhando em dois solos (PL – Planossolo mesotrófico textura arenosa/média e PV - Podzólico Vermelho-Amarelo mesotrófico textura arenosa/média) com nove cultivares e três épocas de colheita (maio, agosto e outubro) encontraram produtividades variando de 91 a 194 t ha⁻¹, sendo que a variedade SP79-1011 apresentou produtividades médias de 149, 154 e 170 t ha⁻¹ para precipitações totais de 1.478 mm (14 meses), 1.695 mm (17 meses) e 1.829 mm (19 meses) respectivamente.

Ciclo Fenológico

Segundo Kuyper, citado por Doorenbos & Kassan (1979) os períodos de desenvolvimento da cana-de-açúcar são: estabelecimento, período vegetativo, formação da colheita e maturação, representados na Figura 2.1, enquanto para Scardua & Rosenfeld (1987) os ciclos da cana são os apresentados no Quadro 2.1. A cana-de-açúcar apresenta

quatro estágios na sua fenologia: estágio 1: brotação e emergência; estágio 2: perfilhamento e estabelecimento da arquitetura foliar; estágio 3: crescimento; e estágio 4: colmos no ponto de colheita, Silva Junior (2001).

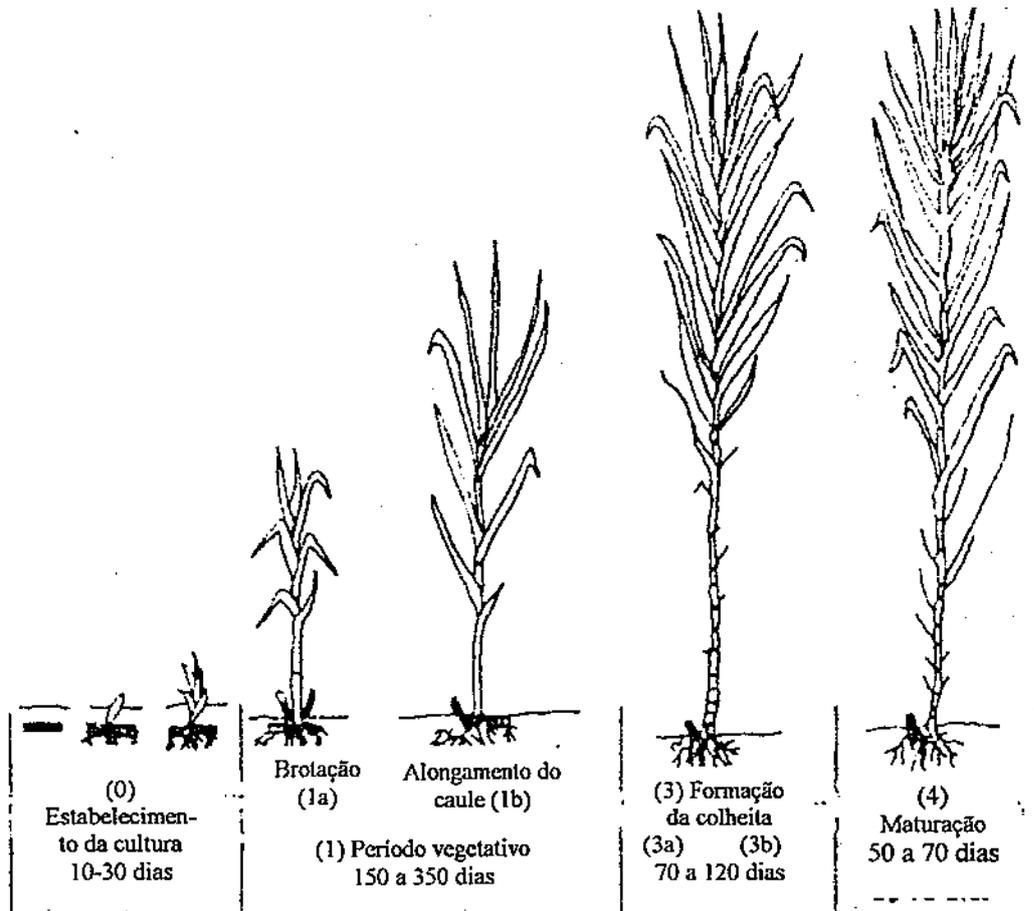


Figura 2.1: Períodos de desenvolvimento da cana-de-açúcar, segundo Kuyper (1952) citado por Doorenbos & Kassan (1979)

O período de crescimento, segundo Machado et al. (1982) se processa em três fases: na fase inicial de crescimento lento, na fase de crescimento rápido e na fase final de crescimento lento. O período de crescimento vegetativo varia de 9 a 10 meses na Luiziana-EUA, até 24 meses ou mais no Peru, África do Sul e Havá (Alfonsi et al., 1987). No Brasil, conforme Scardua & Rosenfeld (1987) o ciclo da cultura é de 12 a 18 meses e no Nordeste do Brasil é de 12 a 14 meses.

Quadro 2.1: Ciclos da cana-de-açúcar e fases do ciclo fenológico, segundo Scardua & Rosenfeld (1987)

Idade da Cultura em mês		Estação de Crescimento
Cana planta	Cana soca	
0 – 2	0 – 1	Plantio até 0,25 de fechamento
2 – 3	1 – 2	0,25 a 0,50 de fechamento
3 – 4	2 – 3	0,50 a 0,75 de fechamento
4 – 7	3 – 4	0,75 até fechamento
7 – 14	4 – 9	Máximo desenvolvimento
14 – 16	9 – 10	Início da maturação
16 – 18	10 – 12	Maturação

O Meio (Solo e Clima)

De acordo com Koffler & Donzeli (1987) dos solos do Brasil os que apresentam potencial classificado como bom e regular, para o cultivo da cana-de-açúcar quando não há limitações climáticas, são os Latossolos, Podzólicos, Terra Roxa Estruturada, Vertissolos e Cambissolos; quando há déficit ou excesso de água que pode ser suprido com irrigação ou drenagem, os Solos Aluviais e os Regossolos apresentam potencial regular para o cultivo da cana-de-açúcar, e que os critérios para classificação da aptidão dos solos para cultura da cana-de-açúcar definem as classes boa, regular, restrita e inapta, conforme apresenta o Quadro 2.2 enquanto as áreas com solos favoráveis ao cultivo da cana no Brasil, sob condições climáticas não limitantes, são apresentadas na Figura 2.2. No Estado da Paraíba, a área cultivada com a cana-de-açúcar se situa na região do litoral cujas associações de solos encontradas, segundo CONVÊNIO MA/CONTAP/USAID/BRASIL (1972), predominam: Latossolo vermelho-amarelo distrófico textura média, fase transição floresta subperenifólia/cerrado, relevo plano e fase cerrado relevo plano; podzólico vermelho-amarelo, com fragipan fase floresta subperenifólia, relevo plano e fase transição floresta subperenifólia/cerrado relevo plano; podzólico vermelho-amarelo, variação acinzentado com fragipan, textura indiscriminada, fase cerrado relevo plano; podzólico vermelho-amarelo latossólico, textura média fase floresta subperenifólia, relevo plano; podzólico vermelho-amarelo, com A

Quadro 2.2: Critérios para classificação da aptidão dos solos para a cultura da cana-de-açúcar conforme Koffler & Donzeli (1987)

Características	Classes			
	Boa	Regular	Restrita	Inapta
Profundidade efetiva	Profunda	Média	Rasa	Muito rasa
Textura	Argilosa	Média, muito argilosa	Arenosa	Muito arenosa
Fertilidade	Muito alta, alta	Média, baixa	Muito baixa	-
Drenagem interna	Boa	Média, acentuada, imperfeita ¹	Imperfeita ²	Excessivamente deficiente
Impedimento à mecanização	Ausente	Médio	Forte	Muito forte
Susceptibilidade à erosão	Baixa	Média	Alta	Muito alta

¹ Correção simples; ² Correção complexa

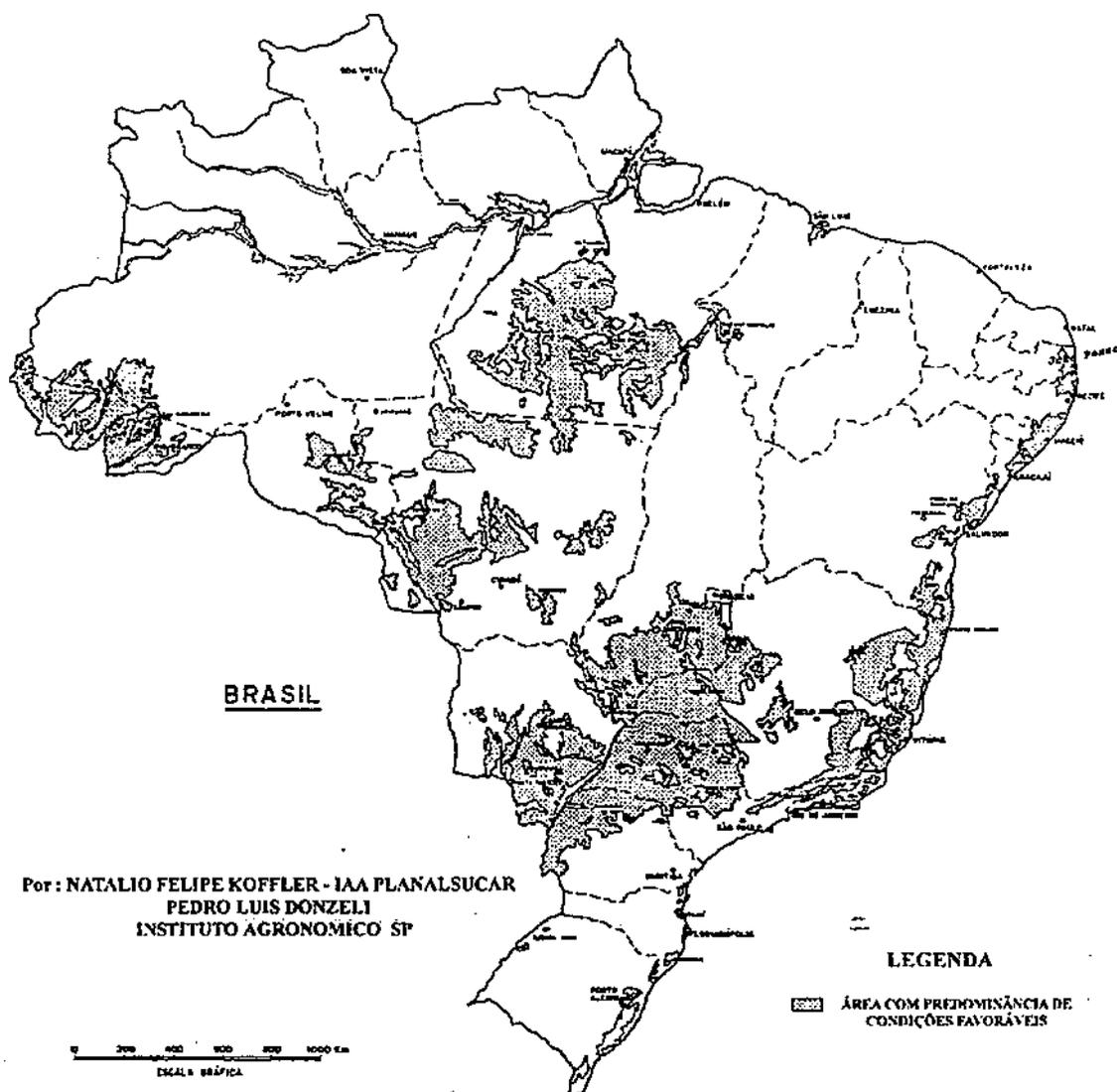


Figura 2.2: Distribuição das áreas com solos favoráveis à canavicultura sob condições climáticas não limitantes, conforme Koffler & Donzeli (1987)

proeminente abruptico com fragipan, textura argilosa, fase floresta subcaducifolia, relevo plano; Podzólico vermelho-amarelo equivalente eutrófico abruptico, com fragipan textura argilosa, fase floresta subcaducifolia, relevo suave ondulado; Podzol hidromórfico fase cerrado, relevo plano; e areia quartzosa distrófica, fase cerrado relevo plano.

A **temperatura do ar**, de 20° C, é valor limite para cana-de-açúcar, abaixo da qual o desenvolvimento da cultura é considerado nulo e para germinação a temperatura base, é de 21° C, tendo seu ponto ótimo em torno de 32° C (Barbieri et al., 1979). Para Fauconier & Bassereau (1975) o crescimento da cana é máximo no intervalo de temperatura entre 30 e 34° C, é lento abaixo de 25° C e acima de 35° C e praticamente nulo acima de 38° C.

Segundo Alfonsi et al. (1987) a **luz** é fator da maior importância para a cana-de-açúcar devido à alta eficiência fotossintética da cultura, de uma vez que, quanto maior for a intensidade luminosa, mais fotossíntese será realizada. Para Silva Junior (2001) a luz não influi na “germinação”, o perfilhamento é favorecido por alta intensidade luminosa, o número de brotos vivos depende da quantidade de luz incidente, o teor de sacarose no caldo é diretamente influenciado pela quantidade de luz, o crescimento do colmo aumenta para comprimento de dias de 10 a 14 horas e diminui em condições de fotoperíodos longos de 16 a 18 horas.

A **precipitação** nas áreas canavieiras do Brasil varia de 1.100 a 1.500 mm anual; entretanto, é necessário que a distribuição seja de tal forma que haja água com abundância no período de crescimento vegetativo e um período seco durante a maturação, proporcionando maior acúmulo de sacarose (Alfonsi et al., 1987). A necessidade hídrica da cana-de-açúcar, segundo Doorenbos & Kassan (1979) é de 1500 a 2500 mm por ciclo vegetativo. A precipitação média anual nos municípios canavieiros do estado da Paraíba, tomando-se como representativos Santa Rita, Mamanguape e Rio Tinto, é em torno de 1.500 mm, Hargreaves (1973). Analisando-se a precipitação anual através dos estudos probabilísticos de Hargreaves (1973) constata-se que a precipitação esperada nesses municípios, a nível de 75% de probabilidade, é igual ou maior que 1.100 mm, concentrando-se nos meses de março a julho.

Como as chuvas se concentram com maior intensidade nos meses de março a agosto, o balanço hídrico, considerando-se a chuva mensal esperada a nível de 75% de probabilidade, evapotranspiração segundo Hargreaves (1974) e coeficiente do cultivo igual a um, constata-se que só nos meses de abril, maio, junho e julho, a precipitação provável

supera a evapotranspiração. De acordo com a EMBRAPA/CPATC (1994) a precipitação média nos tabuleiros costeiros do Nordeste varia de 500mm nas regiões mais secas, como as do Rio Grande do Norte, até 1500mm no extremo sul da Bahia. A maior concentração das chuvas ocorre num período de 5 a 6 meses. Por outro lado, a temperatura média é em torno de 26° C variando pouco entre os meses mais frios e os mais quentes. Segundo UFPB (1998) o litoral paraibano apresenta uma área irrigada de 38.241 ha, contra 1.921 ha no agreste e 13.529 ha no sertão.

Conforme Camargo et al. (1977) são seis as classes de aptidão climática (A-apta, B-marginal, C-marginal, D-marginal a inapta, E-inapta e F-inapta) para a cana-de-açúcar no Brasil, baseada na temperatura e deficiência hídrica anual, Figura 2.3.

Necessidades Nutricionais

Para Coelho & Verlengia (1973) até o quinto mês de idade a absorção de nutrientes pela cana-de-açúcar é pequena, aumentando intensamente daí em diante, chegando ao nono mês contendo 50% de potássio, cálcio e magnésio e um pouco mais de 30% de nitrogênio, fósforo e enxofre do total que absorve durante o ciclo vegetativo; do nono ao décimo segundo mês, a absorção de nitrogênio é ainda mais intensa, acumulando 90% do total extraído pela planta; o fósforo é absorvido durante todo o ciclo da planta; e 100 toneladas de colmos frescos extraem 132 kg de nitrogênio, 17,4 kg de fósforo, 133,4 kg de potássio, 19,0 kg de cálcio, 31,3 kg de magnésio, 12,2 kg de enxofre, 0,003 kg de ferro, 0,002 kg de manganês, 0,002 kg de molibdênio e 0,486 kg de zinco.

Segundo Haag et al. (1987) as carências nutricionais podem decorrer de: nível baixo do nutriente na solução do solo ou no substrato; existência de nutrientes no solo, de forma indisponível; concentração excessiva de um nutriente ou elemento no solo, podendo induzir carência de um outro nutriente na planta; e concentração de um elemento tóxico às plantas, induzindo a carência de um nutriente na planta. Segundo os autores, as carências de nutrientes para cana-de-açúcar no Brasil é a seguinte: nitrogênio e fósforo, carência em todos os Estados da Federação; potássio: São Paulo, Paraná, Minas Gerais e Alagoas; cálcio e magnésio: Alagoas; boro: Goiás e Mato Grosso; cobre: Sergipe, Pernambuco, Rio de Janeiro e Alagoas; ferro: Alagoas, Sergipe, Pernambuco e Santa Catarina; manganês: Alagoas, Sergipe e Pernambuco; zinco: Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Goiás, Mato Grosso e Rio Grande do Norte.



Figura 2.3: Classes de aptidão climática para a cultura da cana-de-açúcar, de acordo com Camargo et al. (1977): **A** – Apto ($T_a > 20^{\circ}\text{C}$ e $D_a < 200$ mm - condições térmicas e hídricas satisfatórias); **B** – Marginal ($18 < T_a < 20^{\circ}\text{C}$, $T_7 > 14^{\circ}\text{C}$ e $D_a < 200$ mm - restrições térmicas); **C** – Marginal ($T_a > 18^{\circ}\text{C}$ e $200 < D_a < 400$ mm, - restrições hídricas, recomendável irrigar); **D** - Marginal a Inapto ($T_a > 24^{\circ}\text{C}$ - ausência de estação de repouso por frio ou seca); **E** – Inapto ($D_a > 400$ mm - deficiências hídricas excessivas, apto com irrigação); **F** – Inapto ($T_a < 18^{\circ}\text{C}$ ou $T_7 < 14^{\circ}\text{C}$ - Insuficiência térmica ou geadas severas). Sendo T_a = temperatura média anual; T_7 = temperatura média do mês de julho e D_a =déficit hídrico

Os teores de umidade, macro e micronutrientes, assim como a quantidade de matéria seca e de macro e micronutrientes médios, calculados através de resultados de trabalhos de Orlando Filho (1978) e Orlando Filho et al. (1980) constam dos Quadros 2.3, 2.4, 2.5 e 2.6 e apresentam as seguintes tendências:

- O teor de **umidade** nos colmos foi maior que nas folhas e decresceu em ambos, tanto na cana planta como na cana soca, do quarto ao último mês do ciclo fenológico, Quadro 2.3.

- A quantidade de **matéria seca** foi crescente nos colmos e folhas, sendo maior nas folhas que nos colmos até o décimo mês na cana planta e até o sexto mês na cana soca, Quadro 2.4.

- A concentração de **nitrogênio** foi decrescente durante o ciclo da planta, sendo maior nos colmos que nas folhas até o décimo mês para cana planta e até o quarto mês para cana soca, e daí em diante foi maior nas folhas, Quadro 2.3; a quantidade de nitrogênio extraída em kg por hectare pelos colmos, Quadro 2.4, foi crescente durante todo o ciclo da planta e inferior à quantidade extraída pelas folhas até o décimo segundo mês para cana planta e até o décimo mês para cana soca; a quantidade extraída pela folha foi crescente até o penúltimo mês, tanto para cana planta como para cana soca, diminuindo no último mês; a quantidade de nitrogênio contida numa tonelada de colmos em peso verde da cana planta, Quadro 2.6, foi de $0,91 \text{ kg t}^{-1}$.

- A concentração de **fósforo** foi decrescente, Quadro 2.3, durante o ciclo da planta, nos colmos e nas folhas, sendo que a concentração nas folhas só foi inferior à do colmo, até o sexto mês na cana planta e até o quarto mês na cana soca; a quantidade de fósforo extraída em kg por hectare pelos colmos, Quadro 2.4, foi crescente durante todo o ciclo da planta e inferior à quantidade extraída pelas folhas, até o décimo segundo mês para cana planta e até o oitavo mês para cana soca; a quantidade de fósforo extraída pela folha foi crescente até o décimo segundo mês para cana planta e até o oitavo para cana soca, diminuindo nos últimos meses para ambas as canas; a quantidade de fósforo contida numa tonelada de colmos em peso verde da cana planta e de cana soca, Quadro 2.6, foi respectivamente, $0,10$ e $0,13 \text{ kg t}^{-1}$.

- A concentração de **potássio** apresentou tendência decrescente durante o ciclo da planta, sendo maior nos colmos que nas folhas apenas até o quarto mês para cana planta e cana soca, Quadro 2.3; a quantidade de potássio extraída em kg por hectare pelos colmos e folhas, Quadro 2.4, foi crescente durante todo o ciclo da planta, sendo que a

Quadro 2.3: Teores de umidade, concentração de macro e micronutrientes, de cana-de-açúcar, variedade CB 41-76, valores médios obtidos dos resultados de pesquisas realizadas por Orlando Filho (1978) e Orlando Filho et al. (1980) em três tipos de solo (Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho-Escuro Orto e Podzólico Vermelho-Amarelo variedade Laras)

Partes da planta	Idade em meses							Idade em meses				
	Cana planta							Cana soca				
	4	6	8	10	12	14	16	4	6	8	10	12
Umidade, em %												
Colmos	87,36	85,58	80,37	79,22	80,10	77,25	74,03	91,04	86,43	81,06	77,65	73,65
Folhas	75,31	74,26	66,55	66,49	67,32	59,68	54,60	79,96	75,73	67,79	64,96	57,26
Nitrogênio - Concentração em %												
Colmos	1,55	1,27	0,90	0,73	0,81	0,38	0,35	1,86	0,46	0,31	0,27	0,27
Folhas	1,02	0,90	0,68	0,82	0,80	0,62	0,58	1,22	0,87	0,75	0,70	0,58
Fósforo - concentração em %												
Colmos	0,12	0,10	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,26	0,08	0,05	0,05	0,05
Folhas	0,10	0,09	0,07	0,08	0,09	0,07	0,07	0,15	0,12	0,10	0,09	0,08
Potássio - concentração em %												
Colmos	1,51	1,16	0,49	0,54	0,41	0,30	0,25	3,29	0,67	0,38	0,31	0,26
Folhas	1,45	1,33	0,94	1,05	1,10	0,96	0,81	2,12	1,31	1,14	1,06	0,99
Cálcio - concentração em %												
Colmos	0,56	0,33	0,26	0,26	0,25	0,24	0,23	0,46	0,17	0,13	0,13	0,12
Folhas	0,49	0,48	0,43	0,41	0,42	0,41	0,45	0,40	0,37	0,34	0,32	0,31
Magnésio - concentração em %												
Colmos	0,43	0,29	0,18	0,17	0,16	0,15	0,13	0,53	0,18	0,12	0,12	0,12
Folhas	0,17	0,18	0,16	0,18	0,19	0,16	0,16	0,22	0,18	0,16	0,16	0,13
Enxofre - concentração em %												
Colmos	0,52	0,28	0,18	0,15	0,09	0,10	0,11	0,53	0,17	0,16	0,08	0,09
Folhas	0,30	0,30	0,20	0,21	0,21	0,18	0,17	0,27	0,26	0,22	0,23	0,16
Boro - concentração em ppm												
Colmos	10,33	10,00	7,67	10,00	10,33	8,67	7,33	9,67	6,00	5,67	3,67	3,67
Folhas	11,33	13,33	10,67	11,00	11,33	10,00	11,00	8,00	7,00	7,33	5,67	5,00
Cobre - concentração em ppm												
Colmos	15,2	11,5	9,1	9,3	8,4	7,5	7,4	30,9	12,8	12,5	12,3	10,3
Folhas	2,6	10,0	24,3	65,4	124,4	187,0	234,1	4,7	76,0	195,5	254,1	313,5
Ferro - concentração em ppm												
Colmos	332	357	139	151	125	112	90	978	409	117	61	44
Folhas	855	794	629	627	752	751	627	1362	1226	790	673	460
Manganês - concentração em ppm												
Colmos	154,3	91,0	62,0	58,7	46,7	47,7	45,0	208,3	39,0	46,7	46,3	34,0
Folhas	157,3	156,0	137,7	146,7	148,7	152,0	155,3	171,3	129,3	117,0	138,0	116,7
Zinco - concentração em ppm												
Colmos	62,33	37,00	23,33	24,33	19,00	17,00	17,00	69,67	22,33	14,33	13,00	11,00
Folhas	24,33	25,00	24,00	24,00	29,67	29,67	29,33	20,00	19,00	20,33	18,33	15,67

Quadro 2.4: Produção de matéria seca e extração de macronutrientes de cana-de-açúcar, variedade CB 41-76, valores médios obtidos dos resultados de pesquisas realizadas por Orlando Filho (1978) e Orlando Filho et al. (1980) em três tipos de solo (Latosolo Roxo, Latossolo Vermelho-Escuro Orto e Podzólico Vermelho-Amarelo variedade Laras)

Partes da planta	Idade em meses						Idade em meses					
	Cana planta						Cana soca					
	4	6	8	10	12	14	16	4	6	8	10	12
Matéria seca, em t/ha												
Colmos	0,17	0,86	3,43	7,03	14,82	24,65	34,29	0,13	5,60	15,54	21,02	30,17
Folhas	2,67	4,03	6,37	8,32	11,05	13,44	12,89	2,74	7,76	10,17	10,79	11,59
Colmos+folhas	2,84	4,89	9,81	15,35	25,87	38,10	47,18	2,87	13,36	25,71	31,80	41,76
Nitrogênio - Extração em kg/ha												
Colmos	2,6	10,5	30,2	51,3	69,5	92,3	109,0	2,6	26,0	47,9	56,2	81,0
Folhas	27,1	36,0	43,4	68,2	81,6	84,1	74,0	33,8	67,2	75,3	75,9	67,2
Colmos+folhas	29,7	46,5	73,6	119,6	151,1	176,4	183,0	36,4	93,1	123,2	132,1	148,2
Fósforo - Extração em kg/ha												
Colmos	0,20	0,74	1,35	3,53	7,34	10,48	12,17	0,31	4,13	7,65	9,33	13,90
Folhas	2,61	3,63	4,32	7,10	10,32	9,65	8,30	3,97	8,47	10,37	9,27	8,76
Colmos+folhas	2,80	4,37	5,67	10,62	17,66	20,14	20,46	4,28	12,61	18,02	18,60	22,66
Potássio - Extração em kg/ha												
Colmos	2,5	9,5	16,1	37,4	61,2	73,8	75,5	4,3	35,5	58,3	61,8	77,6
Folhas	37,9	52,9	60,4	88,4	122,1	129,0	105,2	60,0	97,8	114,6	113,9	114,4
Colmos+folhas	40,3	62,4	76,5	125,8	183,2	202,8	180,7	64,4	133,3	172,9	175,8	192,0
Cálcio - Extração em kg/ha												
Colmos	1,0	2,9	8,7	18,2	36,7	58,3	71,4	0,6	9,5	19,6	26,4	36,4
Folhas	13,3	19,4	27,5	33,8	46,1	55,4	57,5	10,5	29,5	33,9	34,8	36,2
Colmos+folhas	14,3	22,3	36,2	52,0	82,8	113,6	128,9	11,1	39,0	53,6	61,2	72,6
Magnésio - Extração em kg/ha												
Colmos	0,74	2,38	6,26	12,00	23,30	36,75	41,26	0,62	10,18	19,64	25,73	35,58
Folhas	4,65	7,52	9,83	15,26	20,56	21,40	19,80	6,06	14,22	16,31	17,03	15,30
Colmos+folhas	5,40	9,89	16,09	27,26	43,86	58,15	61,06	6,68	24,41	35,95	42,75	50,88
Enxofre - Extração em kg/ha												
Colmos	0,85	2,18	5,75	10,21	13,57	24,80	35,60	0,73	9,98	24,25	17,63	26,63
Folhas	7,89	12,15	13,26	17,74	22,90	23,87	22,39	7,29	20,59	22,18	24,91	18,06
Colmos+folhas	8,74	14,33	19,01	27,95	36,46	48,67	57,99	8,03	30,57	46,43	42,54	44,69

Quadro 2.5: Extração de micronutrientes de cana-de-açúcar, variedade CB 41-76, valores médios obtidos dos resultados de pesquisa realizada por Orlando Filho (1978) e Orlando Filho et al. (1980) em três tipos de solo (Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho-Escuro Orto e Podzólico Vermelho-Amarelo variedade Laras)

Partes da planta	Idade em meses							Idade em meses				
	Cana planta							Cana soca				
	4	6	8	10	12	14	16	4	6	8	10	12
Boro - Extração em g/ha												
Colmos	1,7	9,0	27,3	71,2	151,3	213,1	232,6	1,2	34,9	90,2	80,1	116,4
Folhas	29,9	54,6	70,7	93,7	125,6	136,0	144,7	20,9	53,9	73,4	66,9	60,7
Colmos+folhas	31,6	63,7	98,0	164,9	276,9	349,1	377,2	22,1	88,8	163,6	147,1	177,0
Cobre - Extração em g/ha												
Colmos	2,6	10,0	24,3	65,4	124,4	187,0	234,1	4,7	76,0	195,5	254,1	313,5
Folhas	30,1	49,4	62,1	78,3	126,9	122,9	105,6	49,0	108,0	160,5	114,5	134,1
Colmos+folhas	32,8	59,4	86,4	143,7	251,3	309,9	339,8	53,8	183,9	356,0	368,6	447,6
Ferro - Extração em g/ha												
Colmos	61	341	485	1062	1851	2818	2854	161	2542	1837	1269	1376
Folhas	2344	3298	4144	5137	8075	10861	7921	4153	10565	7738	7266	5434
Colmos+folhas	2405	3639	4629	6199	9926	13679	10775	4315	13107	9575	8535	6809
Manganês - Extração em g/ha												
Colmos	42	75	207	407	686	875	1424	35	221	725	935	987
Folhas	420	643	873	1159	1629	2048	1982	486	1042	1188	1499	1328
Colmos+folhas	462	718	1080	1566	2315	2924	3406	521	1263	1912	2435	2315
Zinco - Extração em g/ha												
Colmos	10,4	31,9	79,1	173,1	285,3	429,0	531,7	9,8	126,6	222,5	281,4	336,2
Folhas	63,6	106,5	201,0	209,6	304,8	381,6	336,4	56,7	148,0	207,1	201,1	183,5
Colmos+folhas	74,0	138,3	280,2	382,7	590,1	810,6	868,1	66,5	274,6	429,6	482,5	519,7

Quadro 2.6: Teores de macro e micronutrientes por tonelada de colmo de cana-de-açúcar, variedade CB 41-76, Orlando Filho (1978) e Orlando Filho et al. (1980)

Nutrientes	Unidade	Cana planta (16 meses)				Cana soca (12 meses)			
		LR	LE	PVIs	Média	LR	LE	PVIs	Média
Nitrogênio	kg	0,87	0,87	1,00	0,91				
Fósforo	kg	0,10	0,06	0,15	0,10	0,13	0,07	0,19	0,13
Potássio	kg	0,63	0,48	0,80	0,64	0,84	0,48	0,82	0,71
Cálcio	kg	0,69	0,59	0,49	0,59	0,39	0,39	0,27	0,35
Magnésio	kg	0,32	0,34	0,37	0,34	0,31	0,28	0,35	0,31
Enxofre	kg	0,29	0,32	0,24	0,28	0,26	0,23	0,20	0,23
Boro	g	2,03	1,94	1,87	1,95	1,11	0,99	0,97	1,02
Cobre	g	1,98	2,22	1,61	1,94	2,35	3,84	2,00	2,73
Ferro	g					13,66	11,44	10,97	12,02
Manganês	g	10,83	13,23	11,57	11,88	7,11	8,45	11,92	9,16
Zinco	g	4,66	4,76	3,79	4,40	2,00	3,49	2,85	2,78

LR - Latossolo Roxo; LE - Latossolo Vermelho-Escuro Orto; e PVIs - Podzólico Vermelho-Amarelo variedade Laras

quantidade extraída pelos colmos foi sempre inferior à quantidade extraída pelas folhas; a quantidade de potássio contida numa tonelada de colmos em peso verde de cana planta e de cana soca, Quadro 2.6, foi respectivamente, 0,64 e 0,71 kg t⁻¹.

- A concentração de **cálcio** nos colmos foi decrescente até o sexto mês e, a partir daí, apresentou-se estável na cana planta e na soca, sendo que a concentração nas folhas permaneceu estável durante todo o ciclo da planta, apresentando valores superiores aos dos colmos a partir do sexto mês; a quantidade de cálcio extraída em kg por hectare pelos colmos e folhas, Quadro 2.4, foi crescente durante todo o ciclo da planta, sendo que a quantidade extraída pelos colmos foi sempre inferior à quantidade extraída pelas folhas; a quantidade de cálcio contida numa tonelada de colmos em peso verde de cana planta e de cana soca, Quadro 2.6 foi, respectivamente, 0,59 e 0,35 kg t⁻¹.

- A concentração de **magnésio** nos colmos foi decrescente até o sexto mês e, a partir daí, apresentou-se estável na cana planta e na soca, Quadro 2.3, sendo que a concentração nas folhas permaneceu estável durante todo o ciclo da planta, apresentando valores superiores aos dos colmos a partir do décimo mês para cana planta e do oitavo mês para cana soca; a quantidade de magnésio extraída em kg por hectare pelos colmos, Quadro 2.4, foi crescente durante o ciclo da planta, sendo que a quantidade extraída pelas folhas foi crescente até o penúltimo mês, decrescendo no último mês; a quantidade extraída pelas folhas foi superior à dos colmos até o décimo mês na cana planta e o sexto mês na cana soca; a quantidade de magnésio contida numa tonelada de colmos em peso verde de cana planta e de cana soca, Quadro 2.6 foi, respectivamente, 0,34 e 0,31 kg t⁻¹.

- A concentração de **enxofre** nos colmos foi decrescente até o décimo mês para cana planta e até oitavo mês para cana soca, Quadro 2.3, e a partir daí apresentou-se estável; a concentração nas folhas apresentou tendência decrescente durante todo o ciclo da cana planta e da cana soca; a concentração de enxofre na folha foi inferior à do colmo somente até o quarto mês, tanto na cana planta como na cana soca; a quantidade de enxofre extraída em kg por hectare pelos colmos foi crescente durante o ciclo da planta, Quadro 2.4, sendo que a quantidade extraída pelas folhas foi crescente até o antepenúltimo mês, decrescendo nos últimos dois meses; a quantidade extraída pelas folhas foi superior à dos colmos até o décimo segundo mês na cana planta e até o décimo mês na cana soca; a quantidade de enxofre contida numa tonelada de colmos em peso verde de cana planta e de cana soca, Quadro 2.6 foi, respectivamente, 0,28 e 0,23 kg t⁻¹.

- A concentração de **boro** nos colmos e nas folhas, Quadro 2.3, apresentou

tendência decrescente, enquanto na cana planta apresentou valores mais estáveis ao longo do ciclo da cultura; a concentração de boro nos colmos foi sempre inferior à da folha na cana planta e na cana soca, ao longo de todo o ciclo da cultura; a quantidade de boro extraída em grama por hectare pelos colmos e folhas, foi crescente durante o ciclo da planta, enquanto a quantidade extraída pelos colmos foi inferior à extraída pelas folhas até o décimo mês na cana planta e até o sexto mês na cana soca, porém superior nos meses subsequentes, Quadro 2.5; a quantidade de boro contida numa tonelada de colmos em peso verde de cana planta e de cana soca, Quadro 2.6 foi, respectivamente, 1,95 e 1,02 g t⁻¹.

- A concentração de **cobre** nos colmos foi decrescente e nas folhas crescente tanto na cana planta como na cana soca, ao longo do ciclo da cultura, Quadro 2.3; por sua vez, a quantidade de cobre extraída em grama por hectare pelos colmos e folhas, foi crescente durante todo o ciclo da planta, enquanto que a quantidade extraída pelos colmos foi inferior à extraída pelas folhas até o décimo quarto mês na cana planta e até o sexto mês na cana soca, mas superior nos meses subsequentes, Quadro 2.5; a quantidade de cobre contida numa tonelada de colmos em peso verde de cana planta e de cana soca, Quadro 2.6 foi, respectivamente, 1,96 e 2,73 g t⁻¹.

- A concentração de **ferro** nos colmos e nas folhas indicou tendência decrescente a estável na cana planta e foi claramente decrescente em ambos, na cana soca, Quadro 2.3; a quantidade de ferro extraída em grama por hectare pelos colmos, foi crescente na cana planta até o décimo segundo mês e na cana soca até o oitavo mês, decrescendo a partir daí; e nas folhas, a quantidade extraída foi crescente até o décimo quarto mês na cana planta e até o oitavo mês na cana soca, decrescendo nos meses subsequentes, Quadro 2.5, enquanto a quantidade de ferro contida numa tonelada de colmos em peso verde de cana soca foi 12,02 g t⁻¹, Quadro 2.6.

- A concentração de **manganês** nos colmos mostrou tendência decrescente a estável na cana planta e na cana soca, enquanto nas folhas ela apresentou tendência estável na cana planta e na cana soca, Quadro 2.3; a quantidade de manganês extraída em grama por hectare pelos colmos, foi crescente na cana planta e na cana soca, enquanto a quantidade extraída pelas folhas foi crescente até o décimo quarto mês na cana planta e até o décimo mês na cana soca, decrescendo nos meses subsequentes, conforme o Quadro 2.5; a quantidade de manganês contida numa tonelada de colmos em peso verde de cana planta e de cana soca, Quadro 2.6 foi, respectivamente, 11,82 e 9,16 g t⁻¹.

- A concentração de **zinco** nos colmos foi decrescente na cana planta e na

cana soca, mas nas folhas esta concentração apresentou tendência estável a crescente na cana planta e estável a decrescente na cana soca, Quadro 2.3; a quantidade de zinco extraída em grama por hectare pelos colmos foi crescente na cana planta e na cana soca, sendo também crescente quando extraída pelas folhas, até o décimo quarto mês na cana planta e até o oitavo mês na cana soca, decrescendo nos meses subseqüentes, Quadro 2.5; a quantidade de zinco contida numa tonelada de colmos em peso verde de cana planta e de cana soca, Quadro 2.6, foi respectivamente, 4,40 e 2,78 g t⁻¹.

Trabalhos do PLANALSUCAR (1975 e 1977) citados por Haag et al. (1987) que pesquisavam a **influência dos nutrientes nas qualidades tecnológicas**, apresentaram os seguintes resultados:

- Estudos da influência de N, P e K na produção de açúcar e na qualidade do caldo, desenvolvidos no período de 1967 a 1974, na estação Experimental de Alagoas, indicaram que, em alguns casos, o nitrogênio causa efeitos depressivos quando aplicado em quantidades inferiores a 50 kg ha⁻¹

- O fósforo causou efeitos depressivos em alguns casos, quando foram aplicadas quantidades superiores a 100 kg ha⁻¹ em cana soca e em solos não deficientes em fósforo

- O fósforo usado em níveis baixos e médios (50 a 120 kg ha⁻¹) em solos carentes, teve resposta crescente na pol e na pureza do caldo da cana

- A quantidade de potássio aplicada não indicou efeito depressivo no teor de açúcar nem na pureza da cana, em nenhum experimento

- Até 120 kg ha⁻¹, o nitrogênio produziu aumento na pol e diminuição na quantidade de açúcares redutores e, a partir daí, provocou efeitos contrários em ambas

- O fósforo apresentou efeito crescente na pol até os 150 kg ha⁻¹ aplicados e, a partir daí, efeito decrescente, enquanto o teor de P₂O₅ mg L⁻¹ de caldo foi sempre crescente

- O potássio mostrou efeito decrescente na pol da cana e teores sempre crescentes de cinza no caldo.

Estudos de Orlando Filho & Zambello Junior (1980) com a variedade CB 41-76 em ciclo de 18 meses e diferentes tipos de solo, revelaram que:

- níveis de nitrogênio de 480 kg ha⁻¹ em latossolos, afetam negativamente a pol, enquanto a aplicação de 0 a 600 kg ha⁻¹ de fósforo e de 0 a 600 kg ha⁻¹ de potássio não influenciaram o pol

- os açúcares redutores não sofreram influência da adubação nitrogenada, os teores de fósforo no caldo não foram afetados pela adubação fosfatada e a percentagem de cinzas aumentou com a adubação potássica;

- a pol da cana manteve uma relação linear e de forma inversa com a percentagem de açúcares redutores e com a percentagem de cinzas no caldo.

Azeredo (1997) estudou o efeito de quatro níveis de nitrogênio (0, 60, 120 e 180kg ha⁻¹) em cana-de-açúcar, em dois solos do estado do Rio de Janeiro. A aplicação de nitrogênio fertilizante resultou em resposta diferenciada sobre o desenvolvimento e a produção final de colmos e de açúcar na cana planta; entretanto, não foram suficientes para afetar os teores de pol, fibras e açúcares totais da cana, sendo as variações nas produções de açúcar ha⁻¹ resultantes das produções de colmos ha⁻¹.

Dobereiner (1997) comenta que, se a metade do dinheiro gasto no mundo em energia nuclear tivesse sido aplicado em estudos de bioenergia alternativa, grandes fontes de energia renovável teriam sido desenvolvidas e, também, que a utilização de nitrogênio para fertilizar culturas bioenergéticas, como a cana-de-açúcar, representa um grande salto no balanço de energia. Para uma produção média da cana de 65 t ha⁻¹, tem-se: produção média de etanol, 3.564 L ha⁻¹ ano⁻¹; energia total produzida, 36.297 Mcal (etanol, 18.747 Mcal e Bagaço, 17.500 Mcal); energia consumida, 14.952 Mcal (na produção agrícola, 4.138 Mcal e na indústria, 10.814 mcal); saldo de energia, 21.345 Mcal.

Necessidade Hídrica

Segundo Scardua & Rosenfeld (1987) as **necessidade de água** da cana-de-açúcar são função do ciclo fenológico, ciclo da cultura, da variedade, do clima e outros fatores, como a disponibilidade de água no solo; os autores apresentam, no Quadro 2.7, os resultados de consumo de água da cultura, determinados por vários autores em diversas regiões do mundo (o consumo máximo variou de 2,8 a 8,6 mm dia⁻¹, o consumo mínimo de 0,5 a 4,8 mm dia⁻¹ e o médio de 2,5 a 5,8 mm dia⁻¹); no Quadro 2.8, os valores de coeficiente de cultivo (cujos valores variaram de 0,50 a 1,10) e, nas Figuras 2.4 e 2.5, a evolução da evapotranspiração da cultura. Para Doorenbos & Kassan (1979) produções em áreas irrigadas em torno de 100 a 150 t ha⁻¹ demandam de 1.500 a 2.000 mm por ciclo de 365 dias.

Quadro 2.7: Valores de consumo máximo, mínimo e médio de água da cana-de-açúcar, obtidos por diversos métodos e diferentes autores, segundo Scardua & Rosenfeld (1987)

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

CP = cana planta; CS = cana soca

Quadro 2.8: Coeficientes de cultivo da cana-de-açúcar, de acordo com Scardua & Rosenfeld (1987)

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

ETa = evapotranspiração atual; ETo = evapotranspiração potencial; 1 = coeficiente de cultivo da FAO; 2 = coeficiente de cultivo de Hargreaves; 3 = coeficiente de cultivo do PLANALSUCAR

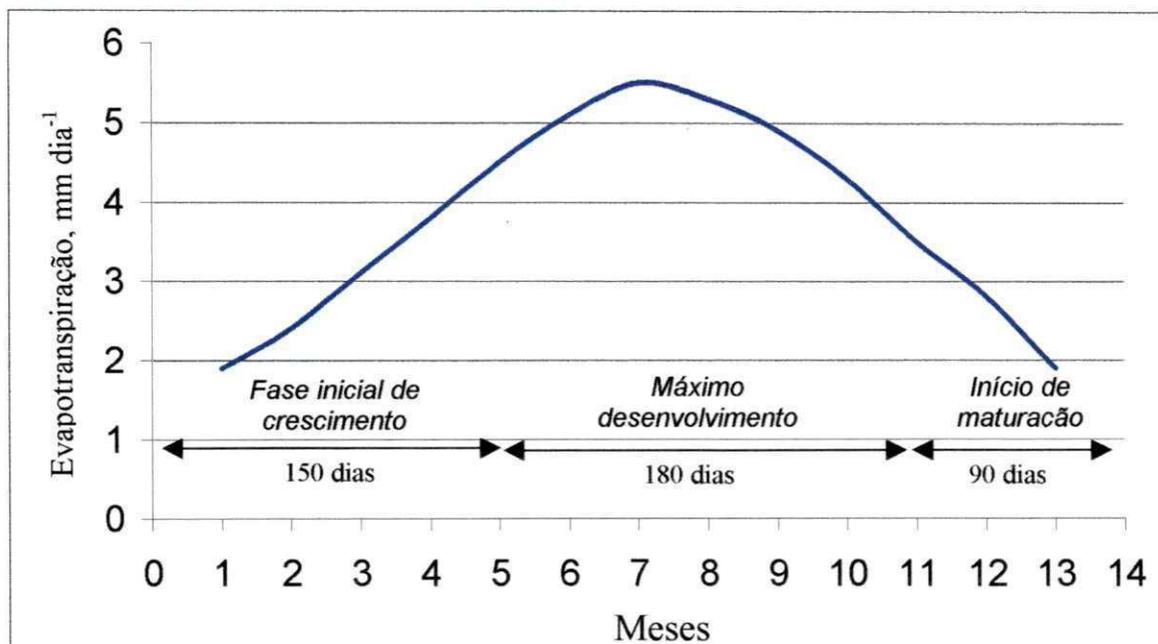


Figura 2.4: Evolução dos valores de evapotranspiração ao longo do ciclo fenológico da cana-de-açúcar planta em São Paulo segundo Scardua & Rosenfeld (1987)

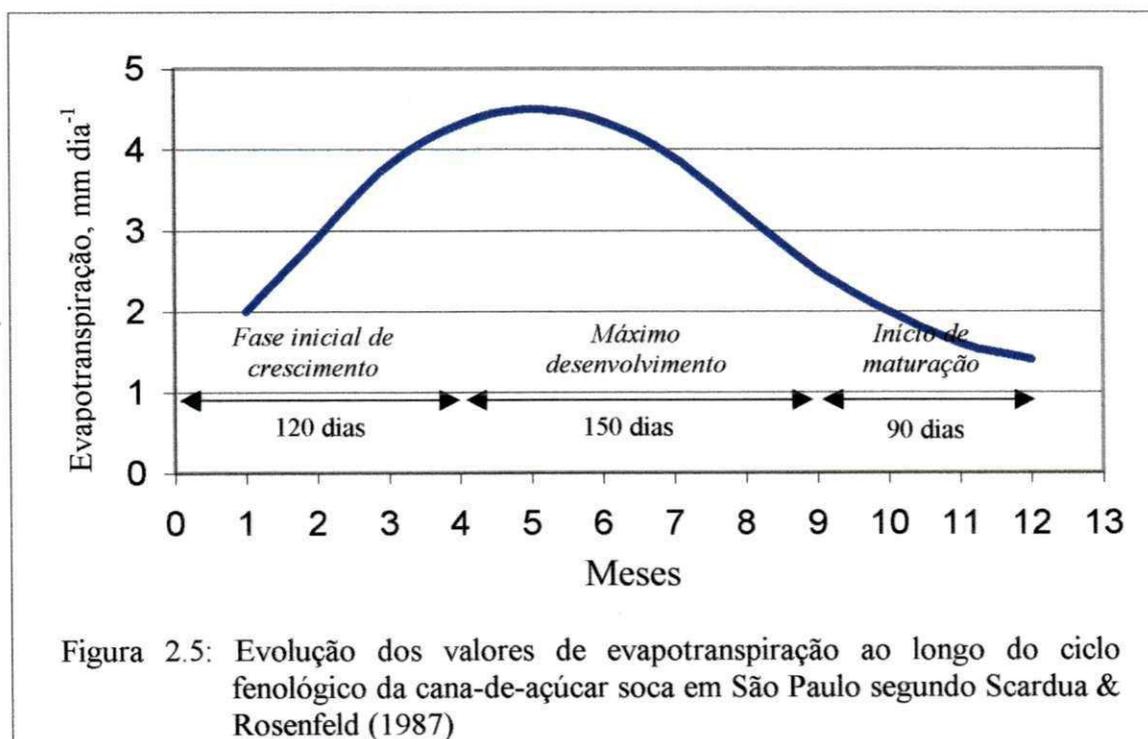


Figura 2.5: Evolução dos valores de evapotranspiração ao longo do ciclo fenológico da cana-de-açúcar soca em São Paulo segundo Scardua & Rosenfeld (1987)

Os potenciais mínimos de água do solo em que a cana-de-açúcar sobrevive e pode extrair do solo sem prejuízo para a produção, foram estudados por vários autores citados por Scardua & Rosenfeld (1987) e apresentados no Quadro 2.9, no qual se verifica que os valores variam de 1 a 2,5 atm. Segundo os mesmos autores, esses valores são os que proporcionam produções economicamente mais viáveis e, ainda que: a partir de 0,5 atm de força de retenção de água pelo solo, já ocorrem reduções na produtividade da cultura; a quantidade de água que a planta consegue retirar do solo em percentagem de água disponível e a níveis econômicos de produtividade em função da evapotranspiração, são: para evapotranspiração (ETM) de 2 mm dia⁻¹ a quantidade de água disponível (AD) retirada é de 85%, ETM=3 mm dia⁻¹ AD=80%, ETM=4 mm dia⁻¹ AD=70%, ETM=5 mm dia⁻¹ AD=60%, ETM=6 mm dia⁻¹ AD=55%, ETM=7 mm dia⁻¹ AD=50% e ETM=8 mm dia⁻¹ AD=45%; na irrigação suplementar com **turnos de irrigação** curtos pode-se adotar 50% de água disponível retirada pela planta em solos argilosos, e 75% em solos arenosos; para valores de evapotranspiração de 3,5 mm dia⁻¹, os turnos de irrigação variam de 7 a 10 dias para solos arenosos e de 12 a 20 dias para solos argilosos.

Quadro 2.9: Potenciais mínimos de água no solo e água disponível consumida, segundo diferentes autores, citados por Scardua & Rosenfeld (1987)

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

Gomes (1999) trabalhando com a variedade RB 72454 na Usina Santa Cruz, em Campos dos Goytacazes, RJ, encontrou produtividade média de colmos e em açúcar na 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 pol ha⁻¹.

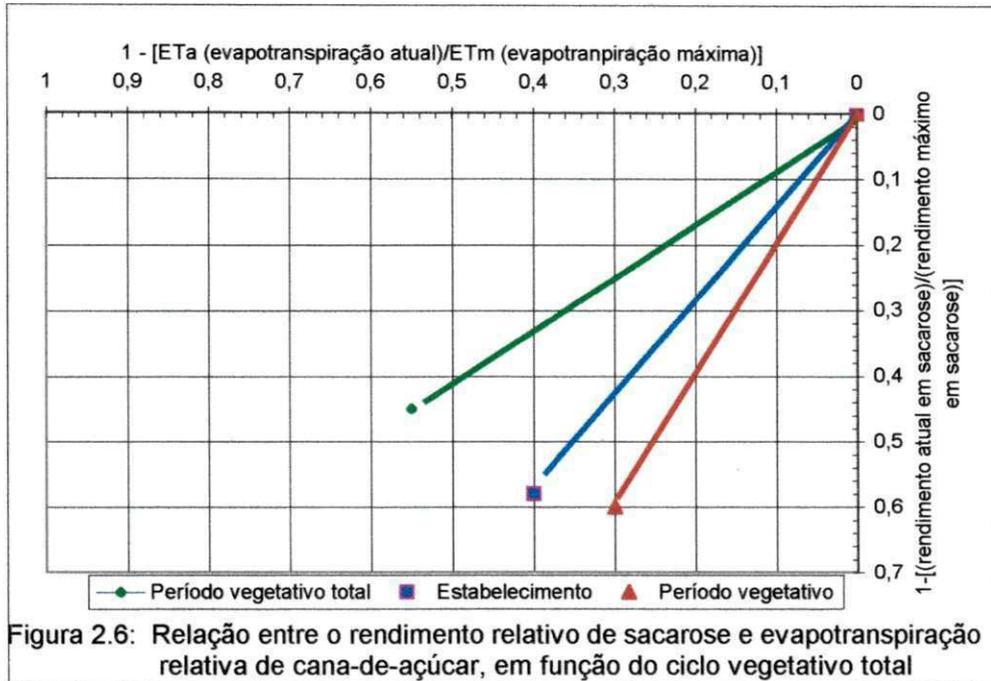
Qureshi et al. (2001) usaram um modelo integrado bioeconômico para

comparar diferentes tecnologias de irrigação em fazendas no delta de Burdekin na Austrália. Segundo eles quando a água de superfície é abundante, o sistema de irrigação por sulco é o mais atrativo para os irrigantes, embora seja menos eficiente; entretanto, quando é preciso utilizar parte da água de poços subterrâneos, o sistema de irrigação por pivô central é a melhor opção. As informações fornecidas pelo modelo são de vital importância para a tomada de decisão dos irrigantes quanto ao investimento em tecnologia de irrigação ao longo do tempo.

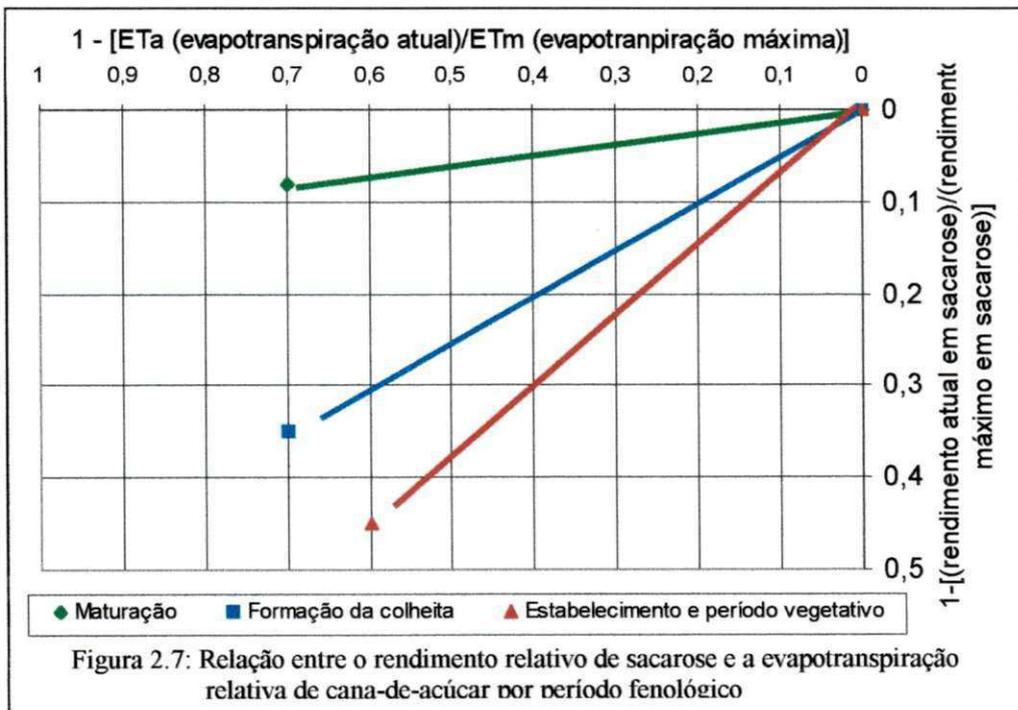
Shaw & Innes (1965) e Yang (1979) verificaram que o maior efeito da irrigação sobre a produção de cana de 12 meses ocorreu no período de máximo desenvolvimento da cultura, que coincide com o período do 6^o ao 7^o mês. Rosenfeld et al. (1984) concluíram que a ocorrência de déficit hídrico que proporciona maiores diminuições nas produtividades de cana planta, se dá no período de máximo desenvolvimento e, na cana soca, no estágio inicial de crescimento.

Segundo Doorenbos & Kassan (1979) as relações entre a diminuição do rendimento relativo de sacarose e a evapotranspiração relativa para o período de desenvolvimento total e para os distintos períodos de desenvolvimento (estabelecimento, período vegetativo, formação da parte colhível e maturação) são apresentadas nas Figuras 2.6 e 2.7; verifica-se que, quando o déficit ocorre durante o período de estabelecimento e início do período vegetativo, diminui o número de plantas e de brotação e os efeitos sobre a produção de sacarose são maiores que nos outros períodos; quando o déficit se verifica durante a segunda fase do período vegetativo (alongamento do colmo) e início do período de formação da parte colhível, a diminuição do rendimento é menor que na fase anterior, porém maior que nas demais; um déficit severo durante a segunda fase do período de formação da colheita força a maturação precoce; o déficit durante o período de maturação é o que proporciona menor diminuição de rendimento da cana, comparado com os demais, entretanto, quando o déficit é muito severo, a perda de açúcar pode ser maior que no período de formação da colheita.

Ainda segundo Doorenbos & Kassan (1979) o manejo correto da irrigação não permite a ocorrência de déficits prejudiciais à rentabilidade econômica da cultura e deve ser feito de acordo com as tensões de água no solo indicadas para cada período do ciclo fenológico, obedecendo as seguintes recomendações: durante o período de nascimento, estabelecimento das plântulas e início do período vegetativo, a cultura demanda pequenas lâminas que devem ser aplicadas em turnos de irrigação pequenos;



Fonte: Doorenbos & Kassan (1979).



Fonte: Doorenbos & Kassan (1979).

durante a segunda fase do período vegetativo (alongamento do colmo) e primeira fase da formação da parte colhível, a cultura, devido ao crescimento do sistema radicular, passa a dispor de maior volume de água disponível no solo, devendo-se aplicar lâminas maiores em turnos de irrigação também maiores que os períodos anteriores; na segunda fase do período de formação da colheita a exigência da planta diminui, devendo-se aplicar lâminas menores que as da fase anterior; e durante o período de maturação, as lâminas devem ser ainda menores, para aumentar a concentração de sacarose e a irrigação suspensa nos últimos dias que antecedem a colheita.

Num experimento realizado no Centro de Pesquisa Experimental de cana-de-açúcar, de Cenicaña, na Colômbia, com a variedade MZE 74-275 sob regime de irrigação, Torres (1998) encontrou produtividades variando de 131 a 147 t. ha⁻¹ enquanto a produtividade de açúcar variou de 16,1 a 18,1 t. ha⁻¹.

Wiedenfeld (1995) trabalhando com três condições de irrigação (95, 85 e 65% da fração de esgotamento do solo) obteve rendimentos de 13, 10 e 8 t ha⁻¹ de açúcar e índices de pureza de 88, 86 e 85%, respectivamente.

Segundo Robertson & Donaldson (1998) em observações feitas em 37 experimentos realizados na África do Sul, no período de 1966 a 1995, constataram que a suspensão da irrigação por ocasião da colheita aumentou em 10% o rendimento em peso fresco de cana-de-açúcar.

Robertson et al. (1999) trabalhando com cana-de-açúcar submetida à irrigação plena, e a estresses aplicados aos 125 e 176 dias após o plantio, verificaram uma redução no rendimento total em biomassa, de até 53 e 78%, respectivamente.

Wiedenfeld (2000) verificou que a cana-de-açúcar submetida a estresse hídrico no terceiro (257 a 272 dias após plantio) e no quarto (302 a 347 dias após o plantio) períodos do seu ciclo, teve seu rendimento reduzido em 8,3 a 15%.

Qureshi et al. (2002) usaram o modelo computacional SWAP 93 para simular o balanço de água no solo com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) num período de seis anos, a fim de desenvolverem um esquema eficiente de manejo de irrigação para o Sindh, Paquistão. Doze tratamentos de irrigação foram simulados, sendo a combinação de quatro lâminas de irrigação (900, 1200, 1650 e 1800mm) 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 para determinar o uso eficiente da água. A função mostrou que a otimização da produtividade e da eficiência do uso da água ocorreu

quando se utilizou uma lâmina de 1600mm com turno de irrigação de 15 dias.

2.2 – Funções de Produção

Segundo Salomon (1985) a curva de produção versus água aplicada, tem uma zona de déficit de água e outra zona após o ponto de máxima produção, que é a zona de excesso de água, Figura 2.8a. Para Hargreaves & Samani (1984) o trecho da curva da relação produção versus água aplicada até 50% da quantidade 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 produção, a partir do qual os acréscimos na produção são negativos. Para English (1990) quanto mais a quantidade de água aplicada se aproxima da irrigação sem déficit, menos eficiente é a irrigação. O declínio da curva de produção a partir do ponto máximo deve-se à diminuição da aeração do solo, à lixiviação dos nutrientes e 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, Figura 2.8b, e a da função que representa a receita líquida é uma curva, Figura 2.8c; a quantidade de água (W^*) que proporciona a receita líquida máxima é inferior à quantidade de água (W_m) que proporciona a máxima produção; e, que, 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, Figura 2.9.

Frizzone (1993) dissertando sobre a agricultura em regiões úmidas, afirma que nessas regiões a precipitação pluviométrica garante parte da produção agrícola, o que 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, como mostra a Figura 2.10; neste caso, a receita líquida proporcionada pela água de irrigação (RLI) só representa parte da receita total (RLT) da atividade agrícola, cujo volume aplicado pela irrigação V_1 é igual a V_2 (volume total de água utilizada pela cultura) menos V_1 (volume de água proveniente da precipitação efetiva).

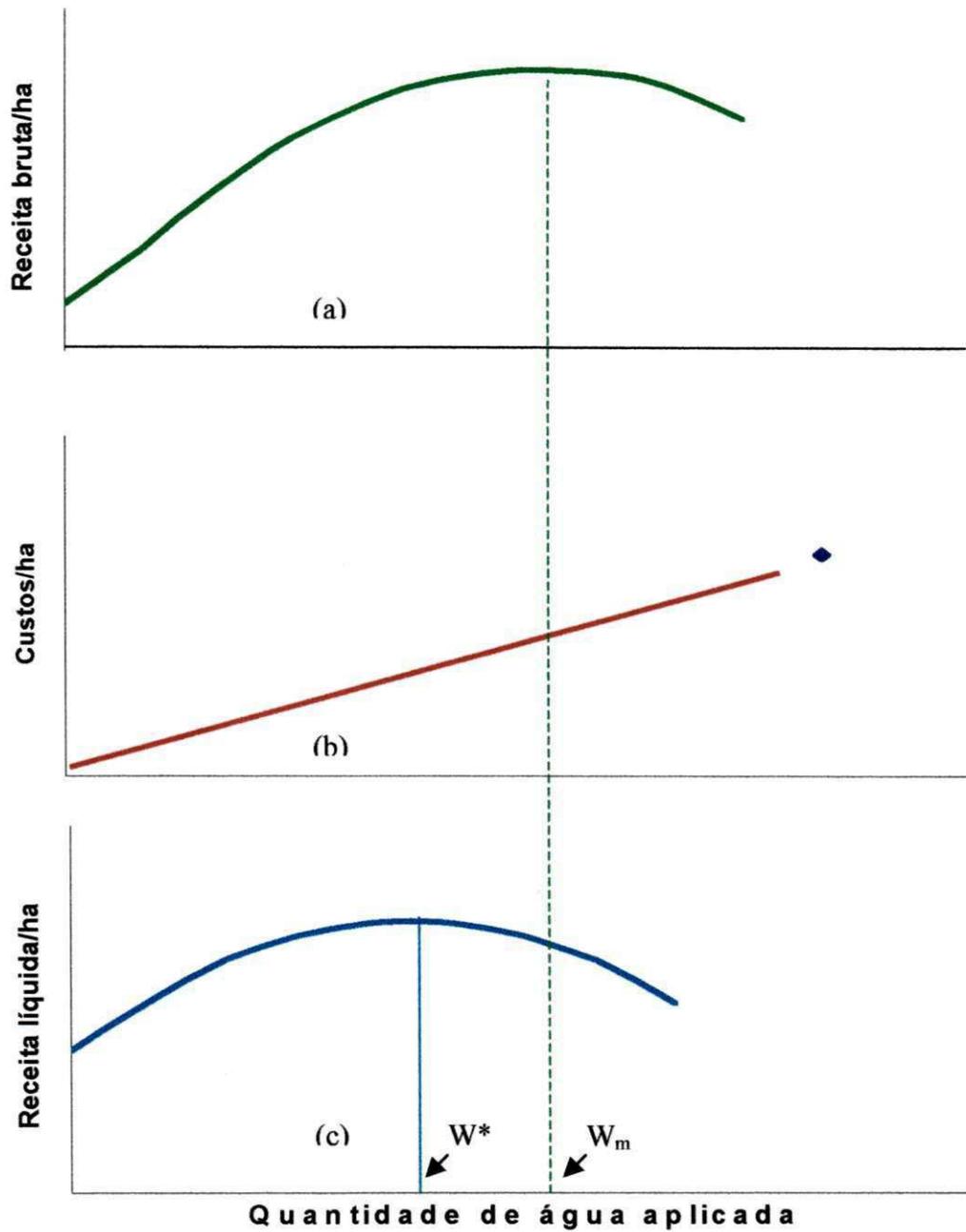
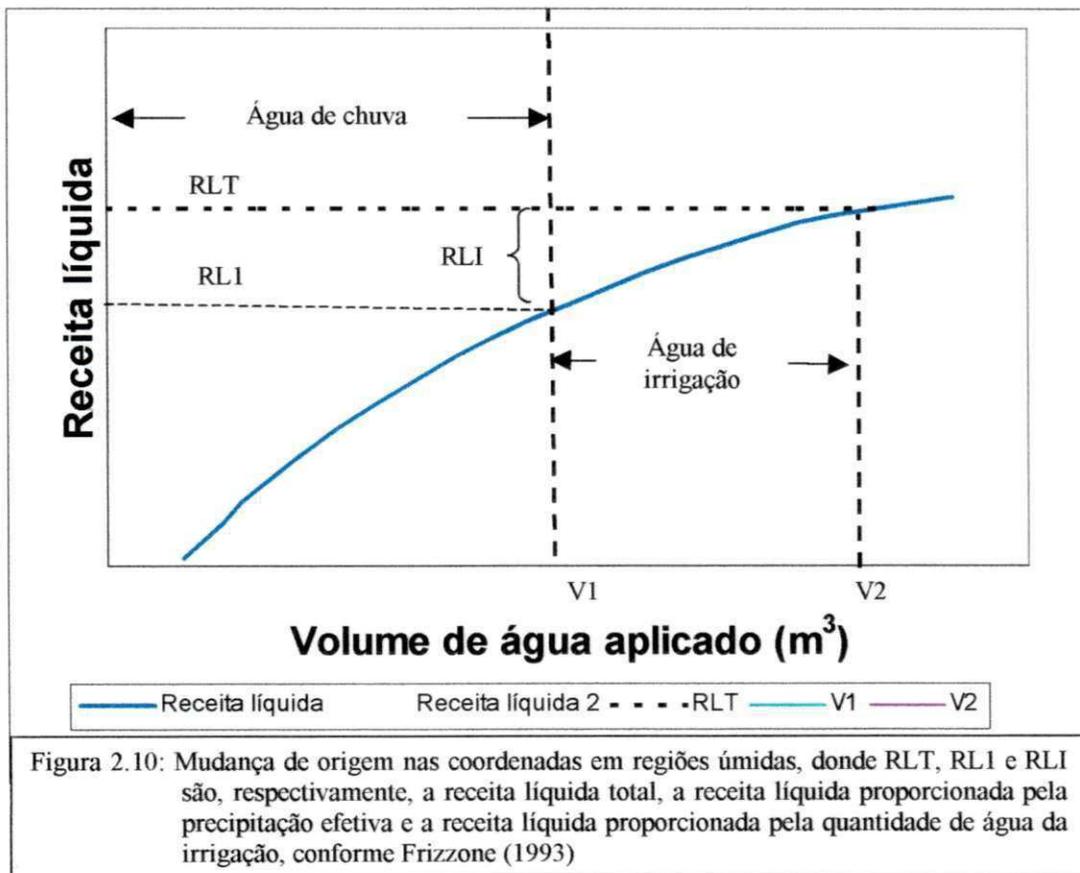
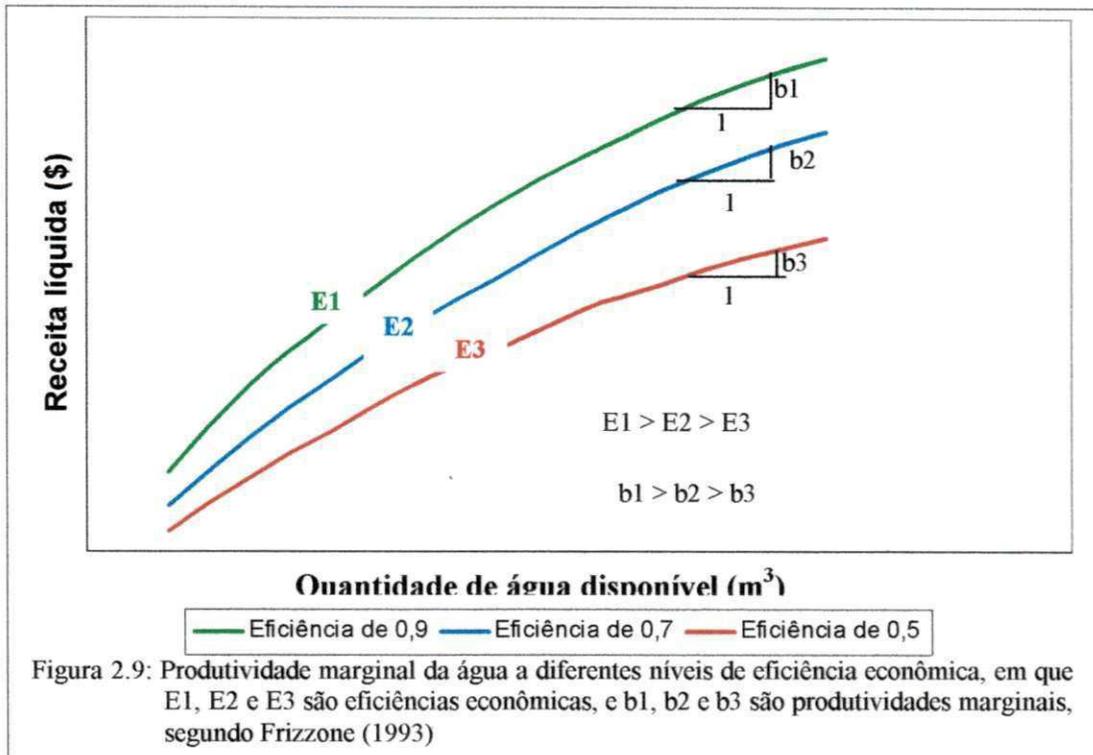


Figura 2.8: Esquema de funções de receita bruta (a), custos (b) e receita líquida (c), donde W_m e W^* são, respectivamente, as quantidades de água que proporcionam a máxima produção e a máxima receita líquida, segundo Frizzone (1993)



Scardua (1985) determinou as seguintes funções de produção para o ciclo de cana soca:

$$Y = 0,0620 + 0,6610 x_1 + 0,2762 x_2 - 0,0306 x_3$$

$$Y = (1 - Y_r/Y_m)$$

Em que: $x_1 = (1 - ETr/ETm)$ do primeiro estágio; $x_2 = (1 - ETr/ETm)$ do segundo estágio; $x_3 = (1 - ETr/ETm)$ do terceiro estágio.

E determinou também uma equação para estimativa da produção agrícola máxima (Y_m), que resultou em $114,9 \text{ t ha}^{-1}$.

$$Y_m = - 15,5521 + 0,3886 a_1 + 0,00082 a_5$$

Sendo: Y_m = produtividade máxima estimada, em t ha^{-1} ; a_1 = total de graus-dia durante o ciclo da cana-de-açúcar; a_5 = total de radiação líquida no ciclo da cana, em cal cm^2 .

Nos empreendimentos agrícolas irrigados, os recursos de água e energia devem ser otimizados, possibilitando a utilização dos demais insumos de produção e conseqüentemente, obter-se maiores produtividades com uma combinação melhor dos insumos empregados. Bernardo (1998) afirma que o conhecimento das funções de produção ou superfície de resposta, é fundamental para auxiliar nas decisões, haja vista que estas funções possibilitam determinar-se as interações entre os diversos fatores que afetam a produtividade e, ainda escolher as condições mais condizentes com a realidade regional, permitindo, assim, o manejo racional da irrigação em bases técnicas e economicamente viáveis.

Para Frizzone (1998) ao se exigir que a função de produção represente o máximo que se pode obter (dada a tecnologia conhecida) com o uso de cada uma combinação de insumos, está-se constituindo uma relação funcional entre insumos e o produto, ou seja, esta definição permite se escrever uma função de produto como uma função sistemática da forma:

$$Y = Y (U_1, U_2, \dots, U_n)$$

Sendo Y a quantidade produzida e U_1, U_2, \dots, U_n os n insumos que participam do processo e se transformam em Y .

Souza et al. (1999) trabalhando com três variedades de cana (RB72454, RB765418 e SP701011) irrigadas por aspersão tipo canhão, durante o período de agosto de 1995 a outubro de 1996, obtiveram produtividades de colmos máximas de 155,8; 126,9 e $141,9 \text{ t ha}^{-1}$ com lâminas totais (precipitação efetiva mais irrigação) de água 1.568, 1.424 e

1.589 mm, além de produtividades máximas de açúcar estimadas, de 20,7; 17,1 e 19,3 t ha⁻¹ para lâminas totais de água de 1.678, 1474 e 1.602 mm, respectivamente. Os mesmos autores determinaram as seguintes funções de produção:

- Variedade RB72454

$$Y = -41,878 + 0,0736W - 2,22 \cdot 10^{-5}W^2$$

- Variedade RB765418

$$Y = -56,32 + 0,0996W - 3,38 \cdot 10^{-5}W^2$$

- Variedade SP701011

$$Y = -41,12 + 0,0754W - 2,35 \cdot 10^{-5}W^2$$

Em que: Y é a produtividade obtida em t ha⁻¹ e W é a lâmina total de água aplicada em mm.

Matioli (1998) desenvolveu um modelo de análise de decisão para avaliar a economicidade da irrigação suplementar da cultura da cana-de-açúcar, durante o primeiro estágio de desenvolvimento, ciclo cana soca, na região Norte paulista. Os resultados mostram que a irrigação suplementar das socas colhidas de maio a julho, aumenta os valores esperados por hectare de área cultivada, mas para as socas colhidas após esse período, a irrigação suplementar preconizada mostrou-se economicamente inviável.

Cunha et al (1999) elaboraram uma planilha eletrônica denominada Canaplan, que permite ao usuário executar grande número de simulações que possibilitam a previsão da receita líquida proveniente do uso da irrigação.

Numerosas investigações já foram realizadas mostrando a importância da função de resposta na avaliação econômica de diferentes níveis de água na produção agrícola (Hexen & Heady, 1978; English, 1990; Helweg, 1991; Frizzone, 1998 ; Liu et al., 2002).

Muitas das funções de produção presentes na literatura, foram desenvolvidas procurando-se relacionar a água aplicada, a qual usualmente inclui lâmina líquida de irrigação mais precipitação e teor de água armazenada no solo antes do plantio, com rendimento das culturas (Frizzone,1998; Bernardo, 1998; Liu et al., 2002).

Hexem and Heady, 1978, afirmam que, quando a função de produção é baseada na lâmina de água aplicada, frequentemente se restringe ao local onde foi desenvolvido o experimento. Por outro lado, Stewart & Hagan, 1973, 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.

As funções de produção água-planta são, em geral, não lineares, mostrando retornos decrescentes ao fator variável. Estas funções podem ser tratadas por aproximações lineares e a otimização pode ser feita utilizando-se a técnica de programação separável, cuja solução pode ser obtida pelo método simplex (Dantas Neto et al., 1997; Frizzone 1998).

CAPÍTULO III - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 – Cultura, Solo e Clima

A variedade de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum L.*) utilizada no trabalho, foi a SP-79.1011, muito difundida no estado da Paraíba. O experimento foi realizado na Fazenda Capim, da Destilaria Miriri, do Grupo UNIAGRO, situado no município de Capim, PB. O solo predominante na fazenda é uma associação de Podzólico Vermelho-Amarelo, variação Acinzentado, Figura 3.1 (SUDENE, 1972). As características químicas e físico-hídricas do solo são apresentadas no Quadro A₁ do anexo, no qual se verifica que o solo é franco-argilo-arenoso, com capacidade total de armazenamento de 62 mm até a profundidade de 0,70 m e capacidade de armazenamento aproveitável de 42 mm, correspondendo a 67 % da água total disponível.

A fazenda se situa na latitude de 6°56', na longitude de 35°07' e tem uma área irrigada de aproximadamente 600 ha com dois pivôs centrais rebocáveis, que se deslocam em seis bases de 50 ha cada uma, Figura 3.2. A altitude local é de 100 m, a temperatura média anual é de 28 °C, a precipitação média anual de 1.000 mm, com seis meses secos; o clima é quente e úmido, com chuvas de outono a inverno (As' segundo W. Koeppen) sendo o bioclima classificado como Mediterrâneo ou Nordeste quente, de seca atenuada (SECRETARIA DE EDUCAÇÃO-PB & UNIVERSIDADE FEDERAL

DA PARAÍBA, 1985).

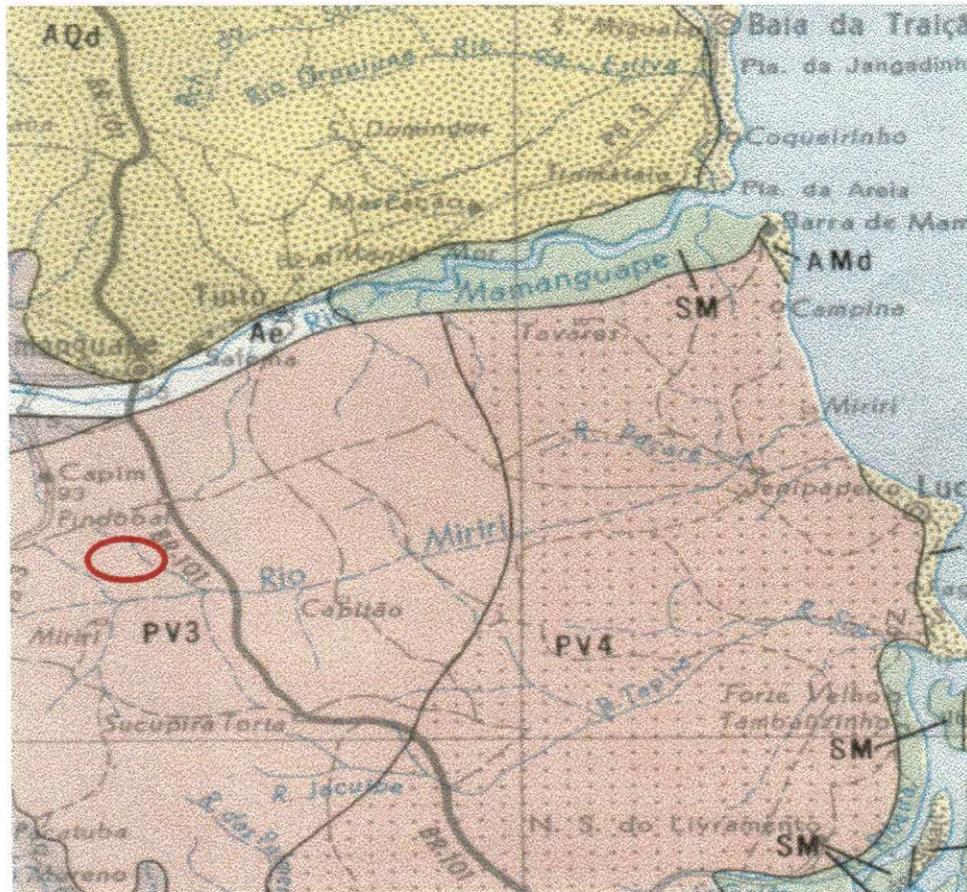


Figura 3.1: Localização e Classe de solo da Fazenda Capim, da Destilaria Miriri, Município de Capim, PB (Classe (PV3) predominando uma associação de Podzólico Vermelho-Amarelo variação Acinzentado (SUDENE, 1972)

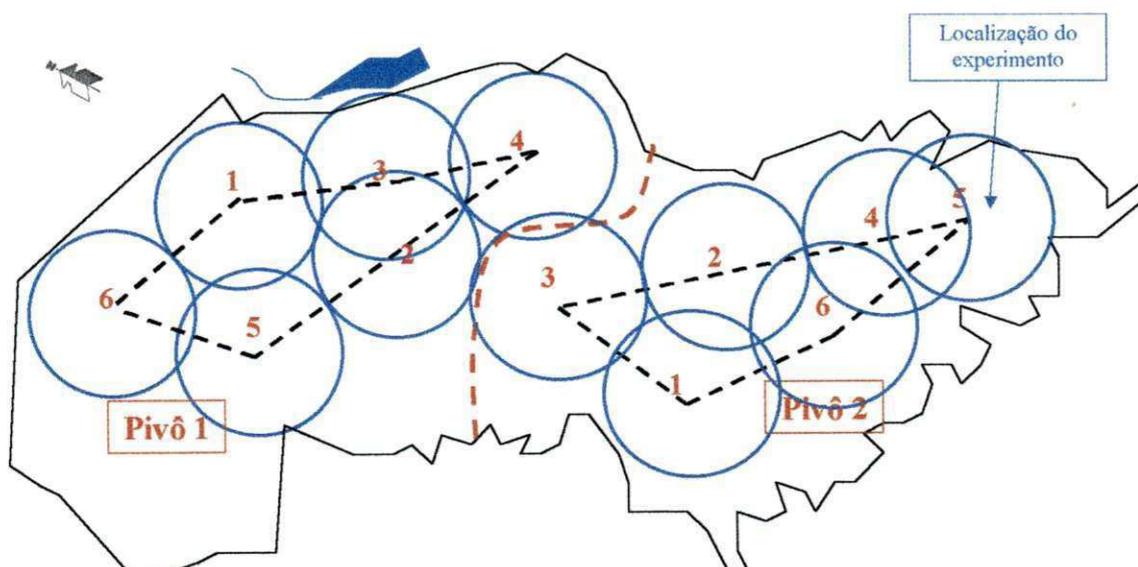


Figura 3.2: Área irrigada da Fazenda Capim, da Destilaria Miriri, Município de Capim, PB, área de atuação dos pivôs 1 e 2, localização das bases dos pivôs. Área total da fazenda 780,7 ha

3.2 – Tratamentos e Delineamento Estatístico

Os tratamentos estudados foram os fatores lâminas de irrigação e adubação de cobertura. O experimento consistiu de um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições e arranjo fatorial 4 x 4. As quantidades totais de água compreenderam a precipitação efetiva, mais lâminas de irrigação. As **lâminas de irrigação** foram aplicadas em intervalos de 12 dias, nas quantidades: lâmina de irrigação W_0 (lâmina 0=zero mm de água de irrigação); W_1 (lâmina 1=13,8 mm correspondendo a 50 % da lâmina de projeto utilizada na Fazenda Capim, DSF (1999)); W_2 (lâmina 2=27,5 mm equivalente à lâmina utilizada na Fazenda Capim); e W_3 (lâmina 3=41,3 mm referente à lâmina utilizada na Fazenda Capim, acrescida de 50 %) Figura 3.3.

As **adubações de cobertura** foram compostas dos elementos N e K_2O em quantidades definidas, tomando-se como base os níveis recomendadas pela equipe de consultores da Destilaria Miriri, que se baseia em parâmetros do solo e no rendimento econômico da cultura sob condições de sequeiro; a quantidade de nutrientes extraída do solo em kg por 100 t de colmos, segundo Orlando Filho (1978) e Orlando Filho et al., (1980) e se considerando acréscimos que possibilitassem o desenho da curva que define a função de produção. A proporção entre os nutrientes N e K_2O na adubação de cobertura foi 1,0 para 0,94. Os níveis de adubação de cobertura foram os seguintes: $N_0=85$ (nível utilizado na fazenda 44 kg ha⁻¹ de nitrogênio e 41 kg ha⁻¹ de potássio); $N_1=167$ (86 kg ha⁻¹ de nitrogênio e 81 kg ha⁻¹ de potássio); $N_2=305$ (157 kg ha⁻¹ de nitrogênio e 148 kg ha⁻¹ de potássio); e $N_3=458$ kg ha⁻¹ (236 kg ha⁻¹ de nitrogênio e 222 kg ha⁻¹ de potássio). As fontes de nitrogênio e potássio foram uréia e cloreto de potássio, respectivamente.

3.3 – Instalação e Condução do Experimento

O experimento foi instalado na base 5 do pivô 2, Figura 3.2, e os tratamentos em setores do pivô, Figura 3.3. As parcelas eram constituídas de 5 fileiras espaçadas 1,2 m, comprimento de 12 m e com uma área total de 72 m². A área útil da parcela era de 36 m², compreendendo as três fileiras centrais com 10 m de comprimento

cada uma, sendo a bordadura constituída de uma fileira de plantas de cada lado e de 1,0 m em cada extremidade da parcela útil, Figura 3.4.

As lâminas foram aplicadas pelo sistema de irrigação por aspersão tipo pivô central rebocável (DSF, 1999) variando-se as velocidades do equipamento por setor, para se aplicar as lâminas dos tratamentos de irrigação, de acordo com o Quadro A₂ do anexo.

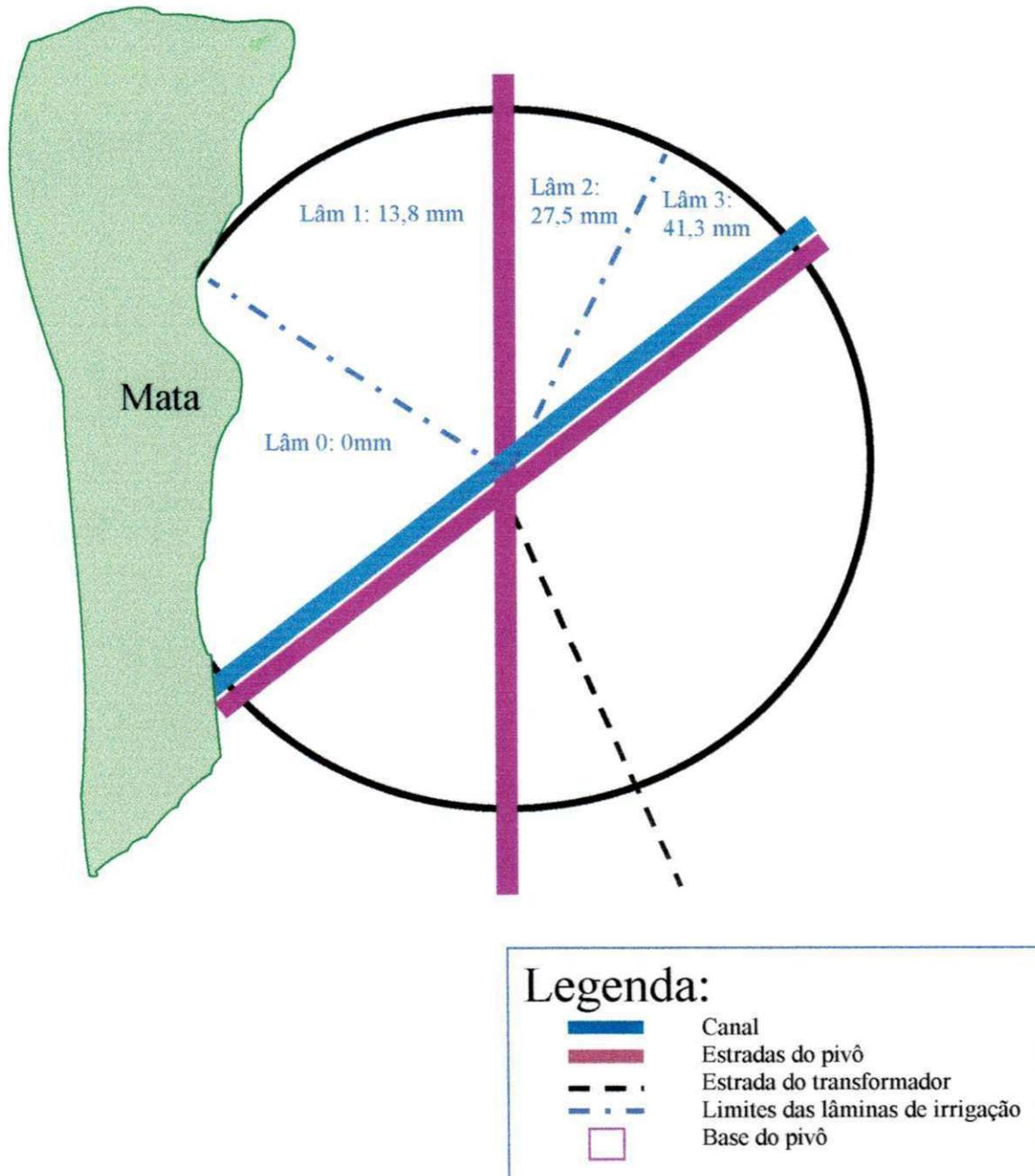


Figura 3.3: Croqui do experimento – localização das lâminas de irrigação

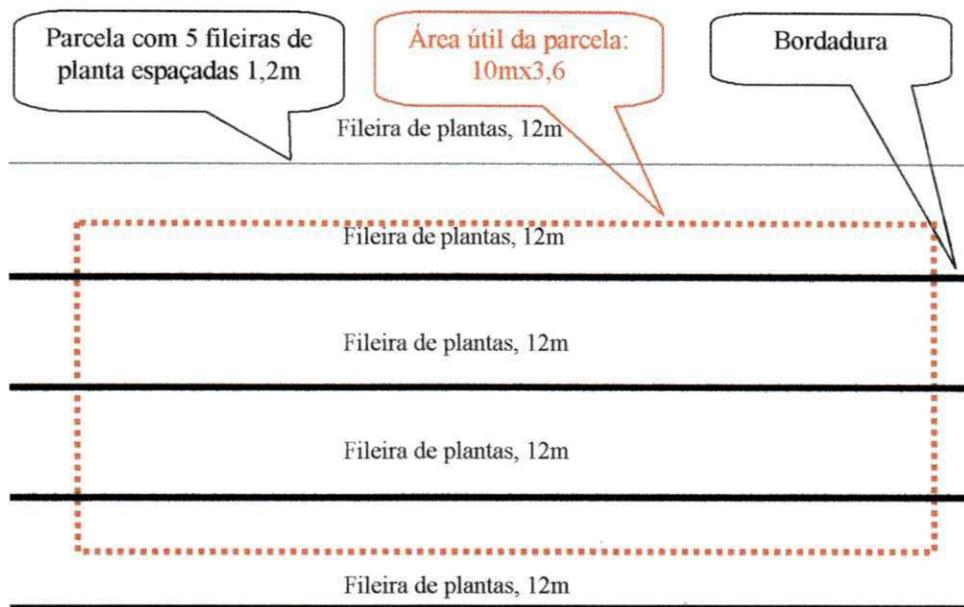


Figura 3.4: Detalhes das parcelas do experimento - área total, bordadura e área líquida

O balanço hídrico do experimento foi feito levando-se em consideração a quantidade de água total (precipitação efetiva mais lâmina líquida de irrigação aplicada), evapotranspiração real e capacidade de água aproveitável no solo, Quadro A₁ do anexo. Como o solo do experimento era franco-argilo-arenoso, com alta capacidade de infiltração, considerou-se como precipitação efetiva, o valor da chuva igual ou menor que a capacidade de água aproveitável do solo e/ou da evapotranspiração do turno de irrigação de 12 dias. A evapotranspiração real foi calculada pela equação:

$$ETr = 0,75 * Kc * EV \quad \text{eq. 3.01}$$

Em que: ETr é a evapotranspiração real em mm; Kc é o coeficiente de cultivo segundo Doorenbos & Kassan (1979) adaptado para período de 14 meses, por DSF (1999); EV é a evaporação do tanque classe A em mm.

A quantidade de água aplicada em cada irrigação foi igual à evapotranspiração calculada com base no tanque “classe A” menos precipitação efetiva; os valores máximos aplicados em turnos de irrigação de 12 dias foram iguais ou menores que as lâminas líquidas por tratamento: W₁ (lâmina 1=13,8 mm; W₂ (lâmina 2=27,5 mm correspondente à lâmina de projeto adotada na Fazenda Capim); e W₃ (lâmina 3=41,3

mm).

O solo foi preparado com grade de disco aradora e sulcamento, a uma profundidade de 0,30 m, e com espaçamento de 1,2 m. O plantio foi feito no mês de agosto, com colmos inteiros garantindo uma média de 18 gemas por metro.

Foi feita uma aplicação de 1.000 kg ha⁻¹ de gesso a lanço, além de adubação de fundação, na quantidade de 500 kg ha⁻¹ da fórmula 00-18-00, correspondendo a 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅. As adubações de cobertura foram feitas em linha, sendo a primeira cobertura no dia 30/11/2000 em todos os níveis (nitrogênio 44,0 kg ha⁻¹ e potássio 42,5 kg ha⁻¹); a segunda no dia 25/01/2001, nos níveis N₁, N₂ e N₃ (nitrogênio 42,4 kg ha⁻¹ e potássio 38,2 kg ha⁻¹); a terceira no dia 08/03/2001, nos níveis N₂ e N₃ (nitrogênio 70,7 kg ha⁻¹ e potássio 68,4 kg ha⁻¹) e a quarta no dia 19/04/2001, apenas no nível N₃ (nitrogênio 78,9 kg ha⁻¹ e potássio 76,3 kg ha⁻¹).

As limpas foram realizadas com aplicações de herbicidas e os demais tratos culturais obedeceram às práticas adotadas na Fazenda Capim.

3.4 – Variáveis Avaliadas

A colheita foi feita manualmente após a queima da cana. Foram separados, ao acaso, dentro da área útil, 12 colmos, nos quais foram feitas as seguintes determinações: comprimento, diâmetro e peso dos colmos, número de internódios por colmo e incidência de *Diatraea saccharalis* em %. A área útil da parcela foi colhida, contado o número de colmos, pesada e calculada a produção de colmos em kg ha⁻¹. Em cada parcela útil foi cortada, também ao acaso, uma touceira de cana, que foi analisada no laboratório da destilaria onde foram determinados os parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar, de acordo com Caldas (1998): sólidos solúveis (Brix em %), sacarose (Pol do caldo em %), fibra industrial na cana (%), pureza do caldo (%), e percentagem bruta de açúcar (PCC).

Os rendimentos brutos de açúcar e de álcool foram calculados de acordo com a metodologia apresentada por Caldas (1998) e utilizada na destilaria Miriri:

Rendimento bruto de açúcar

$$RA\grave{c} = (PCC * PC)/100$$

eq. 3.02

Sendo: RAç o rendimento em açúcar em kg ha^{-1} ; PCC a quantidade de açúcar bruto em % contido nos colmos e determinada em laboratório; e PC a produção de colmos em kg ha^{-1} .

Rendimento bruto de álcool

$$RA = ART * Fg \quad \text{eq. 3.03}$$

Sendo: RA rendimento de álcool bruto em litro por tonelada de cana; ART são os açúcares redutores totais em kg/t de colmos e Fg é o fator de Gay Lussac igual a 0,6475.

$$ART = AR + ARL \quad \text{eq. 3.04}$$

Em que: ART são os açúcares redutores totais em %; AR são açúcares redutores em % (igual a $PCC * F$); F é o fator de transformação estequiométrica de sacarose em uma molécula de glicose mais uma de frutose, igual a 1,052 e ARL são os açúcares redutores livres em %, cujos valores variam de 0,7 a 0,85 %, sendo que a destilaria utiliza 0,7 para PCC alto.

Os resultados das medições nos 12 colmos por parcela, comprimento, diâmetro e peso dos colmos, número de internódios por colmo e incidência de *Diatraea saccharalis* em %; o número de colmos por ha e a produção de colmos em kg ha^{-1} ; o rendimento bruto de açúcar em kg ha^{-1} e o rendimento bruto de álcool em L ha^{-1} , foram analisados estatisticamente, de acordo com Gomes (1970) e Silva (1996). Os parâmetros expressos em “número” e em “percentagem” foram transformados para raiz quadrada do número e para arc sen da raiz quadrada da percentagem, respectivamente, de acordo com Snedecor & Cochran (1974). Os parâmetros tecnológicos, sólidos solúveis (Brix em %), sacarose (Pol do caldo em %), fibra industrial na cana (%), pureza do caldo (%) e percentagem bruta de açúcar (PCC) não foram analisados estatisticamente e, sim, os rendimentos brutos de açúcar e de álcool que foram calculados a partir desses parâmetros e da produção de colmos por hectare.

3.5 -- Função de Produção

As funções de produção utilizadas foram as apresentadas e adotadas por Frizzone (1986, 1993 e 1998) sendo:

3.5.1- Função de produção tendo um único fator como variável, cujo modelo é um polinômio do segundo grau, equação 3.05.

$$Z = A_0 + A_1X + A_2X^2 \quad \text{eq. 3.05}$$

Em que Z é a produção da cana em kg de colmos ha^{-1} ; X o fator variável em mm quando se tratar do fator água, e em kg ha^{-1} quando o fator for adubação; A_0 , A_1 e A_2 são parâmetros da equação determinados através do software EXCEL.

O nível ótimo econômico foi determinado em função da lâmina de irrigação e do nível de adubação de cobertura, que proporcionaram as máximas receitas líquidas, quando o fator foi água e quando foi adubação de cobertura, respectivamente.

a) A receita líquida foi expressa pela equação 3.06.

$$RL(F) = P_z \cdot Z - P_f \cdot F - C_0 \quad \text{eq. 3.06}$$

Então $RL(F)$ é a receita líquida em R\$ do produto (rendimento bruto de álcool) obtida em função do fator variável estudado (água ou adubação); P_z é o preço do produto (álcool bruto) em $\text{R\$ L}^{-1}$; Z é o rendimento bruto de álcool em L ha^{-1} ; P_f é o preço do fator em $\text{R\$ (mm ha)}^{-1}$ quando se tratar de água, e em $\text{R\$ kg}^{-1}$ quando o fator for adubação; F é o fator variável em (mm ha) quando o fator é água, e em kg ha^{-1} quando o fator é adubação e C_0 é o custo dos fatores fixos.

O preço do produto P_z considerado em R\$ por litro de álcool bruto, foi calculado pela equação 3.07 e representa o valor com que a Destilaria Miriri remunera o setor agrícola encarregado pela produção de campo. A composição de preço é formada pelo preço de mercado do álcool em $\text{R\$ L}^{-1}$ pago à destilaria, pelas perdas industriais (extração, torta, água de lavagem e perdas indeterminadas) e um fator de preço pago ao fornecedor.

$$P_z = P_m \cdot [1 - (P_i/100)] \cdot F_p \quad \text{eq. 3.07}$$

Sendo P_m o preço de mercado do álcool em $\text{R\$ L}^{-1}$, pago à destilaria; P_i são as perdas industriais em %, que na Destilaria Miriri totalizam 13,69 % (extração 10,55 %, torta 1,3 %, água de lavagem 0 % e perdas indeterminadas 1,84 %); F_p é o fator de preço pago ao fornecedor. Para valores de outubro de 2001 $P_m=0,60 \text{ R\$ L}^{-1}$ de álcool e $F_p=0,6$,

tem-se, pela equação 3.07, $P_z=0,3107 \text{ R\$ L}^{-1}$ de álcool bruto.

O preço do fator água (P_w) expresso em $\text{R\$ (mm ha)}^{-1}$ equivalendo ao preço em $\text{R\$ de } 10 \text{ m}^3$, foi composto pelos custos de: depreciação do sistema de irrigação aspersão tipo pivô central rebocável, das tubulações e estruturas de condução e distribuição da água até as bases dos pivôs; energia para bombeamento da fonte de água aos canais e tubulações de distribuição e para o funcionamento dos pivôs; manutenção e operação das tubulações, estruturas de condução e distribuição da água; manutenção e operação do sistema de irrigação; e o custo da água em $\text{R\$ (mm ha)}^{-1}$ (equivalendo ao preço em $\text{R\$ de } 10 \text{ m}^3$). No Quadro 3.1 são apresentados os cálculos dos custos do fator água.

Quadro 3.1: Custo da água utilizada na irrigação em $\text{R\$ (mm ha)}^{-1}$ com base na quantidade utilizada no nível W_3 do experimento de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m

Item	Discriminação	Unidade	Valor
1.	Custo total da água bombeada	$\text{R\$} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$	742,52
1.1	Depreciação (valor dos equipamentos $\text{R\$ } 414.523,00$; juros de 6 % ao ano e área total irrigada de 550 ha)	$\text{R\$} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$	77,27
	-Sistema de adução (valor $\text{R\$ } 85.766$ e vida útil de 15 anos)	$\text{R\$} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$	16,06
	-Sistema de distribuição da água às bases do pivô (valor 138.745 e vida útil de 15 anos)	$\text{R\$} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$	25,99
	-Sistema de irrigação tipo pivô central rebocável (área 50 ha, valor $\text{R\$ } 91.956$ e vida útil de 15 anos)	$\text{R\$} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$	34,43
	-Rede de alta tensão com 12 km (valor $\text{R\$ } 6.000$ e vida útil de 30 anos)	$\text{R\$} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$	0,79
1.2	Manutenção do sistema de irrigação (20% ao ano do valor do equipamento)	$\text{R\$} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$	150,74
	-Sistema de adução	$\text{R\$} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$	31,19
	-Sistema de distribuição da água às bases do pivô	$\text{R\$} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$	50,49
	-Sistema de irrigação tipo pivô central rebocável	$\text{R\$} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$	66,88
	-Rede de alta tensão com 12 km	$\text{R\$} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$	2,18
1.3	Operação do sistema de irrigação (base de cálculo feito com dois pivôs funcionando simultaneamente)	$\text{R\$} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$	514,52
	-Energia gasta no bombeamento (valor de $\text{R\$ } 0,12 \text{ kWh}^{-1}$ e custo anual de $\text{R\$ } 46.348$ por 100 ha)	$\text{R\$} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$	463,47
	-Funcionamento dos pivôs (custo anual de $\text{R\$ } 5.104$ por 100 ha)	$\text{R\$} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$	51,04
2.	Quantidade de água aplicada no tratamento W_3	mm ano^{-1}	454,00
3.	Valor da água ($\text{R\\$ } 742,52$ por 454 mm ano^{-1})*	$\text{R\$ (mm ha)}^{-1}$	1,6355

* Preço com base em outubro de 2001

O preço do fator adubação de cobertura (nitrogênio mais potássio, P_N), expresso em R\$ kg^{-1} , foi composto pelos custos de aquisição dos fertilizantes (uréia e cloreto de potássio) no mercado e custos de aplicação. No Quadro 3.2 são apresentados os cálculos dos custos do fator adubação de cobertura (nitrogênio e potássio).

Os custos dos fatores fixos (C_0) em R\$ ha^{-1} , compreenderam todos os custos de produção, excetuando-se os custos relacionados diretamente com os fatores estudados (água ou adubação) e os custos variáveis de corte e transporte da cana. No Quadro 3.3 tem-se os cálculos dos custos dos fatores fixos e, nos Quadros 3.4 e 3.5, os cálculos dos custos de corte e transporte da cana expressos em R\$. t^{-1} de colmos e em R\$ L^{-1} de álcool bruto, respectivamente.

Quadro 3.2: Custo da adubação de cobertura (nitrogênio mais potássio) em R\$ kg^{-1} com base na quantidade utilizada no nível N_3 do experimento de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m

Discriminação	Unidade	Datas das adubações de cobertura			
		01/12/00	25/01/01	08/03/01	19/04/01
1. Elementos	kg ha^{-1}	86	167	306	453
- Nitrogênio	kg ha^{-1}	44	86	157	236
- Potássio	kg ha^{-1}	42	81	149	217
2. Número de aplicações	unidade	1	2	3	4
3. Adubos	kg ha^{-1}	168	326	597	886
- Uréia (45 % de N)	kg ha^{-1}	98	191	349	524
- Cloreto de potássio (60 % K_2O)	kg ha^{-1}	70	135	248	362
4. Custo da adubação*	R\$ ha^{-1}	100,88	196,84	350,78	513,40
- Uréia (preço* R\$ 0,488 kg^{-1})	R\$ ha^{-1}	47,72	93,26	170,26	255,93
- Cloreto de potássio (R\$ preço* 0,549 kg^{-1})	R\$ ha^{-1}	38,43	74,12	136,34	198,56
- Custo das aplicações (R\$ 14,73 kg^{-1})	R\$ ha^{-1}	14,73	29,46	44,19	58,92
5. Custo da adubação de cobertura, em R\$ kg^{-1} (feita com base no nível N_3 , igual a R\$ 517,98 ha^{-1} dividido pela quantidade de adubação (nitrogênio mais potássio) aplicado 458 $kg ha^{-1}$)					1,131

* Preço com base em outubro de 2001

Quadro 3.3: Custos fixos em R\$ ha⁻¹ de implantação (primeiro ano) de cultivo de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m

Discriminação	Unidade	Quantidade	Custo, R\$	
			Unitário	Total
1. Operações mecanizadas				265,87
-Calagem (trator 4 x 2 de 85 CV)	h/trator/ha	0,86	17,00	14,62
-1a. Gradagem (trator 4 x 2 de 120 a 150 CV)	h/trator/ha	1,25	26,00	32,50
-2a. Gradagem (trator 4 x 2 de 120 a 150 CV)	h/trator/ha	1,00	26,00	26,00
-Sulcamento (trator 4 x 2 de 120 a 150 CV)	h/trator/ha	1,66	26,00	43,16
-Sulcamento banquetta - trilha do caminhão = 25% do item 1.4 (trator 4 x 2 de 120 a 150 CV)	%	25,00	43,16	10,79
-Cobertura - semente e cupinicida (trator 4 x 2 de 85 CV)	h/trator/ha	1,00	17,00	17,00
-Aplicação de herbicida - preemergência (trator 4 x 2 de 85 CV)	h/trator/ha	1,00	17,00	17,00
-Enchimento e carregamento de sementes	t ha ⁻¹	12,00	1,80	21,60
-Transporte semente	t ha ⁻¹	12,00	6,50	78,00
-Trator reboque	ha	1,00	5,20	5,20
2. Mão-de-obra				141,56
-Adubação de fundação	HD*/ha	1,00	14,34	14,34
-Corte semente	t	12,00	4,56	54,72
-Semeio	ha	1,00	36,99	36,99
-Rebolação	ha	1,00	12,52	12,52
-Semeio banquetas	%	25,00	36,99	9,25
-Arremates	ha	1,00	4,00	4,00
-Retoque de coberta	ha	1,00	3,00	3,00
-Administração	%	5,00	134,82	6,74
3. Insumos				879,72
-Sementes	t	12,00	32,00	384,00
-Herbicida	L	5,00	10,00	50,00
-Cupinicida	kg	0,25	480,00	120,00
-Calcário (incluindo o transporte)	t	2,00	45,00	90,00
-Gesso	t	0,50	76,00	38,00
-Adubação - fórmula 00-20-00	t	0,50	395,44	197,72
CUSTO TOTAL DE IMPLANTAÇÃO				1.287,15
4. Custos de implantação, em R\$ ha⁻¹ ano⁻¹ (juros de 6 % e ciclo da cultura de 5 anos)				305,56
5. Custeio, em R\$ ha⁻¹ ano⁻¹ (Quadro 3.4)				54,73
CUSTO TOTAL				360,29

* HD=homens dia⁻¹

Quadro 3.4: Custo de manutenção da cultura, colheita e transporte dos colmos de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m

Discriminação	Unidade	Quantidade	Custo, R\$	
			Unitário	Total
1. Serviços				
1.1 - Aplicação de herbicida	HD* ha ⁻¹	1,00	14,73	14,73
1.2 - Colheita e transporte	t	-	-	7,55
- Corte	t	1	3,20	3,20
- Transporte	t	-	-	4,35
Lambaio	t	1	0,43	0,43
Enchimento	t	1	1,14	1,14
Reboque	t	1	1,14	1,14
Transporte, para distância de até 10 km	t	1	1,64	1,64
2. Insumos				
- Herbicida	ha	1,00	40,00	40,00

* HD=homens dia⁻¹

Quadro 3.5: Custos de colheita e transporte expressos em R\$ por litro de álcool bruto de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m

Discriminação	Unidade*	Quantidade	Custo, R\$	
			Unitário**	Total
1 - Corte	LBA	L	0,02891	0,02891
2 - Transporte	LBA	L	0,03930	0,03930
TOTAL	LBA	L	~	0,06821

* LBA = Litro de álcool bruto

** Fator de transformação de cálculo de custos de corte e transporte com base em kg de colmo, para litros de álcool bruto (kg de colmos/9,035=litros de álcool bruto)

b) Nível F_m do fator variável que proporciona a máxima produção, equação 3.08; cálculo da produção máxima $Z(F_m)$, equação 3.09, e cálculo da receita líquida $RL(F_m)$ em R\$ ha^{-1} proporcionada pelo nível F_m do fator, equação 3.10.

$$F_m = -A_1/(2.A_2) \quad \text{eq. 3.08}$$

$$Z(F_m) = A_0 - (A_1^2/(2.A_2)) \quad \text{eq. 3.09}$$

$$RL(F_m) = P_z.Z(F_m) - C_f(F_m) - C_0 \quad \text{eq. 3.10}$$

Em que F_m é o nível do fator (em mm quando o fator é água, e $kg\ ha^{-1}$ quando o fator é adubação) que proporciona a produção máxima; $Z(F_m)$ é a produção máxima em $kg\ ha^{-1}$; A_0 , A_1 e A_2 são parâmetros da equação 3.05; $RL(F_m)$ é a receita líquida em R\$ ha^{-1} proporcionada pela produção máxima; $C_f(F_m)$ custo do fator no nível F_m em R\$ ha^{-1} ($C_f.F_m$); C_0 são os custos dos fatores fixos de produção em R\$ ha^{-1} , excetuando-se os custos relacionados diretamente com o fator em estudo (água ou adubação).

c) Nível F^* do fator que proporciona a receita líquida máxima, equação 3.11 e o cálculo da receita líquida máxima $RL(F^*)$ equação 3.12.

$$F^* = (C_f - P_z.A_1) / (2.P_z.A_2) \quad \text{eq. 3.11}$$

$$RL(F^*) = P_z.Z(F^*) - C_f(F^*) - C_0 \quad \text{eq. 3.12}$$

Sendo F^* o nível do fator (em mm quando o fator é água, e $kg\ ha^{-1}$ quando o fator é adubação) que proporciona a máxima receita em R\$ ha^{-1} ; C_f é o custo do fator em R\$ ($mm\ ha$) $^{-1}$; P_z preço do produto em R\$ kg^{-1} ; A_1 e A_2 são parâmetros da equação 3.05; $RL(F^*)$ receita líquida máxima em R\$ ha^{-1} ; $Z(F^*)$ a produção em $kg\ ha^{-1}$ que proporciona a máxima receita, calculada através da equação 3.05 para $X=F^*$; $C_f(F^*)$ custo do fator no nível F^* em R\$ ha^{-1} ($C_f.F^*$); C_0 são os custos dos fatores fixos de produção em R\$ ha^{-1} , excetuando-se os custos relacionados diretamente com o fator em estudo (água ou adubação).

d) Nível F_e do fator que proporciona a receita equivalente à proporcionada pela produção máxima, equação 3.13 e o cálculo da receita máxima $RL(F_e)$ equação 3.14.

$$F_e = [-b + (b^2 - 4.a.c)^{1/2}] / (2.a) \quad \text{eq. 3.13}$$

$$RL(F_e) = P_z.Z(F_e) - C_f(F_e) - C_0 \quad \text{eq. 3.14}$$

$$a = P_z.A_2 \quad \text{eq. 3.15}$$

$$b = P_z.A_1 - C_f \quad \text{eq. 3.16}$$

$$c = [(P_z.A_1^2) / (4.A_2)] - [(C_f.A_1) / (2.A_2)] \quad \text{eq. 3.17}$$

Em que F_e é o nível do fator (em mm quando o fator é água, e kg ha^{-1} quando o fator é adubação) que proporciona a receita equivalente à receita da produção máxima em $\text{R\$ ha}^{-1}$; $RL(F_e)$ é a receita líquida máxima em $\text{R\$ ha}^{-1}$; P_z é preço do produto em $\text{R\$ kg}^{-1}$; $Z(F_e)$ é a produção equivalente em kg ha^{-1} , calculada através da equação 3.05 para $X=F_e$; $C_f(F_e)$ custo do fator no nível F_e em $\text{R\$ ha}^{-1}$ ($C_f.F_e$); C_f é o custo do fator em $\text{R\$ (mm ha)}^{-1}$; A_0 , A_1 e A_2 são parâmetros da equação 3.05; C_0 é o custo dos fatores fixos de produção em $\text{R\$ ha}^{-1}$, excetuando-se os custos relacionados diretamente com o fator em estudo (água ou adubação).

3.5.2 - Função de produção tendo dois fatores como variáveis, cujo modelo usado é um polinômio do segundo grau com duas variáveis independentes, adubação de cobertura (N) e lâmina total de água (W) segundo Frizzone (1986 e 1993) equação 3.18.

$$Z(N,W) = A_{00} + A_{01}.W + A_{02}.(W^2) + A_{10}.N + A_{20}.(N^2) + A_{11}.(N.W) \quad \text{eq. 3.18}$$

Sendo: $Z(N,W)$ a produção de álcool bruto em litros ha^{-1} ; N a quantidade de adubação de cobertura em kg ha^{-1} ; W a quantidade de água em mm; A_{00} , A_{01} , A_{02} , A_{10} , A_{11} e A_{20} coeficientes da equação.

As funções de produção foram determinadas com base nas produções médias do experimento de campo; os coeficientes da equação 3.18 e as curvas de isoproducto (isoquantas) foram determinados através do software SURFER.

Os valores das variáveis independentes N_m e W_m , que maximizam a produção, equações 3.19 e 3.20; valores das variáveis independentes N^* e W^* , que maximizam a receita líquida, equações 3.21 e 3.23.

$$N_m = [(-2.A_{02}.A_{10}) - (A_{01}.A_{11})] / [(A_{11})^2 - (4.A_{02}.A_{20})] \quad \text{eq. 3.19}$$

$$W_m = [(-2.A_{20}.N) - (A_{10})] / (A_{11}) \quad \text{eq. 3.20}$$

$$N^* = - [(A_{11}/k).(C_w/P_z)] + [(2.A_{02}/k).(C_n/P_z) + [(-2.A_{02}.A_{10}/k) + \quad \text{eq. 3.21}$$

$$+ (A_{11} \cdot A_{01}/k)]$$

$$K = (4 \cdot A_{20} \cdot A_{02}) - (A_{11})^2 \quad \text{eq. 3.22}$$

$$W^* = [1/(2 \cdot A_{02}) \cdot (C_w/P_2)] - \{[A_{11}/(2 \cdot A_{02})] \cdot N^*\} - [(A_{01}/(2 \cdot A_{02})] \quad \text{eq. 3.23}$$

Os valores das variáveis independentes que definem a região factível, foram determinados derivando-se a equação 3.18 pelo fator adubação de cobertura, para se obter o valor de $N(W=0)$ equação 3.24, e pelo fator água para se obter o valor de $W(N=0)$ equação 3.25.

$$dZ/dN = A_{10} + 2 \cdot A_{20} \cdot N + A_{11} \cdot W \quad \text{eq. 3.24}$$

$$dZ/dW = A_{01} + 2 \cdot A_{02} \cdot W + A_{11} \cdot N \quad \text{eq. 3.25}$$

Fazendo-se as equações 3.24 e 3.25 iguais a zero e se colocando respectivamente N e W em evidência e assumindo $W=0$ e $N=0$, obter-se-ão os valores de $N(W=0)$ e $W(N=0)$ equações 3.26 e 3.27, respectivamente.

$$N(W=0) = (-A_{10}) / (2 \cdot A_{20}) \quad \text{eq. 3.26}$$

$$W(N=0) = (-A_{01}) / (2 \cdot A_{02}) \quad \text{eq. 3.27}$$

Sendo N_m e W_m os níveis dos fatores adubação de cobertura em kg ha^{-1} e água em mm , que proporcionam a máxima produção; N^* e W^* os níveis dos fatores adubação de cobertura em kg ha^{-1} e água em mm , que proporcionam a máxima receita líquida; C_n e C_w são os custos dos fatores adubação de cobertura e água em $\text{R\$ kg}^{-1}$, respectivamente; P_2 é o preço do produto em $\text{R\$ kg}^{-1}$; $N(W=0)$ é o nível de adubação de cobertura em kg ha^{-1} para o nível de água igual a zero; $W(N=0)$ é o nível de água em mm para o nível de adubação de cobertura igual a zero; A_{00} , A_{01} , A_{02} , A_{10} , A_{11} e A_{20} são coeficientes da equação 3.18.

a) Produto físico marginal

O produto físico marginal que representa o rendimento bruto de álcool obtido por unidade do fator empregado, foi calculado da seguinte maneira:

$$\text{PFM}_w = \partial Z / \partial W \quad \text{eq. 3.28}$$

$$\text{PFM}_N = \partial Z / \partial N \quad \text{eq. 3.29}$$

Em que: PFM_w é o produto físico marginal da água em litro de álcool bruto por mm de água aplicado; PFM_N é o produto físico marginal da adubação de

cobertura em litro de álcool bruto por kg de adubo; Z é o rendimento de álcool bruto em $L\ ha^{-1}$ (equação 3.18); W e N são, respectivamente, os níveis de água em mm e de adubação de cobertura em $kg\ ha^{-1}$.

Substituindo-se Z pela equação 3.18 e se resolvendo as equações 3.28 e 2.29, tem-se as equações 3.30 e 3.31, respectivamente.

$$PFM_w = A_{01} + 2.A_{02}.W + A_{11}.N \quad \text{eq. 3.30}$$

$$PFM_N = A_{10} + 2.A_{20}.N + A_{11}.W \quad \text{eq. 3.31}$$

b) Taxa marginal de substituição

As proporções marginais de substituição de um fator pelo outro, foram calculadas pelas equações 3.32 e 3.33.

$$TMS_{w/N} = dW/dN = (-\partial Z/\partial N) / (\partial Z/\partial W) \quad \text{eq. 3.32}$$

$$TMS_{N/w} = dN/dW = (-\partial Z/\partial W) / (\partial Z/\partial N) \quad \text{eq. 3.33}$$

Sendo que: $TMS_{w/N}$ é a taxa marginal de substituição do fator água pelo fator adubação de cobertura; $TMS_{N/w}$ é a taxa marginal de substituição do fator adubação de cobertura pelo fator água; $\partial Z/\partial W$ e $\partial Z/\partial N$ são, respectivamente, os produtos físicos marginais da água (PFM_w) e da adubação de cobertura (PFM_N) equações 3.30 e 3.31.

c) Região de produção racional

Os estágios de produção racional compreendem os pontos dentro da região definida pelos eixos X e Y das coordenadas e as isócrinas $Z(N,0)$; $Z(N_m, W_m)$ e $Z(0, W)$; $Z(N_m, W_m)$.

As coordenadas do ponto de rendimento máximo $Z(N_m, W_m)$ são determinadas pelas equações 3.19 e 3.20. As coordenadas dos pontos $Z(N, W=0)$ e $Z(N=0, W)$ foram determinadas pelas equações 3.26 e 3.27, respectivamente.

d) Combinação de custo mínimo

As combinações dos fatores água (W) e adubação de cobertura (N) que determinam os custos mínimos, foram determinadas para cada curva de isoproducto (isoquanta) pela taxa marginal de substituição de água por adubação de cobertura ($TMS_{W,N}$) igual à relação $(-P_N/P_W)$, preço da adubação de cobertura dividido pelo preço da água.

CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Lâminas de Irrigação e Níveis de Adubação

O balanço hídrico do experimento demonstra que as quantidades de água aplicadas através da irrigação nos níveis W_0 , W_1 , W_2 e W_3 foram, respectivamente, 0, 152, 296 e 436 mm; e as quantidades totais de água (irrigação mais precipitação efetiva) aplicadas, foram 609, 761, 905 e 1.043 mm, Quadro A3 do anexo. A quantidade de água aplicada no nível W_3 foi inferior aos 985 mm previstos para o período por DSF (1999). Verifica-se também que as quantidades totais (irrigação mais precipitação efetiva) recebidas por nível do fator água, foram inferiores aos valores programados 609, 979, 1.249 e 1.456 mm, Quadro A3 do anexo; o total aplicado no nível W_3 (irrigação mais precipitação efetiva), a maior quantidade aplicada 1.043 mm é, também, muito inferior aos valores para períodos de 365 dias que varia de 1.500 a 2.000 mm, segundo Doorenbos & Kassan (1979). A Figura 4.1 mostra as quantidades de água recebidas pela cultura em intervalos de 24 dias (turno de rega de 12 dias) ao longo do ciclo fenológico, constatando-se que nos períodos críticos da cultura 108 (fase inicial de crescimento), 192 e 288 dias após o plantio (máximo desenvolvimento), foram bem inferiores às dos dias anteriores e posteriores a esses pontos. A não aplicação da quantidade de água programada deveu-se à quebra, manutenção do pivô e à falta de energia. O custo da água foi calculado em R\$ 1,6355 (mm ha)⁻¹, ver Quadro 3.1.

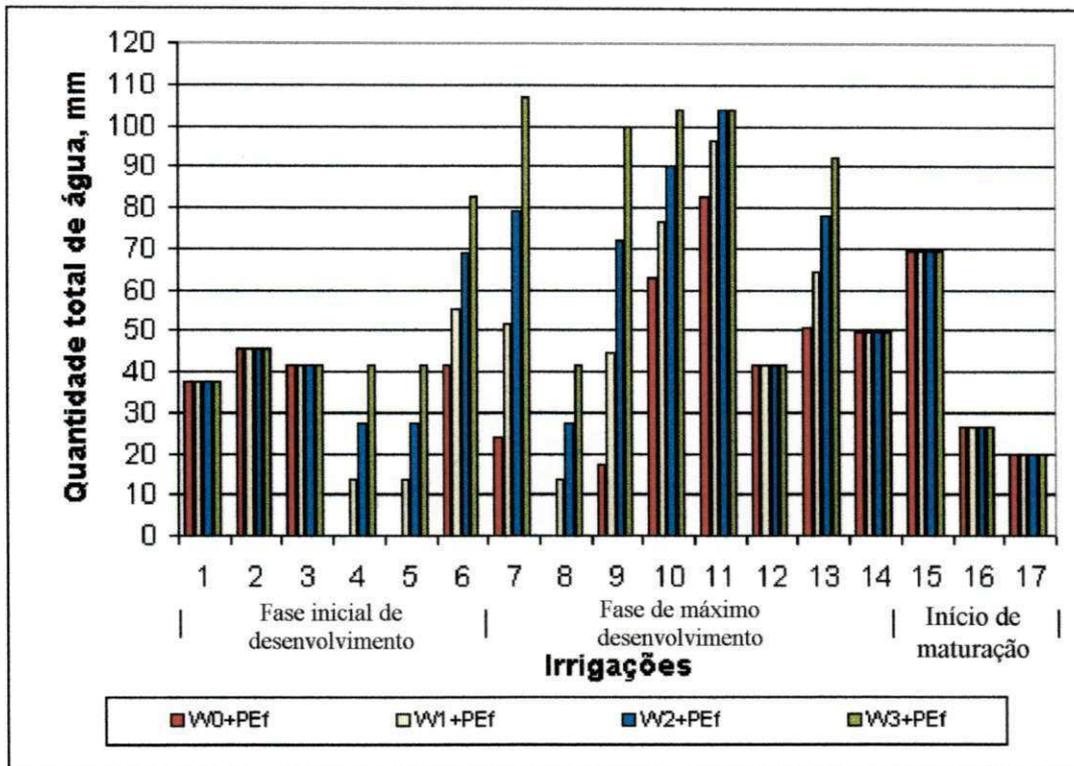


Figura 4.1: Quantidade total de água (irrigação + precipitação efetiva) recebida em intervalos de 24 dias, ao longo do ciclo pela cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) Fazenda Capim, Destilaria Miriri, Capim, PB

A quantidade de nutriente aplicada na fundação foi 90 kg de P_2O_5 ha^{-1} e as quantidades aplicadas nas adubações de cobertura foram nos níveis $N_0=85$ kg ha^{-1} (44 de N mais 41 K_2O), $N_1=167$ kg ha^{-1} (86 de N mais 81 K_2O), $N_2=305$ kg ha^{-1} (157 de N mais 148 K_2O) e $N_3=458$ kg ha^{-1} (236 de N mais 222 K_2O). Comparando-se com as respectivas quantidades de 91 kg de N, 13 kg de P_2O_5 e 71 kg de K_2O por 100 t de colmos, segundo Haag et al. (1987); e de 100 a 200 kg de N ha^{-1} ; 20 a 90 kg de P_2O_5 ha^{-1} e 125 a 160 kg K_2O ha^{-1} para produções de 100 a 150 t ha^{-1} de colmos, conforme Doorenbos & Kassan (1979) verifica-se que as quantidades de adubo aplicadas nos níveis de adubação de cobertura foram acima dos máximos preconizados.

O custo do fator adubação de cobertura foi de R\$ 1,1310 kg^{-1} , calculado na forma apresentada no Quadro 3.2.

4.2 – Parâmetros Organográficos

O número de colmos por ha determinado por parcela, é apresentado no Quadro A₄ do anexo, e a análise de variância e comparação entre as médias dos fatores água e adubação de cobertura, são mostradas nos Quadros 4.1a a 4.1b. O experimento apresentou um coeficiente de variação igual a 6,97%, classificado como baixo, por Gomes (1970) indicando que o delineamento estatístico utilizado exerceu bom controle sobre as variações do meio. O fator F foi significativo para água e adubação de cobertura a nível de 1% de probabilidade e não significativo para interação água x adubação de cobertura. A comparação das médias para o fator água, mostra que o nível 905 mm foi superior significativamente aos níveis 609 e 761 mm e não difere significativamente do nível 1.043 mm, pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade. A comparação das médias para o fator adubação de cobertura, mostra que o nível 458 kg ha⁻¹ foi superior significativamente aos níveis 85 e 167 kg ha⁻¹ e não diferente significativamente do nível 305 kg ha⁻¹, a nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. O número médio de colmos ha⁻¹ obtido no experimento foi de 81.835, o menor de 68.426 (609 mm e 85 kg ha⁻¹) e o máximo obtido 92.130 (905 mm e 458 kg de N ha⁻¹). O máximo valor obtido é superior aos 90.000 colmos ha⁻¹ que, segundo Taupier e Rodrigues (1999) são necessários para se atingir produtividades máximas.

O peso médio do colmo em kg determinado nas 12 canas colhidas ao acaso por parcela, é apresentado no Quadro A₅ do anexo e a análise de variância e comparação entre as médias dos níveis, são mostradas nos Quadros 4.2a e 4.2b. O experimento apresentou um coeficiente de variação igual a 16,28%, classificado como médio, por Gomes (1970). O fator F foi significativo para água, a nível de 1% de probabilidade e não significativo para adubação de cobertura nem para a interação água x adubação de cobertura. A comparação das médias para o fator água, mostra que o nível 1.043 mm foi superior significativamente aos níveis 609 e 905 mm e não difere significativamente do nível 761 mm, a nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. O peso médio por colmo obtido no experimento foi de 0,917 kg, o menor foi de 0,66 kg (609 mm e 167 kg ha⁻¹) e o máximo de 1,13 kg (1.043 mm e 305 kg N ha⁻¹).

Quadro 4.1a: Análise de variância, teste F e coeficiente de variação de número de colmos¹ de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F
Fator 1 – Água	3	4,678	1,1559	13,285**
Fator 2 – Adubação de cobertura	3	2,053	0,684	7,148**
Interação Água x Adubação de cobertura	9	0,437	0,049	0,507 ^{ns}
Resíduo	32	3,064	0,096	
Total	47	10,233		

¹ Valores transformados em $(X/1000)^{0,5}$, sendo X o número de colmos por ha; **Significativo a nível de 1% de probabilidade; *Significativo a nível de 5% de probabilidade; ^{ns} Não significativo

Média geral = 81.835 colmos ha⁻¹

Coeficiente de variação = 6,97%

Quadro 4.1b: Análise das médias de colmos¹ pelo teste de Tukey para o fator água e fator adubação de cobertura, de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m

Médias do fator água ¹		Médias do fator adubação de cobertura ¹	
Irrig+PEf mm	Número de colmos*	kg ha ⁻¹	Número de colmos*
609	(73.565) 8,573 c	85	(76.826) 8,756 c
761	(81.250) 9,009 b	167	(80.254) 8,953 bc
905	(89.351) 9,447 a	305	(83.195) 9,109 ab
1.043	(83.171) 9,109 ab	458	(87.060) 9,320 a
Diferença mínima significativa = 6.304		Diferença mínima significativa = 6.304	

¹ Valores transformados em $(X/1000)^{0,5}$, sendo X o número de colmos por ha; * Letras diferentes entre médias corresponde à significância a nível de 5%

Os **diâmetros médios** do colmo em mm determinados nas 12 canas colhidas ao acaso por parcela, são apresentados no Quadro A₆ do anexo, e a análise de variância e comparação entre as médias dos níveis são mostradas no Quadro 4.3. O experimento apresentou um coeficiente de variação igual a 4,50%, classificado por Gomes (1970) como baixo. O fator F foi não significativo para água, adubação de cobertura e para a interação água x adubação de cobertura, isto é, as variações nos diâmetros dos colmos foram devidas ao acaso. O diâmetro médio por colmo obtido no experimento foi de 23,45 mm, o menor

foi de 22,50 mm (609 mm e 167 kg de N ha⁻¹) e o maior de 24,50 mm (1.043 mm e 305 kg de N ha⁻¹).

Quadro 4.2a: Análise de variância, teste F e coeficiente de variação do peso (kg) por colmo de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F
Fator 1 – Água	3	1,050	0,250	15,70**
Fator 2 – Adubação de cobertura	3	0,055	0,018	0,822 ^{ns}
Interação Água x Adubação de cobertura	9	0,242	0,027	1,21 ^{ns}
Resíduo	32	0,714	0,022	
Total	47	2,061		

**Significativo a nível de 1% de probabilidade; *Significativo a nível de 5% de probabilidade; ^{ns} Não significativo

Média geral = 0,917 kg

Coeficiente de variação = 16,28%

Quadro 4.2b: Análise média do peso (kg) por colmos pelo teste de Tukey para o fator água, de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m

Médias do fator Água	
Irrig+PEf, mm	Peso por colmo (kg)*
609	0,685 c
761	0,973 ab
905	0,918 b
1.043	1,092 a
Diferença mínima significativa = 0,165	

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

Quadro 4.3: Análise de variância, teste F e coeficiente de variação dos diâmetros dos colmos de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F
Fator 1 – Água	3	1,457	0,486	0,45 ^{ns}
Fator 2 – Adubação de cobertura	3	7,335	2,445	2,20 ^{ns}
Interação Água x Adubação de cobertura	9	6,754	0,750	0,67 ^{ns}
Resíduo	32	35,630	1,113	
Total	47	51,176		

**Significativo a nível de 1% de probabilidade; *Significativo a nível de 5% de probabilidade; ^{ns} Não significativo

Média geral = 23,45 mm

Coeficiente de variação = 4,50%

O comprimento médio do colmo em m determinado nas 12 canas colhidas ao acaso por parcela, é apresentado no Quadro A₇ do anexo, e a análise de variância e comparação entre as médias dos níveis são indicadas nos Quadros 4.4a a 4.4b. O experimento apresentou coeficiente de variação igual a 6,34%, classificado como baixo, por Gomes (1970). O fator F foi significativo para água, a nível de 1% de probabilidade e não significativo para adubação de cobertura e para a interação água x adubação de cobertura. A comparação das médias para o fator água, mostra que os níveis 905 e 1.043 mm não diferiram entre si e que foram superiores significativamente aos níveis 609 e 761 mm, e ainda que o nível 761 mm foi superior aos 609 mm significativamente a nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. O comprimento médio por colmo obtido no experimento foi de 2,19 m, o menor foi de 1,57 m (609 mm e 167 kg ha⁻¹) e o máximo de 2,60 m (1.043 mm e 458 kg ha⁻¹).

O número de internódios médio por colmo determinado nas 12 canas colhidas ao acaso por parcela, é apresentado no Quadro A₈ do anexo, e a análise de variância e comparação entre as médias dos níveis são mostradas nos Quadros 4.5a e 4.5b. O experimento apresentou coeficiente de variação igual a 4,57% classificado por Gomes (1970) como baixo. O fator F foi significativo para água a nível de 1% de probabilidade e não significativo para adubação de cobertura e para a interação água x adubação de cobertura. A comparação das médias para o fator água, aponta que o número de internódios nos níveis 905 e 1.043 mm não diferiu e que foi superior significativamente

ao dos níveis 609 e 761 mm, e que, no nível 761 mm, foi superior ao de 609 mm significativamente, a nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. O número médio de internódios por colmo obtido no experimento foi de 23,2; o menor foi de 20,8 (609 mm e 167 kg de N ha⁻¹) e o maior de 25,9 (1.043 mm e 167 kg ha⁻¹).

Quadro 4.4a: Análise de variância, teste F e coeficiente de variação do comprimento (m) por colmo de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F
Fator 1 – Água	3	6,741	2,247	116,79**
Fator 2 – Adubação de cobertura	3	0,041	0,014	0,706 ^{ns}
Interação Água x Adubação de cobertura	9	0,062	0,007	0,360 ^{ns}
Resíduo	32	0,616	0,019	
Total	47	7,460		

**Significativo a nível de 1% de probabilidade; *Significativo a nível de 5% de probabilidade; ^{ns} Não significativo

Média geral = 2,19 kg

Coeficiente de variação = 6,34%

Quadro 4.4b: Análise das médias dos comprimentos (m) por colmos pelo teste de Tukey para o fator água, de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m

Médias do fator água	
Irrig+PEf mm	Comprimento do colmo (m)*
609	1,591 c
761	2,150 b
905	2,477 a
1.043	2,535 a
Diferença mínima significativa = 0,153	

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

Quadro 4.5a: Análise de variância, teste F e coeficiente de variação do número de internódios¹ por colmo de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F
Fator 1 – Água	3	1,610	0,537	43,634**
Fator 2 – Adubação de cobertura	3	0,254	0,009	0,687 ^{ns}
Interação Água x Adubação de cobertura	9	0,110	0,012	0,997 ^{ns}
Resíduo	32	0,394	0,012	
Total	47	2,139		

¹ Valores transformados em $(X)^{0,5}$, sendo X o número de colmos por ha; **Significativo a nível de 1% de probabilidade; *Significativo a nível de 5% de probabilidade; ^{ns} Não significativo

Média geral = 23,2 número de internódios por colmo

Coefficiente de variação = 4,57%

Quadro 4.5b: Análise das médias do número de internódios¹ por colmo pelo teste de Tukey para o fator água, de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m

Médias do fator água ¹	
Irrig+PEf mm	Número de internódios por colmo*
609	(22,6) 4,815 c
761	(22,6) 4,757 b
905	(24,5) 4,949 a
1.043	(25,1) 5,008 a
Diferença mínima significativa = 1,173	

¹ Valores transformados em $(X)^{0,5}$, sendo X o número de colmos por ha; * Letras diferentes entre médias correspondem à significância a nível de 5%

4.3 – Incidência de *Diatraea*

A incidência de *Diatraea saccharalis* em% determinada nas 12 canas colhidas ao acaso por parcela, é apresentada no Quadro A₉ do anexo, e a análise de variância e comparação entre as médias dos níveis, são mostradas nos Quadros 4.6a e 4.6b. O experimento apresentou um coeficiente de variação igual a 15,6%, classificado por

Gomes (1970) como médio. O fator F foi significativo para adubação de cobertura a nível de 1% de probabilidade e não significativo para água e para a interação água x adubação de cobertura. A comparação das médias para o fator adubação de cobertura mostra que a incidência de diatraea nos níveis 167, 305 e 458 kg ha⁻¹ não diferiram entre si, como também nos níveis 85 e 167 kg ha⁻¹ não diferiram entre si e que nos níveis 305 e 458 kg ha⁻¹ a incidência de diatraea foi superior significativamente à incidência verificada no nível 85 kg ha⁻¹, a nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. A incidência média obtida no experimento foi de 8,16%, a menor foi de 4,84% (1.043 mm e 85 kg ha⁻¹) e a maior de 13,42% (1.043 mm e 305 kg ha⁻¹). A Destilaria Miriri inicia o controle da praga quando a incidência atinge 5%.

Quadro 4.6a: Análise de variância, teste F e coeficiente de variação da incidência de *Diatraea saccharalis*¹ em% (internódios atacados divididos pelo total de internódios), em cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F
Fator 1 – Água	3	46,516	15,505	2,380 ^{ns}
Fator 2 – Adubação de cobertura	3	74,379	24,793	3,805*
Interação Água x Adubação de cobertura	9	87,506	9,723	1,492 ^{ns}
Resíduo	32	208,494	6,515	
Total	47	416,896		

¹ Valores transformados em arc sen de $(X/100)^{0,5}$ sendo X a incidência de *Diatraea saccharalis* em%;
 **Significativo a nível de 1% de probabilidade; *Significativo a nível de 5% de probabilidade; ^{ns} Não significativo

Média geral = 8,16%

Coefficiente de variação = 15,6%

4.4 – Produção de Colmos

A produtividade de colmos em kg ha⁻¹ determinada por parcela, é apresentada no Quadro A₁₀ do anexo, e a análise de variância e comparação entre as médias dos níveis são mostradas nos Quadros 4.7a e 4.7b. O experimento apresentou um coeficiente de variação igual a 8,73%, classificado como baixo, por Gomes (1970) indicando que o delineamento estatístico utilizado exerceu bom controle sobre as

variações do acaso. O fator F foi significativo para água e adubação de cobertura a nível de 1% de probabilidade e não significativo para interação água x adubação de cobertura.

Quadro 4.6b: Análise das médias de incidência *Diatraea saccharalis*¹ (internódios atacados divididos pelo total de internódios pelo teste de Tukey para o fator adubação de cobertura, de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m

Médias do fator adubação de cobertura ¹		
Kg ha ⁻¹	Incidência de	<i>Diatraea</i> *
85	(6,80%)	14,674 b
167	(7,98%)	16,316 ab
305	(9,94%)	18,190 a
458	(7,79%)	16,289 a
Diferença mínima significativa = 2,823		

¹ Valores transformados em arc sen de $(X/100)^{0,5}$ sendo X a incidência de *Diatraea saccharalis* em%; * Letras diferentes entre médias correspondem a significância a nível de 5%

A comparação das médias para o fator água, mostra que as produções foram crescentes e superiores significativamente entre os níveis 609, 761 e 905 mm, enquanto entre os níveis 905 e 1.043 mm não diferiram significativamente a nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. A comparação das médias para o fator adubação de cobertura, mostra que as produções foram crescentes e que o nível 458 kg ha⁻¹ foi superior significativamente a nível de 5% de probabilidade aos níveis 85 e 167, não se diferenciando significativamente do nível 305 kg ha⁻¹. Verifica-se, também, que os níveis 85, 167 e 305 kg ha⁻¹ não foram diferentes significativamente pelo teste de Tukey. A produção média de colmos obtida no experimento foi de 77,4 t ha⁻¹, a menor foi de 48,2 t ha⁻¹ (609 mm e 85 kg ha⁻¹) e a maior de 103,2 t ha⁻¹ (1.043 mm e 458 kg ha⁻¹). O máximo valor obtido de 103 t ha⁻¹ é pouco superior ao menor valor preconizado por Doorenbos & Kassan (1979) que é de 100 a 150 t ha⁻¹ para áreas irrigadas. As produções obtidas no experimento são consideradas pequenas para as quantidades de adubo aplicadas, porém justificadas pelas pequenas quantidades totais de água aplicadas nos períodos críticos da cultura, Figura 4.1 e no ciclo total da cultura (14 meses). A quantidade de água abaixo da recomendada e com déficit em períodos críticos, explica o fato do maior valor obtido no experimento de 103 t ha⁻¹ ter sido inferior às 142 t ha⁻¹, estimadas por Souza et al. (1999)

trabalhando com a mesma variedade SP-79 1011, irrigada por aspersão tipo canhão, durante o período de agosto de 1995 a outubro de 1996, para lâminas totais de água de 1.602 mm. Os níveis de 905 mm de água mais 167 kg ha⁻¹ de adubação de cobertura, proporcionaram produtividade média de colmos de 86 t ha⁻¹, superior à de outras áreas irrigadas do mundo, citadas por QURESHI et al. (2002): Pakistão (60 t ha⁻¹), África do Sul (76 t ha⁻¹), USA (82 t ha⁻¹), Egito (83 t ha⁻¹) e Austrália (84 t ha⁻¹).

Quadro 4.7a: Análise de variância, teste F e coeficiente de variação de produção de colmo de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F
Fator 1 – Água	3	12839,46	4279,82	93,71**
Fator 2 – Adubação de cobertura	3	1040,51	346,84	7,59**
Interação Água x Adubação de cobertura	9	260,05	28,90	0,63 ^{ns}
Resíduo	32	1261,43	45,67	
Total	47	15601,47		

**Significativo a nível de 1% de probabilidade; *Significativo a nível de 5% de probabilidade; ^{ns} Não significativo

Média geral = 77,44 t ha⁻¹

Coeficiente de variação = 8,73%

Quadro 4.7b: Análise das médias de produtividade de colmo em t ha⁻¹ pelo teste de Tukey para o fator água e fator adubação de cobertura de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m

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

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

4.5 – Rendimento Bruto de Açúcar

Os resultados das análises dos parâmetros tecnológicos por nível utilizados no cálculo do rendimento de açúcar e de álcool, estão apresentados nos Quadros A₁₁ a A₁₅ do anexo.

O rendimento bruto de açúcar em $t\ ha^{-1}$ determinado por parcela, é apresentado no Quadro A₁₆ do anexo, e a análise de variância e comparação entre as médias dos níveis são mostradas nos Quadros 4.8a e 4.8b. O experimento apresentou um coeficiente de variação igual a 8,45%, classificado como baixo, por Gomes (1970) indicando que o delineamento estatístico utilizado exerceu bom controle sobre as variações do acaso. O fator F foi significativo para água e adubação de cobertura, a nível de 1% de probabilidade, e não significativo para interação água x adubação de cobertura. A comparação das médias para o fator água, mostra que as produções foram crescentes e superiores significativamente a nível de 5% de probabilidade entre os níveis 609, 761 e 905 mm, enquanto entre os níveis 905 e 1.043 mm não houve diferença significativa pelo teste de Tukey. A comparação das médias para o fator adubação de cobertura, indica que as produções foram crescentes e superiores significativamente a nível de 5% de probabilidade entre os níveis 85 e 458 $kg\ ha^{-1}$, enquanto entre os níveis 85 e 167, os níveis de 167 e 305 $kg\ ha^{-1}$ e os níveis de 305 e 458 $kg\ ha^{-1}$, não houve diferença significativa pelo teste de Tukey.

Quadro 4.8a: Análise de variância, teste F e coeficiente de variação do rendimento bruto de açúcar em $t\ ha^{-1}$ de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação e adubação e espaçamento entre fileiras de 1,2 m

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F
Fator 1 – Água	3	439,502	146,501	138,879**
Fator 2 – Adubação de cobertura	3	27,301	9,100	8,440**
Interação Água x Adubação de cobertura	9	7,671	≈ 0,852	0,791 ^{ns}
Resíduo	32	34,502	1,078	
Total	47	508,975		

**Significativo a nível de 1% de probabilidade; *Significativo a nível de 5% de probabilidade; ^{ns} Não significativo

Média geral = 12,296 $t\ ha^{-1}$

Coeficiente de variação = 8,445%

Quadro 4.8b: Análise das médias do rendimento bruto de açúcar em $t\ ha^{-1}$ pelo teste de Tukey para o fator água e fator adubação de cobertura, de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m

Médias do fator Água		Médias do fator adubação de cobertura	
Irrig+PEf mm	Produção ($t\ ha^{-1}$)*	kg ha^{-1}	Produção ($t\ ha^{-1}$)*
609	7,256 c	85	11,331 c
761	12,624 b	167	11,794 bc
905	14,588 a	305	12,939 ab
1.043	14,707 a	458	13,119 a
Diferença mínima significativa = 1,148		Diferença mínima significativa = 1,148	

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

A produção média de açúcar bruto obtida no experimento, foi de $12,3\ t\ ha^{-1}$, a menor de $6,7\ t\ ha^{-1}$ (para W_0 mais N_0) e a maior obtida foi de $16,2\ t\ ha^{-1}$ (para W_3 mais N_3). Os valores estão coerentes e superiores aos obtidos por Wiedenfeld (1995) que, trabalhando com três condições de irrigação (95, 85 e 65% da fração de esgotamento do solo) obteve rendimentos de 13, 10 e $8\ t\ ha^{-1}$ de açúcar, respectivamente. O maior valor obtido no experimento, de $16,2\ t\ ha^{-1}$, foi muito próximo ao estimado, de $19,3\ t\ ha^{-1}$, por Souza et al. (1999) em Campos dos Goytacazes, RJ, trabalhando com a mesma variedade SP-79 1011, irrigada por aspersão tipo canhão, durante o período de agosto de 1995 a outubro de 1996, para lâminas totais de água de 1.602 mm.

Comparando-se a produção máxima de colmos $103\ t\ ha^{-1}$ e o rendimento de açúcar de $16\ t\ ha^{-1}$ obtidos no experimento com os valores de Souza et al. (1999) constata-se que, tendo sido a produção de colmos do experimento bem mais baixa que as $142\ t\ ha^{-1}$ e o rendimento bruto de açúcar muito próximo das $19\ t\ ha^{-1}$, isto indica que a percentagem em sacarose do caldo da cana obtido no experimento foi superior ao obtido por Souza et al. (1999).

=

4.6 – Rendimento Bruto de Álcool

4.6.1 - Preços e custos de produção

O preço do litro de álcool bruto foi de R\$ 0,3107 L⁻¹. Os custos da água e da adubação de cobertura (nitrogênio e potássio) foram calculados em R\$ 1,6355 (mm ha)⁻¹ e R\$ 1,1310 kg⁻¹, nas formas apresentadas nos Quadros 3.1 e 3.2, respectivamente. Os custos fixos (implantação e custeio) foram de R\$ 360,29 ha⁻¹.ano⁻¹ e os custos variáveis (corte e transporte dos colmos) de R\$ 7,55 t⁻¹ de colmos ou R\$ 0,06821 L⁻¹ de álcool bruto, calculados nas formas apresentadas nos Quadros 3.3; 3.4 e 3.5, respectivamente, com base em valores do mês de outubro de 2001.

4.6.2 - Função de produção tendo-se como único fator variável a lâmina de água (irrigação)

O rendimento bruto de álcool em L ha⁻¹ determinado por parcela, é apresentado no Quadro A₁₇ do anexo, no qual se constata que os rendimentos médios foram 5.170; 8.958; 10.342 e 10.437 L ha⁻¹ de álcool bruto para as lâminas de irrigação W₀=0 mm (água total 609 mm), W₁=152 mm (água total 751 mm), W₂=303 mm (água total 905 mm) e W₃=454 mm (água total 1.043 mm) respectivamente. O resumo da análise de variância, Quadro 4.9, apresenta os coeficientes de variância para os níveis constantes do fator adubação de cobertura (nitrogênio mais potássio) N₀, N₁ e N₃ classificados como baixo, e para N₂, classificado como médio, indicando que os fatores ao acaso foram controlados. O teste F para o nível (fator água) foi significativo a nível de 1% de probabilidade, podendo-se afirmar, com uma confiabilidade de 99% de probabilidade, que a variação no rendimento bruto de álcool foi causada pelo fator água.

Quadro 4.9: Resumo da análise de variância, teste F e coeficiente de variação do resultado do estudo do rendimento bruto de álcool em $m^3 ha^{-1}$ de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, adubação de cobertura constante e espaçamento entre fileiras de 1,2 m

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	Coeficiente de variação, %
Adubação de cobertura 85 kg ha ⁻¹ (44 kg de N e 41 kg de K ₂ O)					
Fator água	3	46,94151	15,64717	39,9285 **	7,78
Adubação de cobertura 167 kg ha ⁻¹ (86 kg de N e 81 kg de K ₂ O)					
Fator água	3	50,28611	16,76206	73,8715 **	5,69
Adubação de cobertura 305 kg ha ⁻¹ (157 kg de N e 148 kg de K ₂ O)					
Fator água	3	59,71470	19,90490	20,7542 **	10,68
Adubação de cobertura 458 kg ha ⁻¹ (236 kg de N e 222 kg de K ₂ O)					
Fator água	3	65,67297	21,89099	26,1276 **	9,82

** Significativo a nível de 1% de probabilidade; *Significativo a nível de 5% de probabilidade; ^{ns} Não significativo

O modelo de polinômio do segundo grau (equação 3.05) que representa a função de produção para o fator água, é apresentado na Figura 4.2, com as respectivas curvas de rendimento bruto de álcool nos níveis W_i de irrigação e para cada nível de adubação de cobertura, parâmetros das equações e R^2 iguais a 0,99; 0,97; 0,99 e 0,99 para os níveis W_0 , W_1 , W_2 e W_3 de irrigação, respectivamente.

As lâminas de irrigação que proporcionaram o máximo rendimento, a máxima receita líquida, a receita líquida equivalente à proporcionada pelo rendimento máximo e lâmina que proporciona uma produtividade marginal da água igual ao custo da água, são apresentadas no Quadro 4.10. Verifica-se que as lâminas de irrigação 296, 275, 314 e 337 mm proporcionam as receitas líquidas máximas de R\$ 1.395; 1.449; 1.482 e 1.313 ha⁻¹ nos níveis constantes N_0 , N_1 , N_2 e N_3 de adubação de cobertura, respectivamente. As lâminas equivalentes (ajustadas) 187, 190, 211 e 219 mm, proporcionam as receitas líquidas R\$ 1.326; 1.395; 1.416 e 1.230 ha⁻¹ equivalentes às lâminas que produzem os rendimentos máximos de álcool bruto de 9.851; 10.269; 11.224 e 11.514 L ha⁻¹ nos níveis constantes N_0 , N_1 , N_2 e N_3 de adubação de cobertura, respectivamente. As lâminas 374, 381, 421 e 438 mm proporcionam as produtividades marginais da água igual ao custo da água de R\$ 1,6355 (mm ha)⁻¹ nos respectivos níveis constantes N_0 , N_1 , N_2 e N_3 adubação de cobertura.

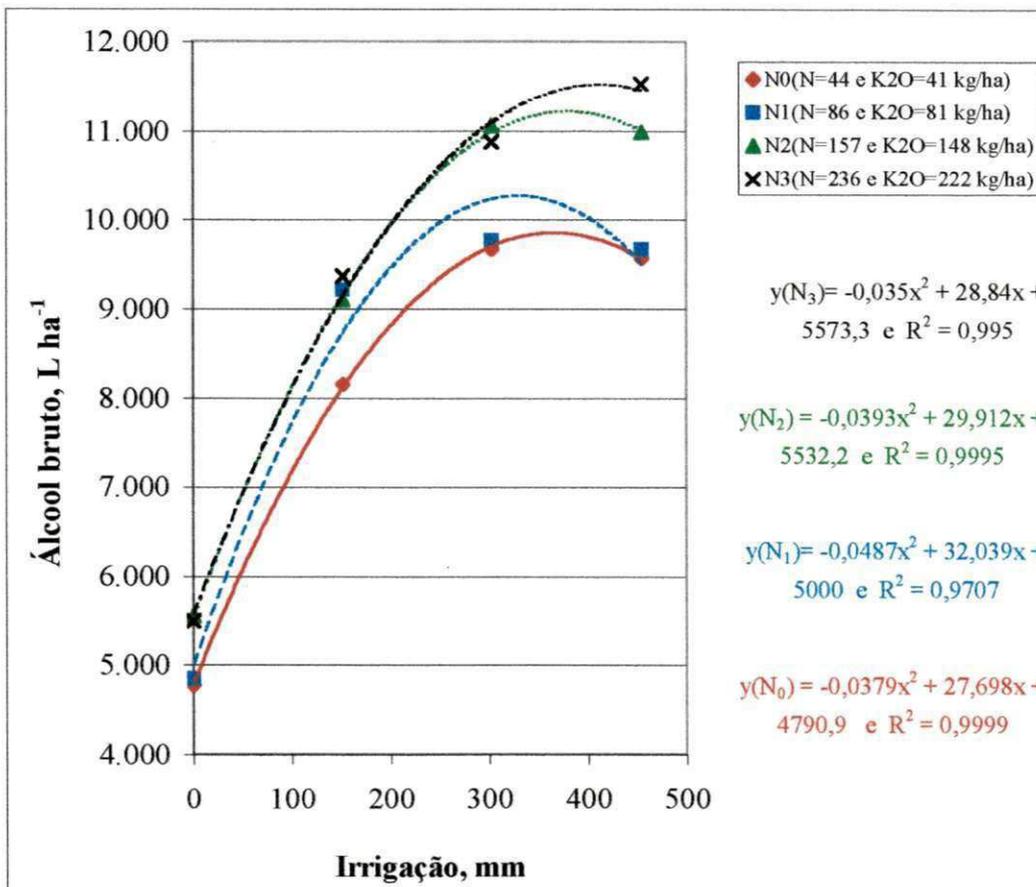


Figura 4.2: Rendimento bruto de álcool em L ha⁻¹ de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) em função de diferentes níveis de irrigação e adubação de cobertura constante

Tomando-se como base os níveis de água (296, 275, 314 e 337 mm) que determinam as máximas receitas líquidas, verifica-se que essas são 2,0; 2,1; 2,1 e 1,9 vezes maiores que a receita de R\$ 698,46 ha⁻¹ gerada pelo nível W₀ (água total 609 mm) e N₀ (44 kg de N ha⁻¹ e 41 kg de K₂O ha⁻¹).

Quadro 4.10: Quantidade de água que maximiza a produção, a receita líquida máxima, a que proporciona a receita líquida equivalente da função de produção do rendimento bruto de álcool de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, adubação de cobertura constante e espaçamento entre fileiras de 1,2 m

Parâmetros	Legenda	Níveis de adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
Quantidade de água que maximiza a receita bruta	W _m , mm	365	329	381	412
Quantidade de água que maximiza a receita líquida	W*, mm	296	275	314	337
Quantidade de água que proporciona Li(W _e) equivalente Li(W _m)	W _e , mm	227	221	247	262
Produção máxima	Y(W _m), l de álcool ha ⁻¹	9.851	10.269	11.224	11.514
Produção que maximiza a receita líquida	Y(W*), l de álcool ha ⁻¹	9.669	10.127	11.048	11.316
Produção equivalente	Y(W _e), l de álcool ha ⁻¹	9.120	9.701	10.519	10.723
Custo da água para lâmina W _m	Ci(W _m), R\$ ha ⁻¹	1.735	1.796	2.072	2.339
Custo da água para lâmina W*	Ci(W*), R\$ ha ⁻¹	1.609	1.698	1.951	2.203
Custo da água para lâmina W _e	Ci(W _e), R\$ ha ⁻¹	1.458	1.580	1.806	2.039
Receita líquida para lâmina W _m	Li(W _m), R\$ ha ⁻¹	1.326	1.395	1.416	1.238
Receita líquida para lâmina W*	Li(W*), R\$ ha ⁻¹	1.395	1.449	1.482	1.313
Receita líquida para lâmina W _e	Li(W _e), R\$ ha ⁻¹	1.376	1.434	1.462	1.293
Lâmina de água que proporciona Li(W _e) equivalente Li(W _m), ajustado para custo de corte e colheita variáveis	W _e (ajustado), mm	187	190	211	219
Valor da receita líquida para lâmina W _e ajustado	Li(W _e) _a , R\$ ha ⁻¹	1.326	1.395	1.416	1.238
Lâmina (W _{marg}) que proporciona uma produtividade marginal igual ao custo da água	W _{marg} , mm	374	381	421	438
Valor da receita líquida para lâmina W _{marg}	Li(W _{marg}), R\$ ha ⁻¹	1.311	1.278	1.333	1.191

4.6.3 - Função de produção, tendo-se como único fator variável o nível de adubação de cobertura (nitrogênio mais potássio)

O rendimento bruto de álcool em L ha⁻¹ em função do fator adubação de cobertura (nitrogênio mais potássio) variável, é apresentado no Quadro A₁₈ do anexo, no qual se verifica que os rendimentos médios foram 8.045; 8.372; 9.172 e 9.318 L ha⁻¹ de álcool bruto para os níveis de adubação de cobertura N₀, N₁, N₂ e N₃, respectivamente. O resumo da análise de variância, Quadro 4.11, apresenta os coeficientes de variância por nível constante do fator água W₀, W₁, e W₃ classificados como baixo, e W₂, classificado como médio, indicando que os fatores ao acaso foram adequadamente controlados. O teste F para o fator adubação de cobertura foi significativo a nível de 1%, podendo-se afirmar

com uma confiabilidade de 99% de probabilidade, que a variação no rendimento bruto de álcool foi causada pelo fator adubação de cobertura (nitrogênio mais potássio).

Quadro 4.11 – Resumo da análise de variância, teste F e coeficiente de variação do resultado do estudo do rendimento bruto de álcool em $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de adubação de cobertura, quantidade de água total constante e espaçamento entre fileiras de 1,2 m

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F	Coeficiente de variação,%
Água total (sem irrigação) 609 mm					
Adubação de cobertura	3	46,94151	15,64717	39,92 **	7,78167
Água total, 761 mm					
Adubação de cobertura	3	50,28619	16,76206	73,87 **	5,68990
Água total, 905 mm					
Adubação de cobertura	3	59,71470	19,90490	20,75 **	10,67734
Água total, 1.043 mm					
Adubação de cobertura	3	65,67297	21,89099	26,12 **	9,82293

** Significativo a nível de 1% de probabilidade; *Significativo a nível de 5% de probabilidade; ^{ns} Não significativo

O modelo de polinômio do segundo grau (equação 3.05) que representa a função de produção para o fator adubação de cobertura, é apresentado na Figura 4.3, com as respectivas curvas de rendimento bruto de álcool nos níveis de adubação de cobertura N_i e para cada nível de W (irrigação), parâmetros das equações e R^2 iguais a 0,87; 0,75; 0,85 e 0,95, para os níveis N_0 , N_1 , N_2 e N_3 de adubação de cobertura (nitrogênio mais potássio) respectivamente.

As quantidades de adubação de cobertura (nitrogênio mais potássio) que proporcionaram o máximo rendimento, a máxima receita líquida, a receita líquida equivalente e a quantidade de adubação de cobertura que, por sua vez, proporciona uma produtividade marginal da adubação de cobertura igual ao custo desta adubação são apresentadas no Quadro 4.12. Verifica-se que os níveis de adubação de cobertura 120, 233, 280 e 764 kg ha^{-1} , proporcionam as receitas líquidas máximas de R\$ 657, 1.361, 1.454 e 1.194 ha^{-1} nos níveis constantes de água de W_0 , W_1 , W_2 e W_3 ,

respectivamente. As quantidades de adubação de cobertura iguais a 21 e 69 kg ha⁻¹, promoveram as receitas líquidas R\$ 1.266 e 1.359 ha⁻¹ equivalentes às quantidades de adubação de cobertura que produziram os rendimentos máximos de álcool bruto de 9.404 e 10.966 L ha⁻¹ nos níveis constantes de W₁ e W₂, respectivamente. As quantidades de adubação de cobertura iguais a 43 e 138 kg ha⁻¹ proporcionam as produtividades marginais iguais ao custo da adubação de cobertura de R\$ 1,131 kg⁻¹, nos respectivos níveis constantes de W₁ e W₂.

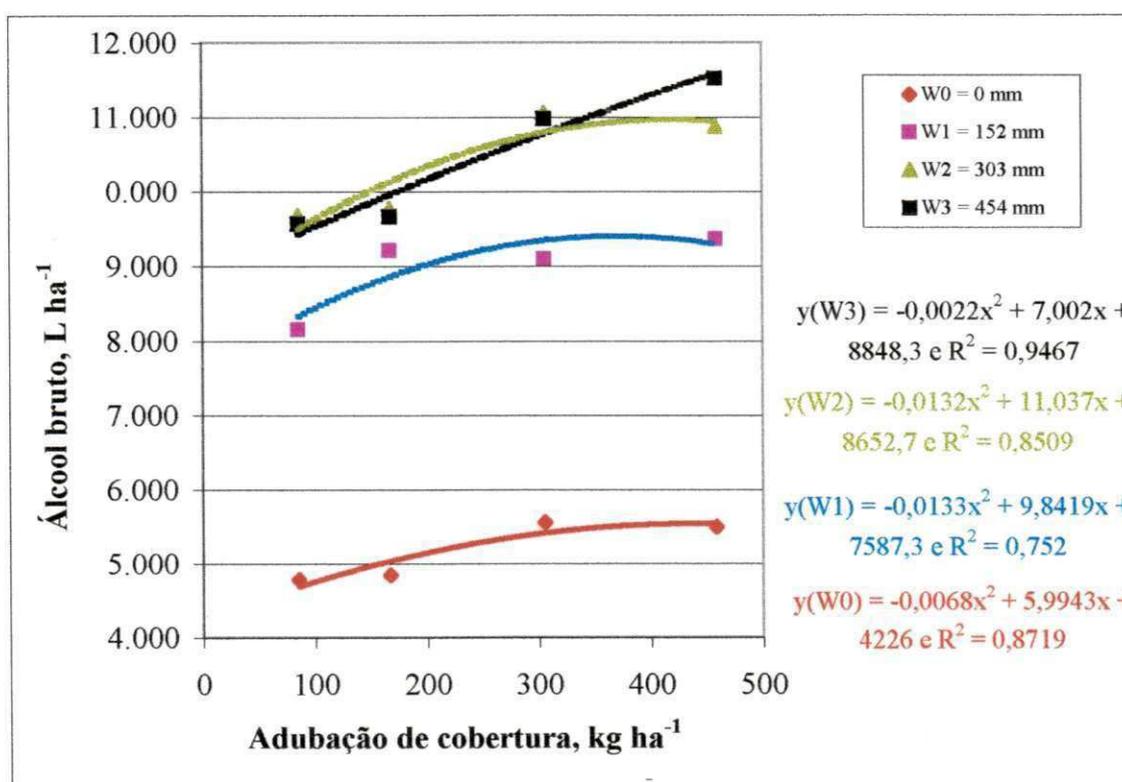


Figura 4.3: Rendimento bruto de álcool em l.ha⁻¹ de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) em função de diferentes níveis de adubação de cobertura (nitrogênio mais potássio) e níveis de irrigação constantes

Quadro 4.12: Adubação de cobertura que maximiza a produção, a que proporciona a receita líquida máxima e a que proporciona a receita líquida equivalente da função de produção de rendimento bruto de álcool de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de adubação de cobertura, nível de água constante e espaçamento entre fileiras de 1,2 m.

Parâmetros	Legenda	Níveis de irrigação, mm			
		0	152	303	454
Adubação de cobertura que maximiza a receita bruta	Nm, kg ha ⁻¹	306	370	418	1.591
Adubação de cobertura que maximiza a receita líquida	N*, kg ha ⁻¹	120	233	280	764*
Adubação de cobertura que proporciona RLi(Ne) equivalente a RLi(Nm)	Ne, kg ha ⁻¹		96	142	
Produção máxima	Y(Nm), l de álcool ha ⁻¹	5.143	9.408	10.960	14.420
Produção que maximiza a receita líquida	Y(N*), l de álcool ha ⁻¹	4.805	9.159	10.709	12.914
Produção equivalente	Y(Ne), l de álcool ha ⁻¹	3.790	8.412	9.956	8.397
Custo da adubação de cobertura para o nível Nm	Ci(Nm), R\$ ha ⁻¹	1.070	1.656	2.046	3.853
Custo da adubação de cobertura para o nível N*	Ci(N*), R\$ ha ⁻¹	836	1.485	1.873	2.819
Custo da adubação de cobertura para o nível Ne	Ci(Ne), R\$ ha ⁻¹	554	1.280	1.668	1.586
Receita líquida para o nível Nm	RLi(Nm), R\$ ha ⁻¹	528	1.267	1.359	627
Receita líquida para o nível N*	RLi(N*), R\$ ha ⁻¹	657	1.361	1.454	1.194
Receita líquida para o nível Ne	RLi(Ne), R\$ ha ⁻¹		1.333	1.425	
Adubação de cobertura que proporciona RLi(Ne) equivalente a RLi(Nm), ajustado para custo de colheita variável	Ne(ajustado), kg ha ⁻¹		21	69	
Valor da receita líquida para lâmina Ne ajustado	RLi(Ne) _a , R\$ ha ⁻¹		1.266	1.359	
Quantidade marginal de adubo (N _{marg}) que proporciona uma produtividade marginal igual ao custo da adubação de cobertura	N _{marg} , kg ha ⁻¹		43	138	
Valor da receita líquida para o nível de adubação de cobertura N _{marg}	RLi(N _{marg}), R\$ ha ⁻¹		1.290	1.422	

Tomando-se como base os níveis de adubação de cobertura 233, 280 e 764 kg ha⁻¹, que proporcionaram as máximas receitas líquidas, Quadro 4.12, verifica-se que essas são 2,09; 2,23 e 1,84 vezes maiores que a receita de R\$ 657,0 ha⁻¹, gerada pelo níveis N* e W₀.

4.6.4 - Função de produção, tendo-se dois fatores como variáveis, água e adubação de cobertura (nitrogênio mais potássio)

O rendimento bruto de álcool em L ha⁻¹, determinado por parcela, é apresentado no Quadro A₁₉ do anexo, e a análise de variância e comparação entre as médias dos níveis são indicadas nos Quadros 4.13a e 4.13b. O experimento apresentou

um coeficiente de variação igual a 8,23%, classificado como baixo, por Gomes (1970) indicando que o delineamento estatístico utilizado exerceu bom controle sobre as variações do acaso.

O fator F foi significativo para água e adubação de cobertura a nível de 1% de probabilidade e não significativo para interação água x adubação de cobertura.

Quadro 4.13a: Análise de variância, teste F e coeficiente de variação do rendimento bruto de álcool em $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura (nitrogênio mais potássio) e espaçamento entre fileiras de 1,2 m

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F
Fator 1 – Água	3	218,860	72,953	134,841**
Fator 2 – Adubação de cobertura	3	13671	4,557	8,423**
Interação Água x Adubação de cobertura	9	3,793	0,421	0,779 ^{ns}
Resíduo	32	17,313	0,541	
Total	47	253,636		

**Significativo a nível de 1% de probabilidade; ^{ns} Não significativo

Média geral = $8,727 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$

Coeficiente de variação = 8,429%

Quadro 4.13b: Análise das médias do rendimento bruto de álcool em $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ pelo teste de Tukey para o fator água e fator adubação de cobertura, de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento entre fileiras de 1,2 m

Médias do fator Água		Médias do fator adubação de cobertura	
Irrig+PEf mm	Produção ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)*	kg ha^{-1}	Produção ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)*
609	5.170 c	85	8.045 c
761	8.958 b	167	8.372 bc
905	10.342 a	305	9.172 ab
1.043	10.437 a	458	9.318 a
Diferença mínima significativa = 0,81337		Diferença mínima significativa = 0,81337	

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

A comparação das médias para o **fator água**, mostra que as produções foram crescentes e superiores significativamente a nível de 5% de probabilidade, entre os níveis 609, 761 e 905 mm de água total, enquanto os níveis 905 e 1.043 mm não foram diferentes significativamente pelo teste de Tukey.

A comparação das médias para o **fator adubação de cobertura**, mostra que as produções foram crescentes e superiores significativamente a nível de 5% de probabilidade, entre os níveis 85 e 458 kg ha⁻¹, enquanto entre os níveis 85 e 167 kg ha⁻¹, os níveis 167 e 305 kg ha⁻¹ e os níveis 305 e 458 kg ha⁻¹ não foram diferentes significativamente pelo teste de Tukey. A produção média de álcool bruto obtida no experimento, foi de 8.727 L ha⁻¹, a menor de 4.780 L ha⁻¹ (W₀=609 mm e N₀=85 kg ha⁻¹) e a maior obtida foi de 11.530 L ha⁻¹ (W₃=1.043 mm e N₃=458 kg ha⁻¹).

O **modelo de polinômio do segundo grau para dois fatores variáveis** (equação 3.18) que representa a função de produção para os fatores água e adubação de cobertura com seus parâmetros, é apresentado na equação 4.1. Nas Figuras 4.4a e 4.4b são mostradas curvas (superfície de resposta) do rendimento bruto de álcool nos níveis N_i (adubação de cobertura) e nos níveis W_i (irrigação).

$$Z(N,W) = 4278,00 + 27,61.W - 0,04.(W^2) + 6,69.N - 0,00889.(N^2) + 0,0078.(N.W) \quad \text{eq. 4.1}$$

As **quantidades de adubação de cobertura e de água que proporcionaram o máximo rendimento, a máxima receita líquida, a receita líquida para o nível de adubação de cobertura igual a zero e a receita líquida para o nível de irrigação igual a zero**, são apresentadas no Quadro 4.14 e na Figura 4.5. Constata-se que os níveis de adubação de cobertura (N_i) em kg ha⁻¹ e de irrigação (W_i) em mm, (N_m=551, W_m=397); (N^{*}=307, W^{*}=308); (N=376, W=0) e (N=0, W=344) proporcionam, respectivamente, os rendimentos brutos de álcool em L ha⁻¹ de 11.609; 10.930; 5.536 e 9.022; receitas brutas em R\$ ha⁻¹ de 3.607, 3.396, 1.720 e 2.803; e receitas líquidas em R\$ de 1.181, 1.439, 557 e 1.266 ha⁻¹. Comparando-se as receitas líquidas, observa-se que a máxima R\$ 1.442 ha⁻¹ obtida com os níveis (N^{*}=307, W^{*}=308) é 2,58 vezes maior que a receita líquida R\$ 557 ha⁻¹ proporcionada pelo nível zero de irrigação (N=376, W=0).

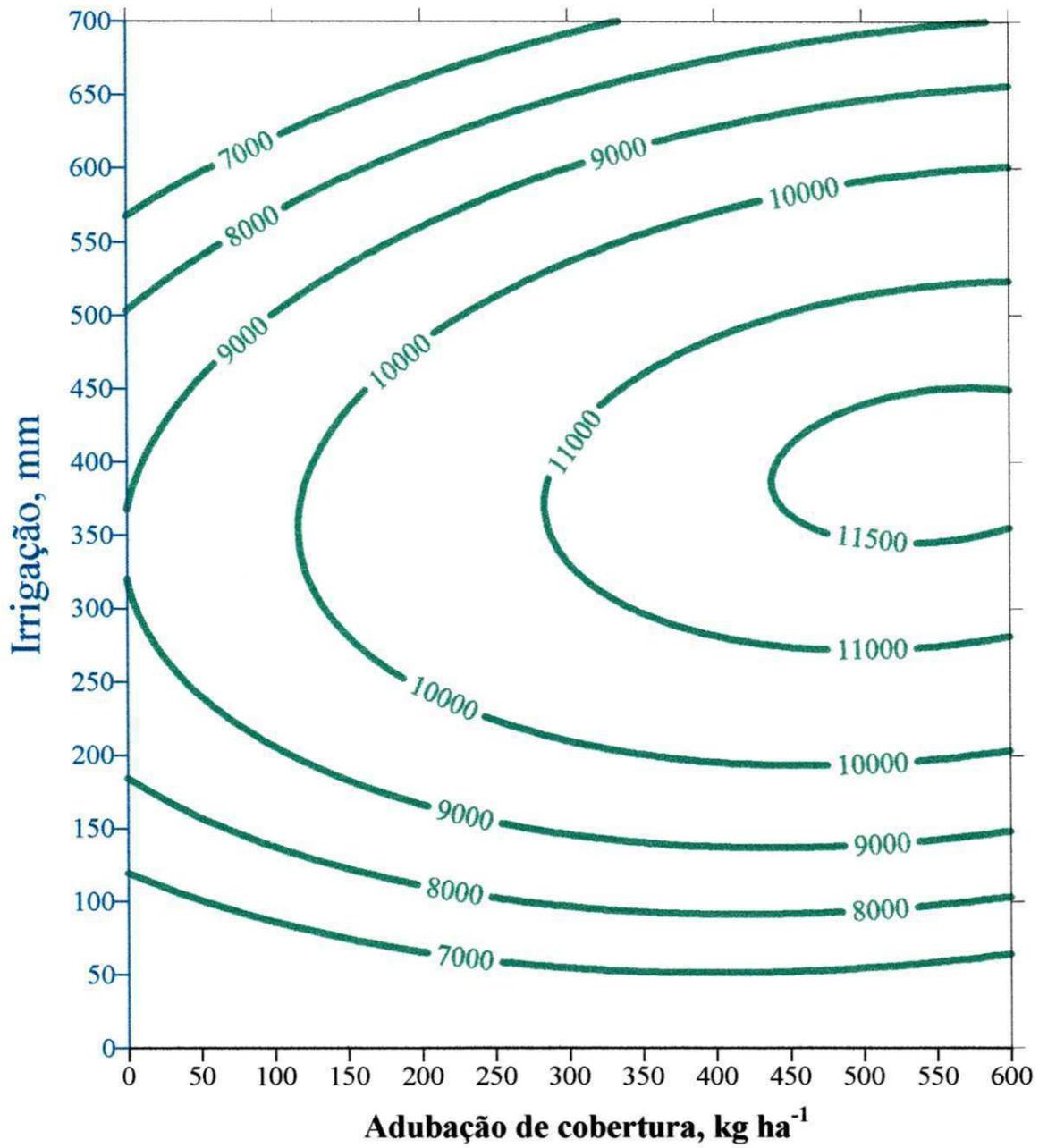


Figura 4.4a: Superfície de resposta em rendimento bruto de álcool de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011), função de diferentes níveis de irrigação e de adubação de cobertura, Fazenda Capim, da Destilaria Miriri, Município de Capim, PB

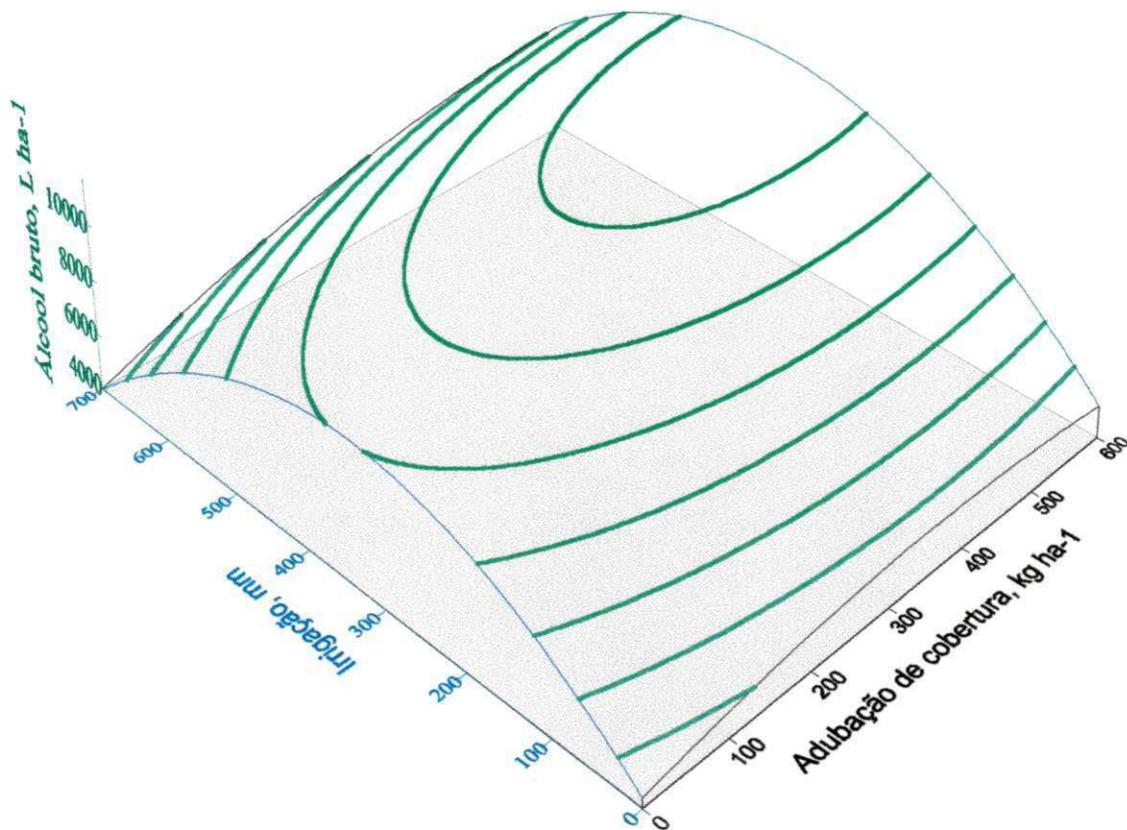


Figura 4.4b: Superfície de resposta em rendimento bruto de álcool de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011), função de diferentes níveis de irrigação e de adubação de cobertura, Fazenda Capim, da Destilaria Miriri, Município de Capim, PB

Quadro 4.14: Rendimentos brutos de álcool, receitas brutas, custos, receitas líquidas e respectivos níveis de irrigação e de adubação de cobertura (nitrogênio mais potássio) aplicados em cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011)

Parâmetros	Legenda	Níveis de adubação de cobertura e de irrigação			
		N_m, W_m	N^*, W^*	N_{376}, W_0	N_0, W_{344}
Nível de adubação de cobertura	kg ha ⁻¹	551	307	376	0
Nível de irrigação	mm	397	308	0	344
Rendimento bruto de álcool	Z(N,W), L ha ⁻¹	11.609	10.930	5.535	9.022
Receita bruta	RB, R\$ ha ⁻¹	3.607	3.396	1.720	2.803
Custo de produção	RB, R\$ ha ⁻¹	360	360	360	360
Custo de corte	C0, R\$ ha ⁻¹	336	316	160	261
Custo de transporte	Coc, R\$ ha ⁻¹	456	430	218	355
Custo da adubação de cobertura	Cot, R\$ ha ⁻¹	624	347	425	0
Custo da água	Cn, R\$ ha ⁻¹	650	504	0	562
Receita líquida	Cw, R\$ ha ⁻¹	1.181	1.439	557	1.266
Custo / l de álcool bruto	R\$ L ⁻¹	0,209	0,179	0,210	0,170
Receita líquida / l de álcool bruto	R\$ L ⁻¹	0,102	0,132	0,101	0,140

Legenda: N_m e W_m são os níveis de N e de W que proporcionam o máximo rendimento; N^* e W^* são os níveis de N e de W que proporcionam a máxima receita líquida; N_{376} é o nível de adubação de cobertura igual a 376 kg ha⁻¹ para o nível de água $W_0=0$; N_0 é o nível de adubação de cobertura igual a 0 kg ha⁻¹ para o nível de água $W_{344}=344$ mm

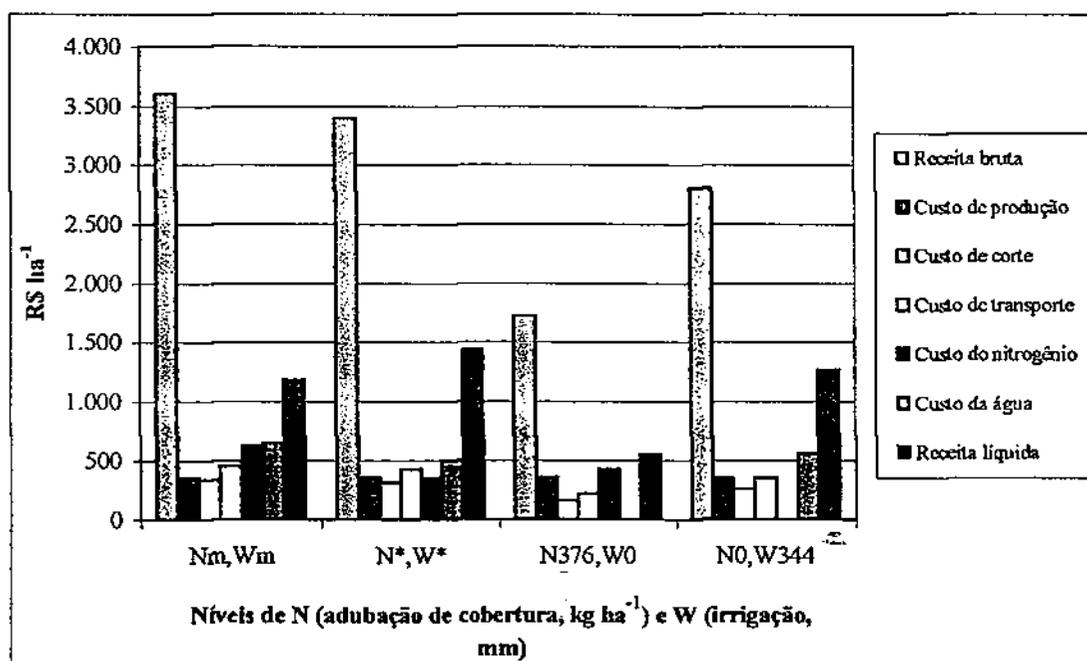


Figura 4.5: Rendimentos brutos de álcool, receitas brutas, custos, receitas líquidas e respectivos níveis de irrigação e de adubação de cobertura (nitrogênio mais potássio) aplicados em cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011)

a) Produto físico marginal

O produto físico marginal da água (PFM_a) medido em litros de álcool bruto por mm de água aplicada por hectare e o produto físico marginal da adubação de cobertura (PFM_N) em litros de álcool bruto por kg de adubação de cobertura por hectare, são apresentados no Quadro 4.15. Verifica-se que o produto físico marginal da água aumentou quando o nível de adubação de cobertura aumentou dentro de um mesmo nível de água. Para o nível de água de 152 mm e níveis de adubação de cobertura de 81, 167, 305 e 458 kg ha⁻¹, os PFM_a foram 22, 23, 24 e 25 litros de álcool bruto por mm de água, respectivamente. A mesma tendência se verifica para a adubação de cobertura, cujos valores de PFM_N foram 4, 5, 6 e 8 litros de álcool bruto por kg de adubação de cobertura por hectare, no nível de adubação de cobertura igual a 305 kg ha⁻¹ e os níveis de água iguais a 0, 152, 303 e 454 mm.

Quadro 4.15: Produto físico marginal da água (L de álcool bruto mm⁻¹ de água de irrigação) e da adubação de cobertura (L de álcool bruto kg⁻¹ de nitrogênio mais potássio) para os diferentes níveis de água e de adubação de cobertura na produção de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011)

Níveis de água mm.ha ⁻¹	Níveis de adubação de cobertura, kg ha ⁻¹							
	85		167		305		458	
	PFM_w	PFM_N	PFM_w	PFM_N	PFM_w	PFM_N	PFM_w	PFM_N
0	28,28	5,93	28,92	5,20	30,01	3,97	31,21	2,61
152	22,17	7,12	22,82	6,39	23,90	5,17	25,10	3,81
303	16,11	8,31	16,75	7,58	17,83	6,35	19,03	4,99
454	10,04	9,49	10,68	8,76	11,77	7,54	12,97	6,18

b) Taxa marginal de substituição

Os valores da taxa marginal de substituição de água por adubação de cobertura ($TMS_{W/N}$) e a da taxa marginal de substituição de adubação de cobertura por água ($TMS_{N/W}$) por nível de rendimento, são apresentados nos Quadros 4.16 e 4.17, respectivamente. Constata-se que a $TMS_{W/N}$ diminui em valores absolutos a medida em que aumenta a quantidade de adubação de cobertura e diminui a de água, Quadro 4.16. Considerando-se o rendimento de álcool bruto de 9.000 L ha^{-1} , economiza-se 0,62; 0,44; 0,37; 0,32; 0,28; 0,24; 0,21 0,19; 0,17; 0,15 e 0,13 unidade de água em mm por cada unidade de adubação de cobertura acrescida em kg ha^{-1} nos limites dos pontos representados pelos níveis 0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 e 500 kg ha^{-1} de adubação de cobertura, respectivamente.

Quadro 4.16: Combinação de níveis de água e adubação de cobertura e correspondentes taxas marginais de substituição de água por adubação de cobertura na produção de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum L.*, variedade SP-79 1011)

Taxa interna de substituição da água por adubação de cobertura										
N kg ha ⁻¹	7.000 l ha ⁻¹		8.000 l ha ⁻¹		9.000 l ha ⁻¹		10.000 l ha ⁻¹		11.000 l ha ⁻¹	
	W mm	TMS _{W/N}	W mm	TMS _{W/N}	W mm	TMS _{W/N}	W mm	TMS _{W/N}	W mm	TMS _{W/N}
0	119	-0,33	184	-0,40	320	-0,62				
50	101	-0,29	157	-0,34	240	-0,44				
100	86	-0,26	139	-0,30	206	-0,37				
150	74	-0,23	122	-0,26	183	-0,32	281	-0,43		
200	66	-0,20	111	-0,23	166	-0,28	245	-0,35		
250	59	-0,18	102	-0,21	154	-0,24	224	-0,30		
300	55	-0,16	96	-0,18	146	-0,21	210	-0,26	331	-0,40
350	52	-0,14	93	-0,16	140	-0,19	200	-0,23	297	-0,32
400	51	-0,12	91	-0,14	138	-0,17	195	-0,20	281	-0,27
450	52	-0,11	92	-0,12	137	-0,15	193	-0,18	274	-0,24
500	55	-0,09	94	-0,11	139	-0,13	194	-0,16	272	-0,21

Fato inverso se verifica com os valores de $TMS_{N/W}$, que aumentam em valores absolutos com o aumento dos níveis de água e diminuição dos níveis de adubação

de cobertura, Quadro 4.17. Tomando-se o rendimento de álcool bruto de 9.000 L ha^{-1} , economiza-se 1,60; 2,26; 2,26; 3,16; 3,62; 4,12; 4,67; 5,29; 5,99; 6,82 e 7,80 unidade de adubação de cobertura em kg ha^{-1} por cada unidade de água acrescida em mm nos limites dos pontos representados pelos níveis 0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 e 500 mm de água, respectivamente.

Quadro 4.17: Combinação de níveis de água e adubação de cobertura e correspondentes taxas marginais de substituição de adubação de cobertura por água na produção de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011)

Taxa interna de substituição de adubação de cobertura por água										
W mm	7.000 l ha ⁻¹		8.000 l ha ⁻¹		9.000 l ha ⁻¹		10.000 l ha ⁻¹		11.000 l ha ⁻¹	
	N kg ha ⁻¹	TMS _{NW}	N kg ha ⁻¹	TMS _{NW}	N kg ha ⁻¹	TMS _{NW}	N kg ha ⁻¹	TMS _{NW}	N kg ha ⁻¹	TMS _{NW}
0	119	-2,99	184	-2,49	320	-1,60				
50	101	-3,41	157	-2,90	240	-2,26				
100	86	-3,86	137	-3,33	240	-2,26				
150	74	-4,35	122	-3,78	183	-3,16	281	-2,31		
200	66	-4,90	111	-4,28	166	-3,62	245	-2,83		
250	59	-5,52	102	-4,83	154	-4,12	224	-3,31		
300	55	-6,24	96	-5,46	146	-4,67	210	-3,80		
350	52	-7,10	93	-6,19	140	-5,29	200	-4,33	297	-3,12
400	51	-8,12	91	-7,04	138	-5,99	195	-4,92	281	-3,65
450	52	-9,39	92	-8,07	137	-6,82	193	-5,57	274	-4,17
500	55	-10,99	94	-9,33	139	-7,80	194	-6,32	272	-4,72

c) Região de produção racional

A região de produção racional está representada na Figura 4.6, pela área definida pelos pontos (0,0); (376,0); (551,397) e (0,344) apresentados no Quadro 4.14. As duas isócrinas formadas pelos pontos ((0,344);(551,397)) e ((376,0), (551,397)) cortam as isoquantas nos pontos onde as inclinações das linhas tangentes são iguais. Os valores das taxas marginais de substituição entre essas duas isócrinas são negativos e decrescentes, e as tangentes das isoquantas nesses intervalos, são negativas. Fora dos limites definidos pelas

isócrinas, tem-se que: as declividades das isoquantas são positivas; as quantidades crescentes dos fatores água e adubação de cobertura produzem o mesmo nível de rendimento de álcool, com conseqüentes aumentos de custos e diminuição de receitas líquidas; e a área definida nesse espaço é denominada, em economia, região de produção irracional.

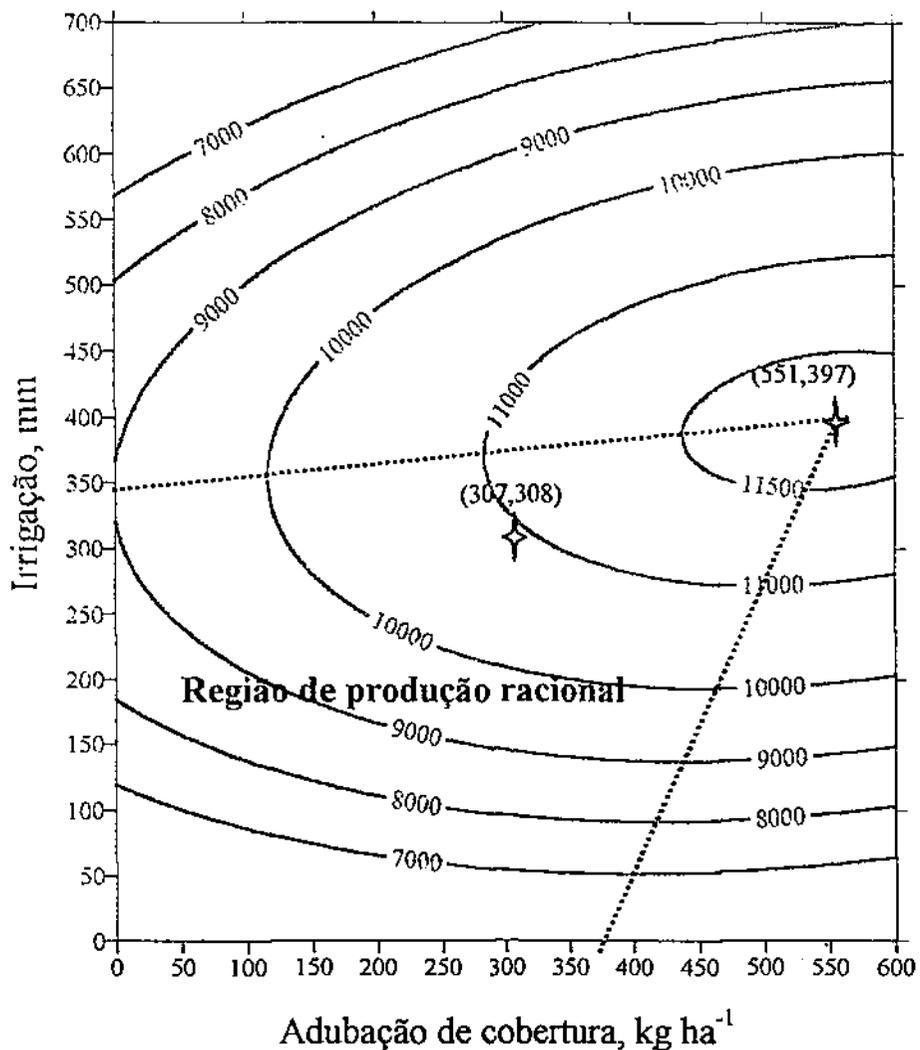


Figura 4.6: Superfície de resposta em álcool bruto de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011), função de diferentes níveis de irrigação e de adubação de cobertura (nitrogênio mais potássio) Fazenda Capim, da Destilaria Miriri, Município de Capim, PB

d) Combinação de custo mínimo

As combinações dos fatores água (W) e adubação de cobertura (N) que determinam o custo mínimo para cada curva de isoproducto, segundo Frizzone (1986 e 1993) são iguais às combinações que proporcionam a taxa marginal de substituição de água por adubação de cobertura ($TMS_{W/N}$) que se igualam à relação $(-P_N/P_W)$, preço da adubação de cobertura ($P_N = R\$ 1,131 \text{ kg}^{-1}$ da adubação de cobertura) dividido pelo preço da água ($P_W = R\$ 1,6355 \text{ (mm ha)}^{-1}$ igual a 0,69, e também para valores de taxa marginal de substituição de adubação de cobertura por água ($TMS_{N/W}$) que se igualam à relação $(-P_W/P_N)$, preço da água dividido pelo preço da adubação de cobertura igual a 1,45.

No caso da cana-de-açúcar cujos custos de corte e transporte dos colmos são variáveis, verificou-se que o método adotado (Frizzone, 1986) desenvolvido para apenas dois fatores variáveis, não calculou com precisão as combinações dos fatores água (W) e adubação de cobertura (N) que determinam o custo mínimo para cada curva de isoproducto.

A determinação das combinações dos fatores água (W) e adubação de cobertura (N) que proporcionam os custos mínimos foi feita através de um programa interativo com uso de planilhas de cálculo.

Os valores das combinações dos fatores água (W) e adubação de cobertura (N), dos custos mínimos e das receitas líquidas por nível de rendimento de álcool, são apresentados no Quadro 4.18 e representados na Figura 4.7. Analisando-se o Quadro 4.18, verifica-se que, para os rendimentos brutos de álcool de 9.000; 10.000 e 11.000 L ha⁻¹; os custos mínimos em R\$ ha⁻¹ foram de 1.420; 1.666 e 1.984, e as combinações de adubação de cobertura em kg ha⁻¹ e água em mm, foram (75;221); (177;259) e (320;313), proporcionando receitas líquidas em R\$ ha⁻¹ de 1.376; 1.440 e 1.433, respectivamente.

Quadro 4.18: Combinação de níveis de água e de adubação de cobertura que proporcionam $|TMS_{N/W}|$ e custo mínimo de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011)

Álcool, L ha ⁻¹	9.000	10.000	11.000
Níveis de adubação de cobertura (N), kg ha ⁻¹	75	177	320
Níveis de água (W), mm	221	259	313
TMS _{W/N}	0,42	0,38	0,36
Custo, R\$ ha ⁻¹	1.420	1.666	1.984
Receita líquida, R\$ ha ⁻¹	1.376	1.440	1.433

* Preço da adubação de cobertura $P_N=1,13$ R\$; preço da água $P_W=1,64$ R\$ (mm ha)⁻¹; $P_N/P_W=0,69$ e $P_W/P_N=1,45$

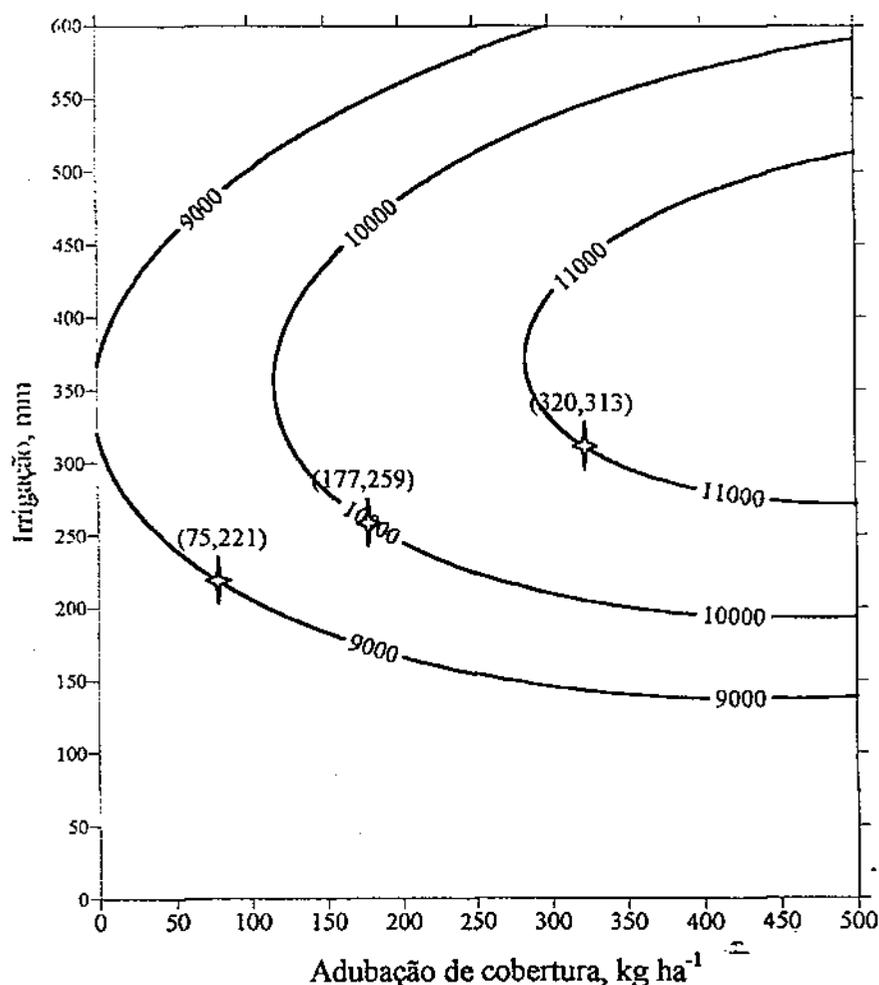


Figura 4.7: Superfície de resposta em álcool bruto de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011), pontos de custo mínimo e respectivos níveis de irrigação e de adubação de cobertura, Fazenda Capim da Destilaria Miriri, Município de Capim, PB

4.6.5 – Análise comercial dos resultados

No Quadro 4.19, são apresentadas as combinações de N e W, que proporcionam: a máxima receita líquida (RL_{max}) e $PCC=16\%$, coluna (1); o máximo rendimento bruto de álcool (RA_{max}) e $PCC=16\%$, coluna (2); os custos mínimos por curva de isoproducto (11.000, 10.000 e 9.000 L ha^{-1}) e $PCC=16\%$, colunas (3 a 5); as combinações dos níveis de adubação de cobertura N_0 (nível utilizado na fazenda 44 kg ha^{-1} de nitrogênio mais 41 kg ha^{-1} de potássio) e W_0 (água de irrigação 0 mm mais precipitação efetiva 609 mm), e $PCC=14\%$, coluna (6) e os valores de produção média estadual de colmos de 41,2 t ha^{-1} , sem adubação de cobertura, sem irrigação e PCC médio da safra 2000/2001 da destilaria Miriri, de 12,7%, coluna (7).

Tomando-se como base para comparação a combinação N e W que proporcionaram RL_{Max} , coluna (1), o Quadro 4.19 foi confeccionado colocando-se em ordem decrescente de rendimento bruto de álcool a partir da coluna (2), combinação de N e W, que proporcionam RA_{Max} . Verifica-se que o rendimento bruto de álcool para produção média estadual (7) de 41,2 t ha^{-1} é de 3.751 L ha^{-1} , que representa 34% e 32% dos rendimentos obtidos com as combinações que proporcionam RL_{Max} (1) e RA_{Max} (2).

Para as combinações (6) dos níveis N_0 (nível utilizado na fazenda 44 kg ha^{-1} de nitrogênio e 41 kg ha^{-1} de potássio) e W_0 (água de irrigação 0 mm mais precipitação efetiva 609 mm) o rendimento bruto de álcool foi de 4.761 L ha^{-1} , que representa 44% e 41% dos rendimentos brutos de álcool obtidos com as combinações que proporcionam RL_{Max} (1) e RA_{Max} (2).

Os custos totais de produção diminuem com a diminuição do rendimento bruto proporcionado pelas combinações N e W. Os maiores custos de produção por litro de álcool foram os proporcionados pelas combinações de N e W constantes nas colunas (2), (3), (7) e (1) nos valores de 0,21; 0,18; 0,18 e 0,18. Os menores custos foram 0,16 e 0,16 R\$ L^{-1} de álcool bruto produzido, proporcionados pelas combinações N e W, colunas (5) e (6).

As quatro maiores receitas líquidas R\$ 1.439; 1.434; 1.441 e 1.376 ha^{-1} , foram obtidas com as combinações de N e W, que proporcionaram RL_{Max} (1) e as que proporcionaram custos mínimos para os rendimentos de álcool bruto de 11.000 (3); 10.000 (4) e 9.000 L ha^{-1} (5), respectivamente.

Quadro 4.19: Rendimento bruto de álcool, receitas brutas, custos, receitas líquidas, custos totais por litro de álcool, receitas líquidas por litro de álcool bruto produzido e respectivos valores médios de PCC (percentagem de sacarose bruta) por níveis de irrigação e de adubação de cobertura em cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011)

Parâmetros	Unidades	Valores						
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Açúcar bruto (PCC)	%	16	16	16	16	16	14**	12,7** *
Nível de adubação de cobertura	Kg ha ⁻¹	307	551	320* ¹	177* ¹	75* ¹	81	0
Nível de água	mm	308	397	313* ¹	259* ¹	221* ¹	0	0
Rendimento bruto de álcool	Z(N,W), L ha ⁻¹	10.930	11.609	11.000	10.000	9.000	4.761	3.751
Receita bruta	RB, R\$ ha ⁻¹	3.396	3.607	3.418	3.107	2.796	1.479	1.165
Custo de produção	C0, R\$ ha ⁻¹	360	360	360	360	360	360	360
Custo de corte e transporte	Coc, R\$ ha ⁻¹	746	792	750	682	614	325	311
Custo da adubação de cobertura	Cn, R\$ ha ⁻¹	347	623	362	200	85	92	0
Custo da água	Cw, R\$ ha ⁻¹	504	650	512	424	361	0	0
Custo total	R\$ ha ⁻¹	1.957	2.425	1.984* ²	1.666* ²	1.420* ²	777	671
Receita líquida	R\$ ha ⁻¹	1.439	1.182	1.434	1.441	1.376	702	494
Custo total / L de álcool bruto	R\$ L ⁻¹	0,18	0,21	0,18	0,17	0,16	0,16	0,18
Receita líquida/ L de álcool bruto	R\$ L ⁻¹	0,13	0,10	0,13	0,14	0,15	0,15	0,13
RL _i / RL _{max}	%	100	82	100	100	96	49	34

* Valores de N* (adubação de cobertura 307 kg ha⁻¹) e W* (água de irrigação 308 mm mais precipitação efetiva 609 mm) que proporcionam a máxima receita líquida

¹ Valores de N (adubação de cobertura em kg ha⁻¹) e W (água de irrigação em mm mais precipitação efetiva 609 mm) que proporcionam o custo mínimo por nível de rendimento.

*² Custo mínimo por nível de rendimento

** Valores médios do tratamento N₀ (nível utilizado na fazenda 44 kg ha⁻¹ de nitrogênio e 41 kg ha⁻¹ de potássio) e W₀ (água de irrigação 0 mm mais precipitação efetiva 609 mm)

*** Valores estimados de produção média de colmos da Paraíba de 41,2 t ha⁻¹, sem adubação de cobertura e sem irrigação

RL_i = Receita líquida proporcionada pelas diferentes combinações de N e W

RL_{max} = Receita líquida máxima proporcionada pelas combinações de N* e W*

Analisando-se as receitas líquidas geradas por litro de álcool bruto produzido, os três maiores valores em R\$ L⁻¹ foram 0,15; 0,15 e 0,14, proporcionadas pelas combinações (5), (6) e (4) respectivamente, e a menor R\$ 0,10 L⁻¹, pela combinação que proporcionou RA_{Max} (2).

O Quadro 4.19 mostra que as combinações de N e W que proporcionam: os custos mínimos, colunas (3 a 5), por curva de isoproducto (11.000, 10.000 e 9.000 L ha⁻¹) produzem, respectivamente, receitas líquidas de 100; 100 e 96% da RL_{Max}; o máximo rendimento bruto de álcool (RA_{max}), coluna (2), produziram 82% da RL_{Max}; a combinação

dos níveis N_0 e W_0 coluna (6), produziu 49% da RL_{Max} ; e, (7) o valor de produção média estadual de colmos de $41,2 \text{ t ha}^{-1}$, produziu apenas 34% de RL_{Max} .

A combinação de N e W que proporciona a máxima receita líquida (RL_{max}), coluna (1); e as que proporcionam os custos mínimos por curva de isoproduto (11.000, 10.000 e 9.000 L ha^{-1}), colunas (3 a 5); produzem receita 2,0 vezes maiores que (6) as combinações dos níveis N_0 e W_0 ; e mais de 2,9 vezes maiores que (7) os valores de produção média estadual de colmos.

CAPÍTULO V – CONCLUSÕES

Com base nas condições experimentais, nas análises e discussões do presente trabalho, conclui-se que:

- a) o efeito dos tratamentos sobre o número de colmos foi estatisticamente significativo. O número médio de colmos obtido foi de 81.835, o menor de 68.426 e o maior de 92.130 por hectare, enquanto o limite mínimo ideal é de 90.000 colmos ha⁻¹, constante na literatura
- b) o fator água influenciou significativamente o peso dos colmos, o que não ocorreu com o adubação de cobertura e a interação água adubação de cobertura
- c) não houve efeito significativo dos fatores água, adubação de cobertura e da interação água x adubação de cobertura sobre o diâmetro dos colmos
- d) o comprimento médio dos colmos, assim como o número médio de internódio por colmo tiveram influência significativa do fator água e não significativa do fator adubação de cobertura e da interação água x adubação de cobertura
- e) a produção de colmos, foi influenciada significativamente pelos fatores água e adubação de cobertura e não significativamente pela interação água x adubação de cobertura
- f) a máxima produção de colmos obtida, 103,15 t ha⁻¹, representa 72,5 % das 142 t.ha⁻¹ já conseguida por outros pesquisadores, com a mesma variedade SP-79 1011
- g) o rendimento bruto de açúcar foi influenciado significativamente pelos fatores água e adubação de cobertura e não significativamente pela interação água x adubação de

cobertura

- h) a produção média de açúcar bruto obtida foi de 12,3; a menor foi de 6,7 e a maior de 16,2 t ha⁻¹, sendo que o maior valor obtido representa 84,1 % das 19,3 t ha⁻¹ encontradas por outros autores trabalhando com a mesma variedade SP-79 1011, sob condições de irrigação
- i) a média de rendimento bruto de álcool em função do fator água, variou entre 5.170 e 10.437 L ha⁻¹ para os tratamentos W₀ e W₃, respectivamente. As receitas líquidas máximas de R\$ 1.395; 1.449; 1.482 e 1.313 ha⁻¹, proporcionadas pelos respectivos níveis de água de irrigação 296, 275, 314 e 337 mm, e pelos níveis constantes do fator adubação de cobertura N₀, N₁, N₂ e N₃, foram 2,0; 2,1; 2,1 e 1,9 vezes maior que a receita de R\$ 702,00 ha⁻¹ gerada pelo tratamento W₀ (água total 609 mm) e N₀ (44 kg de N ha⁻¹ mais 41 kg de K₂O ha⁻¹)
- j) a média de rendimento bruto de álcool em função do fator adubação de cobertura, variou entre 8.045 e 9.318 L ha⁻¹ para as adubações de N₀ (44 kg de N ha⁻¹ e 41 kg de K₂O ha⁻¹) e N₃ (236 kg de N ha⁻¹ e 217 kg de K₂O ha⁻¹) respectivamente. As receitas líquidas máximas de R\$ 657; 1.361; 1.454 e 1.194 ha⁻¹, proporcionadas pelos respectivos níveis de adubação de cobertura de 91, 121, 145 e 378 kg ha⁻¹, e pelos níveis constantes de W₀, W₁, W₂ e W₃, foram 0,9; 1,9; 2,1 e 1,7 vezes maiores que a receita de R\$ 702,00 ha⁻¹ gerada pelo tratamento N₀ e W₀
- k) as combinações de adubação de cobertura (N_i) em kg ha⁻¹ e de irrigação (W_i) em mm (N_m=551, W_m=397) e (N*=307, W*=308) proporcionaram, respectivamente, o máximo rendimento 11.606 L ha⁻¹ e a máxima receita líquida R\$ 1.442 ha⁻¹. A receita líquida máxima foi 1,2; 2,6 e 1,1 vezes maior que as receitas geradas pelos níveis de combinações de adubação de cobertura e de irrigação (N_m=551, W_m=397); (N=376, W=0) e (N=0, W=344), respectivamente
- m) a região de produção racional foi definida pelos pontos (N=0, W=0); (N=376, W=0); (N=551, W=397) e (N=0, W=344), para N e W em kg ha⁻¹ e mm, respectivamente. As combinações (75,221); (177,259) e (320,313) proporcionaram os custos mínimos de R\$ 1.420; 1.666 e 1.984 ha⁻¹ e as maiores receitas líquidas de R\$ 1.376; 1.440 e 1.433 ha⁻¹ para os rendimentos brutos de álcool de 9.000; 10.000 e 11.000 L ha⁻¹, respectivamente
- n) as combinações de N e W que proporcionaram a máxima receita líquida e as que proporcionaram os custos mínimos por curva de isoproducto (11.000, 10.000 e 9.000 L ha⁻¹), produziram receitas 2,0 vezes maior que as proporcionadas pelas combinações dos

níveis N_0 e W_0 ; e mais de 2,8 vezes superior à receita proporcionada pelo valor de produção média estadual de álcool

- o) os resultados obtidos pela combinações dos níveis (N_0, W_0) representam, respectivamente, 44 e 49 % do rendimento bruto de álcool e da receita líquida obtida pela combinação $(N^*=307, W^*=308)$ que proporciona a máxima receita líquida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFONSI, R.R.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; BRUNINI, O.; BARBIERI, V. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. coord. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: fundação Cargill, 1987. v.1, cap.1, p.42-55.

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

ANDRADE, E.L. de. **Introdução à pesquisa operacional**. 2.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1990. 276p.

ARANHA, C; YAHN, C.A. Botânica da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. (Coord). **Cana-de-Açúcar: Cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v.1, cap.1, p1-18.

ATLAS GEOGRÁFICO DO ESTADO DA PARAÍBA. João Pessoa: Secretaria de Educação/UFPB, 1985. 99 p.

AZEREDO, D.F. **Eficiência da adubação nitrogenada em cana-de-açúcar (Sacharum spp.) em dois solos do estado do Rio de Janeiro: cana-planta**. Campos: UFRJ, 1997. 167p. (Tese Doutorado).

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

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

Anais... Mossoró: ESAM, 1999. CD ROM.

BERG, M.VAN DEN; BURROUGH, P.A.; DRIESSEN, P.M. Uncertainties in the appraisal of water availability and consequences for simulated sugar cane yield potentials in São Paulo state, Brazil. **Agriculture Ecosystems & Environment**. v.81, p.43-55, 2000.

BERNARDO, S. Irrigação e produtividade. 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.117-132.

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

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solo do estado da Paraíba e II Interpretação para uso agrícola do estado da Paraíba**. Rio de Janeiro, 1972. 670p. Boletim Técnico, 15. Série Pedologia, 8.

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.

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

CAMARGO, A.P.; ALFONSI, R.R.; PINTO, S.H.; CHIARINI, J.V. Zoneamento da aptidão climática para culturas comerciais em zonas de cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 4., 1977, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1977. p.87-105.

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

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

COELHO, F.S.; VERLENGIA, F. **Fertilidade do solo**. 2. ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973. 384p.

CUNHA, C.A.H.; MACHADO, R.E.; COELHO, R.D. Irrigação de cana de açúcar no estado de São Paulo: análise econômica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28., 1999, Pelotas. **Anais...** Pelotas: SBEA, 1999. CD ROM.

DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, C.A.V.; FRIZZONE, J.A. Uso da programação linear para estimar o padrão de cultura do perímetro irrigado Nilo Coelho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.1, p.9-12, 1997.

DÖBEREINER, J. Biological nitrogen fixation in the tropics: social and economic contributions. **Soil Biol. Biochem.** v.29, n.5-6, p.771-774, 1997.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212p. (FAO, Boletim, 33).

DSF. **Projeto de Irrigação: pivô central rebocável**. Rio Tinto-PB: União Agrícola Ltda,

1999. 73p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa Agropecuária dos Tabuleiros (Aracaju, SE). **Plano diretor do Centro Nacional de Pesquisa Agropecuária dos Tabuleiros (CPATC)**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 37p.

ENGLISH, M.J. Deficit irrigation I: Analytical Framework. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.116, n.13, p.399-412, 1990.

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. Piracicaba: ESALQ-USP, 1979. (Dissertação Mestrado).

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. **Planejamento da irrigação: uma introdução à aplicação de modelos de decisão**. Piracicaba: ESALQ-USP, 1992. 144p.

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

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.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 4.ed. Piracicaba: ESALQ-USP, 1970. 430p.

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

GRANER, E.A.; GODOY, C. **Culturas da fazenda brasileira**. 3 ed. São Paulo: Melhoramentos, 1964. 461p.

HAAG, H.P.; DECHEN, A.R.; CARMELLO, Q.A.C. Nutrição mineral da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. coord. **Cana-de-Açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v.1, cap.1, p.88-162.

HARGREAVES, G.H. **Monthly precipitation probabilities Northeast Brazil**. Utah: Utah State University, Department of Agricultural and Irrigation Engineering, 1973. 423p.

HARGREAVES, G.H. **Potential evapotranspiration irrigation requirements for Northeast Brazil**. Utah: Utah State University, Department of Agricultural and Irrigation Engineering, 1974. 54p.

HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A. Economics considerations of deficit irrigation.

- Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.110, n.3, p.343-358, 1984.
- HELWEG, O.J. Functions of crop yield from applied water. **Agronomy Journal**, v.83, n.4, p.769-773, 1991.
- 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.
- IBGE (Rio de Janeiro, RJ). Censo Agropecuário 1995-1996. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.Br>.
- IBGE (Rio de Janeiro, RJ). Produção Agrícola Municipal 1990-2000. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.Br>.
- ICIDCA. **Manual de derivados da cana-de-açúcar: diversificação, matérias-primas, derivados do bagaço, derivados do melaço, outros derivados, resíduos, energia**. Brasília: ABIPTI, 1999. 474p.
- INFORZATO, R.; ALVAREZ, R. Distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar va. 290 em solo tipo terra roxa legítima. **Bragantia**, v.16 p. 1-13, 1957.
- IRVINE, J.E. Relations of photosynthetic rates and leaf and canopy characters to sugarcane yield. **Crop Science**, v.15, p.671-676, 1975.
- 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.
- KOFFLER, N.F. & DONZELI, P.L. Avaliação dos solos brasileiros para a cultura da cana de açúcar. In: PARANHOS, S.B. coord. **Cana-de-Açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v.1, cap.1, p.19-35.
- LARCHER, W. **Physiological plant ecology: Ecophysiology and stress physiology of functional groups**. 3 ed. Springer-Verlag, 1995. 495p.
- 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**. v.56, p.143-151, 2002.
- MACHADO, E.C. **Um modelo matemático-fisiológico para simular o acúmulo de matéria-seca na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1981. 115p. (Tese Mestrado).
- 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, cap.1, p.56-85.

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**, v.17, n.9, p.1323-1329, 1982.

MATIOLI, C.S. **Irrigação suplementar de cana-de-açúcar: modelo análise de decisão para o Estado de São Paulo**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1998. 112 p. (Tese Doutorado).

MAULE, R.F.; MAZZA, A.J.; MARTIN JR., G.B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. *Sci. agric.*, v.58, n.2, abr./jun. 2001. <http://.../scielo.php>.

ORLANDO FILHO, J. **Absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), variedade CB 41-76 em três grandes grupos de solos do Estado de São Paulo**. Piracicaba: ESALQ-USP, 1978. 154p. (Tese Doutorado).

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JUNIOR, E. Influência da adubação N-P-K nas qualidades tecnológicas da cana-de-açúcar, variedade CB 41-76. **Brasil Açucareiro**, v.93, n.3, p.37-44, 1980.

QURESHI, M.E.; WEGENER, M.K.; HARRISON, S.R.; BRISTOW, K.L. **Economic evaluation of alternative irrigation systems for sugarcane in the Burdekin delta in north Queensland**. Australia: Water Resource Management, 2001. p. 47-57.

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

PORTO, R.L.L.; LANNA, A.E.L.; JÚNIOR, B.P.F.B.; CIRILO, J.A.; FILHO, K.Z.; AZEVEDO, L.G.T.; CALVO, L.G.; BARROS, M.T.L. de; BARBOSA, P.S.F. **Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos**. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRS, 1997. 420p.

PLANALSUCAR. **Controle químico de fabricação de açúcar**. São Paulo: Departamento Técnico. 1978. p.121.

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**, v.55, p.201-208, 1998.

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**, v.64, p.211-227, 1999.

ROSENFELD, U.; LEME, E.J.A. Produtividade da cana-de-açúcar irrigada por aspersão – Estudo de época de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 3., São Paulo, 1984.

SALOMON, K.H. Typical crop water production functions. Chicago: American Society of Agricultural Engineers, 1985. p.17-20 (ASAE. Paper, 85-2296).

SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, J.H.; CAVALCANTE, F.J.H. Dinâmica de nutrientes

em cana-de-açúcar: III Conteúdo de nutrientes e distribuição do sistema radicular no solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.22, p.425-431, 1987.

SAN JOSE, 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*, v.20, n.2, p.143-148, 1970.

SCARDUA, R. **O clima e a irrigação na produção agro-industrial da cana de açúcar** (*Saccharum spp.*). Piracicaba: ESALQ-USP, 1985. 122p. (Tese Livre Docência).

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

SHAW, M.E.A.; INNES, R.F. The growth pattern and yield of annual cane planted at different seasons and the effects of nitrogen treatments. In: Congress of the ISSCT, 12., Puerto Rico. **Proceedings...** Louisiana: Franklin Press, 1965. p.401-428.

SILVA, F. de A.S. e. The ASSISTAT Software: statistical assistance. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 6., Cancun, 1996. **Anais...** Cancun: American Society of Agricultural Engineers, 1996. p.294-298.

SILVA JUNIOR, L.D. Estágio de desenvolvimento exigências da cultura da Cana-de-açúcar. Disponível em: <http://www.univag.com.Br/artigos/artigo007.htm>. 30 nov. 2001.

SINDAÇÚCAR. Datafile. São Paulo: 1997. 59p.

SNEDECOR, G.W.; COCHRAN, W.G. **Statistical methods**. Ames: Iowa State College, 1974. 593p.

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, v.19, n.1, p.28-12, set. 1999.

STEGMAN, E.C., MUSICK, J.T.; STWART, J.I. Irrigation Water Management. In: JESEN, 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, v.99, n.4, p.421-439, 1974.

SUDENE. **Levantamento exploratório de solos do Estado da Paraíba. II – Interpretação para uso agrícola dos solos do Estado da Paraíba**. Recife: Ministério da Agricultura. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo/SUDENE. Divisão de Agricultura e Geologia, 1972. 670p.

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

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

UFPB. Centro de Tecnologia, Área de Recursos Hídricos. **Plano nacional de recursos hídricos: Unidade de Planejamento UP12, Bacia Hidrográfica dos rios Piranhas-Açú Territórios da Paraíba e Rio Grande do Norte, Situação atual dos recursos hídricos. Relatório.** João Pessoa, 1998. 36p.

UFPB. Centro de Tecnologia, Área de Recursos Hídricos. **Plano nacional de recursos hídricos: Unidade de Planejamento UP14, Bacias Hidrográficas dos rios Paraíba, Mamanguape e Miriri, Situação atual dos recursos hídricos. Relatório.** João Pessoa, 1998. 43p.

WATSON, D.J. Comparative physiological studies on the growth of field crops. I variation in nat assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within between years. **Annals of Botany**, v.11, n.41, 1947.

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

WIEDENFELD, R.P. Water stress during different sugar cane growth periods on yield and response to N fertilizer. **Agriculture Water Management**, v.43, p.173-182, 2000.

YANG, S.J. The role of soil moisture on the growth and yield of Sugarcane under the sub-tropical climate. **Taiwan Sugar**, v.26, n.3, p.84-93, 1979.

YOON, C.N. Growth studies on sugarcane. **Malaysian Agricultural Journal**, v.48, n.2, p.47-59,1971.

ANEXOS

Quadro A₁: Análises químicas e físicas do solo da Fazenda Capim, da Destilaria Miriri, Município de Capim-PB, feitas pelo Laboratório de Irrigação e Salinidade da UFPB

1. Características Químicas		Prof, cm		Níveis de fertilidade
		0-20		
Complexo Sortivo meq/100 ml de solo	Cálcio	1,09		Ca + Mg, Baixo
	Magnésio	0,63		
	Sódio	0,07		Baixo
	Potássio	0,05		
	Hidrogênio	3,16		Alto - nocivo
	Alumínio	0,72		
	S	1,61		Baixa
	T	5,50		Baixa
Carbonato de Cálcio Qualitativo		ausente		
Carbono Orgânico %		0,47		
Matéria Orgânica %		0,80		Baixa
Nitrogênio %		0,04		
Fósforo Assimilável mg/100 ml		2,64		Médio
pH H ₂ O (1:2,5)		4,54		Fortemente ácido
Condutividade Elétrica - mmhos/cm		0,12		

2. Características Físico-hídricas		Profundidade do Solo (cm)		
		0-20	20-50	50-100
Granulometria, %				
	Areia	66,99	66,69	61,64
	Silte	2,30	1,96	3,30
	Argila	30,68	31,35	35,07
Classe textural		Franco-Arg.- Aren	Franco-Arg.- Aren	Franco-Arg.- Aren
Densidade aparente, g/cm ³		1,39	1,38	1,27
Densidade real, g/cm ³		2,71	2,71	2,69
Porosidade, %		48,66	49,09	52,98
Umidade, %				
	Natural	0,52	0,65	0,72
	0,10 atm	12,62	11,88	15,26
	0,33 atm		9,78	9,94
	15,0 atm	6,13	7,79	8,06
Água disponível, %		6,49	4,10	7,20
Água disponível, mm/cm de solo		0,90	0,57	0,91
Água disponível na camada, mm		18,04	16,96	27,35
Água disponível total, mm				62,35
Água aproveitável pela planta (75%) mm				41,77

Quadro A₂: Aplicação de água do pivô central 2 da Fazenda Capim, da Destilaria Miriri, Município de Capim, PB

Leitura no Percentrômetro, %	Tempo por volta, h	Lâmina Bruta aplicada por volta, mm
10	98,0	70,5
15	67,5	48,5 (41,3)
17	57,4	41,3
20	49,0	35,3
22	45,9	32,4 (27,5)
25	39,0	28,2
30	33,0	23,5
35	28,0	20,2
40	25,0	17,6
43	23,2	16,4 (13,8)
45	22,0	15,7
50	20,0	14,1
55	18,0	12,8
60	16,0	11,8
65	15,0	10,9
70	14,0	10,0
75	13,0	9,4
80	12,0	8,8
85	11,5	8,3
90	11,0	7,8
95	10,5	7,4
100	10,0	7,0

() Lâmina líquida

Quadro A₃: Quantidades líquidas programadas e aplicadas de água por tratamento mais precipitação efetiva, em mm, para intervalos de 24 dias e suspensão da irrigação 24 dias antes da colheita. Fazenda Capim, da Destilaria Miriri, município de Capim, PB

Mês	Dia	Total dias	ETR* mm/24d	PEf** mm/24d	Quantidade de água programada + PEf				Quantidade de água aplicada + PEf				
					Trat 0	Trat 1	Trat 2	Trat 3	Trat 0	Trat 1	Trat 2	Trat 3	
Agosto	24	24	37,4	75,3	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4
Setembro	17	48	45,6	51,3	45,6	45,6	45,6	45,6	45,6	45,6	45,6	45,6	45,6
Outubro	11	72	69,8	41,3	41,3	68,9	69,8	69,8	41,3	41,3	41,3	41,3	41,3
Novembro	4	96	108,0	0,0	0,0	27,6	55,0	82,6	0,0	13,8	27,5	41,3	41,3
Novembro	28	120	135,0	0,0	0,0	27,6	55,0	82,6	0,0	13,8	27,5	41,3	41,3
Dezembro	23	144	126,5	41,3	41,3	68,9	96,3	123,9	41,3	55,1	68,8	82,6	82,6
Janeiro	16	168	142,5	24,0	24,0	51,6	79,0	106,6	24,0	51,6	79,0	106,6	106,6
Fevereiro	9	192	174,4	0,0	0,0	27,6	55,0	82,6	0,0	13,8	27,5	41,3	41,3
Março	4	216	166,1	17,0	17,0	44,6	72,0	99,6	17,0	44,6	72,0	99,6	99,6
Março	28	240	103,7	62,8	62,8	90,4	103,7	103,7	62,8	76,6	90,3	103,7	103,7
Abril	21	264	103,8	82,6	82,6	103,8	103,8	103,8	82,6	96,4	103,8	103,8	103,8
Mai	15	288	120,6	41,3	41,3	68,9	96,3	120,6	41,3	41,3	41,3	41,3	41,3
Junho	10	312	123,1	50,6	50,6	78,2	105,6	123,1	50,6	64,4	78,1	91,9	91,9
Julho	4	336	104,0	49,8	49,8	77,4	104,0	104,0	49,8	49,8	49,8	49,8	49,8
Julho	28	360	71,2	69,3	69,3	71,2	71,2	71,2	69,3	69,3	69,3	69,3	69,3
Agosto	22	384	64,1	26,5	26,5	54,1	64,1	64,1	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5
Setembro	15	408	35,1	19,5	19,5	35,1	35,1	35,1	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5
TOTALS, em mm			1730,9	652,6	609,0	978,9	1249,0	1456,3	609,0	760,8	905,3	1042,8	1042,8

* Evapotranspiração real calculada da cultura em intervalos de 24 dias, em mm

** Precipitação efetiva acumulada em 24 dias, mm

Quadro A₄: Número de colmos por hectare de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras

a) Lâmina 1 (W₀ - sem irrigação) mais somas das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura (609 mm)

Irrig+PEf mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
609	1	68.889	70.833	79.167	79.722
	2	66.944	74.167	71.667	69.167
	3	69.444	73.889	77.500	81.389

b) Lâmina 2 (W₁=13,8 mm) mais soma das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura sendo a água total igual a 761 mm

Irrig+PEf mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
761	1	68.333	79.444	84.167	82.778
	2	79.167	81.389	78.056	91.944
	3	80.278	80.833	81.111	87.500

c) Lâmina 3 (W₂=27,5 mm) mais somas das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura sendo a água total igual a 905 mm

Irrig+PEf mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
905	1	80.833	85.833	87.778	92.778
	2	81.389	92.222	89.722	92.500
	3	89.444	84.167	104.444	91.111

d) Lâmina 4 (W₃=41,3 mm) mais somas das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura sendo a água total igual a 1043 mm

Irrig+PEf mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
1.043	1	86.111	81.111	83.611	104.722
	2	72.778	80.000	89.722	85.556
	3	78.333	79.167	71.389	85.556

e) Média do número de colmos por hectare de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras

Irrigação mm	Irrig+PEf mm	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
0	609	68.426	72.963	76.111	76.759
152	761	75.926	80.556	81.111	87.407
303	905	83.889	87.407	93.981	92.130
454	1.043	79.074	80.093	81.574	91.944

Quadro A5: Peso médio de colmos em kg de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras

a) Lâmina 1 (W0 - sem irrigação) mais somas das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura (609 mm)

Irrig+PEf mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
609	1	0,69	0,67	0,67	0,66
	2	0,68	0,67	0,74	0,76
	3	0,74	0,65	0,65	0,64

b) Lâmina 2 (W1=13,8mm) mais somas das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura sendo a água total igual a 761 mm

Irrig+PEf mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
761	1	1,02	0,98	0,87	0,99
	2	0,96	0,97	1,01	1,04
	3	0,95	0,96	1,04	0,89

c) Lâmina 3 (W2=27,5 mm) mais somas das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura sendo a água total igual a 905 mm

Irrig+PEf mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
905	1	1,02	0,98	0,98	1,01
	2	1,03	0,95	1,00	1,08
	3	0,92	1,03	0,98	1,03

d) Lâmina 4 (W3=41,3 mm) mais somas das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura sendo a água total igual a 1043 mm

Irrig+PEf mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
1.043	1	1,09	1,06	1,13	1,14
	2	1,06	1,17	1,14	1,13
	3	0,99	0,97	1,13	1,09

e) Peso médio por colmos em kg de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras

Irrigação mm	Irrig+PEf mm	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
0	609	0,70	0,66	0,68	0,69
152	761	0,98	0,97	0,98	0,97
303	905	0,99	0,99	0,99	1,04
454	1.043	1,05	1,07	1,13	1,12

Quadro A₆: Diâmetros médios dos colmos em mm de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras

a) Lâmina 1 (W0 - sem irrigação) mais somas das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura (609 mm)

Irrig+PEf mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
609	1	22,9	22,9	22,9	23,0
	2	23,0	21,5	23,2	24,4
	3	23,2	23,1	23,4	24,3

b) Lâmina 2 (W1=13,8mm) mais somas das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura sendo a água total igual a 761 mm

Irrig+Pef mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
761	1	22,3	23,0	23,4	23,8
	2	23,2	21,5	25,5	23,1
	3	25,3	24,4	24,5	22,7

c) Lâmina 3 (W2=27,5 mm) mais somas das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura sendo a água total igual a 905 mm

Irrig+PEf mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
905	1	22,7	23,2	23,4	23,4
	2	22,3	21,3	24,0	23,7
	3	25,2	24,4	24,8	23,6

d) Lâmina 4 (W3=41,3 mm) mais somas das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura sendo a água total igual a 1043 mm

Irrig+PEf mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
1.043	1	22,4	25,4	23,9	23,8
	2	22,4	21,9	23,8	24,2
	3	23,0	23,9	25,7	22,6

e) Diâmetros médios dos colmos em mm de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras

Irrigação - mm	Irrig+PEf mm	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
0	609	23,1	22,5	23,2	23,9
152	761	23,6	23,0	24,5	23,2
303	905	23,4	23,0	24,1	23,6
454	1.043	22,6	23,7	24,4	23,6

Quadro A7: Comprimentos médios dos colmos em m de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras

a) Lâmina 1 (W0 - sem irrigação) mais somas das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura (609 mm)

Irrig+Pef mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
609	1	1,58	1,56	1,55	1,61
	2	1,56	1,54	1,71	1,50
	3	1,71	1,61	1,56	1,60

b) Lâmina 2 (W1=13,8mm) mais somas das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura sendo a água total igual a 761 mm

Irrig+PEf mm	Repetições	Adubação			
		85	167	305	458
761	1	1,79	2,06	2,12	2,15
	2	2,17	2,23	2,25	2,37
	3	2,37	1,85	2,30	2,14

c) Lâmina 3 (W2=27,5 mm) mais somas das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura sendo a água total igual a 905 mm

Irrig+PEf mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
905	1	2,40	2,50	2,50	2,44
	2	2,40	2,38	2,46	2,60
	3	2,57	2,54	2,46	2,47

d) Lâmina 4 (W3=41,3 mm) mais somas das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura sendo a água total igual a 1043 mm

Irrig+PEf mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
1.043	1	2,61	2,79	2,58	2,75
	2	2,37	2,45	2,58	2,69
	3	2,43	2,36	2,44	2,37

e) Comprimentos médios dos colmos em m de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras

Irrigação mm	Irrig+PEf mm	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
0	609	1,62	1,57	1,61	1,57
152	761	2,11	2,05	2,22	2,22
303	905	2,46	2,47	2,47	2,50
454	1.043	2,47	2,53	2,53	2,60

Quadro A₈: Número de internódios por colmo em cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras

a) Lâmina 1 (W0 - sem irrigação) mais somas das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura (609 mm)

Irrig+PEf mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
609	1	19,8	19,9	19,4	19,8
	2	20,8	22,7	22,0	18,7
	3	21,7	20,9	20,8	21,0

b) Lâmina 2 (W1=13,8mm) mais somas das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura sendo a água total igual a 761 mm

Irrig+PEf mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
761	1	21,1	21,6	22,2	23,4
	2	22,1	22,1	22,6	24,0
	3	23,9	22,7	23,8	22,2

c) Lâmina 3 (W2=27,5 mm) mais somas das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura sendo a água total igual a 905 mm

Irrig+PEf mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
905	1	24,7	25,4	24,9	23,7
	2	23,6	24,2	23,4	26,3
	3	25,5	24,5	23,0	24,7

d) Lâmina 4 (W3=41,3 mm) mais somas das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura sendo a água total igual a 1043 mm

Irrig+PEf mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
1.043	1	25,3	27,3	24,9	26,5
	2	24,9	25,4	24,1	25,5
	3	25,3	25,0	23,1	23,8

e) Número médio de internódios por colmo em cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras

Irrigação mm	Irrig+PEf mm	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
0	609	20,8	21,2	20,8	19,8
152	761	22,4	22,1	22,9	23,2
303	905	24,6	24,7	23,8	24,9
454	1.043	25,2	25,9	24,0	25,3

Quadro A₉: Incidência de *Diatraea saccharalis* em % (internódios atacados divididos por total de internódios vezes 100) em cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras

a) Lâmina 1 (W0 - sem irrigação) mais somas das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura (609 mm)

Irrig+PEf mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
609	1	6,33	10,46	9,01	7,56
	2	8,40	8,82	6,44	7,14
	3	12,31	9,56	12,00	8,73

b) Lâmina 2 (W1=13,8mm) mais somas das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura sendo a água total igual a 761 mm

Irrig+PEf mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
761	1	7,91	5,79	9,02	10,68
	2	13,21	10,94	7,38	10,42
	3	3,48	8,46	11,19	9,02

c) Lâmina 3 (W2=27,5 mm) mais somas das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura sendo a água total igual a 905 mm

Irrig+PEf mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
905	1	4,39	5,90	7,02	5,99
	2	2,83	7,93	7,47	6,35
	3	8,17	7,82	9,42	7,09

d) Lâmina 4 (W3=41,3 mm) mais somas das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura sendo a água total igual a 1043 mm

Irrig+PEf mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
1.043	1	6,58	6,10	18,06	9,43
	2	2,34	6,23	12,80	5,23
	3	5,59	7,67	9,39	7,72

e) Incidência de *Diatraea saccharalis* em % (internódios atacados divididos por total de internódios) em cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras

Irrigação mm	Irrig+PEf mm	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
0	609	9,01	9,62	9,15	7,81
152	761	8,20	8,40	9,20	10,04
303	905	5,13	7,22	7,97	6,48
454	1.043	4,84	6,66	13,42	7,46

Quadro A₁₀: Produção em kg ha⁻¹ de colmo-de-cana de açúcar (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras

a) Lâmina 1 (W₀ - sem irrigação) mais soma das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura (609 mm)

Irrig+PEf mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
609	1	47.222	47.222	52.778	52.778
	2	45.833	50.000	52.778	52.778
	3	51.389	47.778	50.000	52.222

b) Lâmina 2 (W₁=13,8mm) mais soma das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura sendo a água total igual a 761 mm

Irrig+PEf mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
761	1	69.444	77.778	73.611	81.944
	2	76.389	79.167	79.167	95.833
	3	76.389	77.778	84.722	77.778

c) Lâmina 3 (W₂=27,5 mm) mais soma das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura sendo a água total igual a 905 mm

Irrig+PEf mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
905	1	82.500	84.167	85.833	93.889
	2	83.611	87.500	90.000	100.000
	3	82.222	86.944	102.500	93.889

d) Lâmina 4 (W₃=41,3 mm) mais soma das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura sendo a água total igual a 1043 mm

Irrig+PEf mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
1.043	1	94.167	85.833	94.167	119.444
	2	76.944	93.611	102.500	96.389
	3	77.500	76.944	80.556	93.611

e) Produção média em kg ha⁻¹ de colmo de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras

Irrigação mm	Irrig+PEf mm	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
0	609	48.148	48.333	51.852	52.593
152	761	74.074	78.241	79.167	85.185
303	905	82.778	86.204	92.778	95.926
454	1.043	82.870	85.463	92.407	103.148

Quadro A₁₁: Percentagem de sólidos solúveis (Brix) média por colmos de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras

Irrigação mm	Irrig+PEf mm	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
0	609	21,37	20,85	21,43	21,50
152	761	22,03	22,95	22,87	21,67
303	905	22,80	22,83	23,27	21,97
454	1.043	21,70	22,00	22,73	21,80

Quadro A₁₂: Percentagem de sacarose (Pol do caldo em %) média de cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras

Irrigação mm	Irrig+PEf mm	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
0	609	17,75	17,82	18,76	18,34
152	761	19,27	20,33	20,06	18,86
303	905	20,23	20,09	20,71	19,64
454	1.043	19,90	19,66	20,32	19,42

Quadro A₁₃: Percentagem de fibra industrial na cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras

Irrigação mm	Irrig+PEf mm	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
0	609	16,22	15,99	14,95	15,06
152	761	14,91	13,92	14,60	13,58
303	905	14,07	38,35	14,25	14,13
454	1.043	14,80	14,46	13,91	13,91

Quadro A₁₄: Pureza do caldo em % da cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras

Irrigação mm	Irrig+PEf mm	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
0	609	83,02	85,46	87,55	85,29
152	761	87,46	88,56	87,74	87,10
303	905	88,72	78,20	89,08	89,38
454	1.043	91,69	89,37	89,40	89,10

Quadro A₁₅: Percentagem de açúcar bruto (PCC) na cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras

Irrigação mm	Irrig+PEf mm	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
0	609	15,51	16,32	17,12	15,46
152	761	16,31	16,05	16,53	15,72
303	905	17,21	15,36	16,71	16,14
454	1.043	15,51	16,32	17,12	15,46

Quadro A16: Rendimento bruto de açúcar em kg ha^{-1} da cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras

a) Lâmina 1 (W_0 - sem irrigação) mais somas das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura (609 mm)

Irrig+PEF mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha^{-1}			
		85	167	305	458
609	1	6.347	6.630	7.661	7.635
	2	6.660	7.225	8.323	7.677
	3	7.086	6.514	7.447	7.861

b) Lâmina 2 ($W_1=13,8\text{mm}$) mais somas das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura sendo a água total igual a 761 mm

Irrig+Pef mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha^{-1}			
		85	167	305	458
761	1	10.392	12.927	12.129	12.150
	2	12.389	13.342	12.540	14.698
	3	11.656	12.741	13.818	12.703

c) Lâmina 3 ($W_2=27,5$ mm) mais somas das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura sendo a água total igual a 905 mm

Irrig+Pef mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha^{-1}			
		85	167	305	458
905	1	13.696	13.932	14.558	15.619
	2	13.105	14.007	15.139	15.212
	3	14.149	13.355	17.126	15.155

d) Lâmina 4 ($W_3=41,3$ mm) mais somas das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura sendo a água total igual a 1043 mm

Irrig+Pef mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha^{-1}			
		85	167	305	458
1.043	1	14.607	14.011	16.123	18.461
	2	12.551	15.026	16.946	15.152
	3	13.336	11.819	13.459	15.110

e) Rendimento médio bruto de açúcar em kg ha^{-1} da cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras

Irrigação mm	Irrig+PEF mm	Adubação de cobertura, kg ha^{-1}			
		85	167	305	458
0	609	6.698	6.790	7.810	7.724
152	761	11.479	13.003	12.829	13.183
303	905	13.650	13.765	15.608	15.328
454	1.043	13.498	13.619	15.510	16.241

Quadro A₁₇: Rendimento bruto de álcool em L ha⁻¹ da cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) em função do fator água variável, o fator adubação de cobertura constante e espaçamento de 1,2 m entre fileiras

a) Adubação de cobertura constante: 44 kg de N ha⁻¹ e 41 kg de K₂O ha⁻¹

Repetições	Irrigação, mm			
	0	152	303	454
1	4.537	7.393	9.703	10.376
2	4.744	8.785	9.306	8.898
3	5.060	8.286	10.011	9.436
Média	4.780	8.155	9.673	9.570

b) Adubação de cobertura constante: 86 kg de N ha⁻¹ e 81 K₂O ha⁻¹

Repetições	Irrigação, mm			
	0	152	303	454
1	4.730	9.158	9.872	9.933
2	5.148	9.447	9.938	10.659
3	4.654	9.031	9.491	8.399
Média	4.844	9.212	9.767	9.664

c) Adubação de cobertura constante: 157 kg de N ha⁻¹ e 148 kg de K₂O ha⁻¹

Repetições	Irrigação, mm			
	0	152	303	454
1	5.457	8.596	10.305	11.409
2	5.909	8.900	10.720	12.008
3	5.299	9.796	12.130	9.533
Média	5.555	9.098	11.052	10.983

d) Adubação de cobertura constante: 236 kg de N ha⁻¹ e 222 kg de K₂O ha⁻¹

Repetições	Irrigação, mm			
	0	152	303	454
1	5.440	8.647	11.065	13.116
2	5.468	10.446	10.815	10.758
3	5.592	9.005	10.748	10.717
Média	5.500	9.366	10.876	11.530

e) Valores médios de rendimento bruto de álcool por nível de irrigação

Repetições	Irrigação, mm			
	0	152	303	454
Média	5.170	8.958	10.342	10.437

Quadro A₁₈: Rendimento bruto de álcool em L ha⁻¹ da cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) em função do fator adubação de cobertura variável, o fator água constante e espaçamento de 1,2 m entre fileiras

a) Lâmina de irrigação $W_0=0$ mm (água total 609 mm)

Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
	85	167	305	458
1	4.537	4.730	5.457	5.440
2	4.744	5.148	5.909	5.468
3	5.060	4.654	5.299	5.592
Média	4.780	4.844	5.555	5.500

b) Lâmina de irrigação $W_1=152$ mm (água total 761 mm)

Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
	85	167	157	458
1	7.393	9.158	8.596	8.647
2	8.785	9.447	8.900	10.446
3	8.286	9.031	9.796	9.005
Média	8.155	9.212	9.098	9.366

c) Lâmina de irrigação $W_2=303$ mm (água total 905 mm)

Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
	85	167	157	458
1	9.703	9.872	10.305	11.065
2	9.306	9.938	10.720	10.815
3	10.011	9.491	12.130	10.748
Média	9.673	9.767	11.052	10.876

d) Lâmina de irrigação $W_3=454$ mm (água total 1.043 mm)

Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
	85	167	157	458
1	10.376	9.933	11.409	13.116
2	8.898	10.659	12.008	10.758
3	9.436	8.399	9.533	10.717
Média	9.570	9.664	10.983	11.530

e) Valores de rendimento bruto de álcool por nível de adubação de cobertura

Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
	85	167	157	458
Média	8.045	8.372	9.172	9.318

Quadro A₁₉: Rendimento bruto de álcool em litros por hectare da cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, níveis de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras

a) Lâmina 1 (W₀ - sem irrigação) mais somas das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura (609 mm)

Irrig+PEf mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
609	1	4.537	4.730	5.457	5.440
	2	4.744	5.148	5.909	5.468
	3	5.060	4.654	5.299	5.592

b) Lâmina 2 (W₁=13,8mm) mais somas das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura sendo a água total igual a 761 mm

Irrig+PEf mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
761	1	7.393	9.158	8.596	8.647
	2	8.785	9.447	8.900	10.446
	3	8.286	9.031	9.796	9.005

c) Lâmina 3 (W₂=27,5 mm) mais somas das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura sendo a água total igual a 905 mm

Irrig+PEf mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
905	1	9.703	9.872	10.305	11.065
	2	9.306	9.938	10.720	10.815
	3	10.011	9.491	12.130	10.748

d) Lâmina 4 (W₃=41,3 mm) mais somas das precipitações efetivas durante o ciclo da cultura sendo a água total igual a 1043 mm

Irrig+PEf mm	Repetições	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
1.043	1	10.376	9.933	11.409	13.116
	2	8.898	10.659	12.008	10.758
	3	9.436	8.399	9.533	10.717

e) Rendimento médio bruto de álcool em litros por hectare da cana-de-açúcar planta (*Saccharum officinarum* L., variedade SP-79 1011) sob diferentes níveis de irrigação, de adubação de cobertura e espaçamento de 1,2 m entre fileiras

Irrigação mm	Irrig+PEf mm	Adubação de cobertura, kg ha ⁻¹			
		85	167	305	458
0	609	4.780	4.844	5.555	5.500
152	761	8.155	9.212	9.098	9.366
303	905	9.673	9.767	11.052	10.876
454	1.043	9.570	9.664	10.983	11.530