

IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR DE CANA-DE-AÇÚCAR: MODELO DE ANÁLISE DE DECISÃO PARA O ESTADO DE SÃO PAULO

CLEBIO SANTO MATIOLI

Orientador: Prof. Dr. **JOSÉ ANTÔNIO FRIZZONE**

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura
"Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, para
obtenção do título de Doutor em Agronomia, Área de
Concentração: Irrigação e Drenagem.

PIRACICABA

Estado de São Paulo - Brasil

Junho - 1998

ERRATA

1. No penúltimo parágrafo da página iv, onde se lê: “Ao Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP, pela oportunidade de aperfeiçoamento e pelos ensinamentos recebidos.”, leia-se: “Ao Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP e à CAPES (Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela oportunidade de aperfeiçoamento, pela concessão de bolsa de estudos e pelos ensinamentos recebidos.”.
2. No último parágrafo da página 2, onde se lê: “O objetivo do presente trabalho consistiu na elaboração de um modelo de análise de decisão ...”, leia-se: “O objetivo do presente trabalho consistiu na elaboração de um modelo de Análise de Decisão ...”.
3. Na Tabela 9 apresentada na página 14, onde se lê: “... U0,3 e U15 ...”, leia-se: “... $\theta_{0,3}$ e θ_{15} ...”.
4. Na primeira linha da página 17, onde se lê: “... durante 11 anos no município de arrasaras ...”, leia-se: “... durante 11 anos no Município de Araras-SP ...”.
5. No primeiro parágrafo da página 28, onde se lê: “... sistemas de aspersão Pivô Central fixo e Autopropelido de longo ...”, leia-se: “... sistemas de aspersão pivô central fixo e autopropelido de longo ...”.
6. No primeiro parágrafo da página 61, onde se lê: “... área de sequeiro (normalmente aquelas com solos de baixa fertilidade) ...”, leia-se: “... área de sequeiro (normalmente aquelas com solos de baixa fertilidade e com pequena capacidade de retenção de água) ...”.
7. No primeiro parágrafo da página 72, onde se lê: “... desenvolvimento da cultura, na região Norte do Estado de São Paulo, permite concluir ...”, leia-se: “... desenvolvimento da cultura, nas condições estudadas para a região Norte do Estado de São Paulo, permite concluir ...”.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP

Matioli, Clebio Santo

Irrigação suplementar de cana-de-açúcar: modelo de análise de decisão para o Estado de São Paulo / Clebio Santo Matioli. - - Piracicaba, 1998.

122 p. : il.

Tese (doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1998.
Bibliografia.

1. Análise de decisão 2. Análise de risco 3. Cana-de-açúcar 4. Cana-soca 5. Deficiência hídrica 6. Irrigação

CDD 633.61

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Olívio e Alecia.

Aos meus avós: David e Divina,

Pedro e Maria, com profunda recordação.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. José Antônio Frizzone, pelo incentivo, pelo apoio, pela amizade e pela orientação na realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Fernando Curi Peres, pela colaboração, pela amizade e pelos ensinamentos recebidos.

Ao Prof. Dr. Nilson Augusto Villa Nova, Prof. Dr. Valter Barbieri, Prof. Dr. Rogério Teixeira Faria, Prof. Dr. Rubens Duarte Coelho e ao Prof. Dr. João Luis Zocoler, pelas valiosas críticas, informações e sugestões apresentadas.

Aos Eng^{os} Rogério Remo Alfonsi, Hélio do Prado e Dib Nunes Jr., pelo fornecimento de dados e pelas valiosas informações prestadas.

Ao Prof. Dr. Durval Dourado Neto, Prof. Dr. Valter Barbieri e ao Sr. Robson Luiz Tuon, pela concessão dos programas computacionais para a elaboração de balanços hídricos de culturas.

Ao Prof. Dr. Carlos Tadeu dos Santos Dias, pela realização e pela interpretação das análises estatísticas.

Ao Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP, pela oportunidade de aperfeiçoamento e pelos ensinamentos recebidos.

Aos Eng^{os} Axel Garcia, Alexandre Heinemann e André Elias Neto, pela amizade, pelo estímulo e pelas colaborações prestadas; e a todos aqueles que, direta ou indiretamente, colaboraram para que este trabalho pudesse ser realizado.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	ix
CURRICULUM VITAE.....	xiv
RESUMO.....	xv
SUMMARY.....	xvi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Consumo de água pela cana-de-açúcar.....	4
2.2. Produção e consumo de água.....	6
2.3. Produção e deficiência hídrica.....	7
2.4. Balanço hídrico.....	8
2.4.1. Coeficiente de cultura (Kc).....	9
2.4.2. Sistema radicular.....	11
2.4.3. Solos da região Norte Paulista.....	12
2.5. Produtividade de cana sequeiro na região Norte Paulista....	14

	Página
2.6. Funções de produção.....	16
2.7. Benefícios da irrigação.....	22
2.7.1. Benefícios diretos.....	22
2.7.2. Benefícios indiretos.....	24
2.8. Custos da irrigação.....	27
2.9. Análise de decisão.....	29
2.9.1. Árvore de decisão.....	29
2.9.2. Função utilidade.....	31
3. METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS.....	33
3.1. Determinação das deficiências hídricas.....	33
3.1.1. Dados climatológicos.....	33
3.1.2. Solo.....	34
3.1.3. Coeficiente de cultura (Kc).....	34
3.1.4. Crescimento do sistema radicular.....	34
3.2. Irrigação suplementar.....	35
3.3. Análise de decisão.....	35
3.4. Probabilidades das deficiências hídricas.....	38
3.5. Custos da irrigação suplementar.....	40
3.5.1. Custos fixos da irrigação.....	41

3.5.2. Custo operacional da irrigação.....	41
3.5.3. Preço da água para irrigação.....	42
3.6. Benefícios diretos da irrigação.....	43
3.6.1. Benefício com o aumento de produtividade (BAP).....	43
3.6.2. Benefício com o aumento de longevidade (BAL).....	46
3.7. Benefícios indiretos da irrigação.....	47
3.7.1. Benefício com a redução de arrendamento (BRA).....	48
3.7.2. Benefício com a redução de plantio (BRP).....	48
3.7.3. Benefício com a redução dos tratos culturais (BTC)..	49
3.7.4. Benefício com a redução de transporte (BRT).....	49
3.8. Aversão ao risco.....	50
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
4.1. Análise de decisão da irrigação da cana soca de maio.....	52
4.1.1. Valores esperados de receitas líquidas.....	52
4.1.2. Análise de sensibilidade das variáveis.....	54
4.2. Análise de decisão da irrigação da cana soca de julho.....	62
4.2.1. Valores esperados de receitas líquidas.....	62
4.2.2. Análise de sensibilidade das variáveis.....	64
4.3. Análise de decisão da irrigação da cana soca de setembro.	64

4.3.1. Valores esperados de receitas líquidas.....	64
4.3.2. Análise de sensibilidade das variáveis.....	65
4.4. Análise de decisão da irrigação da cana soca de novembro.....	65
4.4.1. Valores esperados de receitas líquidas.....	65
4.4.2. Análise de sensibilidade das variáveis.....	66
4.5. Resumo dos resultados obtidos.....	67
4.6. Análise do risco.....	69
5. CONCLUSÕES.....	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
APÊNDICE 1.....	80
APÊNDICE 2.....	83
APÊNDICE 3.....	89
APÊNDICE 4.....	106
APÊNDICE 5.....	121

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Evolução da produção de cana-de-açúcar no Brasil, segundo o IBGE, citada pelo artigo Cana-de-açúcar... (1997).....	03
2 Consumos de água pela cana, obtidos pelo método de "Campo" por diversos autores, extraído de Scardua & Rosenfeld (1987).....	04
3 Consumos de água pela cana-de-açúcar, obtidos em lisímetros por diversos autores, segundo Peres (1988).....	05
4 Consumo de água versus produção: informações obtidas em lisímetros, de acordo com Peres (1988).....	06
5 Valores do coeficiente cultural (Kc) para cana-de-açúcar, segundo a FAO (1977 e 1979).....	10
6 Valores de Kc para cana planta, segundo Barbieri (1981).....	10
7 Valores de Kc para cana soca, segundo Peres (1988).....	11

8	Classificação, área e distribuição percentual dos latossolos roxos da quadrícula de Ribeirão Preto-SP, extraído de Oliveira & Prado (1987).....	13
9	Atributos físico-hídricos de Latossolo Roxo Ácrico, extraídos de Alleoni (1992).....	14
10	Produtividades médias de cana-de-açúcar das principais regiões canavieiras paulistas nas últimas 3 safras, segundo IDEA (1997).....	15
11	Produção de cana-de-açúcar da usina São Martinho na safra 93/94, adaptado de Lima (1994).....	15
12	Produção de cana planta irrigada e não irrigada, segundo Barreto et al. (1971).....	23
13	Produção de cana irrigada e não irrigada, segundo Carretero (1982).....	24
14	Produção de cana planta irrigada e não irrigada (variedade SP80-1842), extraído de Guazzelli & Paes (1997).....	25
15	Evolução dos custos de produção de cana-de-açúcar na região de Ribeirão Preto-SP, segundo Nunes Jr. (1996).....	25

16 Custos da colheita mecanizada de cana crua em R\$/t, segundo Balbo Jr. (1994).....	26
17 Valores de investimentos, custos fixos e operacionais do projeto de irrigação “padrão”, adaptado de Leme (1991).....	27
18 Valores ⁽⁷⁾ de investimentos, custos fixos e operacionais para irrigação anual de 150 mm (Matioli & Barcelos, 1994).....	28
19 Valores de áreas irrigadas, lâminas aplicadas e custos da irrigação na usina Sapucaia, segundo Giacomini et. al. (1996).....	29
20 Probabilidades das deficiências hídricas mensais, para o 1º estádio de desenvolvimento da cana soca de maio.....	39
21 Probabilidades das deficiências hídricas mensais, para o 1º estádio de desenvolvimento da cana soca de julho.....	39
22 Probabilidades das deficiências hídricas mensais, para o 1º estádio de desenvolvimento da cana soca de setembro.....	40
23 Probabilidades das deficiências hídricas mensais, para o 1º estádio de desenvolvimento da cana soca de novembro.....	40
24 Aumento de produtividade esperado (APE) para a cana soca irrigada no primeiro estágio de desenvolvimento.....	45

25	Receitas líquidas esperadas, com a irrigação suplementar (RLI) da cana soca de maio.....	53
26	Análise de sensibilidade da variável lâmina mensal de irrigação (LI) da cana soca de maio.....	54
27	Análise de sensibilidade da variável custo fixo da irrigação (CFI) da cana soca de maio.....	55
28	Análise de sensibilidade da variável custo operacional unitário da irrigação (CUI) da cana soca de maio.....	55
29	Análise de sensibilidade da variável preço do uso da água (PUA) da cana soca de maio.....	56
30	Análise de sensibilidade da variável aumento produtividade esperado (APE) da cana soca de maio.....	56
31	Análise de sensibilidade da variável preço da cana no campo (PCC) da cana soca de maio.....	57
32	Análise de sensibilidade da variável custo de preparo de solo e plantio (CP) da cana soca de maio.....	58
33	Análise de sensibilidade da variável longevidade da cana de sequeiro (LCS) da cana soca de maio.....	59

34	Análise de sensibilidade da variável preço do arrendamento (PA) da cana soca de maio.....	59
35	Análise de sensibilidade da variável produtividade média de sequeiro (PMS) da cana soca de maio.....	60
36	Análise de sensibilidade da variável custo com tratos culturais de soqueiras (CTS) da cana soca de maio.....	61
37	Análise de sensibilidade da variável custo com transporte do arrendamento dispensado (CTA) da cana soca de maio.....	61
38	Análise de sensibilidade da variável custo com transporte da área irrigada (CTI) da cana soca de maio.....	62
39	Receitas líquidas esperadas, com a irrigação suplementar (RLI) da cana soca de julho.....	63
40	Receitas líquidas esperadas, com a irrigação suplementar (RLI) da cana soca de setembro.....	64
41	Receitas líquidas esperadas, com a irrigação suplementar (RLI) da cana soca de novembro.....	66
42	Receita líquida esperada com a irrigação suplementar de canas socas.....	67
43	Utilidade esperada com a irrigação suplementar de um tomador de decisão “averso” ao risco.....	70

CURRICULUM VITAE

Clebio Santo Matioli nasceu em 01 de novembro de 1956 no município de Mogi Mirim, Estado de São Paulo.

Graduou-se em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) em 1979.

Concluiu o curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, a nível de Mestrado pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP) em 1989.

Trabalhou durante 12 anos pela COPERSUCAR, de 1979 a 1991, onde ocupou o cargo de Chefe da Seção de Hidráulica Agrícola do Centro de Tecnologia COPERSUCAR (CTC).

Durante sua carreira profissional de 19 anos, desenvolveu e prestou consultoria à implantação de dezenas de projetos de Irrigação, Drenagem e Fertirrigação com resíduos líquidos industriais, principalmente junto aos setores canavieiro e sucro-alcooleiro.

Publicou diversos trabalhos técnicos e científicos relativos à sua área de atuação profissional.

Atualmente, é Diretor da MATIOLI Engenharia Agrícola S/C Ltda, empresa que atua, principalmente, junto ao setor sucro-alcooleiro, desenvolvendo projetos e prestando consultoria na área de Irrigação, Drenagem, Fertirrigação com resíduos líquidos industriais e Hidráulica Agrícola.

IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR DE CANA-DE-AÇÚCAR: MODELO DE ANÁLISE DE DECISÃO PARA O ESTADO DE SÃO PAULO

Autor: Clebio Santo Matioli

Orientador: Dr. José Antônio Frizzone

RESUMO

Para usar a capacidade instalada das usinas de açúcar e álcool no Estado de São Paulo, seus administradores têm que recorrer ao arrendamento de terras distantes e, muitas vezes, de baixa fertilidade. O uso de técnicas que aumentam a produtividade da terra pode reduzir a necessidade do arrendamento dessas áreas marginais. A irrigação suplementar da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) apresenta-se como uma dessas alternativas. Até hoje, todavia, acredita-se que essa tecnologia não seja rentável nas condições do Estado de São Paulo. O estudo avalia a economicidade da irrigação suplementar durante o primeiro estágio de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar (ciclo de cana soca) na região Norte Paulista. A árvore de decisão, um instrumento da Análise de Decisão, foi utilizada na avaliação dos valores esperados dos retornos, associados a diferentes alternativas disponíveis para a escolha do tomador de decisão. Os resultados mostram que a irrigação suplementar, das socas colhidas desde o início até meados da safra (maio a julho), aumenta os valores esperados por hectare de área cultivada. Os retornos líquidos esperados são maiores quando foram considerados os benefícios indiretos da irrigação (redução de custos com arrendamento, plantio, tratamentos culturais e transporte de cana). Para as socas colhidas desde meados até o final da safra (setembro a novembro), a irrigação suplementar preconizada mostrou-se economicamente inviável.

SUPPLEMENTARY IRRIGATION OF SUGAR CANE: A DECISION ANALYSIS MODEL FOR THE SÃO PAULO STATE

Author: Clebio Santo Matioli

Adviser: Dr. José Antônio Frizzone

SUMMARY

To fulfill plant capacities of sugar mills and alcohol distilleries of the São Paulo state, managers have to rent land from farms located far from the industry and, sometimes, with soils of low fertility. The use of techniques that increase land productivity may lower the requirement for renting those marginal areas. Supplementary irrigation of sugar cane (*Saccharum spp*) is one of the available alternatives. At this moment, irrigation is thought to be unprofitable in São Paulo state. The study evaluates the worthiness of supplementary irrigation during the first stadium of sugar cane development (ratoon cycle) in the region north of the São Paulo state. Decision tree, an instrument of Decision Analysis, was utilized to evaluate the expected values of different alternatives, faced by the decision maker. Results show that supplementary irrigation of ratoon areas harvested from the beginning of the harvesting season (May to July) increases the expected values of net income per hectare. Expected net returns were higher when indirect benefits of irrigation (lower renting of land costs, lower planting and cultivating costs, and lower transportation costs) were also considered. Supplementary irrigation was not worthwhile for ratoon areas harvested from mid to the end of the harvesting season (September to November).

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*), atingindo uma área total cultivada que ultrapassa 4,2 milhões de hectares, com uma produção anual da ordem de 287 milhões de toneladas (cana colhida). Mais da metade dessa área é cultivada no Estado de São Paulo, onde se sobressai a região Norte, representada pelas microregiões de Ribeirão Preto e Guará (Belodi, 1996). Essa produção demonstra a grande importância da cultura canavieira para a economia brasileira.

Praticamente, toda a cana produzida no Estado de São Paulo é cultivada em condições de sequeiro, isto é, sem o emprego da técnica de irrigação. Salienta-se que as áreas fertirrigadas com resíduos líquidos (vinhaça e águas residuárias), onde se priorizam a substituição da adubação mineral e o descarte de efluentes industriais, não estão consideradas nessa contabilidade, apesar do pequeno, porém significativo, suprimento de água que a fertirrigação proporciona.

A tradição do cultivo exclusivo da cana-de-açúcar de sequeiro é alicerçada no paradigma de que a irrigação é economicamente inviável nas condições edafoclimáticas do Estado de São Paulo. Tal paradigma formou-se ao longo dos últimos 20 anos, através de experimentos, de trabalhos elaborados por especialistas e de análises econômicas de projetos de irrigação de cana, que, via de regra, analisaram os custos da irrigação plena, em comparação única com o benefício direto de aumento de produtividade proporcionado pela irrigação. Nessas condições, a viabilidade econômica da

tecnologia da irrigação de cana-de-açúcar nunca se mostrou evidente para o empresariado do setor sucro-alcooleiro paulista.

Atualmente, nas principais regiões canavieiras do Estado de São Paulo, existe a chamada "saturação de canaviais", que obriga muitas usinas e destilarias a contratarem arrendamentos de fazendas distantes e, muitas vezes, com solos de baixa fertilidade, para atender à capacidade de produção instalada e às ampliações industriais almejadas. Além disso, a abertura da economia brasileira ao mercado internacional vem exigindo do empresariado brasileiro a busca contínua da chamada "qualidade total", visando à maximização da produtividade e à minimização dos custos de produção.

Dentro desse novo panorama nacional, insere-se a tecnologia de irrigação de cana-de-açúcar, que constitui uma das alternativas que pode contribuir para a "qualidade total" do processo de produção sucro-alcooleiro paulista, desde que estudos e pesquisas sejam desenvolvidos a fim de comprovar a viabilidade econômica da introdução dessa tecnologia.

A hipótese deste trabalho é que a irrigação suplementar da cultura da cana-de-açúcar, para as condições edafoclimáticas do Estado de São Paulo, visando suprir parcialmente as deficiências hídricas da cultura no seu estágio de desenvolvimento mais crítico à ausência de água, é técnica e economicamente viável para as soqueiras de início até meados de safra.

O objetivo do presente trabalho consistiu na elaboração de um modelo de análise de decisão, com o emprego do método "árvore de decisão", que permite analisar a economicidade da tecnologia de irrigação suplementar na cultura da cana-de-açúcar cultivada no Estado de São Paulo. Esse modelo foi aplicado empregando-se os parâmetros técnicos e econômicos representativos da região Norte Paulista, liderada pelas microregiões de Ribeirão Preto e Guará. Para ilustrar a introdução da "aversão ao risco", na análise de decisão da irrigação suplementar, foi entrevistado um tomador de decisão de uma unidade agro-industrial sucroalcooleira paulista.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A importância da cultura da cana-de-açúcar para a economia brasileira e, em especial para o Estado de São Paulo é suficientemente conhecida. Para compreender melhor essa importância, basta observar os valores da Tabela 1, veiculados pelo jornal "O Estado de São Paulo", na reportagem, publicada em 29/01/97, intitulada Cana-de-açúcar mostra seus resultados (1997).

Tabela 1. Evolução da produção de cana-de-açúcar no Brasil, segundo o IBGE, citada pelo artigo Cana-de-açúcar... (1997).

ESTADO	ANO DE 1995		ANO DE 1996 (*)	
	Produção (t)	Participação (%)	Produção (t)	Participação (%)
São Paulo	174.960.000	56,6	192.320.000	59,3
Paraná	20.429.000	6,7	22.500.000	6,9
Alagoas	21.572.000	7,1	20.827.000	6,4
Pernambuco	20.664.000	6,8	20.764.000	6,4
Minas Gerais	16.726.000	5,5	15.865.000	4,9
Outros	49.206.000	16,2	52.098.000	16,1
TOTAL	303.557.000	100,0	324.374.000	100,0

(*) Dados preliminares.

2.1. Consumo de água pela cana-de-açúcar

Scardua & Rosenfeld (1987) citam que o consumo de água da cultura da cana-de-açúcar varia em função do estágio de seu desenvolvimento (ciclo fenológico), do ciclo da cultura (cana planta ou cana soca), das condições climáticas e de outros fatores, como água disponível no solo e variedades. Os autores apresentaram um resumo dos resultados de determinações de consumo de água para diversas regiões do mundo (Tabela 2).

Tabela 2. Consumos de água pela cana, obtidos no campo por diversos autores, extraído de Scardua & Rosenfeld (1987).

AUTOR	ANO	LOCAL	CICLO DA CULTURA	CONSUMO ÁGUA (mm/dia)		
				Máximo	Mínimo	Médio
COX	1960	Havaí	---	8,0	3,8	---
THOMPSON	1963	África do Sul	---	6,0	2,2	---
TOSELLO	1966	Brasil	---	3,4	1,3	---
CRUCIANI	1972	Brasil	---	2,8	1,2	---
SOUZA	1974	Brasil	Planta	4,5	2,3	3,6
SOUZA	1975	Brasil	Soca	5,0	2,2	3,6
LEME	1978	Brasil	Planta	5,6	1,9	3,8
LEME	1978	Brasil	Planta	4,8	1,3	3,2
SCARDUA	1979	Brasil	Planta	4,5	2,3	3,3
SCARDUA	1979	Brasil	Soca	4,4	2,2	3,2
MÉDIA	---	---	---	4,9	2,1	3,5

Peres (1988), trabalhando com lisímetro de nível freático constante, para a determinação dos coeficientes de cultura (K_c) da cana-de-açúcar, ciclo de cana soca, em Araras-SP, concluiu que os consumos máximo, mínimo e médio de água foram de 4,74, 0,60 e 2,17 mm/dia, respectivamente. O autor também apresenta um resumo de resultados de consumo de água pela cana, obtidos por diversos autores que trabalharam com lisímetro (Tabela 3).

Tabela 3. Consumos de água pela cana-de-açúcar, obtidos em lisímetros por diversos autores, segundo Peres (1988).

AUTOR	ANO	LOCAL	CICLO DA CULTURA	CONSUMO (mm/dia)		
				Máx.	Mín.	Médio
CAMPBELL et al.	1959	EUA (Havai)	Planta	8,60	4,10	5,70
THOMPSON et al.	1963	África do Sul	Planta	6,10	2,30	—
THOMPSON	1965	África do Sul	Planta	5,74	1,83	3,66
CHANG & WANG	1968	Taiwan	Planta e Soca	7,75	2,18	4,80
THOMPSON & BOYCE	1971	África do Sul	Planta	6,62	2,52	3,94
e THOMPSON	1976		1ª Soca	7,79	2,47	3,86
			2ª Soca	5,97	1,78	3,63
EARLY & GREGÓRIO	1974	Filipinas	Planta	4,62	1,52	3,10
FOGLIATA	1974	Argentina	Planta e Soca	5,09	3,42	4,36
SHIH & GASCHO	1980	EUA (Flórida)	Planta e Soca	6,80	1,30	3,36
BARBIERI	1981	Brasil	Planta	6,03	0,52	2,50
CHANG et al.	1983	Taiwan	Planta	—	—	2,33
			1ª Soca	—	—	3,14
			2ª Soca	—	—	3,06
YANG et al.	1985	Colômbia	Planta	3,70	2,70	3,33
			1ª Soca	4,04	3,23	3,57
MÉDIA	---	---	---	6,09	2,30	3,62

2.2. Produção e consumo de água

De acordo com Gascho (1985), citado por Peres (1988), é muito difícil estabelecer uma relação geral entre produção e consumo de água pela cana-de-açúcar, devido às variações de localização, de clima e de variedades. Essa situação pode ser comprovada pelas informações da Tabela 4.

Tabela 4. Consumo de água versus produção: informações obtidas em lisímetros, de acordo com Peres (1988).

AUTOR	ANO	LOCAL	CICLO DA CULTURA	CONSUMO/PRODUÇÃO (mm/t)
CAMPBELL et al.	1959	EUA (Havai)	Planta	9,4 - 12,9
THOMPSON et al.	1963	África do Sul	Planta	5,9 - 10,2
CHANG & WANG	1968	Taiwan	Planta e Soca	4,9
THOMPSON & BOYCE	1971	África do Sul	Planta	9,4
e THOMPSON	1976		1ª Soca	8,9
			2ª Soca	8,7
FOGLIATA	1974	Argentina	Planta e Soca	12,6 - 14,9
SHIH & GASCHO	1980	EUA (Flórida)	Planta e Soca	9,2 - 12,2
BARBIERI	1981	Brasil	Planta	8,6
CHANG et al.	1983	Taiwan	Planta	9,3
			1ª Soca	10,5
			2ª Soca	12,7
YANG et al.	1985	Colômbia	Planta	5,2
			1ª Soca	7,0
MÉDIA	---	---	---	9,6

Peres (1988) também concluiu que a relação entre o consumo de água e a produção da cana soca foi de 12,1 mm/t.

Ressalta-se que todos os valores apresentados na Tabela 4 referem-se ao consumo médio de água pela cana e foram determinados em lisímetro, onde a cultura não sofreu deficiência hídrica ao longo do ciclo, isto é, o solo esteve sempre próximo da condição de capacidade de campo. Portanto pode-se inferir que, em condições de campo, onde a cana está sujeita a deficiências hídricas durante o ciclo produtivo, o consumo de água pela cultura é inferior aos valores determinados pelos diversos autores; pode-se inferir, também, que existe uma variação desse consumo nos diferentes estádios fenológicos da cultura da cana-de-açúcar.

2.3. Produção e deficiência hídrica

Shaw & Innes (1965), Doorenbos & Pruitt (1975) e Thompson (1976), citados por Rosenfeld (1989), afirmam que os períodos de deficiência hídrica podem ocorrer durante todo o ciclo da cultura de cana-de-açúcar, mas seu efeito sobre a produtividade de cana e de açúcar varia em função da interação entre a época do ano em que ocorrem e a fase do ciclo fenológico da cultura.

Doorenbos & Kassam (1979) mostraram que o efeito da deficiência de água varia com o estágio de desenvolvimento da cana. Os autores definem três estádios para a cana-de-açúcar: o primeiro é o de estabelecimento da cultura, seguido do período vegetativo; o segundo é o da formação da produção e o terceiro, o da maturação (Tabela 5). Os mesmos autores afirmam que o primeiro estágio é o mais sensível à deficiência hídrica.

Shaw, citado por Campbell (1968), em pesquisa na Jamaica, observou que o aumento de produtividade da cana irrigada, em relação à não irrigada, é maior no primeiro terço do ciclo de uma cultura anual do que no

último terço, o que vem mostrar que o primeiro estágio (estabelecimento mais período vegetativo) é o mais exigente por água.

Yang (1979), em pesquisa em Taiwan, obteve uma equação que relaciona o aumento de produtividade da cana à irrigação, ou seja:

$$Y = 12,152 + 0,0918 \cdot x - 0,0000549 \cdot x^2 \quad (1)$$

sendo Y: aumento de produtividade de cana (t/ha);
x: irrigação efetiva (mm).

Em experimentação com irrigação suplementar, o autor verificou que a irrigação, no início do estágio de crescimento, é muito importante, confirmando que o estágio de estabelecimento, seguido do período vegetativo, para a cana-de-açúcar é o mais sensível à deficiência hídrica.

Rosenfeld & Leme (1984), estudando épocas de irrigação em Ribeirão Preto-SP, também concluíram que as maiores reduções de produção ocorreram com deficiências hídricas nos primeiros 8 meses do ciclo de cana soca.

2.4. Balanço hídrico

Diversos autores desenvolveram programas computacionais para a determinação do balanço hídrico de culturas, empregando métodos empíricos para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o). Dentre eles destacam-se os programas de Barbieri et al. (1991) e de Dourado Neto & van Lier (1991), que empregaram o método de "Thornthwaite-Mather (1955)".

O programa de Dourado Neto & van Lier (1991) apresenta a vantagem de permitir elaborar o balanço hídrico, com variação do coeficiente de evapotranspiração da cultura (K_c) e da profundidade do sistema radicular

(capacidade de água disponível: CAD), para qualquer distribuição de dados climatológicos disponíveis.

2.4.1. Coeficiente de cultura (Kc)

Assumindo-se uma variação linear entre a evapotranspiração máxima (ET_m) da cultura e a evapotranspiração de referência (ET_o), define-se o coeficiente de cultura como o quociente angular da reta:

$$K_c = \frac{ET_m}{ET_o} \quad (2)$$

Os coeficientes de cultura (K_c), para os diferentes estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar, foram definidos por Doorenbos & Pruitt (1977) e Doorenbos & Kassam (1979), conforme apresentado na Tabela 5.

Barbieri (1981), estudando o comportamento de cana planta em Araras-SP, determinou os valores de K_c, empregando três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o). Os resultados encontram-se na Tabela 6.

Posteriormente, Peres (1988), trabalhando com cana soca nas mesmas condições de Araras-SP, determinou os valores de K_c, empregando três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o). Os resultados estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 5. Valores do coeficiente cultural (Kc) para cana-de-açúcar, segundo a FAO (1977 e 1979).

IDADE CULTURA (meses)		PERÍODO DE DESENVOLVIMENTO *	COEFICIENTE (Kc)		
Cana planta	Cana soca		Mín.	Máx.	Médio
0 - 2	0 - 1	Do plantio até 25% de cobertura ⁽¹⁾	0,40	0,60	0,50
2 - 3	1 - 2	De 25% a 50% de cobertura ⁽¹⁾	0,75	0,85	0,80
3 - 4	2 - 3	De 50% a 75% de cobertura ⁽¹⁾	0,90	1,00	0,95
4 - 7	3 - 4	De 75% a cobertura completa ⁽¹⁾	1,00	1,20	1,10
7 - 14	4 - 9	Utilização máxima ⁽²⁾	1,05	1,30	1,20
14 - 16	9 - 10	Início da maturação ⁽³⁾	0,80	1,05	0,95
16 - 18	10 - 12	Maturação ⁽³⁾	0,60	0,75	0,70

(1) Primeiro estágio: estabelecimento da cultura seguido do período vegetativo;

(2) Segundo estágio: formação da produção;

(3) Terceiro estágio: maturação.

Tabela 6. Valores de Kc para cana planta, segundo Barbieri (1981).

IDADE DA CANA PLANTA (mês)	COEFICIENTE DE CULTURA (Kc)		
	PENMAN	RADIAÇÃO	CLASSE A
0 - 2	0,10 - 0,20	0,10 - 0,20	0,12 - 0,25
2 - 3	0,20 - 0,40	0,20 - 0,40	0,25 - 0,53
3 - 4	0,40 - 0,60	0,40 - 0,55	0,53 - 0,75
4 - 7	0,60 - 1,50	0,55 - 0,96	0,75 - 1,47
7 - 17	1,50 - 0,96	0,96 - 0,77	1,47 - 0,87

Tabela 7. Valores de Kc para cana soca, segundo Peres (1988).

IDADE DA CANA SOCA (dias)	COEFICIENTE DE CULTURA (Kc)		
	PENMAN	CLASSE A	THORNTHWAITE
0 - 100	0,41	0,39	0,59
101 - 350	0,73	0,80	0,93
351 - 489	0,78	0,71	0,94

Para culturas anuais, classificação na qual se enquadra a cana-de-açúcar, Dourado Neto & van Lier (1991) definiram 5 estádios fenológicos:

<u>Estádio</u>	<u>termina quando há</u>
1	10% do desenvolvimento vegetativo;
2	80% do desenvolvimento vegetativo;
3	florescimento;
4	maturidade fisiológica;
5	colheita.

O programa de Dourado Neto & van Lier (1991) é alimentado com os valores de Kc correspondentes aos estádios 1, 3 e 5. Nos estádios 2 e 4, o programa considera que o Kc varia linearmente com o tempo.

2.4.2. Sistema radicular

A literatura que envolve estudos do sistema radicular da cana-de-açúcar é relativamente pobre, quando comparada à que engloba estudos da parte aérea da planta. De acordo com Casagrande (1991), isso se deve ao fato de o sistema radicular ser a parte enterrada da planta e exigir um

trabalho difícil e criterioso, de mobilização de solo e de separação das partes constituintes das raízes.

Ao se efetuar o corte dos colmos, ao mesmo tempo em que vão brotando as socas, vai-se formando um novo sistema radicular. Os principais fatores que influenciam o desenvolvimento do sistema radicular são: variedade; umidade, porosidade e massa específica aparente do solo; além da disponibilidade de nutrientes (Casagrande, 1991).

Segundo Lee (1926), Inforzato & Alvarez (1957) e Rostron (1974), citados por Machado (1987), o crescimento e a distribuição das raízes da cana variam acentuadamente com a idade da planta. De modo geral, até o 6º mês, o crescimento das raízes é lento, aumentando rapidamente até o desenvolvimento máximo, ao redor do 12º mês, podendo então diminuir com a idade. O crescimento das raízes até o 6º mês é maior em profundidade, enquanto, entre o 6º e 12º mês, é maior no sentido lateral.

Souza (1976), estudando a irrigação da cana-de-açúcar por sulcos de infiltração, em Araras-SP, concluiu que, nos primeiros 60 cm de profundidade, se encontram 82% das raízes da cana irrigada e 75% das raízes da cana não irrigada.

Korndörfer et al. (1989), estudando a distribuição das raízes de 5 variedades, para cana planta com 10,6 meses e cana soca com 4,5 meses de idade, num solo PVA álico, concluíram, para a cana planta, que entre 89% e 92% das raízes se situaram nos primeiros 30 cm de profundidade. Para a cana soca, os resultados indicaram que entre 85% e 92% das raízes se localizaram no horizonte de 0 a 40 cm de profundidade.

2.4.3. Solos da região Norte Paulista

Oliveira & Prado (1987) executaram o levantamento pedológico semidetalhado da quadrícula de Ribeirão Preto-SP, identificando as

seguintes classes e porcentagens de ocorrência: Latossolo Roxo (63,3%), Latossolo Vermelho-Escuro (10,4%), Areia Quartzosa (6,9%), Solos Litólicos (5,3%), Solos Hidromórficos (3,7%), Latossolo Vermelho-Amarelo (3,4%), Terra Roxa Estruturada (1,8%), Cambissolo (0,7%), Brunizém Avermelhado (0,1%) e outros (0,2%). Observa-se que os latossolos roxos predominam naquela região, apresentando uma distribuição conforme mostra a Tabela 8.

Tabela 8. Classificação, área e distribuição percentual dos latossolos roxos da quadrícula de Ribeirão Preto-SP, extraído de Oliveira & Prado (1987).

CLASSIFICAÇÃO (Latossolo Roxo)	ÁREA (ha)	DISTRIBUIÇÃO (%)	
		Latossolo Roxo	Quadrícula
Eutrófico	30.972,00	16,75	9,74
Distrófico	82.742,00	44,75	28,83
Ácrico	71.195,00	38,50	24,80
TOTAL	184.909,00	100,00	63,37

Na região canavieira do Norte Paulista, que compreende especialmente as microregiões de Ribeirão Preto e Guaíra, a predominância é dos Latossolos Roxos ácricos, segundo Prado¹ (1997).

Essa informação, baseada no levantamento pedológico da quadrícula de Guaíra, elaborado por Oliveira & Prado (1992), bem como os valores da Tabela 8 demonstram a grande importância desse solo para a cultura canavieira no Norte Paulista.

¹ PRADO, H. (Instituto Agrônomo de Campinas - IAC, Seção de Pedologia, Campinas, S.P.). Comunicação pessoal, 1997.

Alleoni (1992), estudando os atributos eletroquímicos de solos ácidos do Norte Paulista, determinou os atributos físico-hídricos do Latossolo Roxo ácido daquela região (Tabela 9).

Tabela 9. Atributos físico-hídricos de Latossolo Roxo ácido, extraídos de Alleoni (1992).

Prof. (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	U0,3 (%)	U15 (%)	AD (%)
0-20	18	12	70	25,6	22,4	3,2
20-100 (*)	---	---	---	25,5	22,0	3,5
100-150	11	16	73	25,4	21,5	3,9

(*) valores interpolados;

U0,3: teor de água no solo à tensão de 0,3 atm;

U15: teor de água no solo à tensão de 15 atm;

AD: água disponível no solo entre as tensões de 0,3 e 15 atm.

2.5. Produtividade de cana de sequeiro na região Norte Paulista

O Instituto de Desenvolvimento Agro-industrial (IDEA, 1997) realizou uma pesquisa de produtividade sucroalcooleira no Estado de São Paulo, analisando os valores de produtividade de 55 usinas das principais regiões canavieiras paulistas. Os resultados de produtividade agrícola das últimas 3 safras constam na Tabela 10.

Para a região Norte Paulista, representada na Tabela 10 pela região de Ribeirão Preto, pode-se extrair que a produtividade média atual é da ordem de 84,1 t/ha.

Lima (1994), em seminário sobre colheita mecanizada de cana-de-açúcar, apresentou valores de produção da usina São Martinho na safra

93/94, localizada no município de Pradópolis-SP, Norte do Estado de São Paulo (Tabela 11).

Tabela 10. Produtividades médias de cana-de-açúcar das principais regiões canaveiras paulistas nas últimas 3 safras, segundo o IDEA (1997).

REGIÃO	PRODUTIVIDADE MÉDIA DE 55 USINAS PAULISTAS (t/ha)		
	1994	1995	1996
Araçatuba	80,0	79,3	82,8
Jaú	77,3	73,8	77,5
Piracicaba	78,4	74,3	75,0
Presidente Prudente	79,0	75,3	77,6
Ribeirão Preto	77,3	73,9	84,1
São José Rio Preto	81,5	79,2	87,2
MÉDIA - S.P.	78,9	75,7	80,7

Tabela 11. Produção de cana-de-açúcar da usina São Martinho na safra 93/94, adaptado de Lima (1994).

VARIETADE	ÁREA (ha)	PRODUÇÃO (t)	PRODUTIVIDADE (t/ha)
SP71-6163	13.383,5	1.179.733,4	88,2
RB72-454	6.436,9	680.765,3	105,8
SP70-1143	6.868,5	565.166,4	82,3
SP71-1406	6.171,7	424.420,1	68,8
RB76-5418	2.502,8	193.751,7	77,4
Diversas	9.341,6	644.659,8	69,0
TOTAL / MÉDIA	44.705,0	3.688.496,7	82,5

Na Comercial e Agrícola Sertãozinho Ltda (CASE), localizada no município de Sertãozinho, na região Norte do Estado de São Paulo, a produtividade média dos canaviais na safra 94/95 foi de 93,0 t/ha, conforme a apresentação de Tufi (1996).

Os valores de Lima (1994) e Tufi (1996) demonstram que, na região Norte Paulista, existem usinas que empregam tecnologias de ponta e obtêm alta produtividade agrícola. Dentre as principais tecnologias adotadas, deve-se ressaltar a "fertirrigação de canaviais com vinhaça e águas residuárias industriais".

2.6. Funções de produção

Doorenbos & Kassam (1979) propuseram uma função de produção para a quantificação da relação entre a produtividade e o uso da água pela cultura da cana-de-açúcar, sob a forma da expressão:

$$\left(1 - \frac{Y_r}{Y_m}\right) = k_y \cdot \left(1 - \frac{ET_r}{ET_m}\right) \quad (3)$$

sendo

- Y_r: produtividade real;
- Y_m: produtividade máxima;
- ET_r: evapotranspiração real;
- ET_m: evapotranspiração máxima;
- k_y: fator de sensibilidade da cultura à deficiência de água ou taxa de redução da produtividade.

Scardua (1985) adaptou a função de produção proposta por Doorenbos & Kassam (1979), usando dados de experimentos de cana irrigada,

realizados durante 11 anos no município de arrasaras; obteve a seguinte função de produção ($r^2 = 0,744^{**}$):

$$Y = 0,0620 + 0,6610 \cdot x_1 + 0,2762 \cdot x_2 - 0,0306 \cdot x_3 \quad (4)$$

sendo $Y = (1 - Y_r/Y_m)$ estimado;
 $x_1 = (1 - ETr/ETm)$ do 1º estágio;
 $x_2 = (1 - ETr/ETm)$ do 2º estágio;
 $x_3 = (1 - ETr/ETm)$ do 3º estágio.

Scardua (1985) também estudou a relação entre a produção máxima (Y_m) e diversos elementos de clima como graus-dia, índice de área foliar, comprimento do dia e radiação líquida, concluindo que a melhor correlação ocorreu quando se considerou o efeito conjunto dos graus-dia e da radiação líquida. A equação, para a estimativa da produção máxima ($r^2 = 0,862^{**}$), é:

$$Y_m = - 15,5521 + 0,03886 \cdot a_1 + 0,00082 \cdot a_5 \quad (5)$$

sendo Y_m : produtividade máxima estimada, em ($t \cdot ha^{-1}$);
 a_1 : total de graus dia durante o ciclo da cana;
 a_5 : total de radiação líquida no ciclo da cana, em ($cal \cdot cm^{-2}$).

Leme (1991) estudou o comportamento da cana-de-açúcar, ciclo de cana planta, submetendo-a a diversos regimes de deficiência hídrica, em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura, em três épocas de plantio (julho, outubro e fevereiro). Obteve as seguintes funções de produção:

(1) Modelos multiplicativos de Doorenbos & Kassam (1979):

a) época de plantio 1 (julho/agosto):

$$Y = (0,4215 x_1) \cdot (0,7117 x_2) \cdot (0,4968 x_3) \cdot (0,4651 x_4) \cdot (0,3508 x_5) \quad (6)$$

b) época de plantio 2 (outubro):

$$Y = (1,4724 x_1) \cdot (0,7656 x_2) \cdot (1,0135 x_3) \quad (7)$$

c) época de plantio 3 (fevereiro):

$$Y = (0,4653 x_1) \cdot (0,5322 x_2) \cdot (1,2155 x_3) \quad (8)$$

sendo

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

$x_1 = (1 - ETr/ETm)$ do 1º estágio de desenvolvimento;

$x_2 = (1 - ETr/ETm)$ do 2º estágio de desenvolvimento;

$x_3 = (1 - ETr/ETm)$ do 3º estágio de desenvolvimento;

$x_4 = (1 - ETr/ETm)$ do 4º estágio de desenvolvimento;

$x_5 = (1 - ETr/ETm)$ do 5º estágio de desenvolvimento.

O autor não apresentou os coeficientes de correlação (r^2) para as funções de produção representadas pelas Equações 6, 7 e 8.

(2) Modelos aditivos de Blank (1975):

a) época de plantio 1 (julho/agosto), com $r^2 = 0,9956$:

$$Y = 0,2507 \cdot x_1 + 0,4698 \cdot x_2 + 0,2778 \cdot x_3 - 0,0530 \cdot x_4 - 0,0566 \cdot x_5 \quad (9)$$

b) época de plantio 2 (outubro), com $r^2 = 0,9947$:

$$Y = 0,5748 \cdot x_1 + 0,0553 \cdot x_2 + 0,0128 \cdot x_3 \quad (10)$$

c) época de plantio 3 (fevereiro), com $r^2 = 0,9799$:

$$Y = -0,0368 \cdot x_1 + 0,0195 \cdot x_2 + 0,7944 \cdot x_3 \quad (11)$$

sendo

$$Y = (Y_r/Y_m);$$

$x_1 = (ET_r/ET_m)$ do 1º estágio de desenvolvimento;

$x_2 = (ET_r/ET_m)$ do 2º estágio de desenvolvimento;

$x_3 = (ET_r/ET_m)$ do 3º estágio de desenvolvimento;

$x_4 = (ET_r/ET_m)$ do 4º estágio de desenvolvimento;

$x_5 = (ET_r/ET_m)$ do 5º estágio de desenvolvimento.

(3) Modelos multiplicativos de Jensen (1968):

a) época de plantio 1 (julho/agosto), com $r^2 = 0,9372$:

$$Y = (x_1^{0,2583}) \cdot (x_2^{0,5909}) \cdot (x_3^{0,2112}) \cdot (x_4^{0,2648}) \cdot (x_5^{0,2553}) \quad (12)$$

b) época de plantio 2 (outubro), com $r^2 = 0,9667$:

$$Y = (x_1^{1,6268}) \cdot (x_2^{0,6458}) \cdot (x_3^{0,9184}) \quad (13)$$

c) época de plantio 3 (fevereiro), com $r^2 = 0,9146$:

$$Y = (x_1^{0,3036}) \cdot (x_2^{0,3290}) \cdot (x_3^{1,4179}) \quad (14)$$

sendo $Y = (Y_r/Y_m)$;
 $x_1 = (ET_r/ET_m)$ do 1º estágio de desenvolvimento;
 $x_2 = (ET_r/ET_m)$ do 2º estágio de desenvolvimento;
 $x_3 = (ET_r/ET_m)$ do 3º estágio de desenvolvimento;
 $x_4 = (ET_r/ET_m)$ do 4º estágio de desenvolvimento;
 $x_5 = (ET_r/ET_m)$ do 5º estágio de desenvolvimento.

Ometto (1974) propôs uma equação para a estimativa do rendimento agrícola da cana-de-açúcar, em função de parâmetros climatológicos e de nutrientes, a saber:

$$RA = -132,91 + 59,81 \left(\frac{ET_r}{ET_m} \right) + 198,62 \left(\frac{e_a}{e_s} \right) + 2,67 \cdot \left[\frac{(P_2O_5)_c}{(P_2O_5)_o} \right] \quad (15)$$

sendo RA: rendimento agrícola ($t \cdot ha^{-1}$);
 ETr: evapotranspiração real;
 ETm: evapotranspiração máxima ou potencial;
 e_a : tensão atual de vapor d'água no ar;
 e_s : tensão de saturação do vapor d'água no ar;
 $(P_2O_5)_c$: quantidade de fósforo à disposição da cultura;
 $(P_2O_5)_o$: quantidade de fósforo preconizada pelo IAC.

Barbieri (1993) desenvolveu um modelo matemático-fisiológico de estimativa da produtividade potencial da cana-de-açúcar, considerando as variações da fotossíntese e da respiração. O autor propôs a seguinte equação, para a determinação do acúmulo potencial da matéria seca:

$$MST = MS_o \cdot Cr^n + \left[MS \cdot \frac{(Cr^n - 1)}{(Cr - 1)} \right] \quad (16)$$

- sendo
- MST:** matéria seca acumulada no fim do mês em questão (kg/ha);
- MS_o:** matéria seca existente no início do mês (kg/ha), considera as perdas de folhas e de colmos;
- Cr:** coeficiente respiração de manutenção (termo subtrativo);
- Cr = 1 - r max . Cr(t) . Cr(i);**
- r max = 0,023 g/g -** respiração máxima;
- Cr(t):** correção da r max em função da temperatura;
- Cr(i):** correção da r max em função da idade da planta;
- n:** nº de dias do mês;
- MS:** matéria seca média mensal produzida por dia (kg/ha).

O autor concluiu que os resultados de MST obtidos podem ser transformados em toneladas de colmos por hectare, através das seguintes equações de regressão linear:

$$Y = b \cdot x \quad (17)$$

- sendo
- Y:** produtividade de colmos (t.ha⁻¹);
- x:** MST (t.ha⁻¹);
- b:** coeficiente angular considerando-se as variedades:
- | | | |
|-----------|----------|------------|
| CP 51-22 | b = 2,07 | r = 0,98* |
| CB 41-76 | b = 1,99 | r = 0,88** |
| CB 47-355 | b = 2,22 | r = 0,91** |
| NA 56-79 | b = 2,27 | r = 0,94** |
| Geral | b = 2,12 | r = 0,80** |

2.7. Benefícios da irrigação

Matioli et al. (1996) classificaram os benefícios da irrigação da cultura da cana-de-açúcar em “benefícios diretos” e “benefícios indiretos”. Segundo os autores, os benefícios diretos consistem nos aumentos da produtividade agrícola e da longevidade das soqueiras, enquanto os indiretos relacionam-se à redução de custos no processo produtivo agrícola, proporcionada pelo aumento de produtividade. Obtém-se essa redução com a dispensa de arrendamentos, do preparo de solo e do plantio desses arrendamentos dispensados, dos tratos culturais dos arrendamentos referidos e, se os arrendamentos dispensados forem mais distantes da unidade industrial que a área irrigada, com a diminuição da distância do transporte de cana.

2.7.1. Benefícios diretos

Sobre o benefício direto de aumento de produtividade existem vários trabalhos na literatura, mas sobre o aumento de longevidade das soqueiras, os trabalhos são bastante escassos, permitindo apenas inferir resultados de experimentos que visaram essencialmente ao aumento de produtividade.

Na literatura internacional, existem vários trabalhos sobre o aumento da produtividade da cana-de-açúcar, proporcionado pela técnica de irrigação, mas procurou-se destacar os resultados das principais pesquisas de autores nacionais, especialmente das desenvolvidas no território paulista.

Barreto et al. (1971), estudando a irrigação suplementar de cana planta por sulcos de infiltração, em Latossolo Roxo no Estado de São Paulo, obtiveram os resultados apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Produção de cana planta irrigada e não irrigada, segundo Barreto et al. (1971).

VARIEDADE	PRODUTIVIDADE (t/ha)		AUMENTO PROD. (t/ha)
	Irigada (1)	Não Irrigada (2)	(1 - 2)
CO 419	126,8	75,6	51,2
CB 41-76	123,0	82,3	40,7
MÉDIA	124,9	79,0	45,9

Scardua & Souza (1975), em experimentos de irrigação suplementar de cana planta em Araras-SP, obtiveram um aumento de produtividade de 32,8 t/ha.

Demétrio (1978), experimentando irrigação suplementar por gotejamento na variedade NA 56-79, ciclo de cana planta, em Piracicaba-SP, obteve uma produtividade agrícola de 183,9 t/ha, contra 148,9 t/ha para a cana não irrigada. Portanto o aumento de produtividade, proporcionado pela irrigação, foi de 35,0 t/ha.

Tuler et al. (1981), trabalhando com experimentos de irrigação por gotejamento da variedade NA 56-79 (1ª soca), em Campos-RJ, obtiveram uma produtividade de 140,0 t/ha para a cana irrigada e 107,4 t/ha para a não irrigada. O aumento de produtividade obtido foi de 32,6 t/ha.

Carretero (1982), desenvolvendo pesquisa com irrigação por gotejamento de cana soca e ressoca da variedade NA 56-79, em Piracicaba-SP, obteve os resultados mostrados na Tabela 13.

Scardua (1985), em trabalho com irrigação por sulcos de infiltração e aspersão em 5 variedades de cana, durante 11 anos, obteve um aumento médio de produtividade de apenas 13,2 t/ha. No entanto ressalta-se que a maioria das soqueiras pesquisadas eram de final de safra, com corte no mês de outubro. Nessa condição, a resposta da cana à irrigação realmente

deve ser pequena, porque, nessa época do ano, quando se inicia o primeiro estágio de desenvolvimento das socas, praticamente não existem deficiências hídricas para a cultura, nas condições climáticas do Estado de São Paulo.

Tabela 13. Produção de cana irrigada e não irrigada, segundo Carretero (1982).

CICLO	PRODUTIVIDADE (t/ha)		AUMENTO PROD.(t/ha) (1 - 2)
	Irigada (1)	Não Irrigada (2)	
Soca	140,4	121,0	19,4
Ressoca	132,6	119,3	13,3
MÉDIA	136,5	120,2	16,3

Mais recentemente, Guazzelli & Paes (1997) estudaram o comportamento da variedade SP80-1842 (ciclo de cana planta), sob condições de irrigação por gotejamento, na usina São Martinho, localizada na região de Ribeirão Preto-SP, em solo classificado como Latossolo Roxo com textura muito argilosa e epieutrófico (LR-2). Obtiveram aumento de produtividade de até 30 t/ha, correspondente a um acréscimo de 20,8% em relação à cana não irrigada (Tabela 14). O consumo de água em função da produção de cana-de-açúcar variou de 7,2 a 8,5 mm/t.

2.7.2. Benefícios indiretos

Nunes Jr. (1996), apresentando a evolução dos custos de produção de cana-de-açúcar na região de Ribeirão Preto-SP, mostrou os valores que constam na Tabela 15.

Tabela 14. Produção de cana planta irrigada e não irrigada (variedade SP80-1842), extraída de Guazzelli & Paes (1997).

TRATAMENTO		PRODUTIVIDADE	AUMENTO DE PRODUTIVIDADE	
Irrigação	Lâmina (mm)	(t/ha)	(t/ha)	(%)
100% da ETr	946	173	29	20,1
75% da ETr	710	169	25	17,4
50% da ETr	473	174	30	20,8
25% da ETr	237	166	22	15,3
Testemunha	0	144	---	---

ETr: evapotranspiração real da cultura.

Tabela 15. Evolução dos custos de produção de cana-de-açúcar na região de Ribeirão Preto-SP, segundo Nunes Jr. (1996).

ATIVIDADE	CUSTO DA ATIVIDADE (R\$/ha)		
	Safra 93/94 (1)	Safra 96/97 (2)	Diferença (2 - 1)
Preparo do solo	220,00	253,00	33,00
Tratos culturais - planta	205,00	246,00	60,00
Tratos culturais - soca	232,00	308,00	76,00
Plantio	828,00	1.054,00	176,00
Colheita (R\$/t)	4,40	6,50	2,10

O custo da colheita da cana-de-açúcar é bastante variável, em razão das diversas alternativas envolvidas nessa atividade, tais como: corte manual, uso de colhedeiras, capacidade dos caminhões de transporte, cana crua, cana queimada, entre outras. Balbo Jr. (1994) apresentou os custos da colheita mecanizada de cana crua, na usina São Francisco, localizada no município de Barrinha-SP (Tabela 16).

Tabela 16. Custos da colheita mecanizada de cana crua em R\$/t, segundo Balbo Jr. (1994).

FAZENDA	DISTÂNCIA MÉD. (km)	CORTE MECÂNICO	CATAÇÃO E ACEIRO	CAMINHÃO TANQUE	CAMINHÃO OFICINA	CARRETA TANQUE	TRANSP.	ADMIN.	TOTAL
A	1,25	1,82	0,12	0,13	0,07	0,01	0,97	0,32	3,44
B	1,92	1,82	0,12	0,13	0,07	0,01	0,98	0,32	3,45
C	4,70	1,82	0,12	0,13	0,07	0,01	1,12	0,32	3,59
D	5,20	1,82	0,12	0,13	0,07	0,01	1,13	0,32	3,60
E	6,00	1,82	0,12	0,13	0,07	0,01	1,38	0,32	3,84
F	6,55	1,82	0,12	0,13	0,07	0,01	1,26	0,32	3,72
G	11,00	1,82	0,12	0,13	0,07	0,01	1,34	0,32	3,81
H	12,50	1,82	0,12	0,13	0,07	0,01	1,39	0,32	3,86
I	13,75	1,82	0,12	0,13	0,07	0,01	1,50	0,32	3,96
J	20,00	1,82	0,12	0,13	0,07	0,01	1,99	0,32	4,46
K	24,50	1,82	0,12	0,13	0,07	0,01	2,08	0,32	4,54
L	24,50	1,82	0,12	0,13	0,07	0,01	2,08	0,32	4,54
MÉDIA	10,99	1,82	0,12	0,13	0,07	0,01	1,44	0,32	3,65

2.8. Custos da irrigação

Leme (1991) determinou os custos de um sistema de irrigação por aspersão “padrão”, com montagem direta e extensões, para uma lâmina d’água efetiva de 265 mm/ano (Tabela 17). O custo operacional de R\$ 199,00/ha equivale a um custo operacional unitário de R\$ 0,75/mm.ha, para a lâmina anual preconizada de 265 mm.

Tabela 17. Valores de investimentos, custos fixos e operacionais do projeto de irrigação “padrão”, adaptado de Leme (1991).

ESPECIFICAÇÃO	VALORES (Cr\$)	VALORES (Cr\$/ha)	VALORES ⁽¹⁾ (US\$/ha)	VALORES ⁽²⁾ (R\$/ha)
Investimentos	6.275.127,00	89.644,67	977,69	1.114,57
Custos Fixos:				
- depreciação anual	218.791,00	---	---	---
- juros anuais	376.507,00	---	---	---
- perdas eventuais	62.751,00	---	---	---
Sub-total	658.049,00	8.124,06	88,60	101,00
Custos Operacionais:				
- mão-de-obra	329.269,00	---	---	---
- diesel	490.290,00	---	---	---
- energia elétrica	348.004,00	---	---	---
- manutenção	128.899,00	---	---	---
Sub-total	1.296.462,00	16.005,70	174,56	199,00
TOTAL	1.954.511,00	24.129,76	263,16	300,00

(1) Conversão: US\$ 1,00 = Cr\$ 91,69, base outubro/90,

(2) Conversão: US\$ 1,00 = R\$ 1,14, base abril/98.

Matioli & Barcelos (1994), em estudo de viabilidade técnico-econômica de irrigação suplementar de cana-de-açúcar, para a região de Nova Olímpia-MT, compararam os sistemas de aspersão Pivô Central fixo e Autopropelido de longo alcance, para uma lâmina mensal de irrigação de até 50 mm e lâmina anual de 150 mm. Para as condições do estudo, os autores obtiveram os resultados mostrados na Tabela 18 e concluíram que o sistema Autopropelido é economicamente mais interessante que o Pivô Central fixo.

O custo operacional do sistema autopropelido, determinado por Matioli & Barcelos (1994) de R\$ 147,06/ha, equivale a um custo operacional unitário de R\$ 0,98/mm.ha, para a lâmina anual preconizada de 150 mm.

Tabela 18. Valores^(*) de investimentos, custos fixos e operacionais para irrigação anual de 150 mm (Matioli & Barcelos, 1994).

SISTEMA	INVESTIMENTO (R\$/ha)	CUSTO FIXO (R\$/ha) (1)	CUSTO OPER. (R\$/ha) (2)	CUSTO ANUAL (R\$/ha) (1+2)
Pivô Central (PC)	1.447,80	245,10	111,72	356,82
Autopropelido (AP)	627,00	121,98	147,06	269,04
Diferença (PC-AP)	820,80	123,12	- 35,34	87,78

(*) Conversão: US\$ 1,00 = R\$ 1,14, base abril/98.

Giacomini et al. (1996) apresentaram o custo anual do sistema de irrigação da cultura canavieira da usina Sapucaia, localizada na região Norte Fluminense (Tabela 19). Os autores citam que a irrigação faz-se por aspersão, com sistema convencional de ramais e aspersores tipo "canhão hidráulico". Tanto a cana planta, como as soqueiras, receberam lâminas brutas de 58 mm, totalizando irrigações anuais que variaram de 194 a 309 mm. O custo anual do sistema de irrigação (custos fixos + custos operacionais) foi de R\$ 387,86/ha, equivalente ao custo anual unitário de R\$ 1,38/mm.ha, para a lâmina média

anual de 282 mm. Os autores não explicitam os valores de custos fixos e operacionais mas, com base nos resultados percentuais dos custos fixos e operacionais obtidos por Leme (1991), que também estudou custos do sistema de irrigação por aspersão convencional, pode-se inferir que o custo operacional da usina Sapucaia seja da ordem de R\$ 0,92/mm.ha.

Tabela 19. Valores de áreas irrigadas, lâminas aplicadas e custos da irrigação na usina Sapucaia, segundo Giacomini et. al. (1996).

SAFRA	ÁREA IRRIGADA (ha)	LÂMINA APLICADA (mm)	CUSTO ANUAL DA IRRIGAÇÃO (*)	
			(t cana/ha)	(R\$/ha)
89/90	2.500	309	27,34	470,25
90/91	3.400	194	18,97	326,28
91/92	3.471	302	21,59	371,35
92/93	3.265	250	---	---
93/94	4.043	303	23,04	396,29
94/95	5.831	288	21,81	375,13
MÉDIA	3.752	282	22,62	387,86

(*) Conversão: 1 tonelada de cana na esteira = R\$ 17,20, base abril/98.

2.9. Análise de decisão

2.9.1. Árvore de decisão

Bronson (1985) afirma que uma árvore de decisão é um diagrama orientado, que representa um processo decisório. Essas árvores são usadas na determinação de decisões ótimas, em processos complicados. A técnica é começar com nós finais e, seqüencialmente, retornar à rede,

calculando os ganhos esperados nos nós intermediários. Cada ganho é escrito abaixo de seu nó correspondente. A decisão recomendada é aquela que leva a um ganho esperado máximo. Exemplos de árvores de decisão são apresentados no Apêndice 3.

Para Hiller & Lieberman (1988), uma árvore de decisão é um método gráfico de expressar, em ordem cronológica, as ações alternativas disponíveis para o tomador de decisão e as escolhas determinadas por acaso. A árvore de decisão consiste de nós e ramos. Há dois tipos de nós: nós de decisão, representados por quadrados, e nós de chance, representados por círculos. Os ramos são linhas retas que partem dos nós. Quando um tomador de decisão encontra um nó de decisão, ele tem que escolher um dos ramos alternativos para percorrer. Quando um tomador de decisão encontra um nó de chance, ele não tem nenhum controle sobre que ramo percorrer. Em vez disso, seu caminho é determinado por eventos de acaso, cujas probabilidades são as associadas aos ramos que partem do nó de chance.

Peres (1990) tece melhores explicações, iniciando pela afirmação de que, basicamente, a Análise de Decisão identifica o melhor caminho ou estratégia explicitados nas chamadas árvores de decisão. A partir dos possíveis caminhos abertos ao tomador de decisão, essas árvores são construídas, tendo em vista que os eventos ocorrerão como resultado da interação entre decisões ou escolhas do responsável, e de efeitos aleatórios, devidos à chance.

As árvores seguem uma cronologia temporal. A representação gráfica dessa cronologia mostra os eventos anteriores à esquerda dos posteriores. Os ramos que partem dos nós de chance mostram eventos que poderão ocorrer, de acordo com probabilidades determinadas. São, portanto, eventos aleatórios. Só os ramos que partem de nós de chance têm probabilidades associadas a eles. A soma das probabilidades de todos os ramos que partem de um mesmo nó de chance é igual à unidade, porque essas

alternativas são exaustivas e, em geral, as probabilidades numa árvore de decisão são condicionais.

Os retornos que estarão associados a cada ramo terminal da árvore, ou dele resultarão, mostram os benefícios (ou perdas) de um determinado evento. Quando todos os retornos podem ser medidos em valores monetários, eles podem ser utilizados diretamente nos ramos terminais. Nesse caso, procura-se minimizar o valor esperado das perdas, ou maximizar o valor esperado dos ganhos, admitindo-se que o tomador de decisão é neutro com relação ao risco.

A última etapa da análise de decisão corresponde à resolução do modelo. Esta compreende a avaliação, a partir dos ramos terminais da árvore de decisão, dos valores esperados em cada nó. Na resolução, trabalha-se no sentido direita-esquerda. O valor mais alto (baixo), no caso de maximização (minimização) dos valores esperados nos nós de decisão, indica o caminho que se deve seguir, a partir do nó base. Assim, após a resolução, todos os ramos que saem dos nós de decisão, menos um, são descartados.

2.9.2. Função utilidade

Hiller & Lieberman (1988) citam alguns exemplos, procurando demonstrar a importância do conceito da função utilidade. O primeiro exemplo supõe que seja oferecida a um indivíduo a escolha entre aceitar uma chance de 50% de ganhar US\$ 10.000,00 ou nada, e receber US\$ 4.000,00 com certeza. Muitas pessoas prefeririam os US\$ 4.000,00, mesmo que o valor esperado na chance de 50% de ganhar US\$ 10.000,00 seja de US\$ 5.000,00. Outro exemplo interessante diz que uma companhia pode não desejar investir uma grande soma de dinheiro num novo produto, mesmo que o lucro esperado seja substancial, se houver risco de perder seu investimento e,

com isso, ir à falência. Os autores afirmam que esses exemplos não invalidam os conceitos da análise de decisão, porque existe uma maneira de transformar valores monetários numa escala apropriada, que reflita as preferências do tomador de decisão. Tal escala é chamada “Função Utilidade”, e ela se torna a medida apropriada das conseqüências de realizar uma ação, dado um estado da natureza.

Peres (1990) afirma que a pressuposição de o tomador de decisão ser neutro com relação ao risco é, em geral, pouco realista. Nesse caso, recorre-se ao conceito de função utilidade do indivíduo, e a escala de valores monetários é substituída por uma escala de utilidade dos valores. Quando, aos ramos finais, não se podem associar, unicamente valores monetários, ou seja, quando muitos atributos são considerados (valores monetários, satisfação pessoal, grau de aprovação social, etc), então é preciso especificar uma função ou escala de utilidade calculada de forma mais complexa. O autor salienta ainda que é preciso deixar claro que, na Análise de Decisão, usa-se, basicamente, o conceito Bayesiano de probabilidade. Não há preocupação quanto ao uso da noção de frequência na estimativa das probabilidades. A probabilidade Bayesiana mede, de maneira subjetiva, o grau de crença que o indivíduo associa à ocorrência de um evento. É lógico que a experiência, ou a percepção da frequência de ocorrência de um evento, é importante na formação da crença dos indivíduos, ou seja, na formação de sua escala de probabilidades. Deve-se notar, no entanto, que a probabilidade relevante no processo decisório é a subjetiva. Em geral, não existe a possibilidade de repetições na decisão. A única possibilidade de se revisarem as probabilidades é através de testes ou de compras de informações, que podem custar dinheiro e/ou tempo. Nesse caso, pode-se ganhar confiança com a revisão das probabilidades.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Determinação das deficiências hídricas

As deficiências hídricas da cultura da cana-de-açúcar foram determinadas com o emprego do programa computacional desenvolvido por Dourado Neto & van Lier (1991); ele elabora o balanço hídrico, estimando a evapotranspiração de referência (ET_o), pelo método de Thornthwaite-Mather, (1955) e calcula a evapotranspiração máxima da cultura (ET_m), considerando o coeficiente de cultura (K_c) e a capacidade de água disponível (CAD) variáveis, conforme os estádios de desenvolvimento da cultura. Ressalta-se que nos meses mais frios do ano (maio, junho, julho e agosto), os valores da evapotranspiração máxima (ET_m) foram corrigidos com um acréscimo de 20%, porque o método de Thornthwaite-Mather (1955), nesses casos, subestima os valores da evapotranspiração de referência (ET_o), segundo Villa Nova² (1997).

3.1.1. Dados climatológicos

Os dados climatológicos utilizados para a elaboração dos balanços hídricos foram obtidos da Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), localizada no município de Ribeirão Preto, Estado de São Paulo.

²VILLA NOVA, N.A . (Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", DFM-ESALQ/USP, Piracicaba, S.P.). Comunicação pessoal, 1997.

Os dados decendiais de clima, referentes a chuva e temperatura, consistiram de uma série de 30 anos (1961 a 1990). Com esses dados foram elaborados 30 balanços hídricos para cada cana soca analisada, totalizando 120 balanços para as 4 socas estudadas (canas socas de maio, julho, setembro e novembro).

3.1.2. Solo

O solo considerado foi o Latossolo Roxo ácrico, predominante nas lavouras canavieiras do Norte Paulista, e que apresenta os atributos físicos mostrados na Tabela 9, determinados por Alleoni (1992).

3.1.3. Coeficiente de cultura (Kc)

Com base nos valores da Tabela 5, definiram-se os coeficientes de cultura (Kc) para a cana soca no decorrer da safra, conforme mostram as Tabelas 1 a 4 do Apêndice 1.

3.1.4. Crescimento do sistema radicular

Para representar matematicamente o crescimento do sistema radicular da cana soca, no programa de Dourado Neto & van Lier (1991), foi escolhida a função senoidal, com profundidade das raízes variando de 5 a 100 cm, a qual se observa em lavouras sobre solos profundos como o Latossolo Roxo ácrico. Na escolha dessa função, procurou-se atender as observações de vários autores citados por Machado (1987), que afirmam ter a cana, no início de seu ciclo, um crescimento lento do sistema radicular, aumentando rapidamente até o estágio de desenvolvimento máximo e podendo, então, diminuir com a idade, até a época da colheita.

3.2. Irrigação suplementar

A irrigação suplementar preconizada consiste em suprir parcialmente as deficiências hídricas das soqueiras de cana-de-açúcar, apenas no seu primeiro estágio de desenvolvimento (estabelecimento mais período vegetativo), porque este é o estágio que proporciona as maiores quebras de produtividade, quando sujeito à deficiência hídrica. Assim, o período da irrigação suplementar tem início imediatamente após a colheita da cana-de-açúcar, e término no final do 1º estágio de desenvolvimento da cultura.

Na aplicação do modelo de análise de decisão, a lâmina de irrigação suplementar foi definida para suprir cerca de 50% da maior deficiência hídrica mensal (58,9 mm) da cana soca, cultivada em Latossolo Roxo ácrico no Norte Paulista (Tabelas 20, 21, 22 e 23), correspondente a uma lâmina mensal de até 30 mm. Essa lâmina de irrigação corresponde a aproximadamente 50% do consumo mínimo da cultura canavieira, que é da ordem de 1 mm/dia (Tabelas 2 e 3). Com esse critério, busca-se a racionalização da irrigação de cana, de modo a evitar os corriqueiros superdimensionamentos nos projetos e os consequentes exageros nos investimentos necessários, assim como nos custos operacionais da irrigação plena, que visa ao suprimento total das deficiências hídricas da cultura.

3.3. Análise de decisão

A análise de decisão sobre a viabilidade técnico-econômica da irrigação suplementar da cana-de-açúcar foi elaborada com o emprego da técnica da "Árvore de Decisão". O software utilizado para a modelagem e para a solução do problema foi o "Arborist", da Texas Instruments, que também permite a análise do grau de "aversão ao risco" do tomador de decisões, quanto à escolha da melhor decisão a tomar.

As árvores de decisão foram construídas para as socas de maio, julho, setembro e novembro, de modo a determinar a viabilidade da irrigação das socas de toda uma safra de cana. Para cada época de cana soca analisada, foram construídas duas árvores de decisão, uma considerando o cenário dos benefícios diretos e a outra, o cenário dos benefícios indiretos da irrigação suplementar.

O cenário dos benefícios diretos contempla a situação de uma unidade sucroalcooleira com capacidade industrial ociosa, e que pretende aumentar a produção de cana-de-açúcar (matéria prima), para suprir sua ociosidade industrial. Nessa condição, a irrigação suplementar, com seus benefícios diretos de aumento da produtividade e da longevidade, constitui-se numa alternativa para o empresário.

O cenário dos benefícios indiretos contempla a situação de uma unidade sucroalcooleira, que se apresenta com plena capacidade de produção agro-industrial, e que pretende reduzir seus custos de produção agrícola. Nessa condição, a irrigação suplementar, com seus benefícios indiretos, constitui alternativa para aumentar a produção das áreas próprias (próximas da indústria) e reduzir os custos com arrendamentos distantes.

Ressalta-se que o empresário, na situação do cenário dos benefícios diretos, também poderá analisar a viabilidade da irrigação suplementar, sob a óptica do cenário dos benefícios indiretos.

Aos ramos que partem dos nós de chance foram associadas as probabilidades de as deficiências hídricas mensais serem maiores ou menores que a lâmina de irrigação máxima de 30 mm/mês.

Os valores considerados nos nós finais da árvore de decisão consistem na determinação da receita líquida da irrigação. As equações utilizadas contemplam todos os fatores componentes dessa receita, servindo a Equação 18 para o caso da análise do cenário dos benefícios diretos, e a 19 para o cenário dos benefícios indiretos da irrigação suplementar:

$$RLI_d = \left(\sum_{j=1}^J BAP_j \right) + BAL - CFI - \left(\sum_{j=1}^J COI_j \right) - \left(\sum_{j=1}^J PAI_j \right) \quad (18)$$

$$RLI_i = BAL + BRA + BRP + BTC + BRT - CFI - \left(\sum_{j=1}^J COI_j \right) - \left(\sum_{j=1}^J PAI_j \right) \quad (19)$$

- sendo:
- RLI_d: receita líquida da irrigação suplementar, com os benefícios diretos (R\$/ha);
 - RLI_i: receita líquida da irrigação suplementar, com os benefícios indiretos (R\$/ha);
 - BAP: benefício com o aumento da produtividade (R\$/ha);
 - BAL: benefício com o aumento da longevidade das soqueiras nas áreas irrigadas (R\$/ha);
 - BRA: benefício com redução de custos com a dispensa de áreas arrendadas (R\$/ha);
 - BRP: benefício com a redução de custos de preparo de solo e plantio no arrendamento dispensado (R\$/ha);
 - BTC: benefício com redução de custos com tratos culturais no arrendamento dispensado (R\$/ha);
 - BRT: benefício com redução de custos com transporte, se o arrendamento dispensado localizar-se mais distante da unidade industrial que a área irrigada (R\$/ha);
 - CFI: custo fixo da irrigação, com depreciação dos equipamentos e juros do capital investido (R\$/ha);
 - COI: custo operacional da irrigação, com energia elétrica, combustível, mão-de-obra e manutenção (R\$/ha);
 - PAI: preço da água para irrigação (R\$/ha);
 - j: mês do 1º estágio da cana soca irrigada;
 - J: 5 para as socas de maio e julho; 4 as para socas de setembro e novembro.

3.4. Probabilidades das deficiências hídricas

As deficiências hídricas foram determinadas com base nos 30 balanços hídricos climáticos elaborados para cada cana soca estudada.

Os valores das deficiências hídricas das socas estudadas (maio, julho, setembro e novembro) foram submetidos ao teste de correlação de Pearson; verificou-se a significância ao nível de 0,05 de probabilidade, enquanto que a grande maioria das correlações não foram significativas nesse nível de probabilidade. Por exemplo: para o caso do ciclo completo da cana soca de maio (12 meses), apenas 8 das 66 correlações analisadas (12,1%) apresentaram significância. No caso do período preconizado para a irrigação suplementar, que para a cana soca de maio vai de maio a setembro, apenas 2 em 10 correlações analisadas (20%) apresentaram significância no nível de probabilidade testado. Assim, ficou definido que não existe dependência entre os eventos estudados, isto é, entre as deficiências hídricas calculadas para a canas socas de maio, julho, setembro e novembro.

Portanto as probabilidades de as deficiências hídricas serem superiores ou inferiores à lâmina mensal de irrigação (LI) foram calculadas de modo direto, considerando-se os eventos independentes, com base no teste de Pearson. Os resultados obtidos, para as socas de maio, julho, setembro e novembro, estão apresentados nas Tabelas 20, 21, 22 e 23, respectivamente.

Tabela 20. Probabilidades das deficiências hídricas mensais, para o 1º estágio de desenvolvimento da cana soca de maio.

MÊS	DEFICIÊNCIA HÍDRICA MÉDIA		PROBABILIDADE (%)	
	Denominação	Média 30 anos (mm)	DH ≥ LI	DH < LI
Maio	DMA	13,1	3	97
Junho	DJN	15,0	10	90
Julho	DJL	24,8	36	64
Agosto	DAG	50,2	71	29
Setembro	DST	58,9	61	39
TOTAL	---	162,0	---	---

Tabela 21. Probabilidades das deficiências hídricas mensais, para o 1º estágio de desenvolvimento da cana soca de julho.

MÊS	DEFICIÊNCIA HÍDRICA MÉDIA		PROBABILIDADE (%)	
	Denominação	Média 30 anos (mm)	DH ≥ LI	DH < LI
Julho	DJL	20,5	29	71
Agosto	DAG	32,2	58	42
Setembro	DST	38,3	48	52
Outubro	DOT	21,1	32	68
Novembro	DNV	12,4	13	87
TOTAL	---	124,5	---	---

Tabela 22. Probabilidades das deficiências hídricas mensais, para o 1º estágio de desenvolvimento da cana soca de setembro.

MÊS	DEFICIÊNCIA HÍDRICA MÉDIA		PROBABILIDADE (%)	
	Denominação	Média 30 anos (mm)	DH ≥ LI	DH < LI
Setembro	DST	22,6	36	64
Outubro	DOT	9,2	7	93
Novembro	DNV	5,9	0	100
Dezembro	DDZ	4,3	3	97
TOTAL	---	42,0	---	---

Tabela 23. Probabilidades das deficiências hídricas mensais, para o 1º estágio de desenvolvimento da cana soca de novembro.

MÊS	DEFICIÊNCIA HÍDRICA MÉDIA		PROBABILIDADE (%)	
	Denominação	Média 30 anos (mm)	DH ≥ LI	DH < LI
Novembro	DNV	3,7	0	100
Dezembro	DDZ	1,2	0	100
Janeiro	DJA	6,3	7	93
Fevereiro	DFV	14,3	10	90
TOTAL	---	25,5	---	---

3.5. Custos da irrigação suplementar

O sistema considerado, para a irrigação suplementar almejada, foi por aspersão com autopropelido de longo alcance (AP), dotado de aspensor tipo canhão, por ser um sistema mecanizado, portátil, que utiliza pouca mão-de-obra e proporciona grande flexibilidade operacional no campo. Esse sistema

vem sendo bastante difundido nas usinas e nas destilarias de todo o Brasil, para a fertirrigação de lavouras canavieiras com vinhaça e águas residuárias industriais, especialmente em substituição ao sistema convencional de aspersão com montagens diretas e extensões.

Os custos fixos e operacionais do sistema AP foram calculados com base nos resultados obtidos por Matioli & Barcelos (1994), porque os valores determinados por esses autores são específicos do sistema AP e superiores àqueles obtidos por outros autores, conforme citado anteriormente (item 2.8.). Assim, procura-se não subestimar os custos da irrigação, utilizados na aplicação do modelo de análise de decisão.

3.5.1. Custos fixos da irrigação

De acordo com Matioli & Barcelos (1994), o investimento necessário, utilizando-se o sistema de irrigação AP, projetado para aplicar uma lâmina de água de até 50 mm/mês, é de R\$ 627,00/ha, correspondente ao custo fixo anual (depreciação dos equipamentos de irrigação + juros do capital investido) de R\$ 121,98/ha.

Portanto, para uma lâmina de até 30 mm/mês, o investimento, com o sistema AP, foi considerado de R\$ 376,20/ha, correspondente a um custo fixo anual (CFI) de R\$ 73,19/ha.

3.5.2. Custo operacional da irrigação

A composição dos custos operacionais envolve os seguintes fatores: consumo de energia elétrica, consumo de combustível (óleo diesel), mão-de-obra, além de manutenção de obras e equipamentos.

Matioli & Barcelos (1994) determinaram que o custo operacional do sistema AP é de R\$ 147,06/ha, que corresponde a um custo operacional unitário (CUI) de R\$ 0,98/mm.ha.

O equacionamento utilizado no modelo, para o cálculo do custo operacional da irrigação (COI), contemplou as duas alternativas possíveis:

Quando a deficiência hídrica mensal for maior ou igual à lâmina de irrigação:

$$\text{COI} = \text{CUI} \cdot \text{LI} \quad (20)$$

sendo

- COI: custo operacional mensal da irrigação (R\$/ha);
- CUI: custo operacional unitário da irrigação (R\$/mm.ha);
- LI: lâmina mensal máxima de irrigação (mm).

Quando a deficiência hídrica mensal for menor que a lâmina de irrigação:

$$\text{COI} = \text{CUI} \cdot \text{DH} \quad (21)$$

sendo

- COI: custo operacional mensal da irrigação (R\$/ha);
- CUI: custo operacional unitário da irrigação (R\$/mm.ha);
- DH: deficiência hídrica mensal (mm).

3.5.3. Preço da água para irrigação

O preço unitário da água para irrigação (PUA) corresponde a taxas governamentais referentes à utilização e à captação de água, que

eventualmente venham a ser cobradas dos irrigantes. Como essas taxas ainda não são cobradas, a validação do modelo de análise de decisão foi elaborada com PUA igual a zero. O equacionamento utilizado no modelo, para o cálculo do preço da água para irrigação (PAI), contemplou as duas alternativas possíveis:

Quando a deficiência hídrica mensal for maior ou igual à lâmina de irrigação:

$$PAI = PUA \cdot LI \quad (22)$$

sendo

- PAI: preço mensal da água para irrigação (R\$/ha);
- PUA: preço unitário da água para irrigação (R\$/mm.ha);
- LI: lâmina mensal máxima de irrigação (mm).

Quando a deficiência hídrica mensal for menor que a lâmina de irrigação:

$$PAI = PUA \cdot DH \quad (23)$$

sendo

- PAI: preço mensal da água para irrigação (R\$/ha);
- PUA: preço unitário da água para irrigação (R\$/mm.ha);
- DH: deficiência hídrica mensal (mm).

3.6. Benefícios diretos da irrigação

3.6.1. Benefício com o aumento de produtividade (BAP)

Para a determinação do aumento da produtividade agrícola (APE), proporcionado pela irrigação suplementar, procurou-se selecionar as

funções que relacionam produção e consumo de água. Assim, foram escolhidas as funções de produção (Equações 4 e 5) determinadas por Scardua (1985), que são mais representativas para o ciclo de cana soca. Desconsideraram-se as funções de produção de Leme (1991), porque foram determinadas para o ciclo de cana planta e não mostraram resultados consistentes para o caso do presente trabalho.

Para o cálculo dos graus-dia, foi empregado o procedimento desenvolvido por Villa Nova et al. (1972) e utilizado por Teruel (1995), com os dados de temperatura máxima e mínima da normal climatológica de 1961 a 1990, ou seja:

a) Para $T_m > T_b$:

$$GD = \left(\frac{TM + Tm}{2} \right) - T_b \quad (24)$$

b) Para $T_m \leq T_b$:

$$GD = \frac{(TM - T_b)^2}{2 \cdot (TM - T_b)} \quad (25)$$

sendo

GD: graus-dia;

TM: temperatura máxima, em °C;

Tm: temperatura mínima, em °C;

Tb: temperatura base de 18°C.

A produtividade máxima da cana soca resultou em 114,9 t/ha, conforme mostram os valores da Tabela 1 do Apêndice 2.

Com essa metodologia, determinou-se o aumento de produtividade agrícola esperado (APE) com a irrigação suplementar, durante o 1º estágio de desenvolvimento da cana soca, conforme detalhado nas Tabelas 2 a 9 do Apêndice 2 e resumido na Tabela 24.

Tabela 24. Aumento de produtividade esperado (APE) para a cana soca irrigada no primeiro estágio de desenvolvimento.

CANA SOCA	PRODUT. ESPERADA (t/ha)		IRRIGAÇÃO (mm/ano)	APE	
	Sequeiro	Irigado		(t/ha)	(t/mm.ha)
Maio	63,4	92,2	112,9	28,8	0,255
Julho	82,2	104,3	114,0	22,1	0,194
Setembro	94,4	104,2	42,0	9,8	0,233
Novembro	91,3	96,5	25,3	5,6	0,221

O benefício, devido ao aumento de produtividade para cada mês (BAP), foi determinado com o emprego das Equações 26 e 27.

Quando a deficiência hídrica mensal for maior ou igual à lâmina de irrigação:

$$\text{BAP} = \text{LI} \cdot \text{APE} \cdot \text{PCC} \quad (26)$$

sendo

BAP: benefício mensal com o aumento de produtividade (R\$/ha);

LI: lâmina mensal de irrigação (mm);

APE: aumento de produtividade esperado (t/mm.ha);

PCC: preço da cana no campo (R\$/t).

O preço da cana no campo (PCC) é definido pela diferença entre o preço da cana na esteira e os custos de colheita (corte, carregamento e transporte). Os preços oficiais da cana na esteira e no campo são de R\$ 17,2043/t e R\$ 14,9042/t (abril/98), respectivamente. Como os custos da colheita tradicional, com corte manual, totalizam em média R\$ 6,50/t (Nunes Jr., 1996), o preço real da cana no campo resulta na ordem de R\$ 10,70/t. Considerando os custos da colheita mecanizada de cana crua, R\$ 3,65/t (Balbo Jr., 1994), o preço real da cana no campo resultaria em R\$ 13,55/t. No entanto, para a aplicação do modelo de análise de decisão, foi considerado o valor de R\$ 10,70/t para a variável PCC, visando à obtenção de resultados que representem realisticamente as condições atuais de campo.

Quando a deficiência hídrica mensal for menor que a lâmina de irrigação:

$$BAP = DH \cdot APE \cdot PCC \quad (27)$$

sendo

BAP: benefício mensal com o aumento de produtividade (R\$/ha);

DH: deficiência hídrica mensal (mm);

APE: aumento de produtividade esperado (t/mm.ha);

PCC: preço da cana no campo (R\$/t).

3.6.2. Benefício com o aumento da longevidade (BAL)

$$BAL = \frac{CP}{LCS} - \left(\frac{CP}{LCS + ALE} \right) \quad (28)$$

sendo

BAL: benefício com aumento de longevidade (R\$/ha);

- CP: custo do preparo de solo e plantio (R\$/ha);
LCS: longevidade da cana de sequeiro (nº de cortes);
ALE: aumento de longevidade esperado (nº de cortes, além da longevidade da cana de sequeiro).

O custo do plantio de cana-de-açúcar (CP), que também engloba as operações de preparo de solo, é da ordem de R\$ 1.307,00/ha (Nunes Jr.,1996). Tal foi o valor considerado na aplicação do modelo de análise de decisão.

A longevidade média da cana de sequeiro (LCS), para as condições tecnológicas e edafoclimáticas do Estado de São Paulo, é de 4 a 5 cortes. Na aplicação do modelo de análise de decisão, foi considerado LCS igual a 5 cortes, porque esse valor tende a proporcionar resultados esperados menores na árvore de decisão, evitando favorecer a viabilidade econômica da irrigação suplementar.

O aumento da longevidade esperado para as soqueiras irrigadas (ALE) foi calculado com base num critério devidamente equacionado no modelo de análise de decisão, ou seja: para cada mês em que a irrigação for executada com a lâmina mensal máxima LI (30 mm), foi considerado que haverá um aumento de longevidade de mais um corte, proporcionado pela irrigação suplementar. Para os meses em que a irrigação for inferior à lâmina mensal máxima LI (30 mm), não haverá aumento na longevidade do canavial, proporcionado pela irrigação.

3.7. Benefícios indiretos da irrigação

Os benefícios indiretos da irrigação são aqueles proporcionados pelo aumento da produtividade agrícola.

3.7.1. Benefício com a redução de arrendamento (BRA)

$$BRA = (APE.LI) \cdot \left(\frac{PA}{PMS} \right) \quad (29)$$

sendo

BRA: benefício com redução de custos com arrendamento (R\$/ha);

APE: aumento de produtividade esperado (t/mm.ha);

LI: lâmina de irrigação (mm);

PA: preço do arrendamento (R\$/ha);

PMS: produtividade média da cana de sequeiro (t/ha).

O preço do arrendamento (PA) de terras agricultáveis varia bastante nas diferentes regiões canavieiras paulistas, especialmente em função da distância da área até a indústria. Atualmente, na região de Ribeirão Preto-SP, o preço do arrendamento é da ordem de 18,6 t/ha, para uma distância superior a 25 km (Nunes Jr.³, 1998). Na aplicação do modelo, foi considerado esse valor de 18,6 t/ha, correspondente a aproximadamente R\$ 320,00/ha, considerando-se o preço da cana na esteira R\$ 17,20/t (abril/98).

3.7.2. Benefício com a redução de plantio (BRP)

$$BRP = (APE.LI) \cdot \left(\frac{CP}{PMS.LCS} \right) \quad (30)$$

³NUNES Jr., D. (ALCOPLAN - Consultoria e Planejamento Ltda, Jaú, S.P.). Comunicação pessoal, 1998.

sendo

BRP: benefício com redução de custos com preparo de solo e plantio (R\$/ha);

APE: aumento de produtividade esperado (t/mm.ha);

LI: lâmina de irrigação (mm);

CP: custo do preparo de solo e plantio (R\$/ha);

PMS: produtividade média da cana de sequeiro (t/ha);

LCS: longevidade da cana de sequeiro (nº de cortes).

O valor da produtividade média da cana de sequeiro (PMS) na região Norte Paulista, considerado na aplicação do modelo, foi de 84,1 t/ha, extraído da Tabela 10 (IDEA, 1997).

3.7.3. Benefício com a redução dos tratos culturais (BTC)

$$BTC = (APE \cdot LI) \cdot \left(\frac{CTS}{PMS} \right) \quad (31)$$

sendo,

BTC: benefício com redução de custos com tratos culturais de soqueiras (R\$/ha);

APE: aumento de produtividade esperado (t/mm.ha);

LI: lâmina de irrigação (mm);

CTS: custo com tratos culturais de soqueiras (R\$/ha);

PMS: produtividade média da cana de sequeiro (t/ha).

O custo com os tratos culturais de soqueiras (CTS), considerado na aplicação do modelo, foi de R\$ 308,00/ha (Nunes Jr., 1996).

3.7.4. Benefício com a redução de transporte (BRT)

$$BRT = (APE \cdot LI) \cdot (CTA - CTI) \quad (32)$$

sendo

BRT: benefício com redução de custos com transporte (R\$/ha);

APE: aumento de produtividade esperado (t/mm.ha);

LI: lâmina de irrigação (mm);

CTA: custo transporte da área arrendada (R\$/t);

CTI: custo do transporte da fazenda irrigada (R\$/t).

O benefício indireto de redução de custos com transporte (BRT) está associado à possibilidade de o arrendamento dispensado estar localizado distante da unidade industrial e de a área irrigada localizar-se próxima da indústria. Na aplicação do modelo, foram adotados os custos apresentados na Tabela 16 (Balbo Jr., 1994), considerando que o arrendamento dispensado se encontra a 25 km da indústria, a um custo de transporte de R\$ 2,08/t, enquanto a área irrigada se localiza a 2 km da usina, a um custo de transporte de R\$ 0,98/t.

3.8. Aversão ao risco

A maximização do valor monetário esperado, utilizando as probabilidades condicionais, associadas à ocorrência de eventos independentes, tem significado especial em economia. De acordo com Friedman & Savage (1948), citados por Peres (1990), um indivíduo que tomasse decisões, com base apenas nesse critério de maximização, seria classificado como “neutro” em relação ao risco. No entanto esse não é o comportamento esperado para os agricultores, ou para qualquer tipo de empresário. Normalmente, os indivíduos são “aversos” ao risco.

A análise do risco de uma decisão é elaborada com o emprego da função utilidade, conforme descrito no capítulo anterior. Para exemplificar a avaliação do grau de aversão ao risco de um tomador de decisões, foi entrevistado um Diretor de produção agro-industrial de usina de açúcar e álcool

do Estado de São Paulo, onde é cultivada uma área de aproximadamente 20.000 ha de cana-de-açúcar.

O processo adotado foi aquele proposto por Raiffa (1970), citado por Peres (1990), ou seja: primeiro, tomou-se o valor dos retornos extremos que ocorreram no modelo estudado. Atribuiu-se ao maior deles (\$MaV) o valor 1 (um) e, ao menor (\$MeV), o valor 0 (zero). Uma vez atribuídos os valores extremos da função, determinaram-se os valores de probabilidades correspondentes às receitas líquidas intermediárias, através da manifestação, pelo tomador de decisão, de qual valor de probabilidade (x%) faria com que ele manifestasse indiferença entre uma determinada receita líquida intermediária, recebida com certeza, e uma loteria que promettesse pagar \$MaV com x% de chance, ou \$MeV com 1-x% de chance. O valor escolhido (x%) é um ponto no espaço (utilidade) da curva de utilidade do indivíduo. Pontos adicionais da curva ou função utilidade foram conseguidos repetindo-se a pergunta, para outros valores de receitas líquidas intermediárias (Apêndice 5).

A função utilidade do tomador de decisão foi ajustada a uma aproximação logarítmica expressa por:

$$U(RLI) = 0,2579 \cdot \ln(RLI+50) - 0,594 \quad (33)$$

sendo $U(RLI)$: utilidade do tomador de decisão (valores entre 0 e 1);

RLI: receita líquida esperada com a irrigação (R\$/ha);

$$r^2 = 0,9855.$$

Ressalta-se que essa função utilidade é válida apenas para o Diretor entrevistado, naquela época da entrevista (maio/98). Esse mesmo Diretor, numa outra ocasião, ou outros tomadores de decisões, poderão apresentar aversões ao risco distintas e, portanto, suas funções utilidade serão diferentes daquela representada pela Equação 33.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Desenvolveu-se o modelo de análise de decisão para estudar a viabilidade técnica e econômica da introdução da tecnologia de irrigação suplementar de soqueiras de cana-de-açúcar, em todas as regiões canavieiras do Estado de São Paulo. Na sua aplicação, foi estudado o caso particular do Latossolo Roxo ácrico da região Norte Paulista, representada pelas microregiões de Ribeirão Preto e Guaiára.

Os resultados obtidos referem-se a duas análises de decisão sobre os valores esperados das receitas líquidas da irrigação suplementar, realizada durante o primeiro estágio de desenvolvimento de canas socas. Na primeira análise, contemplou-se o cenário dos benefícios diretos do aumento da produtividade agrícola e do aumento da longevidade do canavial. Na segunda análise, considerou-se o cenário dos benefícios indiretos que contempla, o aumento da longevidade das soqueiras e as reduções de custos com arrendamentos, preparo de solo e plantio, tratos culturais de soqueiras e transporte de cana.

4.1. Análise de decisão da irrigação da cana soca de maio

4.1.1. Valores esperados de receitas líquidas

A Tabela 25 apresenta os valores esperados das receitas líquidas com a irrigação suplementar da cana soca de maio, calculados pelas árvores de decisão apresentadas nas Figuras 1 e 2 do Apêndice 3.

Tabela 25. Receitas líquidas esperadas, com a irrigação suplementar (RLI) da cana soca de maio.

BENEFÍCIOS DA IRRIGAÇÃO	RECEITA LÍQ. (RLI)	INTERVALO DE VARIAÇÃO DA RLI (R\$/ha)	
	(R\$/ha)	Valor Máximo	Valor Mínimo
Diretos (1)	227,00	372,96	198,90
Indiretos (2)	261,64	446,71	226,99
DIFERENÇA (2 - 1)	34,64	73,75	28,09

Os resultados obtidos, considerando-se os benefícios diretos, demonstram que a irrigação suplementar da cana soca de maio apresenta um grande potencial de viabilidade econômica. A solução ótima resultou na receita líquida de R\$ 227,00/ha, com um intervalo de variação entre R\$ 198,90/ha e R\$ 372,96/ha (Figura 1 do Apêndice 3), em função da intensidade e da probabilidade de ocorrência do evento natural “deficiência hídrica”. O valor R\$198,90/ha corresponde ao caminho (galhos da árvore), ao qual estão associadas as maiores probabilidades dos eventos. Por outro lado, ao valor R\$ 372,96/ha associam-se as menores probabilidades de ocorrência dos eventos.

Quando foram considerados os benefícios indiretos da irrigação, a receita líquida foi de R\$ 261,64/ha, com um intervalo de variação entre R\$ 226,99/ha e R\$ 446,71/ha (Figura 2 do Apêndice 3). Nessa árvore de decisão, as maiores probabilidades dos eventos estão associadas ao valor R\$ 226,99/ha, enquanto as menores, ao valor R\$ 422,49/ha. Esses resultados reafirmam o grande potencial de viabilidade econômica dessa tecnologia, para a cana soca de maio, com uma boa vantagem de R\$ 34,64/ha (15%) sobre os resultados da primeira análise.

4.1.2. Análise de sensibilidade das variáveis

Foram elaboradas as análises de sensibilidade de todas as variáveis do problema relativo à cana soca de maio, procurando demonstrar as suas variações, em intervalos representativos da realidade da maioria das usinas e destilarias, localizadas na região Norte Paulista (Tabelas 26 a 38).

Os resultados apresentados nas Tabelas 26, 27 e 28 demonstram que a sensibilidade da variável LI, sobre as receitas líquidas esperadas nas árvores de decisão, é inversamente proporcional às sensibilidades das variáveis CFI e CUI. Quando se aumenta a lâmina de irrigação (LI), também ocorrem aumentos nas receitas, mas isso implica maiores custos (CFI e CUI), que quando aumentados, provocam decréscimos nas receitas líquidas esperadas.

Tabela 26. Análise de sensibilidade da variável lâmina mensal de irrigação (LI) da cana soca de maio.

LI (mm/mês)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
20	195,35	225,19
25	211,17	243,41
30	227,00	261,64
35	242,82	279,87
40	258,65	298,09

Tabela 27. Análise de sensibilidade da variável custo fixo da irrigação (CFI) da cana soca de milho.

CFI (R\$/ha)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
50,00	250,19	284,83
60,00	240,19	274,83
70,00	230,19	264,83
73,19	227,00	261,64
80,00	220,19	254,83
90,00	210,19	244,83

Tabela 28. Análise de sensibilidade da variável custo operacional unitário da irrigação (CUI) da cana soca de milho.

CUI (R\$/mm)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
0,50	291,27	325,92
0,75	257,80	292,44
0,98	227,00	261,64
1,00	224,32	258,96
1,25	190,84	225,48
1,50	157,37	192,01

Tabela 29. Análise de sensibilidade da variável preço do uso da água (PUA) da cana soca de milho.

PUA (R\$/mm)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
0,00	227,00	261,64
0,25	193,52	228,16
0,50	160,52	194,69
0,75	126,57	161,21
1,00	93,09	127,73

A análise de sensibilidade da variável PUA (Tabela 29) demonstra que a eventual cobrança pelo uso da água de irrigação, cujas taxas governamentais ainda são desconhecidas, vem reduzir significativamente as receitas líquidas esperadas, podendo, em alguns casos, e dependendo dos valores de tais taxas, inviabilizar a introdução da tecnologia de irrigação suplementar de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo.

Tabela 30. Análise de sensibilidade da variável aumento produtividade esperado (APE) da cana soca de milho.

APE (t/mm)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
0,100	4,91	18,50
0,150	76,55	96,93
0,200	148,19	175,36
0,250	219,83	253,80
0,255	227,00	261,64
0,300	291,47	332,23

A variável APE apresentou uma grande sensibilidade nas receitas líquidas da irrigação, podendo até inviabilizar essa tecnologia, se o aumento da produtividade esperado for inferior a 0,100 t/mm (Tabela 30). Esses resultados demonstram a necessidade de se desenvolverem de novos trabalhos e pesquisas, objetivando determinar funções de produção para as novas variedades de cana-de-açúcar, que representem, com maior exatidão, o comportamento da produtividade esperada da cana irrigada.

Tabela 31. Análise de sensibilidade da variável preço da cana no campo (PCC) da cana soca de maio.

PCC (R\$/t)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
9,00	168,95	---
10,00	203,09	---
10,70	227,00	---
11,00	237,24	---
12,00	271,39	---
13,00	305,53	---

Os resultados mostrados na Tabela 31 demonstram que a variável PCC também interfere na receita líquida da irrigação. Portanto devem-se ressaltar os dois fatores que compõem o preço da cana no campo. O primeiro é o preço da cana na esteira que, atualmente (abril/98), ainda é controlado pelo governo federal, mas está para ser liberado, visando a atender as metas da globalização da economia brasileira. Assim, dependendo do ponto de equilíbrio que esse preço atingir no mercado canavieiro, o potencial de viabilidade econômica da irrigação poderá ser aumentado ou diminuído.

O segundo fator que interfere na variável PCC é o custo da colheita (corte, carregamento e transporte). O custo, considerado na aplicação do modelo de decisão, foi o da "colheita manual". No entanto, com a atual legislação ambiental de proibição da queima da palha de cana, os produtores estão sistematizando intensamente suas lavouras para a introdução da colheita mecânica de cana crua. Esse tipo de colheita apresenta custos inferiores aos da colheita manual, apesar de determinadas regiões canavieiras paulistas apresentarem sérias limitações topográficas, que comprometem a execução da colheita mecânica. Assim, a tendência é de redução do custo da colheita, com o conseqüente aumento do preço da cana no campo (PCC) e o correspondente aumento do potencial de viabilidade econômica da irrigação suplementar.

Tabela 32. Análise de sensibilidade da variável custo de preparo de solo e plantio (CP) da cana soca de maio.

CP (R\$/ha)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
1.000,00	211,48	220,69
1.125,00	217,80	237,36
1.250,00	224,12	254,04
1.307,00	227,00	261,64
1.375,00	230,43	270,71
1.500,00	236,75	287,38

A variação do custo de preparo de solo e plantio (CP) não apresenta grandes interferências na sensibilidade da receita líquida da irrigação (Tabela 32). Mesmo assim, deve-se ressaltar que tecnologias têm sido desenvolvidas para o plantio mecânico da cana, em substituição ao plantio

convencional (“manual”), visando à redução do custo dessa atividade agrícola. Portanto a perspectiva para o valor desta variável é de redução, com a conseqüente diminuição na receita líquida da irrigação.

Tabela 33. Análise de sensibilidade da variável longevidade da cana de sequeiro (LCS) da cana soca de maio.

LCS (nº de cortes)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
3	314,67	421,50
4	257,12	318,84
5	227,00	261,64
6	209,19	225,78
7	197,75	201,46

Tabela 34. Análise de sensibilidade da variável preço do arrendamento (PA) da cana soca de maio.

PA (R\$/ha)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
250,00	---	232,78
275,00	---	243,09
300,00	---	253,40
320,00	---	261,64
325,00	---	263,70
350,00	---	274,01

A interferência da variável LCS é significativa na sensibilidade da receita líquida da irrigação (Tabela 33): demonstrou-se que quanto menor for a longevidade da cana de sequeiro, maior será a receita líquida da irrigação. Salienta-se que as áreas com solos de baixa fertilidade e com pequena capacidade de retenção de água são aquelas que proporcionam as menores longevidades das soqueiras de cana-de-açúcar.

O preço do arrendamento (PA) apresenta grandes variações de uma região canavieira para outra. A atual política brasileira de crédito agrícola, com altas taxas de juros para o produtor rural, e os movimentos populares para a Reforma Agrária contribuem para o aumento da oferta de terras agricultáveis, com a conseqüente redução do preço do arrendamento. A receita líquida segue a tendência do preço do arrendamento, ou seja, quanto menor for o valor de PA, menor será a receita líquida esperada com a irrigação suplementar da cana soca de maio (Tabela 34).

Tabela 35. Análise de sensibilidade da variável produtividade média de sequeiro (PMS) da cana soca de maio.

PMS (t/ha)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
75,0	---	306,00
80,0	---	280,37
84,1	---	261,64
85,0	---	257,77
90,0	---	237,71
95,0	---	219,77

A análise de sensibilidade da variável PMS (Tabela 35) demonstra que, quanto menos produtiva for uma área canavieira de sequeiro (normalmente aquelas com solos de baixa fertilidade), maior será o potencial de viabilidade econômica para a introdução da tecnologia de irrigação suplementar.

Tabela 36. Análise de sensibilidade da variável custo com tratos culturais de soqueiras (CTS) da cana soca de milho.

CTS (R\$/ha)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
250,00	---	238,09
275,00	---	248,24
300,00	---	258,39
308,00	---	261,64
325,00	---	268,54
350,00	---	278,69

Tabela 37. Análise de sensibilidade da variável custo com transporte do arrendamento dispensado (CTA) da cana soca de milho.

CTA (R\$/t)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
1,50	---	241,83
1,75	---	250,37
2,00	---	258,91
2,08	---	261,64
2,25	---	267,45
2,50	---	275,98

Tabela 38. Análise de sensibilidade da variável custo com transporte da área irrigada (CTI) da cana soca de maio.

CTI (R\$/t)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
0,50	---	278,21
0,75	---	269,54
0,98	---	261,64
1,00	---	260,95
1,25	---	252,40
1,50	---	243,86

A variação das variáveis CTS, CTA e CTI não tem grande interferência na sensibilidade da receita líquida da irrigação (Tabelas 36, 37 e 38). Ressalta-se que o aumento ou a redução da diferença entre as distâncias de transporte (da área irrigada até a indústria e do arrendamento dispensado até a indústria), correspondem a aumento ou a redução na receita líquida esperada com a irrigação suplementar, respectivamente.

4.2. Análise de decisão da irrigação da cana soca de julho

4.2.1. Valores esperados de receitas líquidas

A Tabela 39 apresenta os valores esperados das receitas líquidas, com a irrigação suplementar da cana soca de julho. Esses resultados foram calculados pelas árvores de decisão apresentadas nas Figuras 3 e 4 do Apêndice 3.

Tabela 39. Receitas líquidas esperadas, com a irrigação suplementar (RLI) da cana soca de julho.

BENEFÍCIOS DA IRRIGAÇÃO	RECEITA LÍQ. (RLI)	INTERVALO DE VARIAÇÃO DA RLI (R\$/ha)	
	(R\$/ha)	Valor Máximo	Valor Mínimo
Diretos (1)	130,92	221,88	63,24
Indiretos (2)	155,81	384,08	86,80
DIFERENÇA (2 - 1)	24,89	162,20	23,56

Os resultados, considerando-se os benefícios diretos, demonstram que a irrigação suplementar da cana soca de julho apresenta um bom potencial de viabilidade econômica. A solução ótima indicou a receita líquida de R\$ 130,92/ha, com um intervalo de variação entre R\$ 63,24/ha e R\$ 221,88/ha (Figura 3 do Apêndice 3). Nessa árvore de decisão, as maiores probabilidades dos eventos associam-se ao valor R\$ 104,39/ha e as menores, ao valor R\$ 209,77/ha.

O bom potencial de viabilidade econômica da irrigação suplementar da cana soca de julho foi confirmado quando se consideraram os benefícios indiretos. Houve uma razoável vantagem de R\$ 24,89/ha (19%) sobre os resultados da primeira análise. A solução ótima resultou na receita líquida de R\$ 155,81/ha, com um intervalo de variação de R\$ 86,80/ha a R\$ 384,08/ha (Figura 4 do Apêndice 3). Nessa árvore de decisão, as maiores probabilidades associam-se ao valor R\$ 127,54/ha, enquanto o valor R\$ 238,57/ha corresponde aos eventos com as menores probabilidades.

4.2.2. Análise de sensibilidade das variáveis

As análises de sensibilidade das variáveis do problema da cana soca de julho estão apresentadas nas Tabelas 1 a 13 do Apêndice 4 e mostraram as mesmas tendências das análises elaboradas e já discutidas para a cana soca de maio.

4.3. Análise de decisão da irrigação da cana soca de setembro

4.3.1. Valores esperados de receitas líquidas

A Tabela 40 apresenta os valores esperados das receitas líquidas, com a irrigação suplementar da cana soca de setembro, calculados pelas árvores de decisão ilustradas nas Figuras 5 e 6 do Apêndice 3.

Tabela 40. Receitas líquidas esperadas, com a irrigação suplementar (RLI) da cana soca de setembro.

BENEFÍCIOS DA IRRIGAÇÃO	RECEITA LÍQ. (RLI)	INTERVALO DE VARIAÇÃO DA RLI (R\$/ha)	
	(R\$/ha)	Valor Máximo	Valor Mínimo
Diretos (1)	17,33	169,94	- 9,64
Indiretos (2)	28,85	218,18	- 0,09
DIFERENÇA (2 - 1)	11,52	48,24	9,55

Os resultados obtidos, considerando-se os benefícios diretos, demonstram que a irrigação suplementar da cana soca de setembro apresenta um pequeno potencial de viabilidade econômica. A solução ótima resultou na receita líquida de R\$ 17,33/ha (Figura 5 do Apêndice 3), com

intervalo de variação de -R\$ 9,64/ha (maiores probabilidades) a R\$ 169,94/ha (menores probabilidades). Ressalta-se que, nessa árvore de decisão, o limite superior da receita líquida resultou em R\$ 224,56/ha, mas esse valor foi desconsiderado, porque a probabilidade associada a esse ramo da árvore de decisão foi igual a zero.

Quando se consideraram os benefícios indiretos da irrigação, a receita líquida resultante foi de R\$ 28,85/ha (Figura 6 do Apêndice 3), com intervalo de variação de -R\$ 0,09/ha (maiores probabilidades) a R\$ 218,18/ha (menores probabilidades), reafirmando o pequeno potencial de viabilidade econômica da tecnologia de irrigação suplementar para a cana soca de setembro. A vantagem da receita líquida, considerando-se os benefícios indiretos, sobre os resultados da primeira análise foi de R\$ 11,52/ha (66%).

4.3.2. Análise de sensibilidade das variáveis

As análises de sensibilidade das variáveis do problema da cana soca de setembro estão apresentadas nas Tabelas 14 a 26 do Apêndice 4 e mostraram as mesmas tendências das análises elaboradas e já discutidas para a cana soca de maio.

4.4. Análise de decisão da irrigação da cana soca de novembro

4.4.1. Valores esperados de receitas líquidas

A Tabela 41 apresenta os valores esperados das receitas líquidas, com a irrigação suplementar da cana soca de novembro. Esses resultados foram calculados pelas árvores de decisão, apresentadas nas Figuras 7 e 8 do Apêndice 3.

Tabela 41. Receitas líquidas esperadas, com a irrigação suplementar (RLI) da cana soca de novembro.

BENEFÍCIOS DA IRRIGAÇÃO	RECEITA LÍQ. (RLI)	INTERVALO DE VARIAÇÃO DA RLI (R\$/ha)	
	(R\$/ha)	Valor Máximo	Valor Mínimo
Diretos (1)	- 26,09	91,36	- 37,88
Indiretos (2)	- 19,90	105,35	- 32,38
DIFERENÇA (2 - 1)	6,19	13,99	5,50

Os resultados, considerando-se os benefícios diretos e indiretos, demonstram que a irrigação suplementar da cana soca de novembro não apresenta nenhum potencial de viabilidade econômica. As soluções ótimas resultaram valores zero, correspondentes à decisão de não irrigar cana soca de novembro, no seu primeiro estágio de desenvolvimento (Figuras 7 e 8 do Apêndice 3).

Os intervalos de variação das receitas líquidas apresentaram valores significativos nos seus limites superiores (R\$ 91,36/ha e R\$ 105,35/ha). No entanto as probabilidades associadas a esses eventos são muito menores do que aquelas associadas aos eventos com resultados negativos.

4.4.2. Análise de sensibilidade das variáveis

Apesar da inviabilidade econômica da irrigação da cana soca de novembro, foram elaboradas as análises de sensibilidade de todas as variáveis do problema. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 27 a 39 do Apêndice 4 e, apesar de serem quase todos negativos, mostram as mesmas tendências das análises elaboradas e já discutidas para a cana soca de maio.

4.5. Resumo dos resultados obtidos

A Tabela 42 apresenta o resumo dos resultados obtidos com as árvores de decisão apresentadas nas Figuras 1 a 8 do Apêndice 3.

Tabela 42. Receita líquida esperada com a irrigação suplementar de canas socas.

CANA SOCA	BENEFÍCIOS DA IRRIGAÇÃO	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
		Decisão: irriga	Decisão: não irriga
Maio	Diretos	227,00	0,00
Maio	Indiretos	261,64	0,00
Julho	Diretos	130,92	0,00
Julho	Indiretos	155,81	0,00
Setembro	Diretos	17,33	0,00
Setembro	Indiretos	28,85	0,00
Novembro	Diretos	- 26,09	0,00
Novembro	Indiretos	- 19,90	0,00

Os resultados demonstram que a irrigação suplementar das canas socas de maio e julho, colhidas desde o início até meados da safra, apresentou viabilidade técnico-econômica. As receitas líquidas esperadas variaram de R\$ 130,92/ha até R\$ 261,64/ha, demonstrando que a introdução da tecnologia de irrigação suplementar de cana-de-açúcar poderá proporcionar resultados técnicos e econômicos altamente significativos para o empresariado do setor sucro-alcooleiro da região Norte Paulista.

Por outro lado, a irrigação suplementar das socas de setembro e novembro, colhidas desde meados até o final da safra, não apresentou

viabilidade econômica. Para a cana soca de novembro, as receitas líquidas resultaram negativas, com valores de -R\$ 26,09/ha e -R\$ 19,90/ha, indicando prejuízos com a decisão "irriga". Para a cana soca de setembro, os valores foram pouco expressivos, com receitas esperadas de apenas R\$ 17,33/ha e R\$ 28,85/ha.

Esses resultados podem ser explicados pelo fato de que o primeiro estágio de desenvolvimento das socas, de início até meados da safra (maio a julho), coincide com o período anual de maior deficiência hídrica (maio a setembro). Por outro lado, o primeiro estágio de desenvolvimento das socas, de meados até final da safra (setembro a novembro), coincide, em sua maior parte, com o período anual de menor deficiência hídrica (outubro a março), nas condições edafoclimáticas do Estado de São Paulo.

Os resultados monetários foram coerentes com as conclusões de Guazzelli & Paes (1997), que verificaram uma receita bruta com a irrigação de cana planta de US\$ 400,00/ano, equivalente a R\$ 456,00/ha (abril/98). Por exemplo: para uma lâmina anual de irrigação suplementar de 120 mm (caso da cana soca de maio), ao custo de R\$ 215,18/ha (Matioli & Barcelos, 1994), resulta a receita líquida de R\$ 240,82/ha. Esse valor está na faixa dos valores das receitas líquidas esperadas, obtidos no modelo de decisão para a cana soca de maio, que foram de R\$ 227,00/ha e R\$ 261,64/ha (Tabela 42).

Além dos benefícios contabilizados nas análises de decisão, a irrigação suplementar também pode garantir o plantio de "cana de inverno" e "cana de ano", proporcionando mais um benefício referente à redução de custos com as áreas de pousio.

Uma adaptação do modelo de decisão poderia ser feita para analisar a viabilidade da irrigação de cana soca, colhida desde meados até o final da safra (setembro a novembro), durante o segundo estágio da cultura (período de máximo desenvolvimento). Nesse caso, os resultados econômicos poderiam ser diferentes, apontando para a viabilidade da irrigação. No entanto

ressalta-se que a função de produção de Scardua (1985) não aponta essa direção (Equação 4), porque o coeficiente da variável referente ao segundo estágio da cultura (x_2) apresenta valor de apenas 0,2762, contra o valor 0,6610 para a variável do primeiro estágio (x_1).

Os resultados obtidos neste trabalho estão alicerçados nos aumentos da produtividade agrícola, proporcionados pela técnica de irrigação suplementar, calculados com o emprego da função de produção determinada por Scardua (1985). Atualmente, em razão do desenvolvimento de novas variedades de cana-de-açúcar e do emprego de novas tecnologias de produção, recomenda-se a execução de novas pesquisas, semelhantes à de Scardua (1985), para a determinação de outras funções de produção de cana, que representem melhor a realidade atual da lavoura canavieira paulista.

Os resultados deste trabalho também se confrontam com a tradição paulista do cultivo exclusivo de cana de sequeiro, mostrando a necessidade de reabrir a questão sobre a viabilidade da introdução da tecnologia de irrigação suplementar na lavoura canavieira do Estado de São Paulo.

Em razão das paridades climatológicas reinantes nas regiões canavieiras paulistas, pode-se inferir que o modelo de análise de decisão representa o sistema de produção de todas as regiões canavieiras do Estado de São Paulo.

4.6. Análise do risco

As equações determinantes das receitas líquidas esperadas, com a irrigação suplementar nas árvores de decisão (Figuras 1 a 8 do Apêndice 3), foram substituídas pela Equação 33 que representa a função utilidade do tomador de decisão entrevistado. Os resultados, apresentados nas Figuras 9 a 16 do Apêndice 3, estão resumidos na Tabela 43.

Comparando-se esses resultados com os da Tabela 42, verifica-se que, mesmo com a introdução da aversão ao risco do Diretor entrevistado, as decisões “irriga” ou “não irriga” não foram alteradas.

Tabela 43. Utilidade esperada com a irrigação suplementar de um tomador de decisão “averso” ao risco.

CANA SOCA	BENEFÍCIOS DA IRRIGAÇÃO	UTILIDADE ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO	
		Decisão: irriga	Decisão: não irriga
Maio	Diretos	0,86	0,42
Maio	Indiretos	0,89	0,42
Julho	Diretos	0,74	0,42
Julho	Indiretos	0,78	0,42
Setembro	Diretos	0,46	0,42
Setembro	Indiretos	0,51	0,42
Novembro	Diretos	0,13	0,42
Novembro	Indiretos	0,22	0,42

A análise das canas socas de maio e julho apontou para a decisão “irriga”, com utilidades esperadas bastante superiores (0,74 a 0,89) à decisão “não irriga” (0,42). Para a cana soca de novembro, a decisão foi “não irriga”, com utilidades de 0,13 e 0,22, contra a utilidade de 0,42 correspondente à decisão “não irriga”.

Os valores das utilidades esperadas da decisão “irriga” a cana soca de setembro (0,46 e 0,51) ficaram próximos dos valores das utilidades da decisão “não irriga” (0,42), tornando o resultado desta análise não evidente para o tomador de decisão. Por outro lado, essa indefinição identifica o ponto

limite da viabilidade econômica da irrigação preconizada, ou seja, de início até meados da safra (maio a agosto).

Ressalta-se, ainda, que a “análise do risco” pode alterar a decisão resultante da análise dos valores monetários esperados, dependendo do grau de “aversão” ao risco do tomador de decisão.

5. CONCLUSÕES

A análise da viabilidade da irrigação suplementar de cana soca, durante o primeiro estágio de desenvolvimento da cultura, na região Norte do Estado de São Paulo, permite concluir que:

- A hipótese deste trabalho foi confirmada: a irrigação suplementar de cana-de-açúcar, durante o primeiro estágio de desenvolvimento da cultura, apresenta viabilidade técnica e econômica para as soqueiras de início (maio) até meados da safra (julho).

- A viabilidade da irrigação suplementar foi comprovada no cenário dos benefícios diretos de aumento da produtividade e de maior longevidade das soqueiras. Quando se considerou o cenário dos benefícios indiretos da irrigação, proporcionados pelo aumento de produtividade agrícola (redução de custos com arrendamento, preparo de solo, plantio, tratos culturais e transporte de cana), a viabilidade econômica da irrigação suplementar da cana soca de início até meados da safra (maio a julho) tornou-se mais evidente.

- A irrigação suplementar da cana soca de meados até o final da safra (setembro a novembro) apresentou-se economicamente inviável.

- O modelo de decisão é apropriado para todo o Estado de São Paulo, estando apto a ser aplicado para as diferentes regiões canavieiras paulistas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEONI, L.R.F. Atributos eletroquímicos de solos acrícos no norte paulista. Piracicaba, 1992. 123p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- BALBO Jr., L. Custo da colheita mecanizada da cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE PLANTIO E COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR, 1., Ribeirão Preto, 1994. **Anais**. Ribeirão Preto: IDEA, 1994. p. 1-21.
- BARBIERI, V. Medidas e estimativas de consumo hídrico em cana-de-açúcar. Piracicaba, 1981. 82p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- BARBIERI, V. Condicionamento climático da produtividade potencial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*): um modelo matemático-fisiológico de estimativa. Piracicaba, 1993. 142p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- BARBIERI, V.; TUON, R.L.; ANGELOCCI, L.R. Programa para micro-computador do balanço hídrico de Thornthwaite-Mather 1955, para dados mensais e decendiais, normais e sequenciais. In: CONGRESSO

BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 7., Viçosa, 1991. **Anais**. Viçosa: SBA, 1991.

BARRETO, G.B.; ALVARES, R.; BICUDO, S.P.; ARRUDA, H.V. Resultados preliminares de irrigação de cana-de-açúcar pelo sistema de sulcos em latossolo roxo. **Bragantia**. v. 30, n. 21, p. 277-288, 1971.

BELODI, C.O. Rumos e mudanças no setor sucro-alcooleiro. In: SEMINÁRIO SOBRE REDUÇÃO DE CUSTOS NA LAVOURA CANAVIEIRA. Ribeirão Preto, 1996. **Anais**. Ribeirão Preto: IDEA, 1996. p. 1-19.

BRONSON, R. **Pesquisa operacional**. São Paulo: McGraw-Hill, 1985. 318p. (Coleção Schaum).

CAMPBELL, R.B. The economics of supplementary irrigation in sugar cane. **International Sugar Journal**, v. 70, n. 830, p. 43-45, 1968.

CANA-DE-AÇÚCAR mostra bons resultados. **Estado de São Paulo. Suplemento Agrícola**, São Paulo, 29 jan. 1997. p.G5.

CARRETERO, M.V. Utilização do tanque de evaporação classe "A" para o controle da irrigação por gotejamento em soqueiras de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). Piracicaba, 1982. 86p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

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

- DEMÉTRIO, V.A. Efeito da água do solo e temperatura ambiente no rendimento agrícola e industrial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). Piracicaba, 1978. 98p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Boletim nº 33. Roma: FAO, 1979. 212p. (FAO. Riego y Drenaje, 33).
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.D. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).
- DOURADO NETO, D.; JONG van LIER, Q. **Programa para elaboração do balanço hídrico para culturas anuais e perenes: manual do usuário**. Piracicaba, 1991. 58p.
- GIACOMINI, G.; APELFELIER, A.; ROSENFELD, U. A irrigação de cana-de-açúcar na usina Sapucaia. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 14, n. 3, p. 10-12, jan/fev. 1996.
- GUAZZELLI, M.A.N.; PAES, L.A.D. Irrigação de cana-de-açúcar comercial. In: SEMINÁRIO COPERSUCAR DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 7., Piracicaba, 1997. Piracicaba: COPERSUCAR, 1997. 11p.
- HILLER, F.S.; LIEBERMAN, G.J. **Operations research**. San Francisco: Holden-Day, 1974. 800 p.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO AGRO-INDUSTRIAL. **Pesquisa de produtividade sucroalcooleira no estado de São Paulo**. Ribeirão Preto, 1997. 54p.

KORNDÖRFER, G.H.; PRIMAVESI, O.; DEUBER, R. Crescimento e distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar em solo LVA. **Boletim Técnico Copersucar**, n.47, p. 32-36, 1989.

LEME, E.J.A. Otimização da irrigação da cana-de-açúcar (*saccharum spp*) via coeficientes culturais, função de produção e programação dinâmica. São Carlos, 1991. 399p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

LIMA, L.O.T.C. Dimensionamento e aspectos operacionais da colheita mecanizada da cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE PLANTIO E COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR, 1., Ribeirão Preto, 1994. **Anais**. Ribeirão Preto: IDEA, 1994. p. 22-37.

MACHADO, E.C. Fisiologia de produção de cana-de-açúcar. In: **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v1, p. 56-87.

MATIOLI, C.S.; BARCELOS, J. Irrigação suplementar de cana-de-açúcar; estudo comparativo: pivô central x autopropelido. **Álcool & Açúcar**, v. 14, n. 73, p. 22-27, abr./maio 1994.

MATIOLI, C.S.; PERES, F.C.; FRIZZONE, J.A. Análise de decisão sobre a viabilidade da irrigação suplementar de cana-de-açúcar colhida no mês de julho na região de Ribeirão Preto-SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25 e CONGRESO LATINOAMERICANO DE INGENIERIA AGRÍCOLA, 2., Compact-disc. Bauru, 1996.

NUNES Jr., D. Melhoria contínua da produtividade agrícola como fator de redução de custos. In: SEMINÁRIO SOBRE REDUÇÃO DE CUSTOS NA LAVOURA CANAVIEIRA, Ribeirão Preto, 1996. **Anais**. Ribeirão Preto: IDEA, 1996. p. 121-156.

OLIVEIRA, J.B.; PRADO, H. do. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de Ribeirão Preto. II. Memorial descritivo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1987. 133p. (IAC. Boletim Científico, 7).

OLIVEIRA, J.B.; PRADO, H. do. **Carta pedológica semidetalhada do Estado de São Paulo: quadrícula de Guaira**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1992.

OMETTO, J.C. Uma equação para a estimativa de evapotranspiração potencial; sua aplicação no cálculo das necessidades hídricas e do rendimento agro-industrial da cana-de-açúcar na região de Piracicaba-(S.P.). Piracicaba, 1974. 129p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

PERES, F.C. Confinamento de gado de corte: um modelo de análise de decisão. Piracicaba, 1990. 74p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

PERES, J.G. Determinação dos coeficientes de cultura (Kc) da cana-de-açúcar: ciclo de cana soca. Piracicaba, 1988. 94p. Dissertação (Mestrado) -

Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

ROSENFELD, U. Determinação do período crítico de deficiência hídrica para a cultura da cana-de-açúcar (*saccharum spp.*), ciclo de cana planta. Piracicaba, 1989. 88p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

ROSENFELD, U.; LEME J.A. Produtividade da cana-de-açúcar irrigada por aspersão - estudo de épocas de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 3. **Anais**. São Paulo: STAB, 1984. p. 77-84.

SCARDUA, R. O clima e a irrigação na produção agro-industrial da cana-de-açúcar (*saccharum spp.*). Piracicaba, 1985. 122p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

SCARDUA, R.; ROSENFELD, U. Irrigação da cana-de-açúcar. In: **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987, v. 1, p.373-431.

SCARDUA, R.; SOUZA, J.A.G.C. Comportamento da cultura de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento. In: SEMINÁRIO NACIONAL DA IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 3., Fortaleza, 1975. **Anais**. Fortaleza: ABID, 1975. 27p.

SOUZA, J.A.G. Estudo do consumo de água pela cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). Piracicaba, 1976. 82p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

- TERUEL, D.A. Modelagem do índice de área foliar da cana-de-açúcar em diferentes regimes hídricos. Piracicaba, 1995. 93p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- THORNTHWAITTE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Drexel Institute of Technology, v. 8, n. 1, p. 1-14, 1955.
- TUFI, O.H.S. Apresentação da Comercial e Agrícola Sertãozinho Ltda (CASE). In: SEMINÁRIO SOBRE REDUÇÃO DE CUSTOS NA LAVOURA CANAVIEIRA, Ribeirão Preto, 1996. **Anais**. Ribeirão Preto: IDEA, 1996. p. 57-71.
- TULER, V.V.; NASCIF, A.E.; SOUZA, D. de.; AZEVEDO, H.J.; SALIBE, A.C. Irrigação por gotejamento de cana-de-açúcar com diferentes níveis de água. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DE TÉCNICOS AÇUCAREIROS DO BRASIL, 2., Rio de Janeiro, 1981. **Anais**. Rio de Janeiro: STAB, 1981. v. 3/4, p. 354-370.
- VILLA NOVA, N.A.; PEDRO JUNIOR, M.J.; PEREIRA, A.R.; OMETO, J.C. Estimativa de graus-dia acumulados acima de qualquer temperatura base, em função das temperaturas máximas e mínimas. **Caderno de Ciências da Terra. Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo**, n. 30, p. 1-8, 1972.
- YANG, S.J. The role of soil moisture on the growth and yield of sugarcane under sub-tropical climate. **Taiwan Sugar**, v. 26, n. 3, p. 84-93, May/June, 1979.

APÊNDICE 1

ESTÁDIOS DE DESENVOLVIMENTO E COEFICIENTES CULTURAIS (Kc) DA CANA SOCA

Tabela 1. Estádios de desenvolvimento e coeficientes culturais (Kc) da cana soca de maio.

MÊS	ESTÁDIO DE DESENVOLVIMENTO		COEFICIENTE DE CULTURA
	Estádio	Duração (dias)	Kc
Maio	1	30	0,50
Junho			
Julho	2	125	Linear
Agosto			
Setembro			
Outubro			
Novembro	3	120	1,20
Dezembro			
Janeiro			
Fevereiro	4	30	Linear
Março	5	60	0,70
Abril			

Tabela 2. Estádios de desenvolvimento e coeficientes culturais (Kc) da cana soca de julho.

MÊS	ESTÁDIO DE DESENVOLVIMENTO		COEFICIENTE DE CULTURA
	Estádio	Duração (dias)	Kc
Julho	1	30	0,50
Agosto			
Setembro	2	125	Linear
Outubro			
Novembro			
Dezembro			
Janeiro	3	120	1,20
Fevereiro			
Março			
Abril	4	30	Linear
Maio	5	60	0,70
Junho			

Tabela 3. Estádios de desenvolvimento e coeficientes culturais (Kc) da cana soca de setembro.

MÊS	ESTÁDIO DE DESENVOLVIMENTO		COEFICIENTE DE CULTURA
	Estádio	Duração (dias)	Kc
Setembro	1	30	0,50
Outubro			
Novembro	2	95	Linear
Dezembro			
Janeiro			
Fevereiro			
Março	3	150	1,20
Abril			
Maio			
Junho	4	30	Linear
Julho	5	60	0,70
Agosto			

Tabela 4. Estádios de desenvolvimento e coeficientes culturais (Kc) da cana soca de novembro.

MÊS	ESTÁDIO DE DESENVOLVIMENTO		COEFICIENTE DE CULTURA
	Estádio	Duração (dias)	Kc
Novembro	1	30	0,50
Dezembro			
Janeiro	2	95	Linear
Fevereiro			
Março			
Abril			
Maio	3	150	1,20
Junho			
Julho			
Agosto	4	30	Linear
Setembro	5	60	0,70
Outubro			

APÊNDICE 2

**PRODUÇÃO DE CANA SOCA DE SEQUEIRO E IRRIGADA, CULTIVADA
NA REGIÃO NORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO**

As Tabelas 1 a 9 apresentam estimativas de produção de canas socas cultivadas na região Norte do estado de São Paulo, representada pelas microregiões de Ribeirão Preto e Guaíra. As produções de cana soca foram estimadas com o emprego da função de produção determinada por Scardua (1985).

Tabela 1. Produção máxima de cana soca (Ym), cultivada na região Norte Paulista.

MÊS	TM (°C)	Tm (°C)	UR (%)	GD	Qo (cal/cm ² .d)	N (h/dia)	n (h/dia)	RL (cal/cm ²)	Ym (t/ha)
Jan.	29,8	18,5	79,5	191	986	13,11	6,7	8.634	
Fev.	30,2	18,5	79,2	178	932	12,68	6,8	7.515	
Mar.	30,3	17,8	77,8	188	831	12,07	7,3	7.806	
Abr.	29,1	16,1	74,0	142	709	11,44	7,9	4.956	
Mai.	27,1	13,5	71,5	94	600	10,96	7,5	4.316	
Jun.	26,3	12,2	68,2	73	552	10,71	7,4	3.860	
Jul.	26,6	11,8	62,0	77	582	10,91	7,7	4.233	
Ago.	29,0	13,5	56,6	121	670	11,24	7,9	4.870	
Set.	30,2	15,5	58,7	152	795	11,97	7,2	5.302	
Out.	30,3	16,9	65,9	175	897	12,57	7,1	8.183	
Nov.	30,0	17,6	70,9	174	966	12,99	7,3	8.506	
Dez.	29,2	18,3	78,2	178	989	13,22	6,1	8.321	
T/M	29,0	15,9	70,2	1.744	9.509	11,99	7,2	76.500	114,9

T/M: total/média;

TM: temperatura máxima;

Tm: temperatura mínima.

Tabela 2. Produção da cana soca de maio de sequeiro (Ys), cultivada na região Norte Paulista.

MÊS	ETm (mm)		ETr (mm)		1-ETr/ETm	Ys (t/ha)
	MENSAL	ESTÁDIO	MENSAL	ESTÁDIO		
Maio	38,8		25,7			
Junho	36,0		20,9			
Julho	45,9	299,0	21,0	136,8	0,542	---
Agosto	73,9		23,7			
Setembro	104,4		45,5			
Outubro	129,9		97,5			
Novembro	132,7	546,5	118,3	483,8	0,115	---
Dezembro	139,2		131,6			
Janeiro	144,7		136,4			
Fevereiro	103,8		98,3			
Março	76,9	240,8	69,9	206,6	0,142	---
Abril	60,1		38,4			
TOTAL	1.086,3	1.086,3	827,2	827,2	---	63,4

Tabela 3. Produção da cana soca de maio irrigada (Yi), cultivada na região Norte Paulista.

MÊS	ETm (mm)		ETr (mm)		1-ETr/ETm	Yi (t/ha)
	MENSAL	ESTÁDIO	MENSAL	ESTÁDIO		
Maio	38,8		38,8			
Junho	36,0		36,0			
Julho	45,9	299,0	45,9	249,9	0,164	---
Agosto	73,9		53,7			
Setembro	104,4		75,5			
Outubro	129,9		97,5			
Novembro	132,7	546,5	118,3	483,8	0,115	---
Dezembro	139,2		131,6			
Janeiro	144,7		136,4			
Fevereiro	103,8		98,3			
Março	76,9	240,8	69,9	206,6	0,142	---
Abril	60,1		38,4			
TOTAL	1.086,3	1.086,3	940,3	940,3	---	92,2

Tabela 4. Produção da cana soca de julho de sequeiro (Ys), cultivada na região Norte Paulista.

MÊS	ETm (mm)		ETr (mm)		1-ETr/ETm	Ys (t/ha)
	MENSAL	ESTÁDIO	MENSAL	ESTÁDIO		
Julho	33,4		13,0			
Agosto	51,7		19,4			
Setembro	77,1	390,7	38,8	266,2	0,319	---
Outubro	105,0		84,0			
Novembro	123,5		111,0			
Dezembro	139,2		131,4			
Janeiro	144,7	545,4	136,1	498,4	0,086	---
Fevereiro	129,6		117,3			
Março	131,9		113,6			
Abril	88,3		65,0			
Maio	51,7	182,6	34,3	114,1	0,375	---
Junho	42,6		14,8			
TOTAL	1.118,7	1.118,7	878,7	878,7	---	82,2

Tabela 5. Produção da cana soca de julho irrigada (Yi), cultivada na região Norte Paulista.

MÊS	ETm (mm)		ETr (mm)		1-ETr/ETm	Yi (t/ha)
	MENSAL	ESTÁDIO	MENSAL	ESTÁDIO		
Julho	33,4		33,4			
Agosto	51,7		49,4			
Setembro	77,1	390,7	68,8	380,1	0,027	---
Outubro	105,0		105,0			
Novembro	123,5		123,5			
Dezembro	139,2		131,4			
Janeiro	144,7	545,4	136,1	498,4	0,086	---
Fevereiro	129,6		117,3			
Março	131,9		113,6			
Abril	88,3		65,0			
Maio	51,7	182,6	34,3	114,1	0,375	---
Junho	42,6		14,8			
TOTAL	1.118,7	1.118,7	992,6	992,6	---	104,3

Tabela 6. Produção da cana soca de setembro de sequeiro (Ys), cultivada na região Norte Paulista.

MÊS	ETm (mm)		ETr (mm)		1-ETr/ETm	Ys (t/ha)
	MENSAL	ESTÁDIO	MENSAL	ESTÁDIO		
Setembro	46,6		24,0			
Outubro	66,2	328,2	57,1	286,2	0,128	---
Novembro	92,5		86,6			
Dezembro	122,9		118,5			
Janeiro	144,4		134,6			
Fevereiro	129,6		116,4			
Março	131,9	586,5	113,1	479,6	0,182	---
Abril	103,0		70,0			
Maio	77,6		45,5			
Junho	54,9		27,2			
Julho	44,5	159,7	18,9	61,2	0,617	---
Agosto	60,3		15,1			
TOTAL	1.074,4	1.074,4	827,0	827,0	---	94,4

Tabela 7. Produção da cana soca de setembro de irrigada (Yi), cultivada na região Norte Paulista.

MÊS	ETm (mm)		ETr (mm)		1-ETr/ETm	Yi (t/ha)
	MENSAL	ESTÁDIO	MENSAL	ESTÁDIO		
Setembro	46,6		46,6			
Outubro	66,2	328,2	66,2	328,2	0,000	---
Novembro	92,5		92,5			
Dezembro	122,9		122,9			
Janeiro	144,4		134,6			
Fevereiro	129,6		116,4			
Março	131,9	586,5	113,1	479,6	0,182	---
Abril	103,0		70,0			
Maio	77,6		45,5			
Junho	54,9		27,2			
Julho	44,5	159,7	18,9	61,2	0,617	---
Agosto	60,3		15,1			
TOTAL	1.074,4	1.074,4	869,0	869,0	---	104,2

Tabela 8. Produção da cana soca de novembro de sequeiro (Ys), cultivada na região Norte Paulista.

MÊS	ETm (mm)		ETr (mm)		1-ETr/ETm	Ys (t/ha)
	MENSAL	ESTÁDIO	MENSAL	ESTÁDIO		
Novembro	55,2		51,7			
Dezembro	73,4	365,5	72,2	340,2	0,069	---
Janeiro	109,9		103,6			
Fevereiro	127,0		112,7			
Março	148,1		119,0			
Abril	115,9		72,0			
Maio	87,4	498,3	48,0	294,9	0,408	---
Junho	71,8		30,3			
Julho	75,1		25,6			
Agosto	79,5		20,7			
Setembro	64,4	219,2	34,1	112,5	0,487	---
Outubro	75,3		57,7			
TOTAL	1.083,0	1.083,0	747,6	747,6	---	91,3

Tabela 9. Produção da cana soca de novembro irrigada (Yi), cultivada na região Norte Paulista.

MÊS	ETm (mm)		ETr (mm)		1-ETr/ETm	Yi (t/ha)
	MENSAL	ESTÁDIO	MENSAL	ESTÁDIO		
Novembro	55,2		55,2			
Dezembro	73,4	365,5	73,4	365,5	0,000	---
Janeiro	109,9		109,9			
Fevereiro	127,0		127,0			
Março	148,1		119,0			
Abril	115,9		72,0			
Maio	87,4	498,3	48,0	294,9	0,408	---
Junho	71,8		30,3			
Julho	75,1		25,6			
Agosto	79,5		20,7			
Setembro	64,4	219,2	34,1	112,5	0,487	---
Outubro	75,3		57,7			
TOTAL	1.083,0	1.083,0	772,9	772,9	---	96,5

APÊNDICE 3

**ÁRVORES DE DECISÃO PARA ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA
DA IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR DE CANA SOCA**

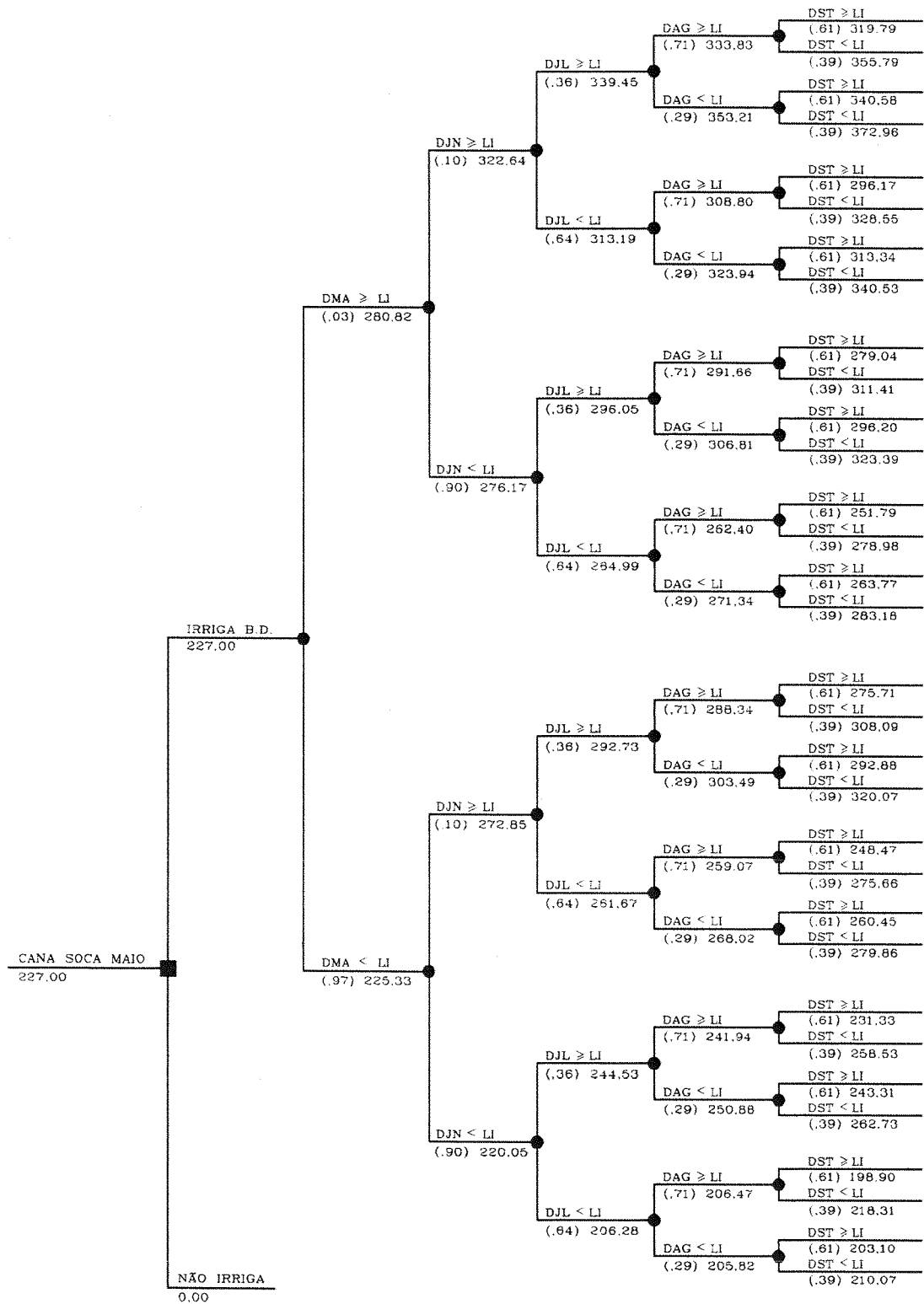


Figura 1. Árvore de decisão para irrigação da cana soca de milho, com os benefícios diretos.

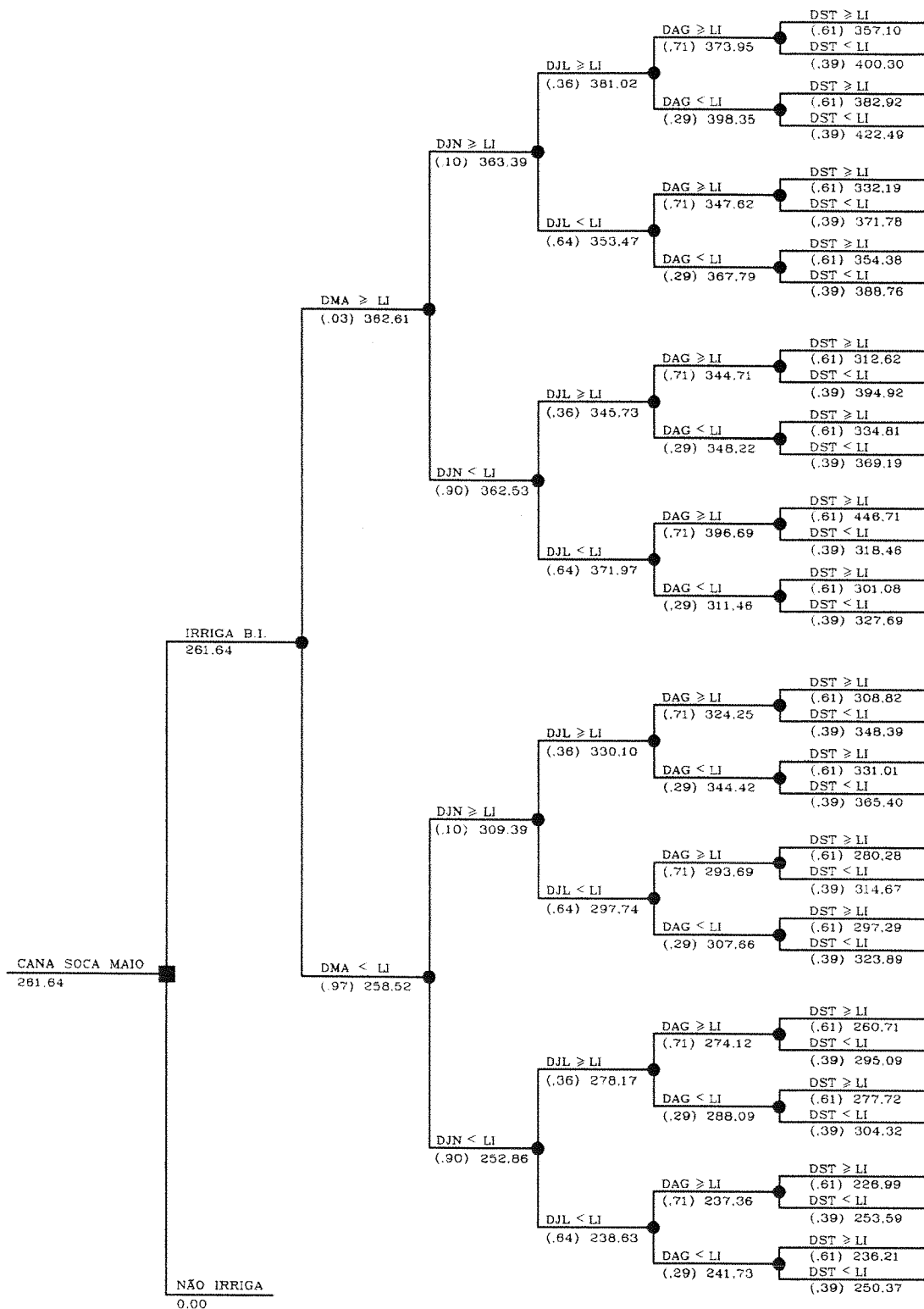


Figura 2. Árvore de decisão para irrigação da cana soca de milho, com os benefícios indiretos.

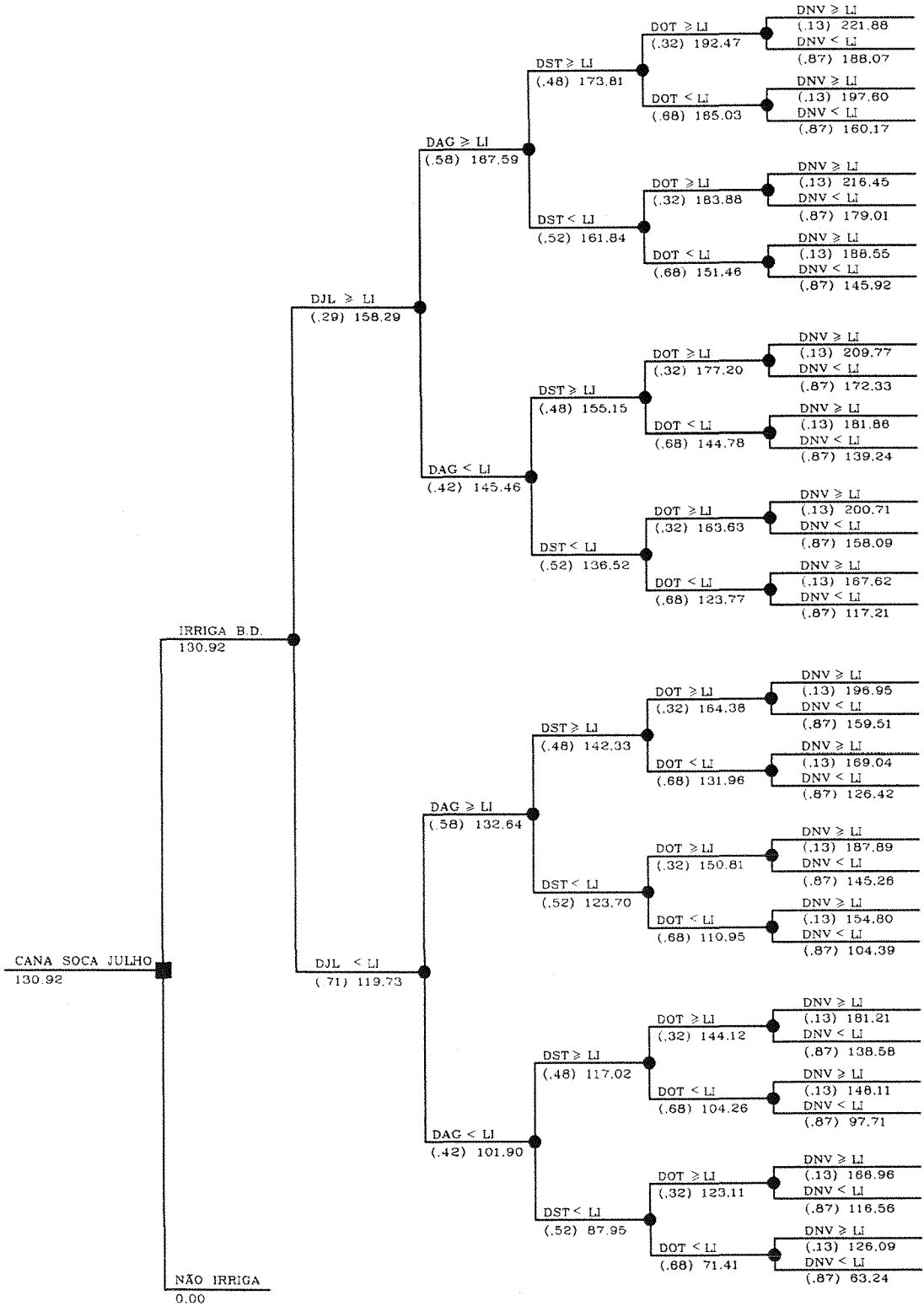


Figura 3. Árvore de decisão para irrigação da cana soca de julho, com os benefícios diretos.

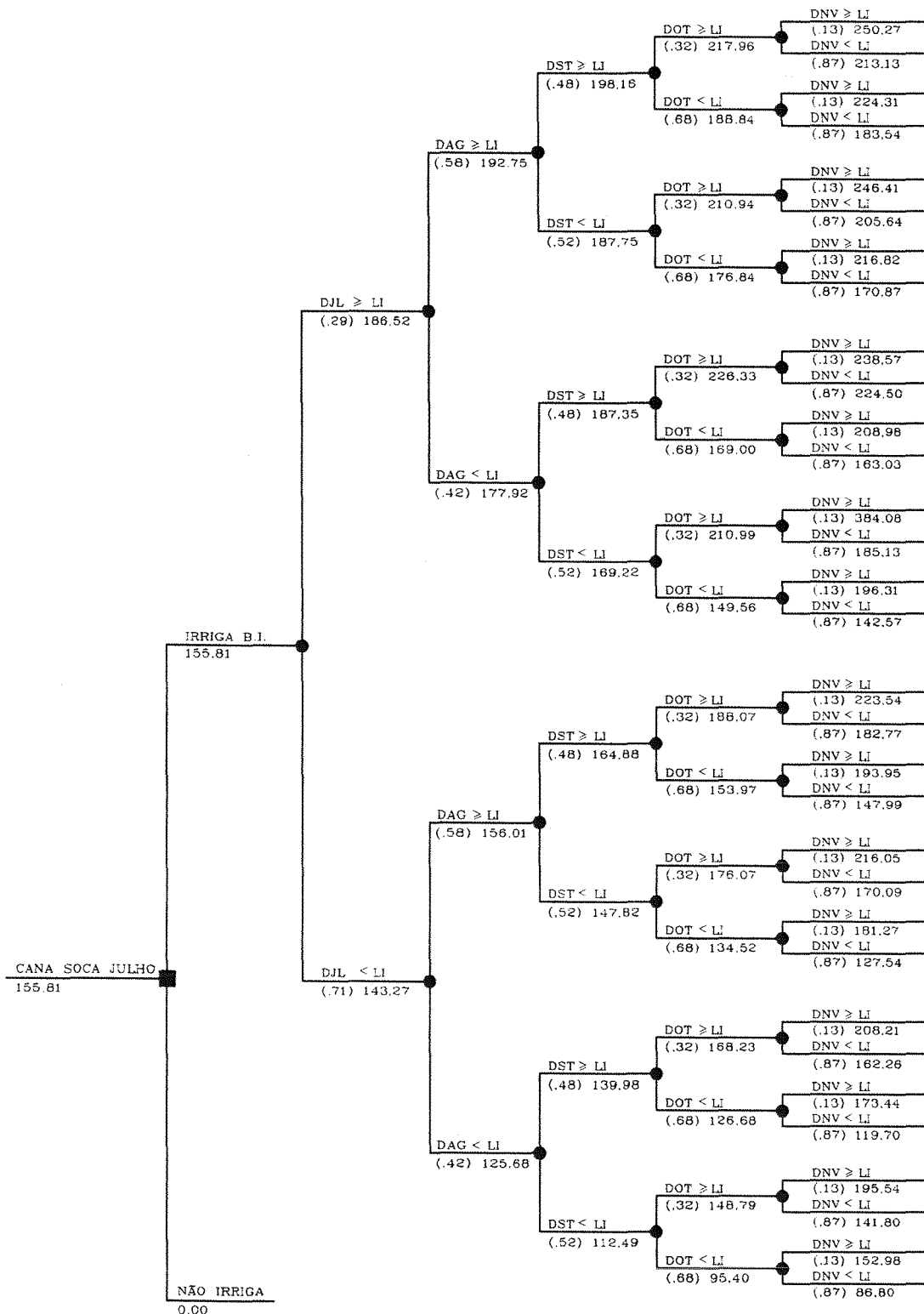


Figura 4. Árvore de decisão para irrigação da cana soca de julho, com os benefícios indiretos.

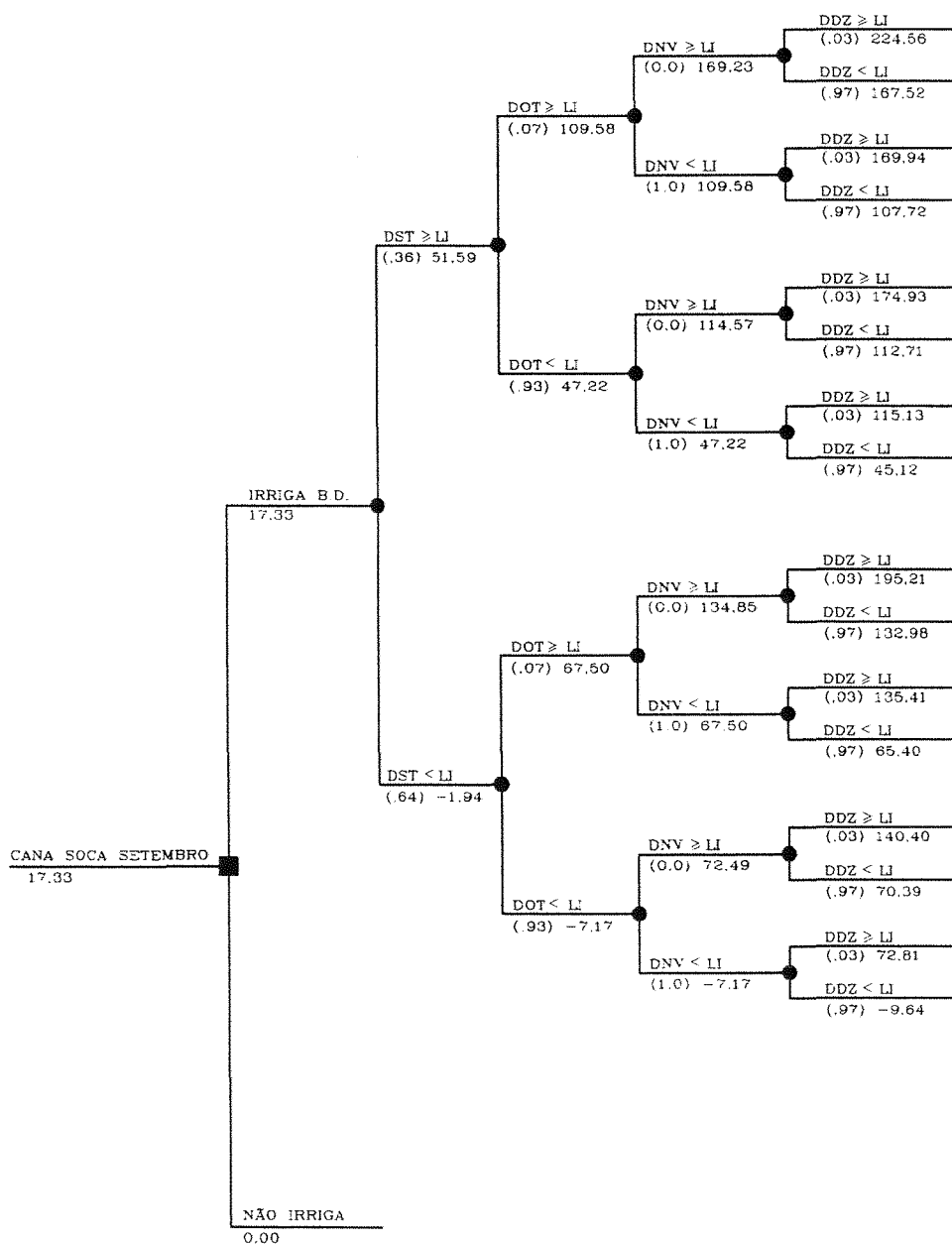


Figura 5. Árvore de decisão para irrigação da cana soca de setembro, com os benefícios diretos.

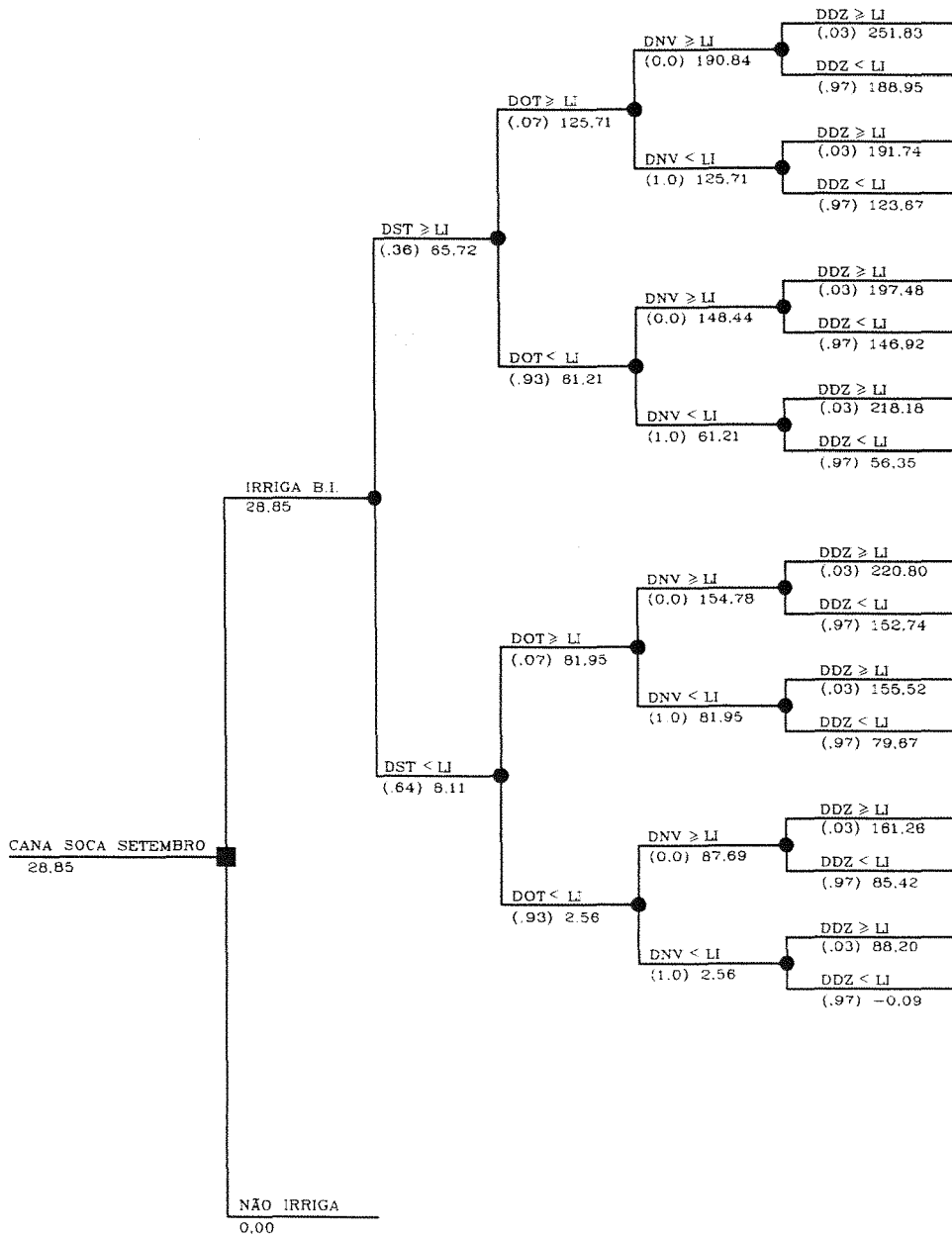


Figura 6. Árvore de decisão para irrigação da cana soca de setembro, com os benefícios indiretos.

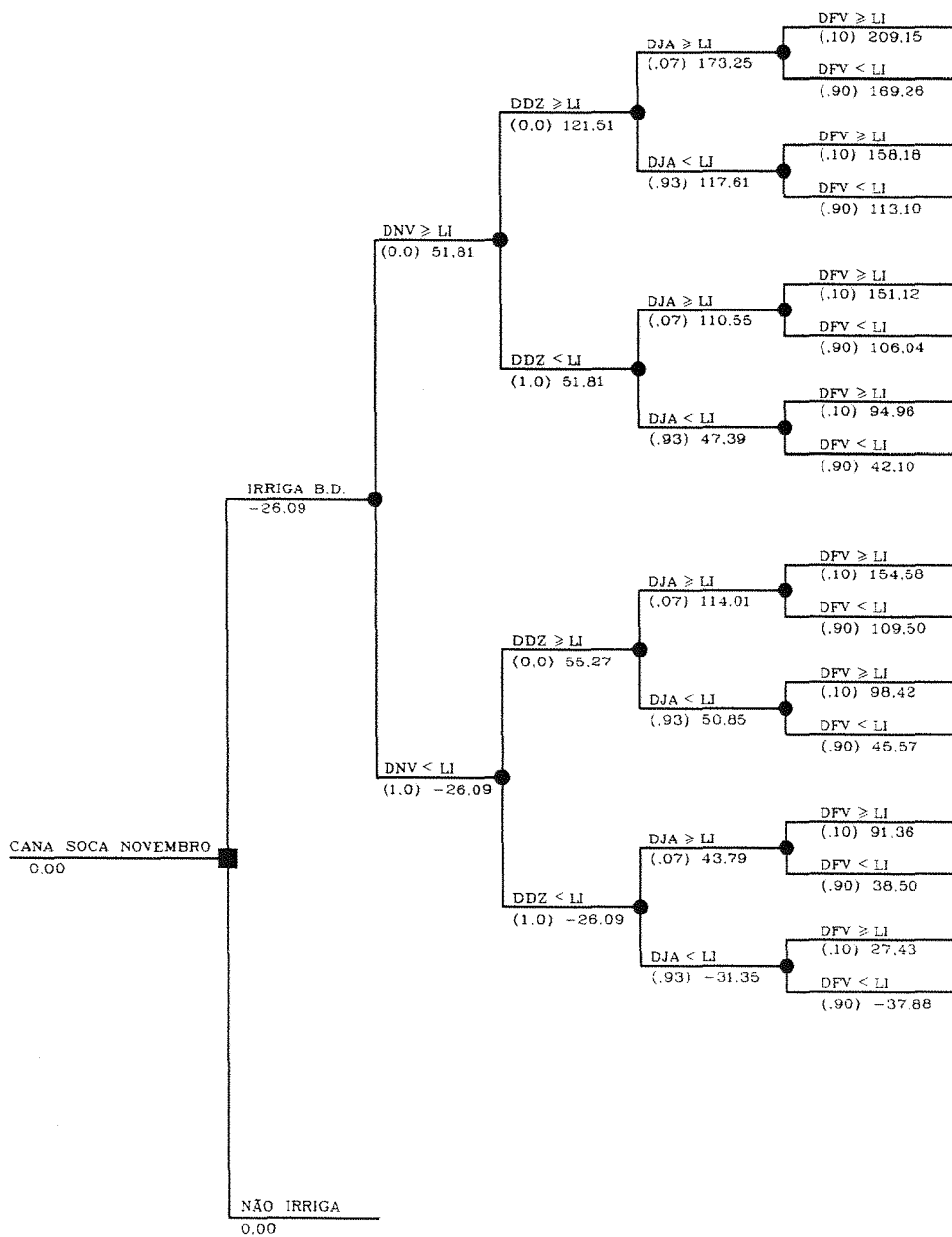


Figura 7. Árvore de decisão para irrigação da cana soca de novembro, com os benefícios diretos.

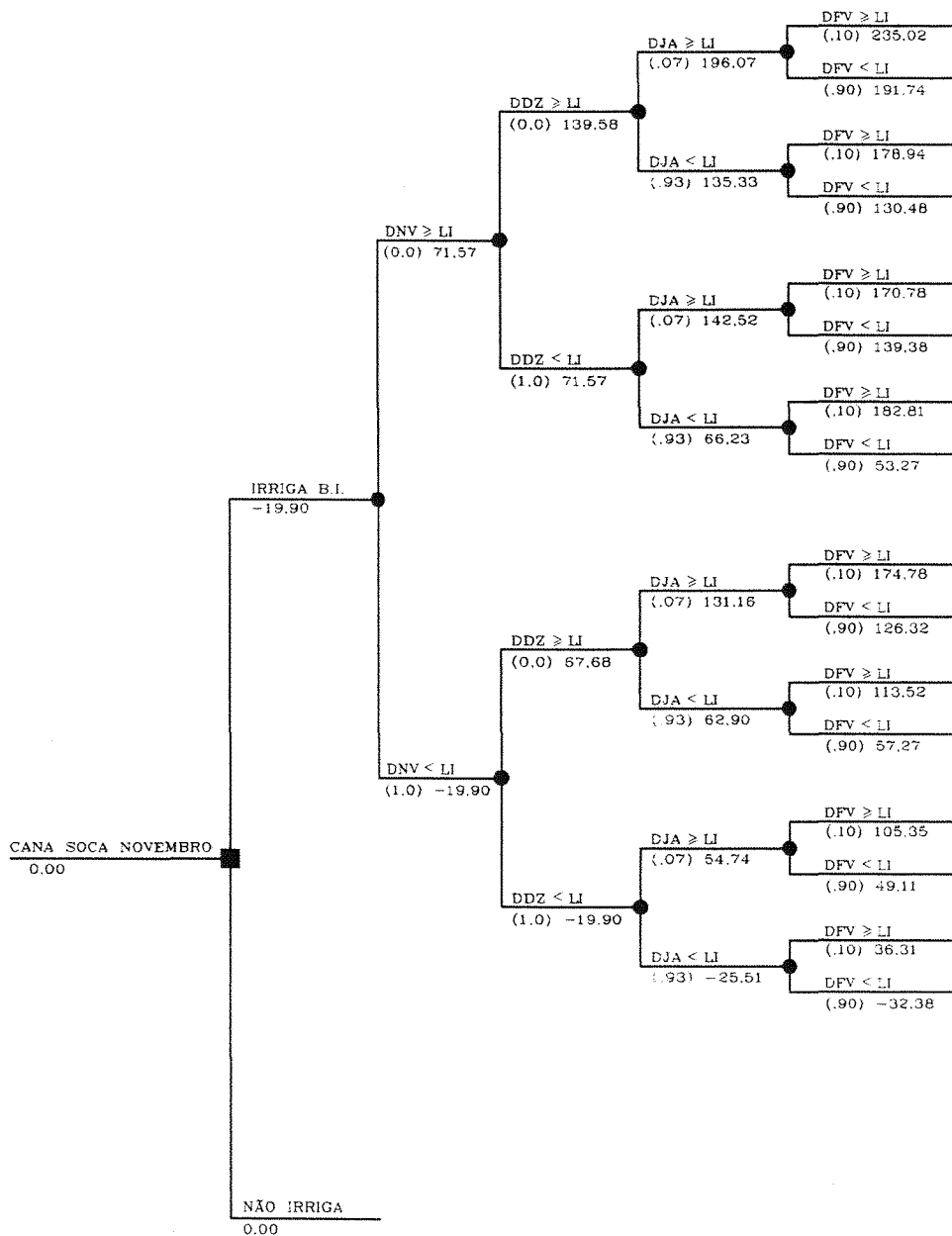


Figura 8. Árvore de decisão para irrigação da cana soca de novembro, com os benefícios indiretos.

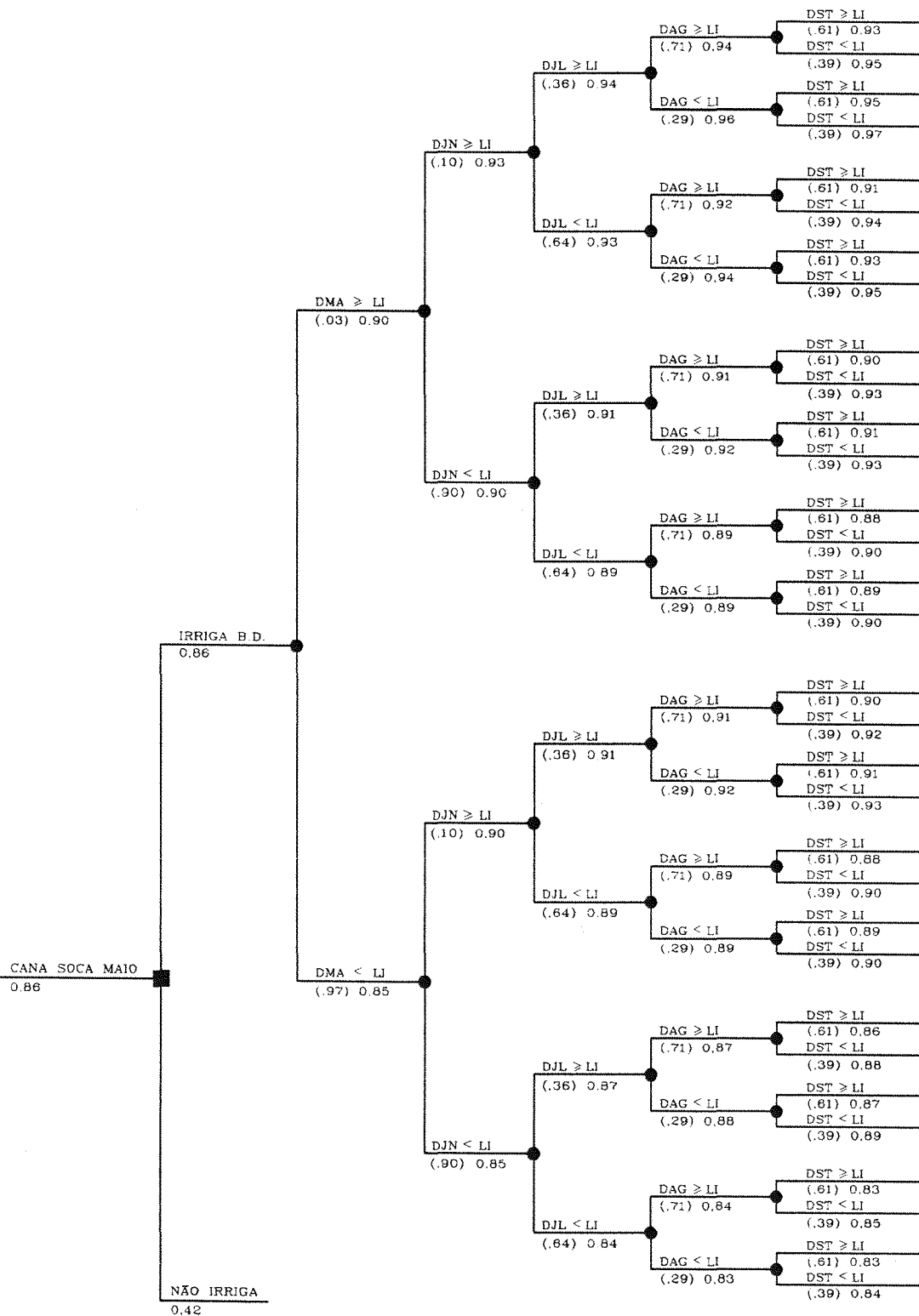


Figura 9. Valores esperados da utilidade na árvore "irrigação da cana soca de milho com os benefícios diretos".

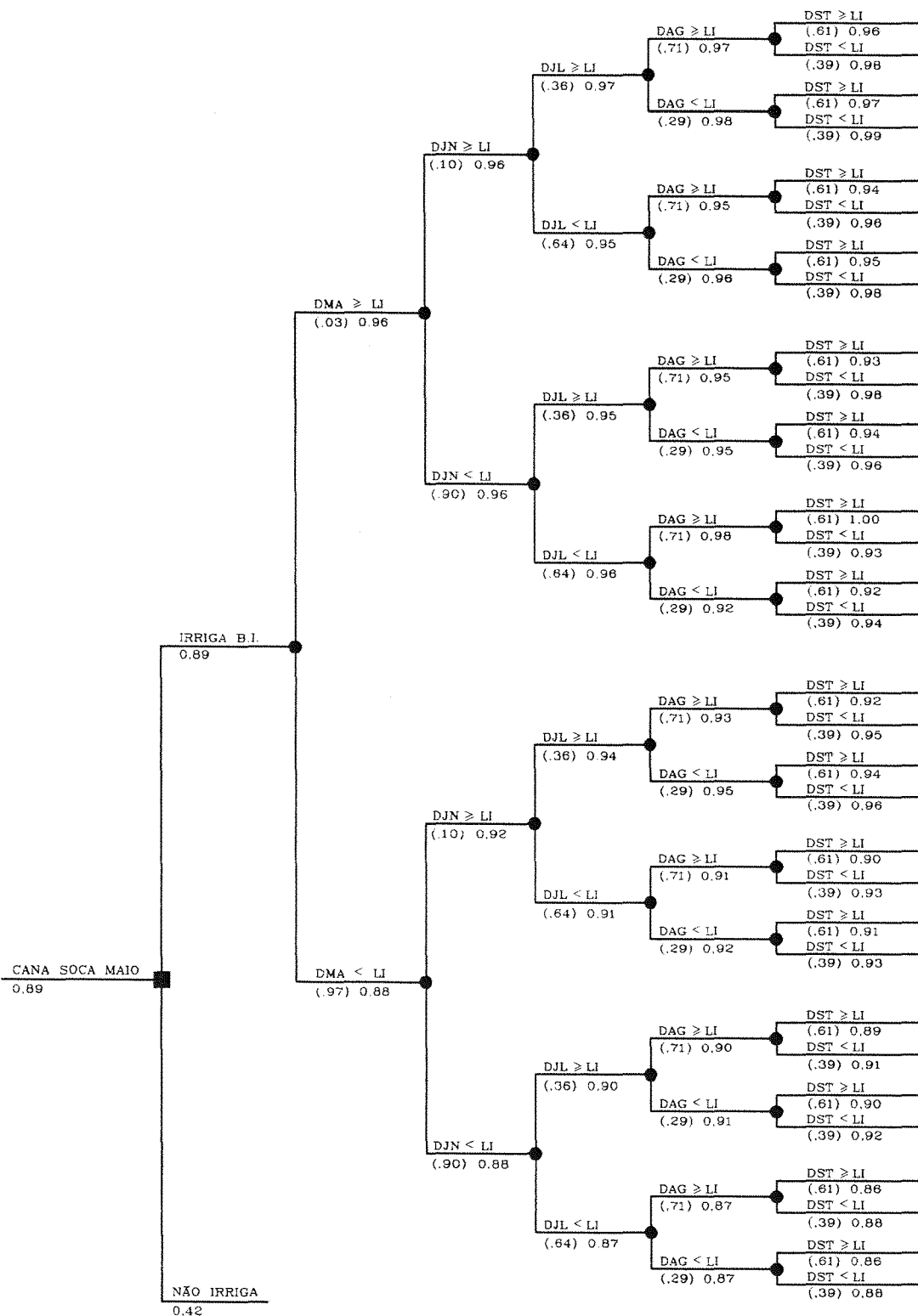


Figura 10. Valores esperados da utilidade na árvore "irrigação da cana soca de milho com os benefícios indiretos".

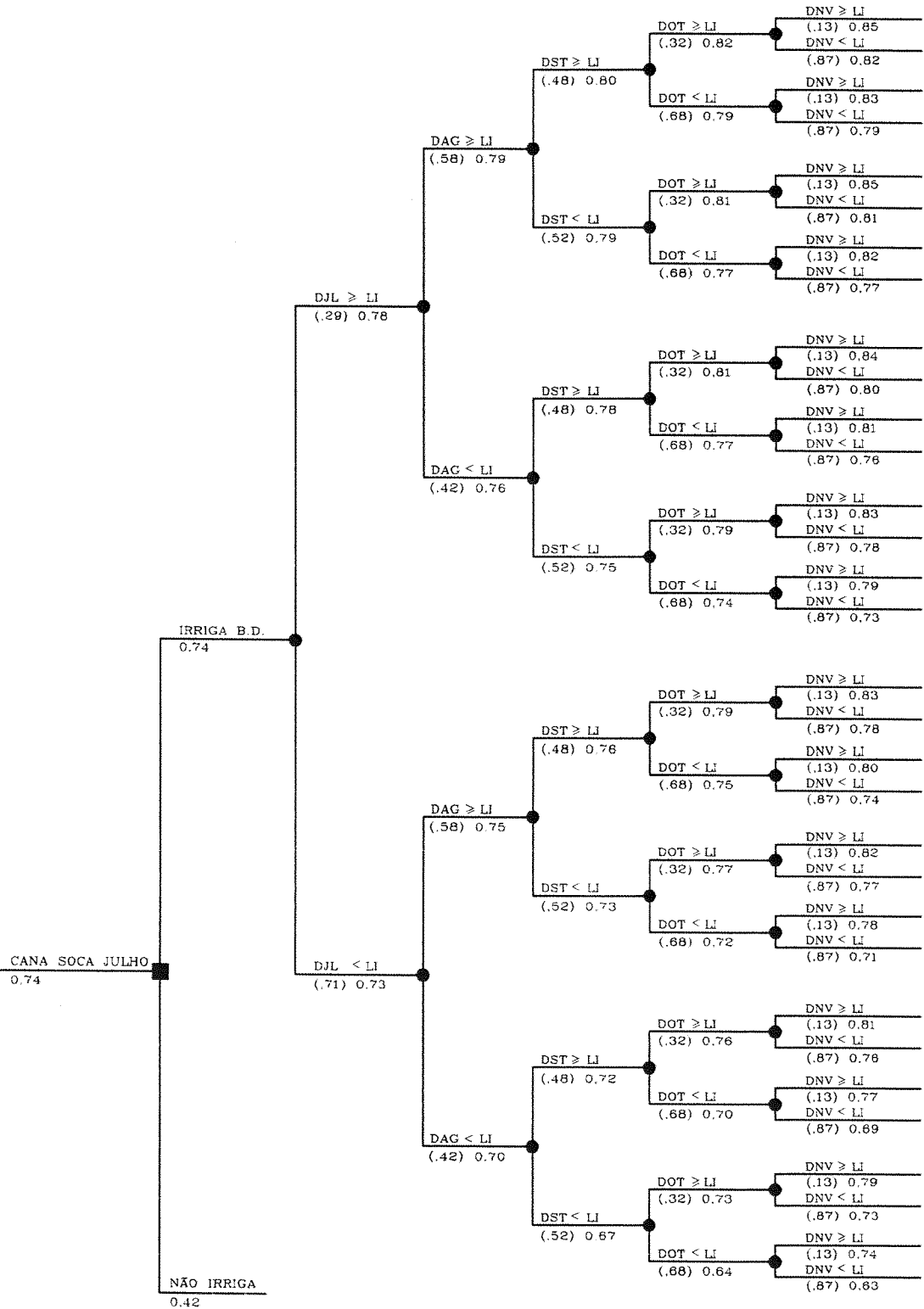


Figura 11. Valores esperados da utilidade na árvore "irrigação da cana soca de julho com os benefícios diretos".

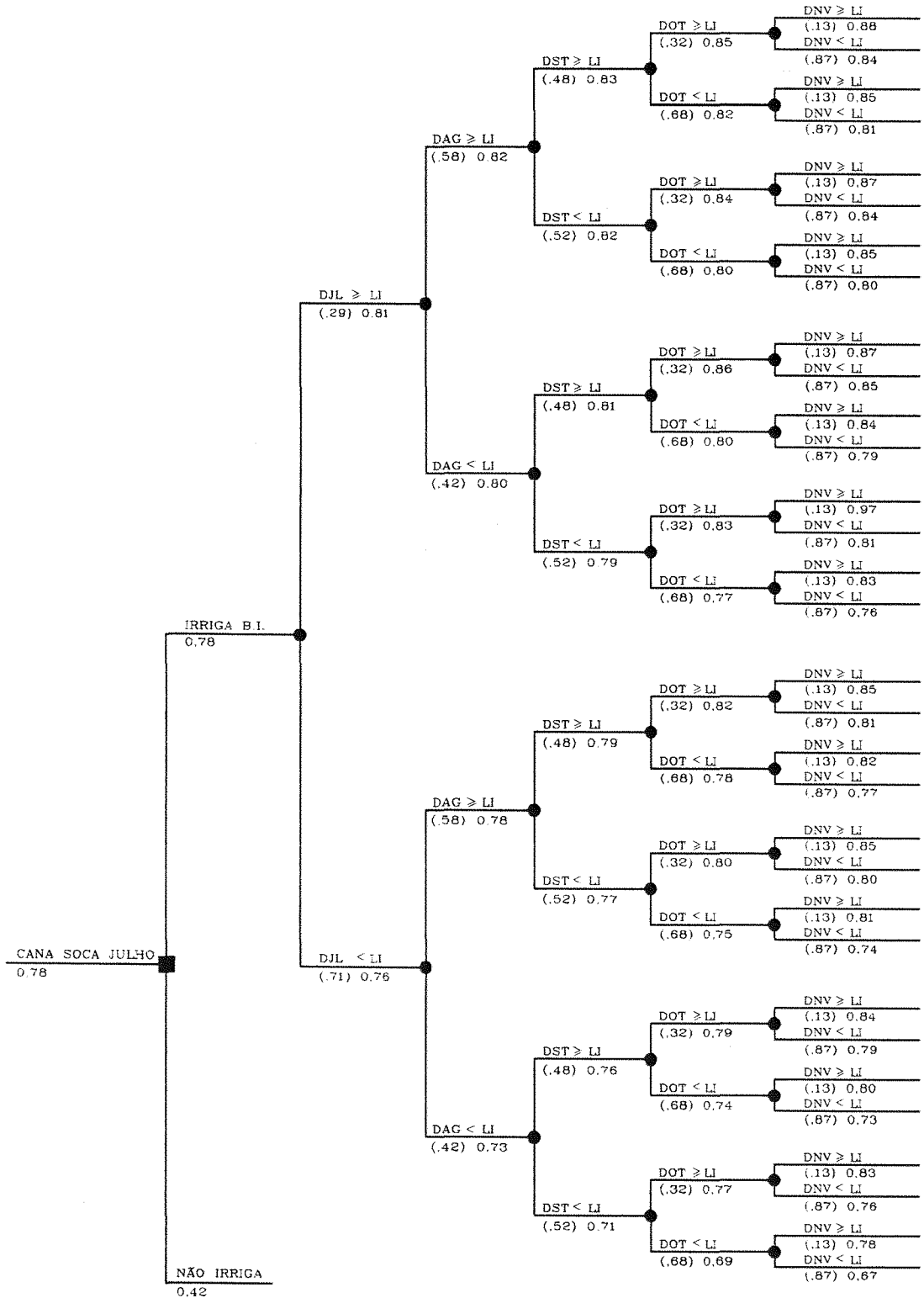


Figura 12. Valores esperados da utilidade na árvore "irrigação da cana soca de julho com os benefícios indiretos".

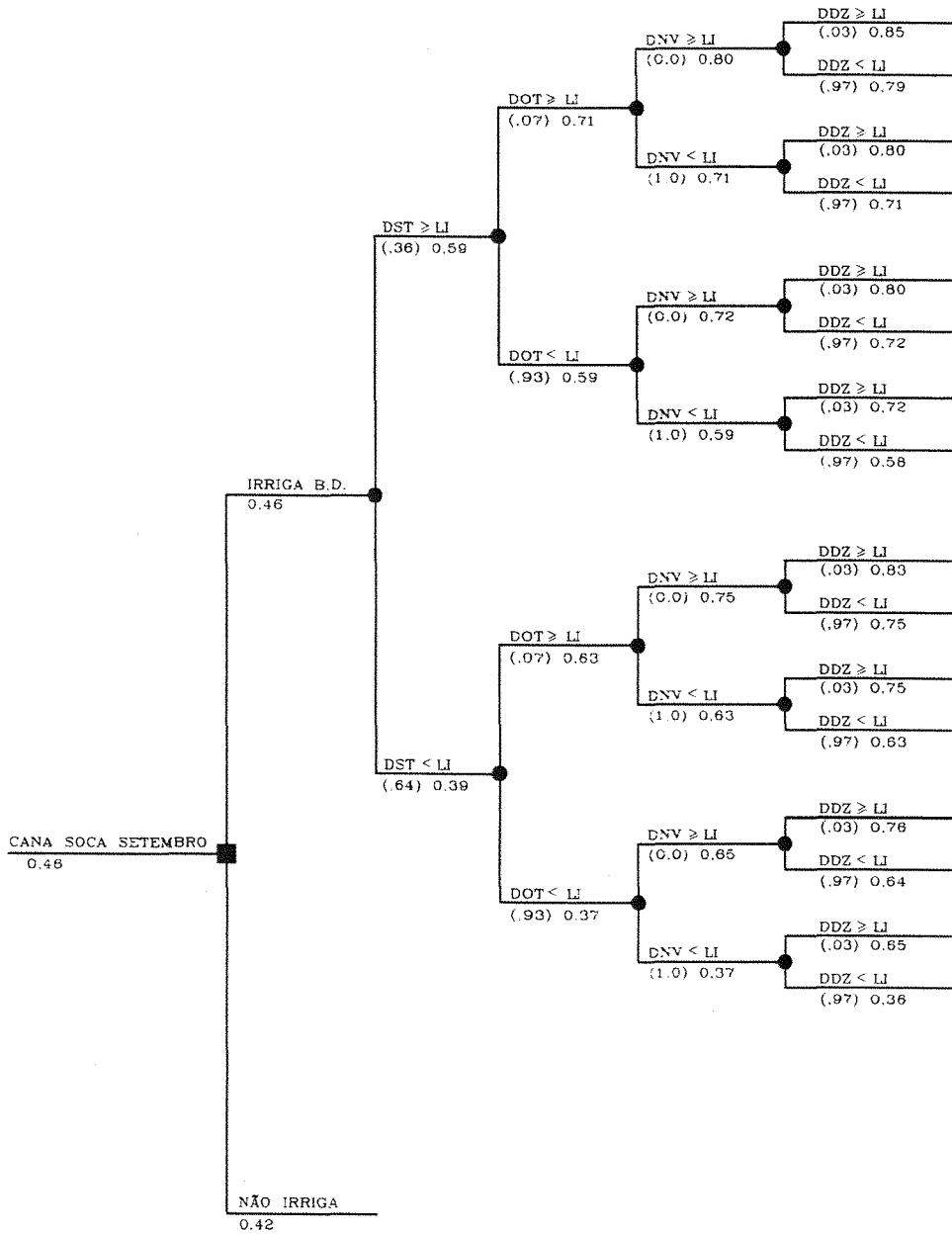


Figura 13. Valores esperados da utilidade na árvore "irrigação da cana soca de setembro com os benefícios diretos".

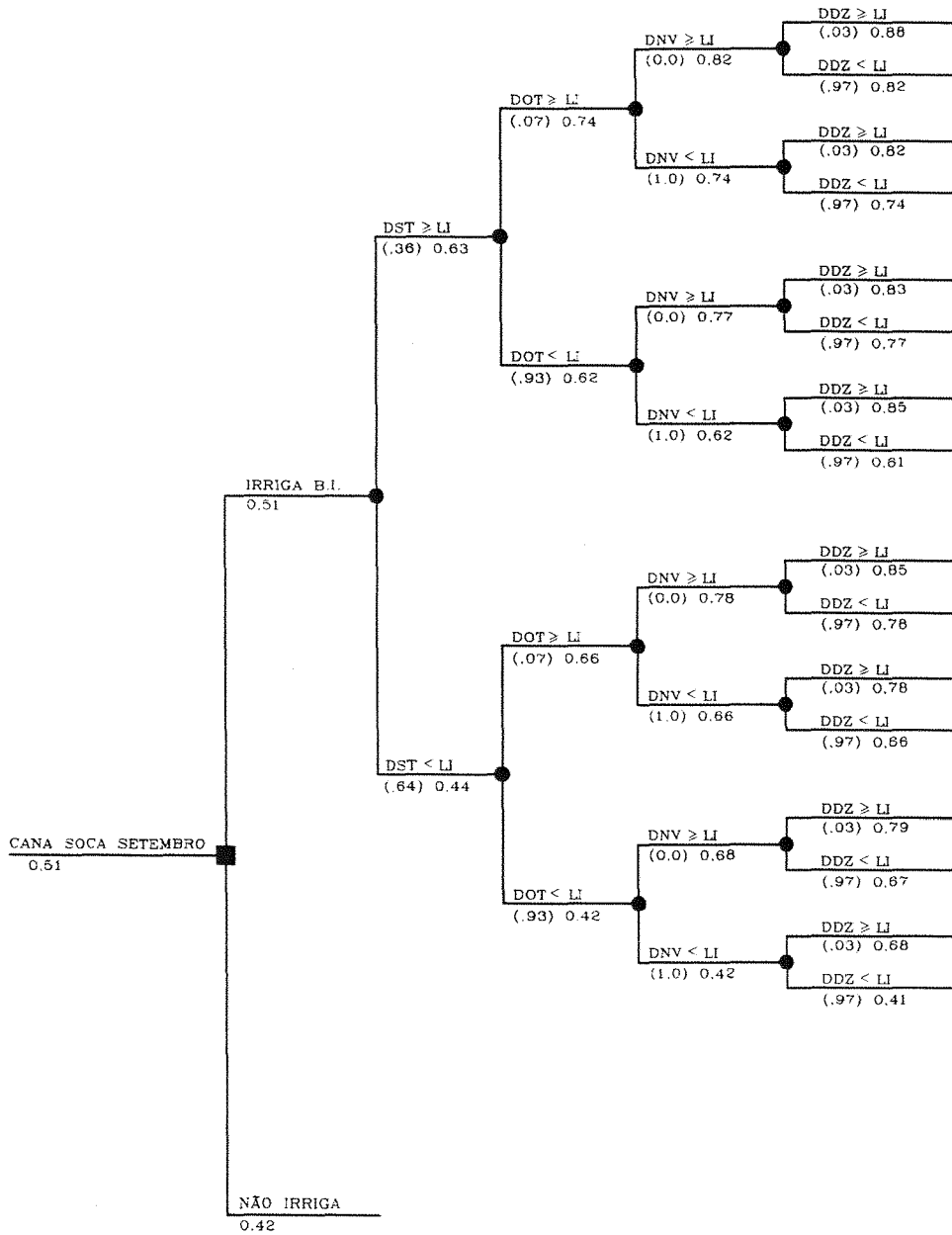


Figura 14. Valores esperados da utilidade na árvore "irrigação da cana soca de setembro com os benefícios indiretos".

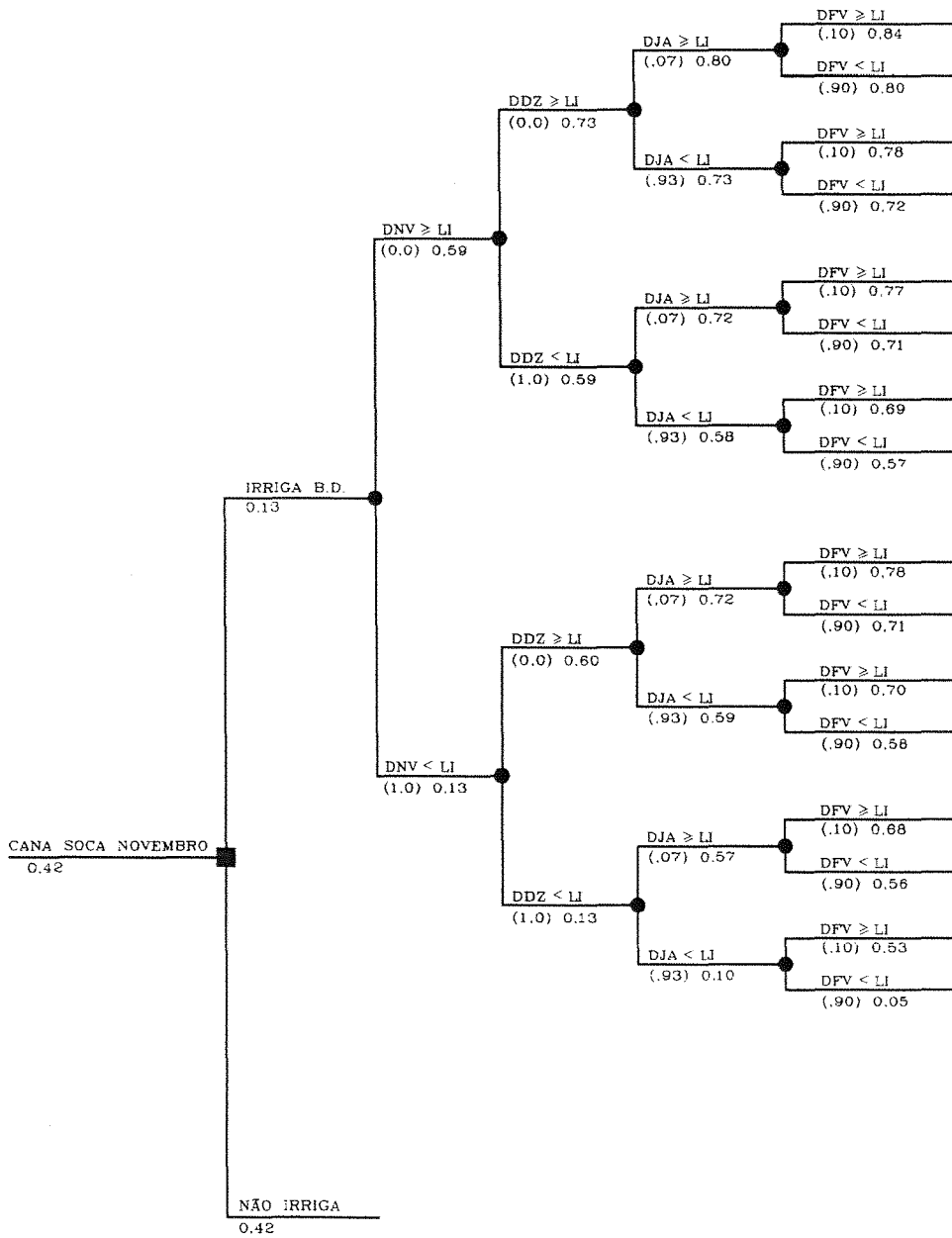


Figura 15. Valores esperados da utilidade na árvore "irrigação da cana soca de novembro com os benefícios diretos".

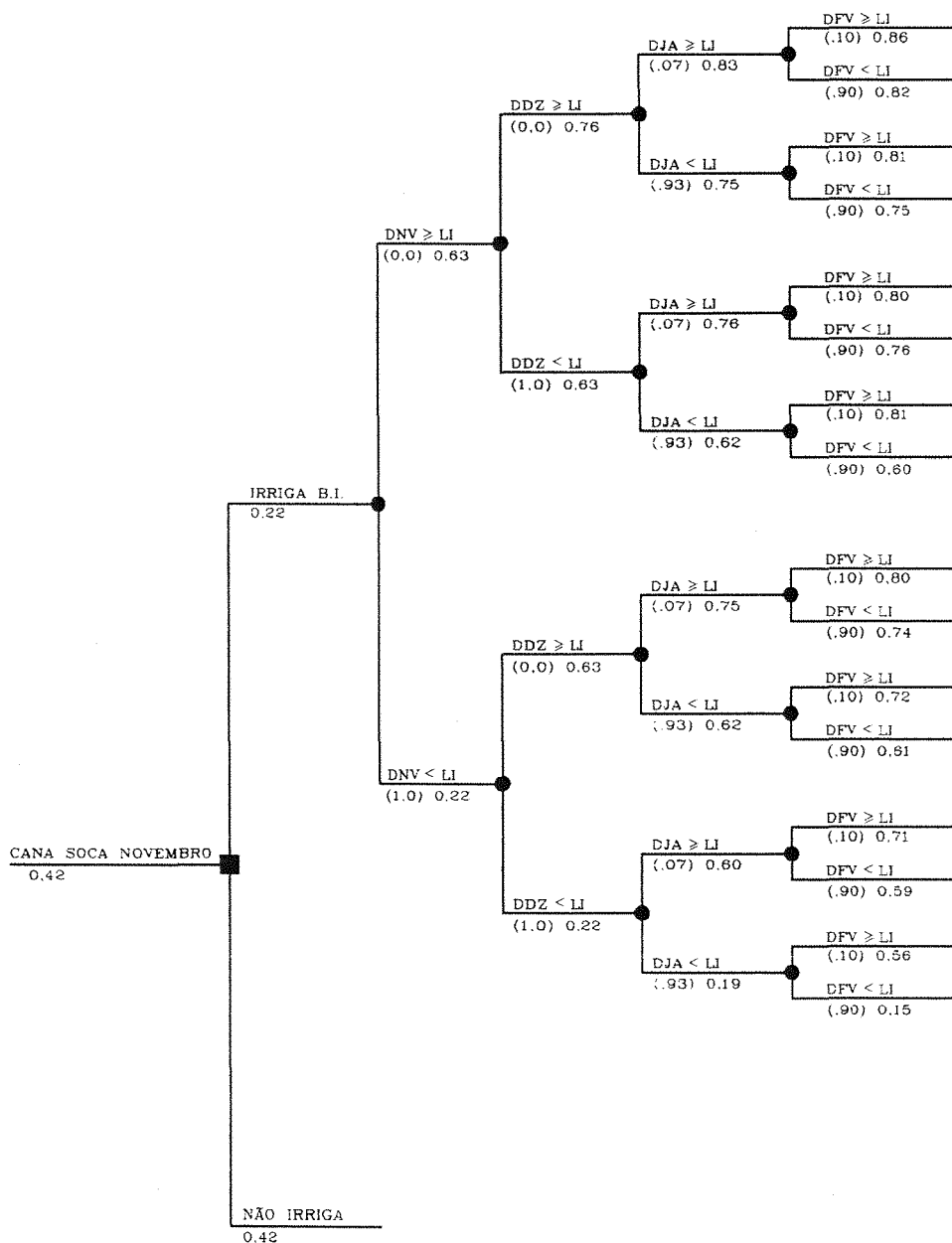


Figura 16. Valores esperados da utilidade na árvore "irrigação da cana soca de novembro com os benefícios indiretos".

APÊNDICE 4

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DAS VARIÁVEIS DOS MODELOS DE DECISÃO

1. CANA SOCA DE JULHO

As análises de sensibilidade das variáveis do modelo de decisão da irrigação suplementar da cana soca de julho estão apresentadas nas Tabelas de 1 a 13.

Tabela 1. Análise de sensibilidade da variável lâmina mensal de irrigação (LI) da cana soca de julho.

LI (mm/mês)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
20	111,19	132,51
25	121,05	144,16
30	130,92	155,81
35	140,78	167,46
40	150,64	179,12

Tabela 2. Análise de sensibilidade da variável custo fixo da irrigação (CFI) da cana soca de julho.

CFI (R\$/ha)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
50,00	154,11	179,00
60,00	144,11	169,00
70,00	134,11	159,00
73,19	130,92	155,81
80,00	124,11	149,00
90,00	124,11	139,00

Tabela 3. Análise de sensibilidade da variável custo operacional unitário da irrigação (CUI) da cana soca de julho.

CUI (R\$/mm)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
0,50	191,93	216,84
0,75	160,16	185,05
0,98	130,92	155,81
1,00	128,37	153,27
1,25	96,59	121,49
1,50	64,81	89,71

Tabela 4. Análise de sensibilidade da variável preço do uso da água (PUA) da cana soca de julho.

PUA (R\$/mm)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
0,00	130,92	155,81
0,25	99,13	124,03
0,50	67,35	92,25
0,75	35,57	60,46
1,00	3,79	28,68

Tabela 5. Análise de sensibilidade da variável aumento produtividade esperado (APE) da cana soca de julho.

APE (t/mm.ha)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
0,100	3,05	15,88
0,150	71,06	90,31
0,194	130,92	155,81
0,200	139,08	164,74
0,250	207,09	239,18
0,300	275,11	313,61

Tabela 6. Análise de sensibilidade da variável preço da cana no campo (PCC) da cana soca de julho.

PCC (R\$/t)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
9,00	88,99	---
10,00	113,65	---
10,70	130,92	---
11,00	138,32	---
12,00	162,98	---
13,00	187,64	---

Tabela 7. Análise de sensibilidade da variável custo de preparo de solo e plantio (CP) da cana soca de julho.

CP (R\$/ha)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
1.000,00	115,70	122,42
1.125,00	121,89	136,02
1.250,00	128,09	149,61
1.307,00	130,92	155,81
1.375,00	134,29	163,21
1.500,00	140,48	176,81

Tabela 8. Análise de sensibilidade da variável longevidade da cana de sequeiro (LCS) da cana soca de julho.

LCS (nº de cortes)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
3	216,37	292,84
4	160,31	204,56
5	130,92	155,81
6	113,50	125,51
7	102,32	105,11

Tabela 9. Análise de sensibilidade da variável preço do arrendamento (PA) da cana soca de julho.

PA (R\$/ha)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
250,00	---	135,14
275,00	---	142,52
300,00	---	149,91
320,00	---	155,81
325,00	---	157,29
350,00	---	164,67

Tabela 10. Análise de sensibilidade da variável produtividade média da cana de sequeiro (PMS) da cana soca de julho.

PMS (t/ha)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
75,0	---	187,64
80,0	---	169,25
84,1	---	155,81
85,0	---	153,04
90,0	---	138,63
95,0	---	125,74

Tabela 11. Análise de sensibilidade da variável custo com tratos culturais de soqueiras (CTS) da cana soca de julho.

CTS (R\$/ha)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
250,00	---	138,80
275,00	---	146,14
300,00	---	153,47
308,00	---	155,81
325,00	---	160,80
350,00	---	168,13

Tabela 12. Análise de sensibilidade da variável custo com transporte do arrendamento dispensado (CTA) da cana soca de julho.

CTA (R\$/t)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
1,50	---	141,50
1,75	---	147,67
2,00	---	153,84
2,08	---	155,81
2,25	---	160,01
2,50	---	166,18

Tabela 13. Análise de sensibilidade da variável custo com transporte da área irrigada (CTI) da cana soca de julho.

CTI (R\$/t)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
0,50	---	168,31
0,75	---	161,66
0,98	---	155,81
1,00	---	155,31
1,25	---	149,07
1,50	---	142,90

2. CANA SOCA DE SETEMBRO

As análises de sensibilidade das variáveis do modelo de decisão da irrigação suplementar da cana soca de setembro estão apresentadas nas tabelas de 14 a 26.

Tabela 14. Análise de sensibilidade da variável lâmina mensal de irrigação (LI) da cana soca de setembro.

LI (mm/mês)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
20	10,37	20,62
25	13,85	24,73
30	17,33	28,85
35	20,81	32,97
40	24,29	37,09

Tabela 15. Análise de sensibilidade da variável custo fixo da irrigação (CFI) da cana soca de setembro.

CFI (R\$/ha)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
50,00	40,52	52,04
60,00	30,52	42,04
70,00	20,52	32,04
73,19	17,33	28,85
80,00	10,52	22,04
90,00	0,52	12,04

Tabela 16. Análise de sensibilidade da variável custo operacional unitário da irrigação (CUI) da cana soca de setembro.

CUI (R\$/mm)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
0,50	39,84	51,36
0,75	28,12	39,64
0,98	17,33	28,85
1,00	16,39	27,91
1,25	4,67	16,19
1,50	- 7,05	4,47

Tabela 17. Análise de sensibilidade da variável preço do uso da água (PUA) da cana soca de setembro.

PUA (R\$/mm)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
0,00	17,33	28,85
0,25	5,61	17,13
0,50	- 6,12	5,41
0,75	- 17,84	- 6,32
1,00	- 29,56	- 18,04

Tabela 18. Análise de sensibilidade da variável aumento produtividade esperado (APE) da cana soca de setembro.

APE (t/mm.ha)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
0,100	- 49,40	- 44,46
0,150	- 24,31	- 16,90
0,200	0,77	10,66
0,233	17,33	28,85
0,250	25,86	38,22
0,300	50,95	65,78

Tabela 19. Análise de sensibilidade da variável preço da cana no campo (PCC) da cana soca de setembro.

PCC (R\$/t)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
9,00	- 1,24	---
10,00	9,68	---
10,70	17,33	---
11,00	20,61	---
12,00	31,53	---
13,00	42,46	---

Tabela 20. Análise de sensibilidade da variável custo de preparo de solo e plantio (CP) da cana soca de setembro.

CP (R\$/ha)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
1.000,00	12,73	15,92
1.125,00	14,61	21,19
1.250,00	16,48	26,45
1.307,00	17,33	28,85
1.375,00	18,35	31,72
1.500,00	20,22	36,98

Tabela 21. Análise de sensibilidade da variável longevidade da cana de sequeiro (LCS) da cana soca de setembro.

LCS (nº de cortes)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
3	46,22	81,40
4	27,00	47,39
5	17,33	28,85
6	11,78	17,39
7	8,30	9,68

Tabela 22. Análise de sensibilidade da variável preço do arrendamento (PA) da cana soca de setembro.

PA (R\$/ha)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
250,00	---	19,45
275,00	---	22,81
300,00	---	26,17
320,00	---	28,85
325,00	---	29,52
350,00	---	32,88

Tabela 23. Análise de sensibilidade da variável produtividade média da cana de sequeiro (PMS) da cana soca de setembro.

PMS (t/ha)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
75,0	---	43,26
80,0	---	34,93
84,1	---	28,85
85,0	---	27,60
90,0	---	21,09
95,0	---	15,29

Tabela 24. Análise de sensibilidade da variável custo com tratos culturais de soqueiras (CTS) da cana soca de setembro.

CTS (R\$/ha)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
250,00	---	21,31
275,00	---	24,57
300,00	---	27,81
308,00	---	28,85
325,00	---	31,06
350,00	---	34,31

Tabela 25. Análise de sensibilidade da variável custo com transporte do arrendamento dispensado (CTA) da cana soca de setembro.

CTA (R\$/t)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
1,50	---	22,52
1,75	---	25,25
2,00	---	27,98
2,08	---	28,85
2,25	---	30,71
2,50	---	33,44

Tabela 26. Análise de sensibilidade da variável custo com transporte da área irrigada (CTI) da cana soca de setembro.

CTI (R\$/t)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
0,50	---	34,10
0,75	---	31,37
0,98	---	28,85
1,00	---	28,63
1,25	---	25,90
1,50	---	23,17

3. CANA SOCA DE NOVEMBRO

As análises de sensibilidade das variáveis do modelo de decisão da irrigação suplementar da cana soca de novembro estão apresentadas nas tabelas de 27 a 39.

Tabela 27. Análise de sensibilidade da variável lâmina mensal de irrigação (LI) da cana soca de novembro.

LI (mm/mês)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
20	- 28,44	- 22,62
25	- 27,27	- 21,26
30	- 26,09	- 19,90
35	- 24,91	- 18,54
40	- 23,74	- 17,18

Tabela 28. Análise de sensibilidade da variável custo fixo da irrigação (CFI) da cana soca de novembro.

CFI (R\$/ha)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
50,00	- 2,90	3,29
60,00	- 12,90	- 6,71
70,00	- 22,90	- 16,71
73,19	- 26,09	- 19,90
80,00	- 32,90	- 26,71
90,00	- 42,90	- 36,71

Tabela 29. Análise de sensibilidade da variável custo operacional unitário da irrigação (CUI) da cana soca de novembro.

CUI (R\$/mm)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
0,50	- 12,30	- 6,11
0,75	- 19,48	- 13,29
0,98	- 26,09	- 19,90
1,00	- 26,66	- 20,47
1,25	- 33,85	- 27,65
1,50	- 41,03	- 34,84

Tabela 30. Análise de sensibilidade da variável preço do uso da água (PUA) da cana soca de novembro.

PUA (R\$/mm)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
0,00	- 26,09	- 19,90
0,25	- 33,27	- 27,08
0,50	- 40,45	- 34,26
0,75	- 47,64	- 41,44
1,00	- 54,82	- 48,63

Tabela 31. Análise de sensibilidade da variável aumento produtividade esperado (APE) da cana soca de novembro.

APE (t/mm.ha)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
0,100	- 63,29	- 60,48
0,150	- 47,92	- 43,71
0,200	- 32,55	- 26,94
0,221	- 26,09	- 19,90
0,250	- 17,18	- 10,17
0,300	- 1,81	6,60

Tabela 32. Análise de sensibilidade da variável preço da cana no campo (PCC) da cana soca de novembro.

PCC (R\$/t)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
9,00	- 36,88	---
10,00	- 30,53	---
10,70	- 26,09	---
11,00	- 24,19	---
12,00	- 17,84	---
13,00	- 11,49	---

Tabela 33. Análise de sensibilidade da variável custo de preparo de solo e plantio (CP) da cana soca de novembro.

CP (R\$/ha)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
1.000,00	- 27,81	- 26,25
1.125,00	- 27,11	- 23,66
1.250,00	- 26,41	- 21,08
1.307,00	- 26,09	- 19,90
1.375,00	- 25,71	- 18,49
1.500,00	- 25,01	- 15,90

Tabela 34. Análise de sensibilidade da variável longevidade da cana de sequeiro (LCS) da cana soca de novembro.

LCS (nº de cortes)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
3	- 15,20	4,15
4	- 22,45	- 11,33
5	- 26,09	- 19,90
6	- 28,17	- 25,27
7	- 29,48	- 28,92

Tabela 35. Análise de sensibilidade da variável preço do arrendamento (PA) da cana soca de novembro.

PA (R\$/ha)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
250,00	---	- 25,18
275,00	---	- 23,29
300,00	---	- 21,40
320,00	---	- 19,90
325,00	---	- 19,52
350,00	---	- 17,63

Tabela 36. Análise de sensibilidade da variável produtividade média da cana de sequeiro (PMS) da cana soca de novembro.

PMS (t/ha)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
75,0	---	- 11,75
80,0	---	- 16,46
84,1	---	- 19,90
85,0	---	- 20,61
90,0	---	- 24,30
95,0	---	- 27,60

Tabela 37. Análise de sensibilidade da variável custo com tratos culturais de soqueiras (CTS) da cana soca de novembro.

CTS (R\$/ha)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
250,00	---	- 24,28
275,00	---	- 22,39
300,00	---	- 20,50
308,00	---	- 19,90
325,00	---	- 18,61
350,00	---	- 16,73

Tabela 38. Análise de sensibilidade da variável custo com transporte do arrendamento dispensado (CTA) da cana soca de novembro.

CTA (R\$/t)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
1,50	---	- 23,58
1,75	---	- 21,99
2,00	---	- 20,40
2,08	---	- 19,90
2,25	---	- 18,82
2,50	---	- 17,23

Tabela 39. Análise de sensibilidade da variável custo com transporte da área irrigada (CTI) da cana soca de novembro.

CTI (R\$/t)	RECEITA LÍQUIDA ESPERADA COM A IRRIGAÇÃO (R\$/ha)	
	Benefícios Diretos	Benefícios Indiretos
0,50	---	- 16,85
0,75	---	- 18,44
0,98	---	- 19,90
1,00	---	- 20,02
1,25	---	- 21,61
1,50	---	- 23,20

APÊNDICE 5

**FUNÇÃO UTILIDADE DE UM TOMADOR DE DECISÃO DE UMA
UNIDADE SUCROALCOOLEIRA PAULISTA (DIRETOR)**

Para exemplificar a introdução da aversão ao risco na análise de decisão da irrigação suplementar de cana-de-açúcar, foi construída a função utilidade de um tomador de decisões, através de uma entrevista realizada com um Diretor de produção agro-industrial de uma unidade produtora sucroalcooleira do Estado de São Paulo. Os valores estão apresentados na Tabela 1 e ilustrados pela Figura 1.

Tabela 1. Valores da função utilidade do Diretor entrevistado

RECEITA LÍQUIDA DA IRRIGAÇÃO (RLI)	UTILIDADE DA RLI	RLI _c = RLI + 50	
Classificação	(R\$/ha)	U(RLI)	
		(R\$/ha)	
Mínima	- 37,88	0,00	12,12
Intermediária	0,00	0,50	50,00
Intermediária	50,00	0,60	100,00
Intermediária	100,00	0,70	150,00
Intermediária	200,00	0,80	250,00
Intermediária	300,00	0,90	350,00
Intermediária	400,00	0,99	450,00
Máxima	446,71	1,00	496,71

RLI_c: receita líquida da irrigação corrigida com acréscimo de R\$ 50,00/ha (artifício matemático), para ajustar a função utilidade a uma aproximação logarítmica.

UTILIDADE DE RLI

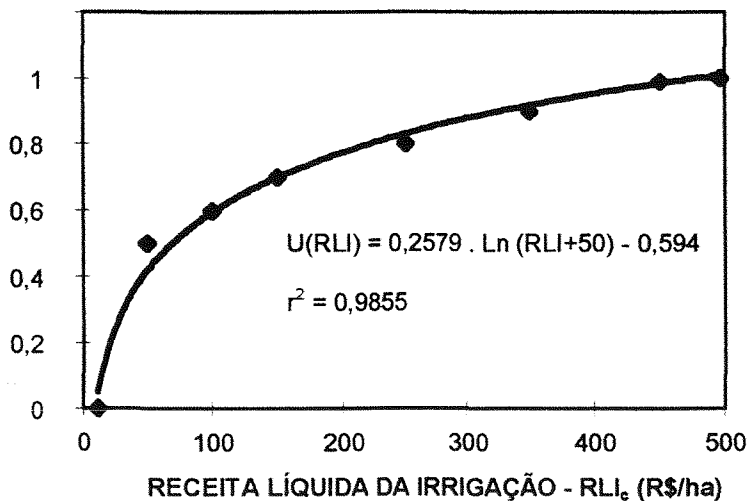


Figura 1. Função utilidade do Diretor entrevistado.