

IRRIGAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum ssp*) COLHIDA NO MÊS DE JANEIRO: UM MODELO DE ANÁLISE DE DECISÃO PARA O SUL DO ESTADO DE ALAGOAS¹

M. A. L. SANTOS²; J. A. FRIZZONE³; C. G. SANTOS⁴

RESUMO: As usinas de açúcar e álcool no estado de Alagoas tem grande importância econômica. Para usar sua capacidade instalada torna-se necessário o uso de técnicas que aumentem sua produtividade e diminuam os custos de produção da cana-de-açúcar. A tecnologia de irrigação se tornou uma alternativa rentável para as condições do estado de Alagoas. Tomando-se por base a viabilidade da tecnologia de irrigação suplementar em cana soca de janeiro, durante apenas o primeiro estágio de desenvolvimento da cana-de-açúcar do litoral sul de Alagoas, a árvore de decisão foi utilizada na avaliação dos valores esperados dos retornos associados a diferentes alternativas disponíveis para a escolha do tomador de decisão. Levando em consideração as condições analisadas, os resultados do estudo permitiram obter as seguintes conclusões: existe um grande potencial de viabilidade técnica e econômica para irrigação do início de ano (janeiro), considerando os benefícios diretos e indiretos de aumento de produtividade agrícola, maior longevidade das soqueiras, redução dos custos com o preparo de solo e plantio, tratos culturais e transporte de cana; a receita líquida esperada apresenta pequena sensibilidade às variáveis de desses custos.

PALAVRAS-CHAVE: Tecnologia de irrigação; Cana-de-açúcar; Árvore de decisão

IRRIGATION OF A SUGAR-CANE (*Saccharum ssp*) CROP HARVESTED IN JANUARY: A DECISION ANALYSIS MODEL FOR THE SOUTHERN COAST OF ALAGOAS STATE

ABSTRACT: Sugar mills and alcohol distilleries in Alagoas State, Brazil, have great economical importance. The use of techniques that increase their productivity and reduce sugar-cane production costs is needed to use their installation capacity to the fullest. Irrigation technology has become a profitable alternative for the sugar-cane (ratoon cycle) conditions in

1 Trabalho apresentado em congresso, extraído de TESE

2 Prof. Dr., Eixo da Agrárias, UFAL – Campus Arapiraca, Caixa Postal 61, CEP 57340-970, Arapiraca, AL.
Fone (82) 9976 3219 / 9332 1060. e-mail: mal.santo@arapiraca.ufal.br

3 Prof. Dr., Depto de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

4 Prof. Msc., Eixo da Agrárias, UFAL – Campus Arapiraca, Arapiraca, AL.

Alagoas State. A decision tree was used to evaluate expected values from different available alternatives to choose the best decision maker, taking into consideration the viability of additional irrigation technology in cane beat in January, just during the first development stage of the sugar-cane (ratoon cycle) in the southern coast of Alagoas State. From the obtained results of the analyzed conditions, it was concluded that: there is a great technical and economical viability for irrigation in the beginning of the year (January), considering direct and indirect benefits of agricultural productivity increase, greater ratoon longevity, reduction cost of soil preparation and planting, culture treatments and sugar cane transport; the expected net income presents small influence of variables this cost.

KEYWORDS: irrigation technology; sugar-cane; Tree of decision.

INTRODUÇÃO: O Brasil encontra-se no ranking mundial da produção de cana-de-açúcar, atualmente com uma área total cultivada de aproximadamente 5.400.000 ha e uma produção anual da ordem de 400.000.000 de toneladas (cana colhida). Sendo o Estado de São Paulo o maior produtor brasileiro com 51% da área colhida, seguido do Estado de Alagoas com aproximadamente 7,7% da área colhida do Brasil (Agrianual, 2005). Scardua & Rosenfeld (1987) afirmam que o consumo de água da cultura da cana-de-açúcar varia em função do ciclo da cultura (cana planta ou soca), do estágio de desenvolvimento da cultura (ciclo fenológico), das condições climáticas e de outros fatores, como água disponível no solo e variedades da cana-de-açúcar. De acordo com Matioli (1998) os benefícios da irrigação da cana-de-açúcar dividem-se em “benefícios diretos” e “benefícios indiretos”. Segundo o autor, os benefícios diretos consistem nos aumentos de produtividade agrícola e longevidade das soqueiras, enquanto os benefícios indiretos são aqueles relacionados com redução de custos no processo produtivo agrícola, proporcionados pelo aumento de produtividade. Uma árvore de decisão é uma árvore orientada que representa um processo decisório. Estas 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 (Bronson, 1985). O objetivo do presente trabalho consiste na elaboração de “árvore de decisão” para o mês de janeiro, que permitiu analisar a viabilidade econômica da irrigação suplementar da cana-de-açúcar cultivada no Estado de Alagoas. O modelo foi validado com os parâmetros técnicos e econômicos representativos da região do Litoral Sul do Estado de Alagoas, liderada pela microrregião de Coruripe e também dados da Usina Coruripe Açúcar e Álcool S/A.

MATERIAL E MÉTODOS: A irrigação suplementar consiste em suprir parcialmente as deficiências hídricas das soqueiras de cana-de-açúcar apenas no seu primeiro estágio de desenvolvimento (estabelecimento + vegetativo), porque este é o estágio que proporciona as maiores quebras de produtividade, quando sujeito a deficiências hídricas. 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 mesma. Para validação do modelo de análise de decisão, a lâmina de irrigação suplementar foi definida pelo consumo mínimo da cultura canavieira que é, em média, aproximadamente 2 mm dia⁻¹ (Scardua & Rosenfeld, 1987) e corresponde a uma lâmina mensal total de aproximadamente 60 mm. Esta lâmina de irrigação equivale a aproximadamente 74% da maior deficiência hídrica mensal (81,14 mm), correspondente ao mês de janeiro, durante o 1º estágio de desenvolvimento da cana soca cultivada no litoral Sul do Estado de Alagoas. A análise de decisão sobre a viabilidade técnica-econômica da irrigação suplementar da cana-de-açúcar foi elaborada com o emprego da técnica da “Árvore de Decisão”. O programa computacional de análise de decisão utilizado para a modelagem e solução do problema será o “NeticaTM”, que também permitem a análise do grau de “Aversão ao Risco” do tomador de decisões, quanto à escolha da melhor decisão a ser tomada. A árvore de decisão foi construída para a soca de janeiro, de modo a determinar a viabilidade da irrigação suplementar da cana-de-açúcar para o litoral Sul do Estado de Alagoas. Para a época de cana soca analisada foi construída uma árvore de decisão, sendo considerados os benefícios (diretos + indiretos) da irrigação suplementar. Aos ramos que partem dos nós de chance serão associadas as probabilidades das deficiências hídricas mensais serem maiores ou menores que a lâmina de irrigação máxima de 60 mm mês⁻¹. Os valores que foram considerados nos nós finais da árvore de decisão consistem na determinação da Receita Líquida Esperada com a irrigação suplementar da cana-de-açúcar para cada mês estudado. As deficiências hídricas foram determinadas com base nos balanços hídricos climáticos de 30 anos, utilizando a Variância e o Desvio-Padrão para determinação da média aritmética. Tal como Matioli (1998), os resultados foram submetidos ao teste de correlação de Pearson, verificando a significância ao nível de 0,05 de probabilidade, sendo que a grande maioria das correlações não foi significativa a este nível de probabilidade. As correlações foram feitas para 12 meses da cana soca (equivalente ao ciclo completo da cana-de-açúcar), das 60 correlações analisadas apenas 7 apresentaram significância (11,7%). No período curto para a irrigação suplementar da cana soca de janeiro em que são usado apenas 4 meses (janeiro, fevereiro, março e abril), das 9 correlações analisadas apenas 2 apresentaram significância (22%). Na Tabela 1 está apresentado o resultado obtido para a soca de janeiro.

As probabilidades das deficiências hídricas para os meses de janeiro (DJA), fevereiro (DFV), março (DMR) e abril (DAB) serem superiores ou inferiores à lâmina mensal de irrigação (LI) foram calculadas de modo direto, considerando os eventos independentes com base no teste de Pearson. A produtividade máxima da cana soca resultou de 93,1 ton ha⁻¹, conforme mostram os valores da Tabela 3. Mediante este método foi determinado o aumento de produtividade agrícola esperado (APE) com a irrigação suplementar, durante o 1º estágio de desenvolvimento da cana soca de janeiro, conforme está resumido na Tabela 4 e detalhado nas Tabelas 5 e 6.

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

Mês	Deficiência hídrica média		Probabilidade (%)	
	Denominação	Média de 30 anos (mm)	DH ≥ LI	DH < LI
Janeiro	DJA	8,90	0,25	0,75
Fevereiro	DFV	21,85	0,41	0,59
Março	DMR	1,34	0,75	0,25
Abril	DAB	76,59	0,85	0,15

Tabela 3. Produção máxima de soca (Y_m), cultivada no litoral Sul Alagoano

Mês	TM (°C)	Tm (°C)	UR (%)	GD	Q _o (cal cm ⁻² d ⁻¹)	N (h dia ⁻¹)	n (h dia ⁻¹)	RL (cal cm ⁻²)	Y _m (ton ha ⁻¹)
T/M	29,7	20,5	76,5	2 612	10 900	11,87	7,2	8.672	93,1
Jan.	31,6	21,4	73,3	264	908	12,99	6,5	645	
Fev.	31,6	21,6	74,0	241	908	12,78	6,7	660	
Mar.	31,4	21,7	76,8	265	909	12,15	7,0	691	
Abr.	30,5	21,4	79,3	246	909	11,59	7,6	741	
Mai.	28,9	20,8	82,4	212	908	11,03	7,7	766	
Jun.	27,8	20,0	80,6	183	908	10,25	7,4	791	
Jul.	27,2	19,1	79,8	160	909	10,30	7,6	807	
Ago.	27,2	18,6	77,1	152	909	11,12	7,9	798	
Set.	28,1	19,2	75,0	175	908	11,87	7,3	734	
Out.	29,5	20,8	72,9	222	907	12,45	7,2	712	
Nov.	30,8	21,1	73,0	246	908	12,80	7,4	704	
Dez.	31,4	20,5	73,4	246	909	13,16	6,2	623	

Fonte: S/A. Usina Coruripe Açúcar e Alcool, 2004.

Tabela 4. Aumento de produtividade esperado (APE) para a cana soca irrigada no primeiro estágio

Soca	Produtividade Esperada (t/ha)		Irrigação (mm/ano)	APE	
	Sequeiro	Irrigado		(t/ha)	(t/mm.ha)
Janeiro	62,7	81,9	104,0	19,2	0,185

Tabela 5. Produção da cana soca de janeiro de sequeiro (Y_s), cultivada no litoral Sul Alagoano

Mês	ET _m (mm)		ET _r (mm)		$\left(1 - \frac{ET_r}{ET_m}\right)$	Y _s (ton ha ⁻¹)
	Mensal	Estádio	Mensal	Estádio		
Total	1 444,74	1 444,74	1 125,78	1 125,78	...	62,67
Janeiro	122,46	545,71	72,25	364,55	0,332	
Fevereiro	149,82		97,38			
Março	143,25		110,30			
Abril	130,19		84,62			
Maio	74,62	516,90	58,21	425,33	0,177	
Junho	73,66		56,72			
Julho	97,86		77,31			
Agosto	123,13		104,66			
Setembro	147,62	382,13	128,43	335,89	0,121	
Outubro	126,73		114,06			
Novembro	109,61		96,45			
Dezembro	145,80		125,38			

Tabela 6. Produção da cana soca de janeiro irrigada (Y_i), cultivada no litoral Sul Alagoano

Mês	ET _m (mm)		ET _r (mm)		$\left(1 - \frac{ET_r}{ET_m}\right)$	Y _i (ton ha ⁻¹)
	Mensal	Estádio	Mensal	Estádio		
Total	1 444,74	1 444,74	1 296,50	1 296,50	...	81,92
Janeiro	122,46	545,71	122,46	535,28	0,019	
Fevereiro	149,82		149,82			
Março	143,25		143,00			
Abril	130,19		120,00			
Maio	74,62	516,90	58,21	425,33	0,177	
Junho	73,66		56,72			
Julho	97,86		77,31			
Agosto	123,13		104,66			
Setembro	147,62	382,13	128,43	335,89	0,121	
Outubro	126,73		114,06			
Novembro	109,61		96,45			
Dezembro	145,80		125,38			

A análise do risco de uma decisão é elaborada com o emprego da função utilidade. Para exemplificar a avaliação do grau de aversão ao risco de um tomador de decisões foi utilizada a função utilidade (equação 1) definida por Mاتيoli (1998), quando o autor entrevistou um Diretor de produção agro-industrial de uma usina de açúcar e álcool do Estado de São Paulo, onde é cultivada uma área de aproximadamente 20.000 ha de cana-de-açúcar. A área definida pelo autor é semelhante à área da usina Coruripe que fica em torno de 20.000 ha irrigados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os resultados obtidos referem-se às análises de decisão sobre os valores esperados das receitas líquidas, da irrigação suplementar realizada durante o primeiro estágio de desenvolvimento de cana soca colhida no mês de janeiro. Na análise contemplou-se os benefícios diretos e indiretos: aumento da produtividade agrícola, aumento da longevidade do canavial, redução de custo com preparo de solo e plantio, redução de custo com tratos culturais. Na Tabela 7 estão apresentados os valores das receitas líquidas esperadas com a irrigação suplementar da cana soca do mês de janeiro. Os valores obtidos foram determinados pela árvore de decisão apresentada na Figura 1. Os valores obtidos com os benefícios diretos e indiretos demonstram que a irrigação suplementar da cana soca de janeiro apresenta um grande potencial de viabilidade econômica dessa tecnologia. A solução ótima indicou a receita líquida de R\$ 226,61 ha⁻¹, com intervalo de variação entre R\$ 97,04 ha⁻¹ e R\$ 352,15 ha⁻¹ (Figura 1). Esses resultados reafirmam o grande potencial de viabilidade econômica dessa tecnologia para a cana soca de janeiro, em função da intensidade e da probabilidade de ocorrência do evento natural “deficiência hídrica”. Na análise dos resultados pode-se observar que a irrigação suplementar da cana soca de janeiro apresentou grande viabilidade técnica econômica com uma receita líquida esperada de R\$ 226,61 ha⁻¹, para ser introduzida nas lavouras canavieiras das usinas do litoral Sul de Alagoas. Os aumentos de produtividade agrícola proporcionados pela técnica de irrigação é o que dá alicerce aos resultados. A utilização da função de produção determinada por Scardua (1985) foi de fundamental importância. Matioli (1998), em razão do desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar e do emprego de novas tecnologias de produção, recomendou a execução de outras pesquisas, semelhantes à de Scardua (1985), para determinação de outras funções de produção de cana, que representem melhor a realidade atual da lavoura canavieira do Estado de Alagoas. Os valores apresentados na Figura 2. A equação acima que representa a função utilidade do tomador de decisão substituiu as equações determinantes das receitas líquidas esperadas com a irrigação nas árvores de decisão. A análise da cana soca de janeiro apontou para a decisão de “irriga”, com a utilidade esperada de 0,85, e a decisão de “não irriga” (0,42). Para a cana soca de janeiro o resultado foi bastante significativo. Matioli (1998) ressalta 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. Quando ela não altera a decisão referente aos valores monetários, como ocorreu neste caso, a decisão resultante torna-se muito mais consolidada.

CONCLUSÕES: (a) Existe um grande potencial de viabilidade técnica e econômica para irrigação do início de ano (janeiro), considerando os benefícios diretos e indiretos de aumento de produtividade agrícola, maior longevidade das soqueiras, redução de preparo de solo e plantio, tratos culturais e transporte de cana. (b) A análise de sensibilidade dos resultados das receitas líquidas esperadas nas árvores de decisão das variáveis (lâmina mensal, custo fixo e custo operacional), mostra que a sensibilidade da variável lâmina mensal sobre as receitas líquidas, é inversamente proporcional às sensibilidades das variáveis de custos fixo e operacional. Já para as variáveis custos com tratos culturais de soqueiras e preparo de solo e plantio, a análise de sensibilidade não apresentou grande interferência na receita líquida esperada. (c) A análise de sensibilidade da variável aumento de produtividade esperada apresenta o maior efeito nas receitas líquidas esperadas, podendo chegar a inviabilizar a introdução da tecnologia de irrigação, se o aumento da produtividade esperada for inferior a $0,100 \text{ t mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRIANUAL 2005. Sencor Cana: É certeza de cana no limpo”. **Anuário da Agricultura Brasileira**. p. 262-277, 2005.
- BRONSON, R. **Pesquisa operacional**. São Paulo: McGraw-Hill, 1985. 318p.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. K. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Universidade Federal da Paraíba: Campina Grande, 1994. p. 220-226.
- MATIOLI, C. S. Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (*Sccharum* spp): um modelo de análise de decisão para o Estado de São Paulo. 1998. 98f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.
- 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”, USP.
- SCARDUA, R.; ROSENFELD, U. Irrigação da cana-de-açúcar. In: **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargil, 1987. v.1, p.373-431.
- USINA CORURIPE AÇÚCAR E ÁLCOOL. Demonstrativo agrícola, safra 2003/04. Coruripe, 2004. 30p
- Yarri, M. E. Some remarks on measures of risk aversion and their uses. **Journal of Economic Theory**, v.1, n.3, p.315-329, Oct. 1969.

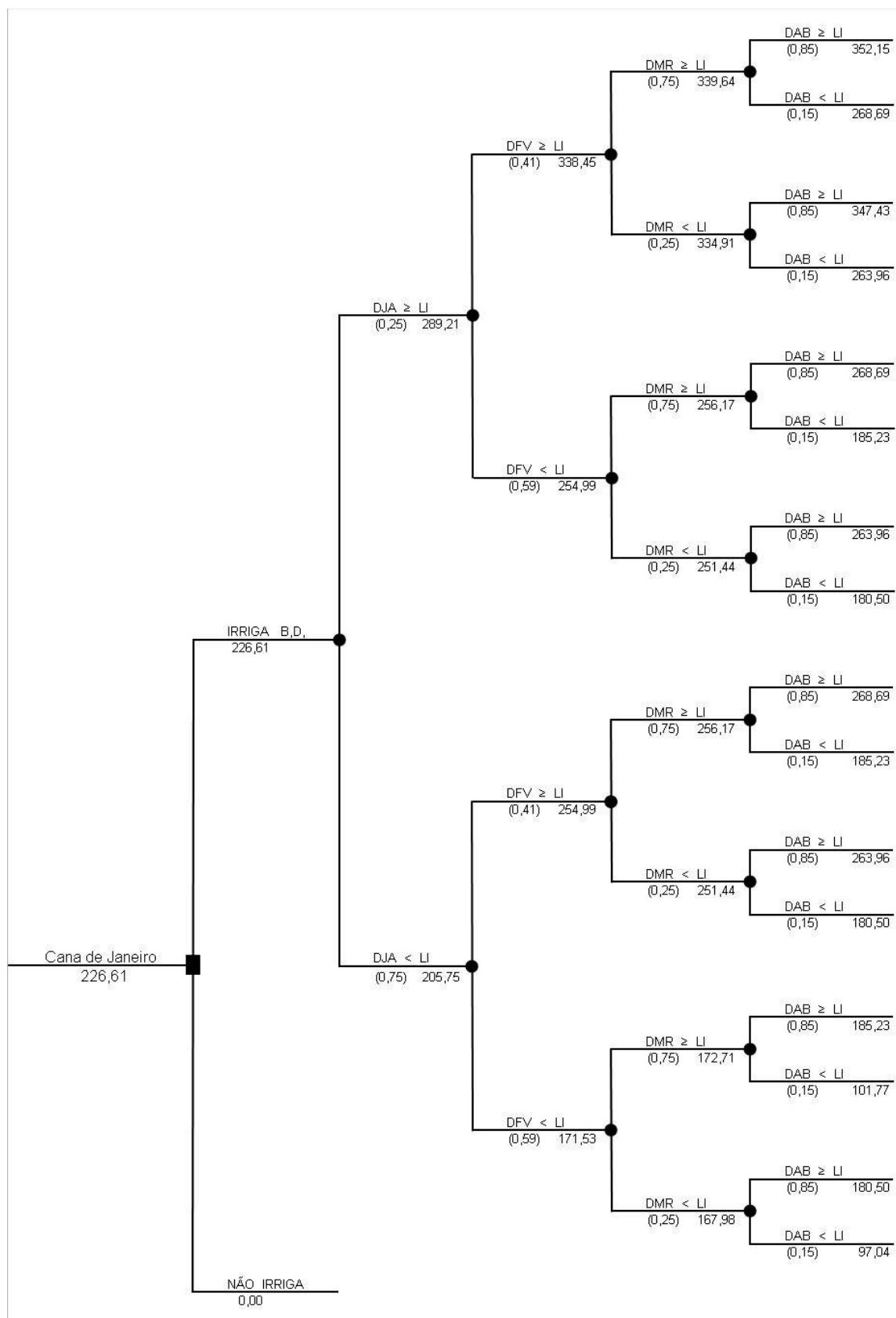


Figura 1. Árvore de decisão para irrigação da cana soca de janeiro

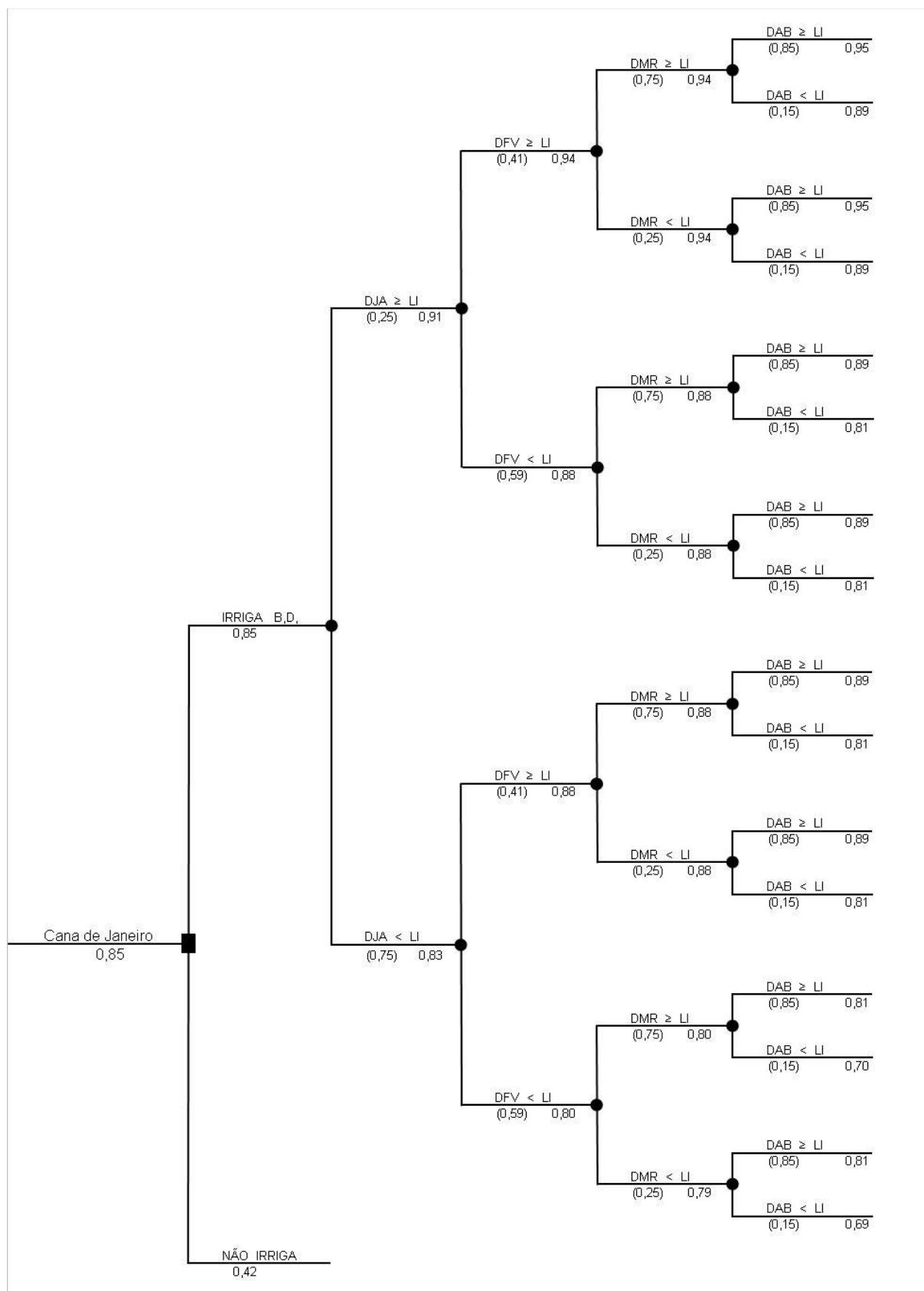


Figura 2. Valores esperados da utilidade na árvore “irrigação da cana soca de janeiro”