

# **MODELO DE DECISÃO PARA OTIMIZAÇÃO ECONÔMICA DO USO DA ÁGUA EM UMA ÁREA IRRIGADA NO VALE DO CURU - CE<sup>1</sup>**

**R. P. DE CASTRO<sup>2</sup>; R. N. T. COSTA<sup>3</sup>; F. DE SOUZA<sup>4</sup>**

**RESUMO:** O trabalho teve como objetivo desenvolver um modelo de programação linear para quantificar as variáveis do processo de produção, que otimize o uso da água em uma área irrigada da Fazenda Experimental Vale do Curu, Pentecoste – CE, a fim de que a produtividade das culturas seja maximizada por unidade de água, utilizando como parâmetro determinante, a maximização da receita líquida anual. No estudo consideraram-se sete culturas bastante difundidas na região e que dispunham de funções de produção à água obtidas no local do estudo: feijão vigna, milho, cebola, tomate, algodão, melão e melancia. No estudo utilizou-se a técnica de programação separável, com um modelo constituído por uma função - objetivo, sujeita às restrições dos recursos terra (33ha) e volume mensal de água (31104 mm.ha), que visava à maximização da receita líquida do produtor. A maximização da receita líquida foi de R\$154.520,00 utilizando-se o seguinte padrão de cultivo anual: melancia (31 ha), cebola (21ha) e algodão (2 ha). A disponibilidade de terra para o mês de agosto foi restritiva e apresentou preço sombra de 1.201,00 (R\$.ha<sup>-1</sup>). As disponibilidades de água para os meses de setembro e dezembro foram limitantes, apresentando preços sombra de 24 e 13 (R\$.mm<sup>-1</sup>), respectivamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** programação linear; maximização da receita líquida; insumos.

## **DECISION MODEL FOR ECONOMICAL OPTIMIZATION OF IRRIGATION WATER USE IN CURU VALLEY – CEARÁ, BRAZIL**

**SUMARY:** The objective of this paper was develop a linear programming model to quantify the production variables which optimize the irrigation water use in the Valley of Curu Experimental Farm, Pentecoste-Ceará, Brazil. Crop productivity should be maximized for each unit of water, utilizing the net annual benefit as the defining parameter. In this study seven crops well know in the region were considered since water production functions locally determined were available: beans, corn, onion, tomato, cotton, melon and watermelon. The separable programming technique was applied using a model based upon the objective-function subjected to two constrains – land (33 ha) and monthly water volume (31104

<sup>1</sup> Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor a ser apresentada junto ao CMID, UFC.

<sup>2</sup> Engº Agrº Mestrando em Irrigação e Drenagem, Bolsista CNPq, UFC, Fortaleza, CE, (85) 88272229, e-mail: rodrigo.agro@ig.com.br.

<sup>33</sup> Prof. Adjunto, Doutor, DENA, UFC, Fortaleza, CE. e-mail: rntcosta@ufc.br

<sup>4</sup> Prof. Titular, Ph.D., Aposentado, DENA, UFC, Fortaleza, CE.

mm.ha), looking for the maximization of farmer net benefit. The maximization of net benefit was equal to R\$154.520,00 (equivalent to US\$61,808.00), using the following crop pattern: watermelon (31 ha), onion (21 ha) and cotton (2 ha). Land availability for august was a constrain with a shade price of R\$.ha<sup>-1</sup> 1.201,00 equivalent to US\$/ha 480.40. Water availability for September and December was a limiting factor presenting shade price of 24 R\$/mm (9.6 US\$/mm) and 13 R\$/mm (5.2 US\$/mm), respectively.

**KEYWORDS:** linear programming; net benefit maximization; inputs.

**INTRODUÇÃO:** O setor de irrigação é o maior usuário dos recursos hídricos na bacia do Rio Curu demandando 143,418 hm<sup>3</sup>/ano, enquanto todos os outros tipos de uso somados geram uma demanda de 17,811 hm<sup>3</sup>/ano. O consumo de água na agricultura se concentra em grandes perímetros públicos, destacando-se o Perímetro Curu-Pentecoste, o qual possui uma área de 1068 ha, irrigados por superfície. Atualmente, a irrigação nesse perímetro é caracterizada pelo baixo nível tecnológico, resultando em baixa eficiência na utilização dos recursos hídricos. Nesse caso, as estratégias utilizadas visando economia no uso de água na agricultura irrigada devem ter como objetivo reduzir os desperdícios de água, levando-se em conta a sustentabilidade do sistema do ponto de vista econômico, social e ambiental.

Em áreas irrigadas, onde várias culturas em diferentes regimes de irrigação estão competindo por uma quantidade limitada de água, uma maneira de se escolher uma lâmina de água economicamente viável entre diferentes opções de lâminas de água existentes, é a utilização de técnicas que auxiliem na tomada de decisão, e a programação linear (PL) é um excelente instrumento para a alocação ótima desses recursos.

O método visa maximizar ou minimizar um objetivo, considerando os diversos caminhos disponíveis para alcançá-lo, bem como as restrições impostas pelas limitações dos recursos escassos.

Segundo English et al. (1990) pode-se obter aumento na receita líquida quando o volume de água disponível é limitante à produção e a água economizada pela aplicação de uma lâmina de irrigação, que proporciona déficit hídrico na cultura, pode ser utilizada no aumento da área irrigada.

O trabalho teve como objetivo, desenvolver um modelo de programação linear para quantificar as variáveis do processo de produção, que otimizem o uso da água em uma área irrigada da Fazenda Experimental Vale do Curu, em Pentecoste – CE, a fim de que a produtividade das culturas seja maximizada por unidade de água, utilizando como parâmetro determinante, a maximização da receita líquida anual.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O estudo foi desenvolvido na Fazenda Experimental Vale do Curu (FEVC), pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, no município de Pentecoste-CE, localizada entre os paralelos 3° 45' e 4° 00' de latitude Sul e os meridianos 39° 15' e 39° 30' Oeste, com altitude de aproximadamente 47 m.

O modelo de programação linear, conforme preconizam Dantas (1994) e Frizzone (1996), está representado nas equações 01 a 06 a seguir.

$$\text{MAX RL} = \left[ \sum_{i=1}^n X_{io} Y_{io} - \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^s X_{ik} \Delta Y_{ik} \right] P_i - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^s A_{ij} (X_{io} - X_{ik}) C_j \quad (01)$$

Tendo como restrições:

$$\sum_{i=1}^n X_{io} W_{io} - \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^s X_{ik} \Delta W_{ik} \leq WM_g \quad (i = 1, \dots, n; k = 1, \dots, s; g = 1, \dots, 12) \quad (02)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^s A_{ij} (X_{io} - X_{ik}) \leq S_j \quad (i = 1, \dots, n; k = 1, \dots, s; j = 1, \dots, m) \quad (03)$$

$$X_{ik} \leq X_{io} \leq 0 \quad (i=1, \dots, n; k=1, \dots, s) \quad (04)$$

$$X_{io} \geq 0 \quad (i=1, \dots, n; k=1, \dots, s) \quad (05)$$

$$X_{ik} \geq 0 \quad (i=1, \dots, n; k=1, \dots, s) \quad (06)$$

sendo:

Max RL : maximização da receita líquida;

i : número inteiro representando a cultura (i = 1, 2, ..., n);

j : número inteiro representando outros insumos (j = 1, 2, ..., n);

k : número inteiro representando o incremento da água (k = 1, 2, ..., n);

g : número inteiro representando o mês do ano (g = 1, 2, ..., 12);

P<sub>i</sub> : preço unitário do produto da i-ésima cultura;

X<sub>ik</sub> : área cultivada com a i-ésima cultura utilizando uma lâmina alternativa;

X<sub>io</sub> : área cultivada com a i-ésima cultura utilizando a lâmina máxima;

Y<sub>io</sub> : produção máxima da i-ésima cultura;

Δ Y<sub>ik</sub> : balanço de produção para a cultura i no segmento k;

A<sub>ij</sub> : quantidade demandada do insumo j pela cultura i;

C<sub>j</sub> : custo unitário do insumo j usado pela cultura i;

$W_{io}$  : lâmina máxima utilizada pela i-ésima cultura;

$\Delta W_{ik}$  : balanço de água para a cultura i no segmento k;

$WM_g$  : quantidade mensal de água disponível;

$S_j$  : disponibilidade máxima do insumo j.

O modelo de programação linear proposto consistiu de uma função-objetivo, sujeita às restrições no uso dos recursos terra (33ha) e água (3110,4 mm.ha<sup>-1</sup>), visando à maximização da receita líquida do produtor.

No modelo, as culturas podem ser irrigadas com diferentes lâminas ( $X_8, X_7, \dots, X_0$ ), onde  $X_8$  representa a lâmina mínima e  $X_0$ , a lâmina máxima.

Utilizou-se para solucionar o modelo formulado, o Software LINDO (1996) - Linear Interactive and Discrete Optimizer, o qual tem o propósito geral de resolver sistemas de equações lineares, utilizando para isto o método simplex.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A maximização da receita líquida obtida com a utilização do modelo de programação linear foi de R\$ 154.520,00 O modelo de programação linear proposto resultou no seguinte padrão ótimo de cultivo anual: melancia (31 ha), cebola (21ha) e algodão (2 ha). A TABELA 1 apresenta a ocupação mensal de terra pelas culturas e seus respectivos preços-sombra.

TABELA 1 – Resultado da análise de sensibilidade para o recurso terra mensalmente ocupada

Meses	Área Ocupada (ha)	Quantidade de folga (ha)	Preço Sombra (R\$/ha)	Área Mínima (ha)	Área Máxima (ha)
<b>Janeiro</b>	21	12	0	21	Nenhum
<b>Fevereiro</b>	0	33	0	0	Nenhum
<b>Março</b>	0	33	0	0	Nenhum
<b>Abril</b>	-	-	-	-	-
<b>Maiο</b>	2	31	0	2	Nenhum
<b>Junho</b>	2	31	0	2	Nenhum
<b>Julho</b>	2	31	0	2	Nenhum
<b>Agosto</b>	33	0	1201	31	42
<b>Setembro</b>	31	2	0	31	Nenhum
<b>Outubro</b>	31	2	0	31	Nenhum
<b>Novembro</b>	21	12	0	21	Nenhum
<b>Dezembro</b>	21	12	0	21	Nenhum

Uma análise da TABELA 1 mostra que, para o mês de agosto ocorreu utilização plena deste recurso, decorrendo um valor de preço sombra (custo de oportunidade de utilizar certa

área) de 1201,0 R\$.ha<sup>-1</sup>. Os demais meses apresentaram folga, e como o excesso do recurso não é utilizado para aumentar a renda, o preço sombra é zero. O preço-sombra é válido dentro de uma faixa de disponibilidade do recurso, os quais são indicados na TABELA 1 como área mínima e máxima. Na TABELA 2, constam os volumes mensais de água utilizados pelas culturas, e seus respectivos preços-sombra.

TABELA 2 – Resultado da análise de sensibilidade dos volumes de água utilizados mensalmente, bem como os seus respectivos preços sombra.

<b>Mês</b>	<b>Volume Utilizado (mm.ha)</b>	<b>Quantidade de folga (mm.ha)</b>	<b>Preço Sombra (R\$/mm)</b>	<b>Volume Mínimo (mm.ha)</b>	<b>Volume Máximo (mm.ha)</b>
<b>Janeiro</b>	2369	741	0	2369	Nenhum
<b>Fevereiro</b>	0	3110	0	0	Nenhum
<b>Março</b>	0	3110	0	0	Nenhum
<b>Abril</b>	-	-	-	-	-
<b>Mai</b>	219	2891	0	219	Nenhum
<b>Junho</b>	433	2677	0	433	Nenhum
<b>Julho</b>	378	2732	0	378	Nenhum
<b>Agosto</b>	1224	1886	0	1224	Nenhum
<b>Setembro</b>	3110	0	24	2037	3313
<b>Outubro</b>	1651	1459	0	1651	Nenhum
<b>Novembro</b>	1983	1127	0	1983	Nenhum
<b>Dezembro</b>	3110	0	13	0	4082

De acordo com a TABELA 2, observa-se que para os meses de setembro e dezembro não ocorreu sobra do recurso, tendo como preço sombra 24 e 13 R\$.ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

A faixa onde o preço sombra é válido encontra-se na TABELA 2, como volume mínimo e máximo. Exemplificando para o mês de setembro, o volume mínimo é 2037,0 mm.ha e o máximo é 3313,0 mm.ha.

A análise de sensibilidade da função objetivo (TABELA 3), mostra como se comportaria a solução ótima caso houvesse variação na receita marginal de cada cultura, ou seja, para que a área de 31ha da melancia continue sendo recomendada, sua receita marginal deve estar entre R\$ 289,0 e R\$ 1165,0.

TABELA 3 – Resultado da análise de sensibilidade da função objetivo

<b>Variável</b>	<b>Valor da variável (ha)</b>	<b>Retorno unitário (R\$)</b>	<b>Mínimo (R\$)</b>	<b>Máximo (R\$)</b>
-----------------	-------------------------------	-------------------------------	---------------------	---------------------

Feijão Vigna	0	796	-14	4309
Algodão	2	12	0	53
Tomate	0	878	Nenhum	3954
Melancia	31	330	289	1165
Melão	0	486	Nenhum	4985
Milho	0	150	Nenhum	155
Cebola	21	33	15,6	Nenhum

**CONCLUSÕES:** A maximização da receita líquida obtida com a utilização da programação linear foi de R\$ 154.520,00 utilizando-se o seguinte padrão de cultivo anual: melancia (31 ha), cebola (21ha) e algodão (2 ha). A disponibilidade de terra para o mês de agosto foi restritiva e apresentou preço-sombra de 1.201,00 (R\$.ha<sup>-1</sup>). As disponibilidades de água para os meses de setembro e dezembro foram limitantes, apresentando preços-sombra de 24 e 13 (R\$.mm<sup>-1</sup>), respectivamente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DANTAS NETO, J. **Modelos de decisão para otimização do padrão de cultivo em áreas irrigadas, baseados nas funções de resposta das culturas à água**. Botucatu, 1994. 125p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.
- ENGLISH, M.J.; MUSICK, J.T.; MURTY, V.V.N. **Deficit irrigation**. In.: Glen, J.H.; Howel, T.A.; Salomon, K.H. (eds.) *Management of farm irrigation systems*. St. Joseph: ASAE Monograph, 1990. p.631-663.
- FRIZZONE, J. A. **Modelo de programação linear para otimizar o uso da água em Perímetros Irrigados e sua aplicação no Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 57p. Tese (Livre Docente), 1996.
- LINDO. *Lindo user’s manual*. Illinois: Lindo Systems, Inc., 1996. 390p.