

# UM MODELO DE ALOCAÇÃO ÓTIMA DA ÁGUA DE UM RESERVATÓRIO PARA IRRIGAÇÃO VIA PROGRAMAÇÃO NÃO LINEAR

Rosires Catão CURI<sup>1</sup>, Wilson Fadlo CURI<sup>2</sup>, Alcigeimes Batista CELESTE<sup>3</sup>

**RESUMO:** Este trabalho procurou analisar a alocação ótima dos volumes mensais de água disponível num reservatório para satisfazer critérios de seu uso para irrigação, piscicultura e controle de cheias. Um modelo matemático de otimização foi aplicado ao reservatório Engenheiro Arcoverde, situado na região semi-árida do estado da Paraíba. Os resultados mostraram que a opção de melhor retorno financeiro para o produtor seria irrigar diferentes valores de áreas para produção nos períodos de safra e entressafra. Através de Programação Não-Linear foram determinados os valores máximos dessas áreas para as quais o reservatório teria condições de alocar água.

**PALAVRAS-CHAVE:** Otimização, irrigação, programação não-linear

**ABSTRACT:** This paper is concerned with the determination of an optimal police for the allocation of the available monthly storage of water in a reservoir to satisfy the user requirements for irrigation, fishing and flood control. Techniques of mathematical programming have been applied to the Engenheiro Arcoverde reservoir, which is located in the semi-arid region of Paraíba State. The attained results have shown that the producer would achieve the best profit if different areas are used for plantation during crop season and out of crop season. The achieved optimum values for those areas, which maximize the producer's profit and obey the physical constraints related to the limits of available water, fishing requirements and flood control, were attained from the application of a nonlinear programming technique.

**KEYWORDS:** Optimization, irrigation, non-linear programming

**INTRODUÇÃO:** O desequilíbrio entre oferta e demanda de água na área dos recursos hídricos tem-se acentuado nos últimos anos e imposto aos engenheiros e pesquisadores nesse campo soluções cada vez mais elaboradas, principalmente nas regiões semi-áridas como o Nordeste brasileiro. Nesta região, devido a escassez de água, até mesmo um pequeno reservatório exige um bom plano de operação para o atendimento de suas finalidades. A pesquisa operacional, através das técnicas de otimização, pode ser utilizada para auxiliar no planejamento de sistemas de recursos hídricos com múltiplos fins

---

<sup>1</sup> Ph.D, professora do Departamento de Engenharia Civil, UFPb - CAMPUS II

<sup>2</sup> Ph.D, professor do Departamento de Física, UFPb - CAMPUS II

<sup>3</sup> Bolsista PIBIC/CNPq do Departamento de Engenharia Civil, UFPB - CAMPUS II

Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, CEP 58109-970, Campina Grande-PB, Fone (083) 310-1290 Fax: (083) 310-1011.

possibilitando uma distribuição mais justa da água entre os vários usuários. O objetivo deste trabalho é ilustrar a aplicação da Programação Não-Linear a um reservatório utilizado para irrigação, piscicultura e controle de cheias, usando-se de um modelo matemático para definir regras de operação e tendo-se como exemplo o reservatório Engenheiro Arcoverde, situado na região semi-árida do estado da Paraíba, no município de Condado.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O problema operacional objetivado é a determinação das áreas de irrigação que maximizem o retorno financeiro sem provocar enchentes no canal de jusante e sem comprometer os níveis de água para a piscicultura. As outras limitações do sistema (hidráulicas, ambientais, etc) também não devem ser infringidas. Os modelos de otimização são formulados em termos da determinação de valores para um conjunto de variáveis de decisão que maximizem ou minimizem uma função objetivo sujeita à restrições (Wurbs, 1993). Portanto, para resolver o problema, foi construído um modelo de maximização atribuindo à função objetivo o lucro relativo em função das áreas irrigadas e formando as restrições em função de balanços hídricos, limitações hidráulicas e não negatividade das variáveis. Utilizamos dois tipos de abordagem: (I)- a determinação de uma área única que possa ser irrigada durante todo o ano; (II)- o uso de dois valores diferentes de áreas a serem determinados, um para o período normal de chuvas na região (produção agrícola no período de safra da cultura) e outro para o período de estiagem (produção agrícola no período de entressafra), considerando que, se fosse possível irrigar na entressafra a mesma área irrigada na safra, o produtor teria um lucro adicional de 30%. A cultura considerada neste trabalho foi o tomate, por ser tradicional na região. Para resolver o problema, foi implementado um algoritmo de Programação Não-Linear utilizando-se do software MATLAB (High-Performance Numeric Computation and Visualization Software). Como aplicação, escolheu-se o reservatório Engenheiro Arcoverde, localizado no semi-árido paraibano, com 36 milhões de metros cúbicos de capacidade. A região apresenta clima semi-árido quente mediano, com 7 a 8 meses secos. A bacia é caracterizada por uma distribuição anual muito irregular das chuvas que, aliada a temperatura e evaporação elevadas, ocasiona os problemas de ordem sócio econômicos peculiares ao semi-árido nordestino (Celeste et al., 1996).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A análise dos resultados obtidos na abordagem do tipo (I) mostraram que, se o produtor deseja irrigar uma mesma área durante as épocas de chuva e estiagem da região, a máxima área para a qual poderá alocar a água será de 1356,16 ha, ou seja, durante cada período de cultivo é possível irrigar 1356,16 ha de área. Os resultados da abordagem do tipo (II) revelaram que, se o produtor deseja irrigar diferentes valores de áreas durante os períodos de safra e entressafra da cultura, as áreas que fornecerão maiores retornos financeiros serão de  $A_1 = 2694,10$  ha, para a época de chuvas, e  $A_2 = 1303,73$  ha, para o período de estiagem. Neste último caso, foi considerado, no problema de otimização, que a percentagem de lucro do produtor, caso consiga irrigar na estiagem a mesma área da período de chuvas, será de 30%. As Figuras 01 e 02 mostram os resultados obtidos com o modelo de Programação Não-Linear para as duas abordagens. Nestas figuras, estão plotados gráficos nos quais o eixo das abcissas representa os meses do ano e o eixo das ordenadas os valores das variáveis de decisão: Volume do Reservatório ( $m^3$ ), Volume Defluente do Reservatório ( $m^3$ ) e Volume Liberado para Irrigação ( $m^3$ ); como também o Volume Médio Mensal Afluente ao Reservatório ( $m^3$ ).

**CONCLUSÕES:** Considerando que o produtor tenha um lucro adicional de 30% caso consiga irrigar na época de estiagem a mesma área do período de chuvas, concluímos que: utilizando a área de 1356,16 ha para as duas épocas, a receita total obtida seria  $L_1 = [1356,16 + 1,30 (1356,16)] \text{ R\$} = 3119,17 \text{ R\$}$ , sendo R\$ o lucro por hectare de área irrigada no período chuvoso. Utilizando 2694,10 ha na época de chuvas e 1303,73 ha na de estiagem, teríamos  $L_2 = [2694,10 + 1,30 (1303,73)] \text{ R\$} = 4388,95 \text{ R\$}$ . Dessa forma observa-se que o produtor teria um ganho de  $[(L_2-L_1)/L_1]100 = [(4388,95-3119,17)/3119,17]100 \approx 40,7\%$ , se utilizar a segunda opção. Geralmente, o padrão de operação de reservatórios não leva em consideração o uso de todo o seu potencial hídrico utilizável e, portanto, uma metodologia que possibilite um maior retorno financeiro pelo uso da água, minimizando assim o volume perdido por evaporação direta da superfície líquida do reservatório, é de fundamental importância para o gerenciamento dos reservatórios da região. De acordo com os resultados encontrados, concluímos que o modelo de otimização demonstrou que toda a água potencialmente utilizável do reservatório pode ser usada para atingir o objetivo de maximização do retorno financeiro além de atender às várias finalidades da mesma.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

CELESTE, A. B.; CURI, R. C.; CURI, W. F.; **Um modelo de operação ótima de reservatórios sujeitos a múltiplos usos.** Anais do III Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Salvador, Bahia, Dezembro de 1996.

WURBS, R. A.; **Reservoir-System simulation and optimization models;** Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 119, N°. 4, Julho/Agosto de 1993.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores agradecem ao CNPq pelo suporte financeiro através do programa PIBIC ao aluno Alcigeimes Batista Celeste.

FIGURA 01 - Resultados para a abordagem do tipo (I)

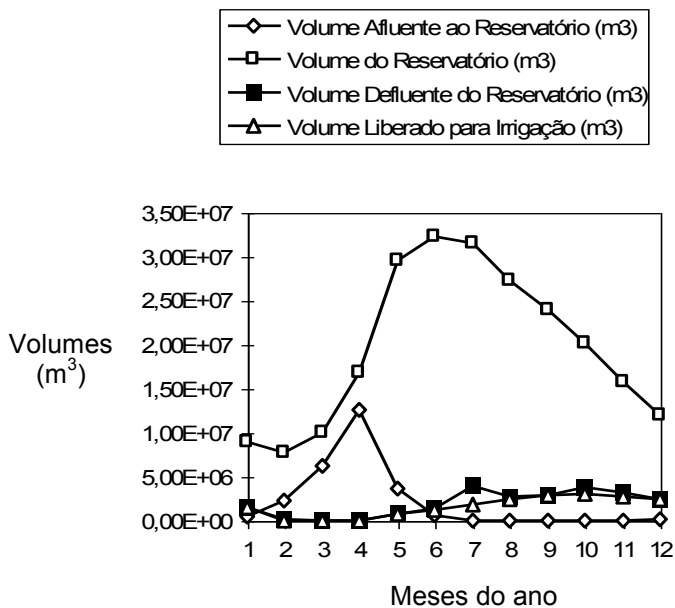


FIGURA 02 - Resultados para a abordagem do tipo (II)

