

# MODELO DE OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS ELEVATÓRIOS DE ÁGUA – OSEA – APLICADO EM UM SISTEMA PARA SUPRIMENTO DE UM EQUIPAMENTO DE IRRIGAÇÃO DO TIPO PIVÔ CENTRAL<sup>1</sup>

J.L. ZOCOLER<sup>2</sup>; J.A. FRIZZONE<sup>3</sup>

Escrito para apresentação no  
XXX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA 2001  
Mabu Thermas & Resort, Foz do Iguaçu – Paraná, 31 de julho a 03 de agosto de 2001

**RESUMO:** Neste trabalho, aplicou-se o Modelo de Otimização de Sistemas Elevatórios de Água – OSEA – em um sistema para suprimento de um equipamento de irrigação do tipo pivô central de área de 90,94 ha, vazão 341 m<sup>3</sup>/h e altura geométrica de elevação da água de 23,20 m, cujo projeto original do revendedor previu um diâmetro da tubulação de recalque de 250 mm. Com isso, efetuou-se uma comparação dos custos anual total do sistema utilizando-se o diâmetro original projetado com o primeiro comercial inferior e os dois primeiros comerciais superiores. Verificou-se que o diâmetro ótimo (mais econômico) da tubulação de recalque do sistema foi 300 mm, seguido do de 250 mm, 350 mm e 200 mm. Com o uso do diâmetro de 300 mm houve uma economia com a geração, transmissão e distribuição de 14,7 kW (aproximadamente R\$ 25.000,00).

**PALAVRAS-CHAVE:** custo anual total, diâmetro ótimo, tubulação.

## OPTIMIZATION MODEL OF PUMPING WATER SYSTEM – OSEA – APPLIED TO A SYSTEM FOR SUPPLY A CENTRAL PIVOT EQUIPMENT

**SUMMARY:** In this work, the Optimization Model of Pumping Water System was applied in a system for supply a central pivot equipment of area 90,94 ha, flow 341 m<sup>3</sup>/h and elevation head 23,20 m, which original project of the reseller foresaw a pipeline diameter of 250 mm. With that, it was compared the annual total costs of the system in the original pipeline diameter with the first below commercial and the first and second above commercial. It was verified that optimal pipeline diameter (the most economical) it was 300 mm, followed by 250 mm, 350 mm and 200 mm. The use of the diameter of 300 mm afforded an economy with generation, transmission and distribution of 14,7 kVA (about R\$ 25.000,00).

**KEYWORDS:** annual cost, optimal diameter, pipeline.

**INTRODUÇÃO:** No dimensionamento de sistemas de irrigação privados no Brasil a seleção econômica é pouco usual, sendo o custo de implantação o fator decisivo na escolha do diâmetro das tubulações, ignorando-se a avaliação dos custos variáveis do sistema de irrigação e o tempo na análise dos custos fixos (ZOCOLER,1999). Segundo BERNARDO (1989), a seleção econômica das tubulações de um sistema de irrigação deve receber tanta consideração quanto a solução hidráulica do problema, sendo que o dimensionamento baseado na análise econômica consiste em determinar, para cada condição, o(s) diâmetro(s) com os quais a somatória do custo anual fixo com o custo anual variável seja mínima. FAVETTA (1998) realizou um estudo em 89 sistemas elevatórios de água para suprimento de equipamentos de irrigação do tipo pivô central no Brasil, tendo concluído que o custo anual total seria menor se fosse utilizado o primeiro diâmetro superior ao diâmetro original em 55,1% dos sistemas e o segundo diâmetro superior em 20,2% dos sistemas. O diâmetro original foi o que proporcionou o menor custo anual total em 22,5% e, por outro lado, em apenas 2,2% o primeiro diâmetro inferior ao original é que proporcionaria uma redução do custo anual total. De acordo com o Plano Decenal de Expansão 98/2007 da Eletrobrás, o Brasil precisa crescer 3640 MW por ano para não haver problemas na oferta de energia elétrica (VÉRTICE, 1999). Dados do Ministério das Minas e Energia estimavam, em 1996, que o país - Brasil - perdia

<sup>1</sup> Parte do Trabalho “Modelo para estimativa de custos e otimização de sistemas elevatórios de água” desenvolvido com o apoio da FAPESP (Processo n. 98/11267-6 – Categoria Auxílio-Pesquisa).

<sup>2</sup> Prof. Assistente Doutor - Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Rural da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP - Av. Brasil, 56 - centro - Ilha Solteira (SP) - CEP: 15.385-000 . E-mail: zocoler@agr.feis.unesp.br

<sup>3</sup> Prof. Livre Docente – Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP

R\$ 2,5 bilhões por ano com desperdício de energia elétrica. Da quantia, R\$ 1,5 bilhão fica por conta dos hábitos inadequados e equipamentos ineficientes.” (FOLHA DE SÃO PAULO, 1997). No caso de estações elevatórias de sistemas de abastecimento de água de pequeno e médio portes, TSUTIYA (1989) apresenta uma série de alternativas que contribuem com a redução do custo de energia elétrica, entre as quais: *i)* enquadramento na estrutura tarifária mais adequada, bem como o equilíbrio entre as demandas contratada e registrada, a fim de se evitar o pagamento de uma demanda não utilizada, ou ainda, no caso de tarifação horo-sazonal, da demanda de ultrapassagem; *ii)* evitar a utilização do conjunto motor-bomba no horário de ponta; *iii)* correção do fator de potência pela instalação de banco de capacitores; *iv)* adequar a forma e dimensões do poço de sucção para não permitir a formação de vórtices e, conseqüente, entrada de ar na tubulação de sucção. Neste trabalho, aplicou-se o Programa de Otimização de Sistemas Elevatórios de Água (OSEA) em um caso real de sistema elevatório de água para comparação dos seus custos no diâmetro original projetado com o primeiro comercial inferior e os dois primeiros comerciais superiores e verificação do mais econômico.

**MATERIAIS E MÉTODOS:** O Modelo de Otimização de Sistemas Elevatórios de Água – OSEA – foi desenvolvido no Microsoft Excel 97 utilizando as funções e as macros do Visual Basic. Trata-se, portanto, de uma “pasta de 44 planilhas eletrônicas integradas” que auxiliam o usuário no dimensionamento de um sistema elevatório de água, permitindo a seleção do diâmetro comercial da tubulação de recalque que proporciona a minimização do custo anual total do mesmo. Neste são calculados os valores do investimento inicial e os custos fixos do sistema (depreciação e remuneração do capital investido), custos de manutenção e reparos, custos de bombeamento da água em todas as modalidades de tarifação de energia elétrica (bem como para motores à combustão) e o custo total, sendo os mesmos com base anual. A execução do programa é feita por etapas, sendo os dados processados ao mesmo tempo que se abre uma nova tela. Sua aplicação ocorreu em um sistema para suprimento de um equipamento de irrigação do tipo pivô central de área 90,94 ha de uma Fazenda do Município de Itapura (SP), que apresenta as seguintes características: *i)* vazão: 341 m<sup>3</sup>/h; *ii)* altura geométrica de elevação: 23,20 m; *iii)* carga piezométrica necessária no final da adutora: 45,81 m; *iv)* comprimento da tubulação de sucção (aço galvanizado): 30 m; *v)* comprimento da tubulação de recalque (aço galvanizado): 1452 m; *vi)* bombas hidráulicas para os diâmetros das tubulações de recalque: KSB-WKL 150/2 para 250, 300 e 350 mm e KSB-WKL 150/3 para 200 mm; *vii)* área da casa de bombas: 20 m<sup>2</sup>; *viii)* comprimento da linha elétrica de alta tensão para o sistema: 1500 m; *ix)* expectativa de vida útil: 12 anos para as tubulações com os acessórios, 20 anos para as bombas, 25 anos para a casa de bombas e estruturas anexas, 30 anos para linha de alta tensão e 20 anos para o motor, comando de partida, transformador e acessórios; *x)* dispêndio com a montagem das tubulações (porcentagem sobre o valor novo): 10%; *xi)* dispêndio com a montagem dos componentes elétricos (porcentagem sobre o valor novo): 5%; *xii)* dispêndio anual com manutenção e reparos (porcentagem sobre o valor novo): 0,5% para as tubulações, 4% para a bomba hidráulica, 1% para a casa de bombas e estruturas anexas, 2% para o motor elétrico, comando de partida, transformador e linha de alta tensão; *xiii)* modalidade de tarifação da energia elétrica: horo-sazonal verde com desconto especial sobre a fatura do consumo para irrigante (Portaria 105 do DNAEE, 1992); *xiv)* tempo médio de operação diária do sistema: 21 h no horário fora de ponta no período seco (maio a novembro) e úmido (dezembro a abril), sendo 6 h das 21 h no horário com tarifa reduzida; *xv)* número de dias de operação do sistema no ano: 100 no período seco e 20 no período úmido; *xvi)* número de meses sem operar o sistema no ano: somente 4 no período úmido.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os valores do investimento inicial e dos custos com base anual são apresentados na Tabela 1. Conforme pode-se verificar, o diâmetro comercial da tubulação de recalque que propiciou o menor custo anual total, ou seja, o diâmetro ótimo econômico, foi o de 300 mm (R\$ 30.381,90), embora o que propiciou o menor investimento inicial tenha sido o de 200 mm devido ao menor dispêndio com a tubulação de recalque. O diâmetro original previsto no projeto, 250 mm, também propiciou um investimento inicial menor que o de 300 mm, porém resultou num custo anual total 2,5% superior. Isso é explicado pelo maior custo anual de bombeamento (cerca de 15% em relação ao do sistema com diâmetro de 300 mm) que teve participação

entre 45 e 47% no custo anual total nestes diâmetros. A potência absorvida no sistema com diâmetro 250 mm foi cerca de 12,5% superior ao do sistema com diâmetro 300 mm, ou seja, seriam necessários a geração, transmissão e distribuição de 14,7 kW extras, que representaria um investimento por parte do governo e/ou empresas privadas do setor energético do país, de aproximadamente R\$ 25.000,00. Por sua vez, os custos anuais fixo e de manutenção e reparos seguiram, basicamente, a tendência do investimento inicial, pois são calculados com base no seu valor.

**Tabela 1.** Investimento inicial (InIn), custo anual fixo (CAF), custo anual de manutenção e reparos (CAMR), custo anual de bombeamento (CABO) na modalidade de tarifação horosazonal verde com o benefício da Portaria 105 do DNAEE, custo anual total (CAT) e potência absorvida pelo sistema elevatório nos diâmetros da tubulação de recalque testados.

Diâmetro da Tubulação de Recalque (mm)	InIn (R\$)	CA (R\$)	CAMR (R\$)	CABO (R\$)	CAT (R\$)	Potência Absorvida (kW)
200	115.215,14	14.805,42	1.892,47	20.866,14	<b>37.564,03</b>	195,3
250	117.885,09	15.309,42	1.688,67	14.143,32	<b>31.141,41</b>	132,4
300	125.632,62	16.454,07	1.642,25	12.285,58	<b>30.381,90</b>	117,7
350	136.816,06	18.070,50	1.643,42	11.526,16	<b>31.240,07</b>	110,4

Portanto, na aquisição de um sistema elevatório deve-se fazer a seleção do diâmetro econômico da tubulação de recalque considerando-se o custo anual total, uma vez que ao menor custo de implantação ou investimento inicial nem sempre corresponde o menor custo anual total, que é um método de seleção mais completo, pois pondera os custos de operação com o investimento inicial (através do custo anual fixo). Finalmente, é importante salientar que a economia propiciada ao consumidor pela seleção do diâmetro mais econômico, também interessa ao governo, pois maior se torna a eficiência dos investimentos destinados ao setor energético do país.

**CONCLUSÕES:** Com base nos objetivos proposto e para as condições consideradas, pode-se concluir que:

- o diâmetro da tubulação de recalque que propiciou o menor investimento inicial do sistema foi 200 mm devido ao menor investimento exatamente na tubulação de recalque;
- o diâmetro ótimo da tubulação de recalque para o sistema foi de 300 mm, propiciando um custo anual total de R\$ 32.537,02;
- o diâmetro original de projeto da tubulação de recalque (250 mm) apresentou menor investimento inicial do sistema em relação ao diâmetro ótimo (300 mm), porém devido ao seu maior custo anual de bombeamento, que tem participação entre 45 e 47% no custo anual total, tornou-o menos vantajoso;
- com a utilização do diâmetro de 250 mm ao invés de 300 mm, é necessário a geração, transmissão e distribuição de uma potência extra de 14,7 kVA para o sistema elevatório. Isso representa um investimento, por parte do governo e/ou empresas privadas do setor energético, de aproximadamente R\$ 25.000,00.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1989, 596p.
- BRASIL. Ministério da Infra-estrutura. Secretaria Nacional de Energia. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. Portaria nº 105, de 3 de abril de 1992. **Diário Oficial**, 06 fev. 1993.

- FAVETTA, G.M. Estudo econômico do sistema de adução em equipamentos de irrigação do tipo pivô central. Piracicaba, 1998. 110p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- FOLHA DE SÃO PAULO. Novo hábito pode reduzir 15% do consumo. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 29 abr. 1997, Cotidiano, p.8.
- TSUTIYA, M.T. Redução do custo de energia elétrica em estações elevatórias de sistemas de abastecimento de água de pequenos e médio portes. São Paulo, 1989. 207p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- VÉRTICE. Crise reduz risco de déficit energético. Vértice – Informativo do Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia de Minas Gerais (Crea-MG), Belo Horizonte, v.4, n.41, p.8, Mar.1999.
- ZOCOLER, J.L.; HERNANDEZ, F.B.T.; FRIZZONE, J.A; COELHO, R.D. Análise dos custos de um sistema elevatório de água em função do diâmetro da tubulação de recalque e modalidades de aplicação das tarifas de energia elétrica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, (Porto Alegre), v.4 (3), p.53-67, 1999.