

XIV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

USO DO BRANCH AND BOUND NA OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA DE UMA ADUTORA DA CIDADE DE SOBRAL/CE

Lenise Farias Martins¹; Livia Figueira de Albuquerque²; Luís Henrique Magalhães Costa³

RESUMO – A operação do sistema de bombeamento em estações elevatórias consome a maior parcela dos custos com energia elétrica do sistema de abastecimento de água. A utilização inteligente do manejo das bombas de acordo com a variação da tarifa energética, poderá trazer benefícios econômicos sem interferir na demanda hídrica da rede abastecida. Para isso é necessário um estudo para simular essas possíveis situações de operação relacionando-as com variações tanto do nível do reservatório e quanto do consumo da rede. Este trabalho tem como objetivo analisar uma adutora da cidade de Sobral/CE, verificando se há possibilidade de otimizar a operação sistema de bombeamento. A metodologia adotada associa o algoritmo Branch-and-Bound (B&B) com a simulação dinâmica no software EPANET. O B&B enumera as possíveis estratégias viáveis, enquanto o software fundamenta hidraulicamente a solução ótima. Foi verificada a eficiência do algoritmo, pois a estratégia escolhida mostra que é possível reduzir em mais de 40% o custo com energia elétrica das bombas.

ABSTRACT– The operation of the pumping system for lifting stations consumes a greater power of water pumping costs. The smart use of syrup pumps can be related to energy consumption without interfering with the water demand of the supply network. For this is required to study the case of jobs the potential to operation relating with both the level of reservoir and the to consumption of network. This paper aims to analyze the activity of the city of Sobral / CE, verifying the possibility of optimizing the operation of a pumping system. The methodology adopted is associated to the Branch-and-Bound (B & B) algorithm with the dynamic dynamics of EPANET software. The B & B can be used as a possible access to information, while the software hydraulically bases the optimal solution. The efficiency of the algorithm was obtained, because the chosen strategy was the one that reduced the consumption of electric energy of the pumps by 40%.

Palavras-Chave – Branch-and-Bound; Eficiência energética; sistema de bombeamento

¹) Graduanda do curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA), Rua Luís Teodoro, 146, Centro, CEP: 62270-000, Hidrolândia (CE), (88) 9 9986 6029, lenisemartins@outlook.com.

²) Engenheira Civil, Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA), Rua Adrião Alves de Oliveira, 022, Ginásio, CEP: 62320-000, Tianguá (CE) (88) 9 9635-0867, liviafigueiraalb@gmail.com.

³) Doutor em Recursos Hídricos (UFC), Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA), Rua Raimundo Newton Xeres Ribeiro, 1419, Colinas da Boa Vista, CEP: 620001000, Sobral (CE), (85) 9 9794 8000, luishenrique.uva@gmail.com.

1. INTRODUÇÃO

A topografia de um terreno é o fator crucial na tomada de decisão da melhor estratégia para definir o sistema de abastecimento de água. Lugares com alta elevação impossibilitam o escoamento por gravidade, logo é necessário um sistema de recalque para que a água chegue até a localidade com vazão e pressão adequadas.

“Um sistema de recalque ou elevatório é o conjunto de tubulações, acessórios, bombas e motores necessário para transportar uma certa vazão de água ou qualquer outro líquido de um reservatório com cota inferior para outro com cota superior” (PORTO,2006 p.144).

A operação da estação elevatório demanda um gasto energético alto, dependendo da potência do conjunto motor-bomba. COSTA (2015), afirma que o consumo de energia elétrica devido ao uso das bombas nas estações elevatórias, é responsável pela maior parcela de gastos com energia no setor de abastecimento de água.

Faz-se necessário estudar cenários de manipulação de operação das bombas sustentando a demanda por consumo, mas reduzindo o gasto energético. PORTO (2006) relata que muitas vezes não há necessidade de o sistema funcionar continuamente, contanto que obtenha o volume necessário de reservação, para consumo diário, em uma fração do dia.

O algoritmo Branch and Bound (B&B) é uma ferramenta que enumera as soluções factíveis de um problema com base em suas restrições, aplicável em estações elevatórias com até três bombas operando, cuja verificação das condições hidráulicas pode ser verificada no software EPANET.

Este trabalho tem como objetivo avaliar a situação da estação elevatória de uma adutora em Sobral/CE, aplicando o algoritmo, para selecionar a estratégia que garante a eficiência energética deste sistema de bombeamento.

2. METODOLOGIA

2.1 Dados do sistema de recalque

A adutora a ser analisada, localizada na cidade de Sobral no interior do estado do Ceará, conecta o reservatório apoiado (RAP) ao reservatório elevado (REL) de um loteamento, conforme a figura 1.

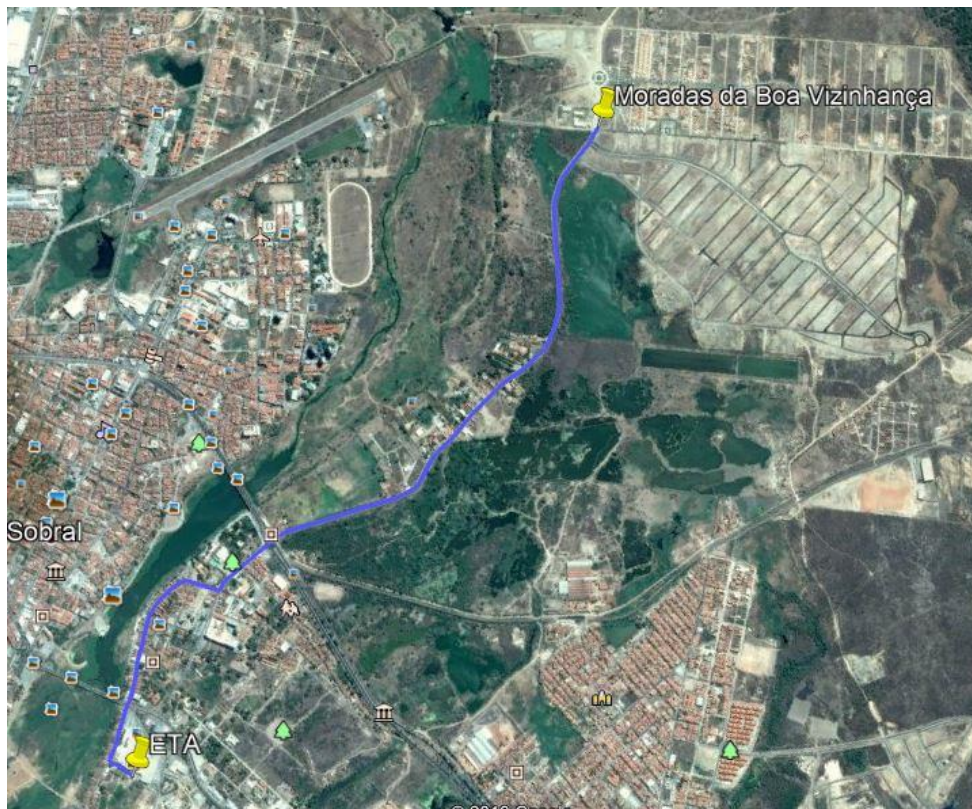


Figura 1. Adutora. Fonte: Google Earth

De acordo com os dados fornecidos pelo serviço de abastecimento de água da cidade, a adutora de ferro fundido possui extensão de 3674 metros, 250 mm de diâmetro. O reservatório apoiado possui cota 67,7 metros, fundo do reservatório elevado está na cota 97,84 metros com nível mínimo e máximo de 0,40 m e 12,00 m, respectivamente.

A empresa de serviço de abastecimento de água da cidade não disponibilizou os dados da bomba da estação elevatória, então verificou-se no catálogo uma que trabalhe dentro da variação de vazões e altura manométrica.

2.2 Padrões

Para incluir a variação de demanda e a tarifa energética horária, criou-se dois padrões para adicionar à simulação hidráulica.

A variação de demanda, foi determinada, a partir do cálculo do consumo médio de acordo com a equação 1. O loteamento 2.466 lotes, dos quais 50% estão ocupados, logo, considerando 5 pessoas por residência, estima-se uma população de 6.165 habitantes.

$$Q = \frac{k1 \times k2 \times P \times q}{86.400} \quad (1)$$

No qual:

K1: coeficiente do dia de maior consumo

K2: coeficiente da hora de maior consumo

P: população (hab)

q: consumo per capita (l/s)

Em seguida, para construir a curva de consumo horário, de acordo com TSUTIYA (2006, p.374), foi feita uma hipótese de variação da curva de consumo admitindo a forma senoidal, sendo que a vazão de pico é o produto entre vazão média e K2, e a vazão mínima é a diferença entre as vazões máxima e média, definindo assim o padrão de demanda da rede, conforme a figura 2.

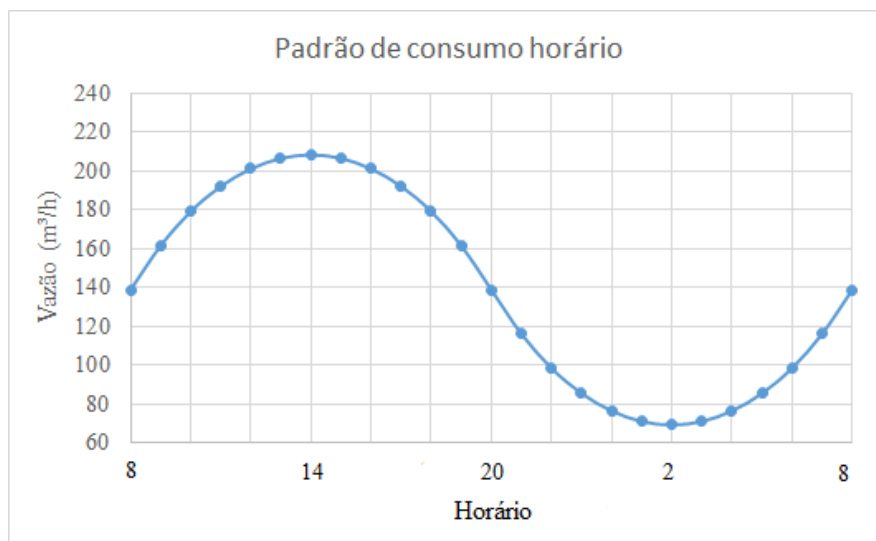


Figura 2. Curva de consumo

O padrão da tarifa energética horário foi construído a partir dos dados dos preços das tarifas disponibilizados no site da concessionária de energia elétrica, adotando-se o preço tarifário da bandeira em vigor, no caso é a vermelha. Com isso, o padrão foi definido conforme a figura 3, e adicionado aos dados de entrada do software EPANET.

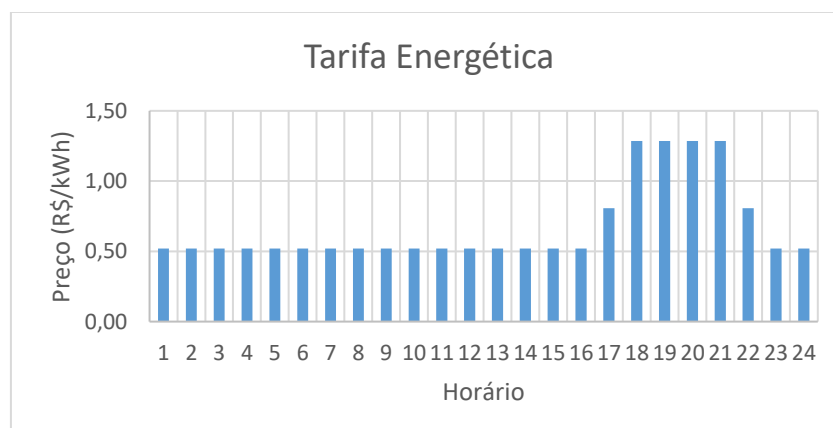


Figura 3. Tarifa Energética Horária

2.3 Simulação hidráulica com branch & bound

Foi realizada uma simulação dinâmica no software EPANET, durante o período de 24 horas, com a inserção dos dados dos reservatórios, da adutora, da bomba, um nó representando a demanda horária de consumo do loteamento abastecido, e a inserção dos padrões, conforme a Figura 4.



Figura 4. Modelo computacional no EPANET.

Para aplicação do algoritmo B&B, as variáveis de decisão são os estados operacionais das bombas. Utilizou-se a notação binária para representa-las em cada intervalo de tempo. A operação da bomba é realizada acionando 0 e 1 para desligado e ligado, respectivamente.

O objetivo do modelo é encontrar a configuração de bombas que resulte no menor custo energético possível. Assim, a função objetivo é definida como o somatório da energia gerada pelas bombas, em todo horizonte operacional, de modo a atender os pontos de consumo e o abastecimento do reservatório, conforme a equação 2.

$$MinCE = \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^{24} C_{nt} E_{nt} (X_{nt}) \quad (2)$$

No qual:

n: bomba selecionada;

t: passo de tempo;

CE: custo energético diário (\$);

Cnt: custo tarifário (\$/kWh);

Ent: energia consumida (kWh);

Xnt: estado de funcionamento da bomba;

N: quantidade de bombas do SAA;

No modelo de otimização não foi limitado a quantidade máxima de acionamentos, como restrição, fixou-se que o nível final fosse distante em até 10% do nível inicial. A cada hora é verificado se alguma solução violará a restrição descrita, caso aconteça, é realizado o corte desta solução no referido horário. Dessa forma, todas as soluções avaliadas no final das 24 horas de simulação serão soluções factíveis. Logo, o algoritmo garantirá o encontro de todas as soluções viáveis do espaço de busca (Figura 5).

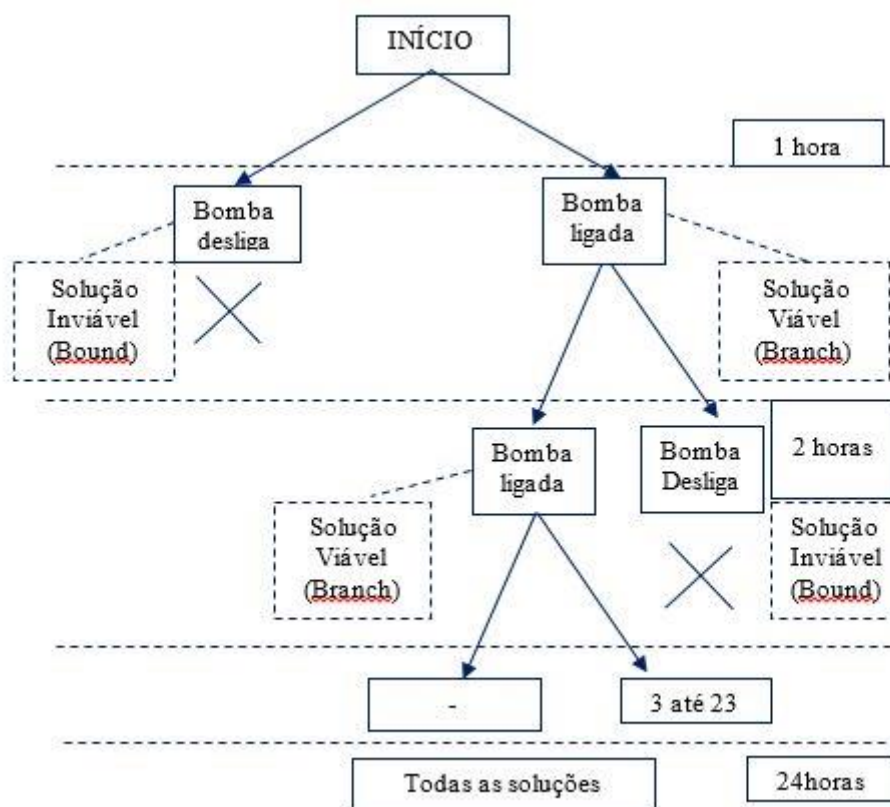


Figura 5. Esquema de ramificações e cortes das soluções

A cada simulação, os níveis finais do reservatório são armazenados em um banco de dados para que possam ser iniciados na hora seguinte. Todas as soluções viáveis encontradas são enviadas a um banco de dados e, em seguida, é definida a solução ótima global.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A simulação foi bem sucedida, sendo que a estratégia escolhida obedece à restrição, não ultrapassando os níveis máximo e mínimo, e garantindo o abastecimento de água do loteamento (Figura 6).

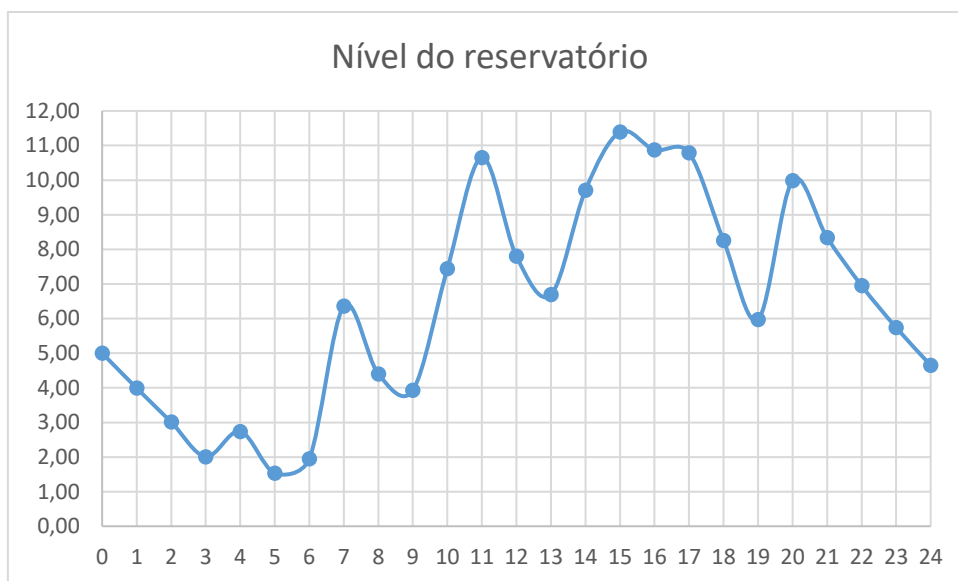


Figura 6. Variação do nível do reservatório.

Vale salientar que a restrição aplicada não permite que a aproximação do nível final para o inicial excedesse em 10%, ou seja, o nível final não poderia ficar abaixo de 1,16m. Nota-se que o nível mais inferior é de 1,53 m, obedecendo as condições do problema.

O tempo de processamento em um computador core i5, memória de 8G, foi de 2,3 segundos. A aplicação do algoritmo B&B, resultou na estratégia de operação da bomba indicada na figura 7.

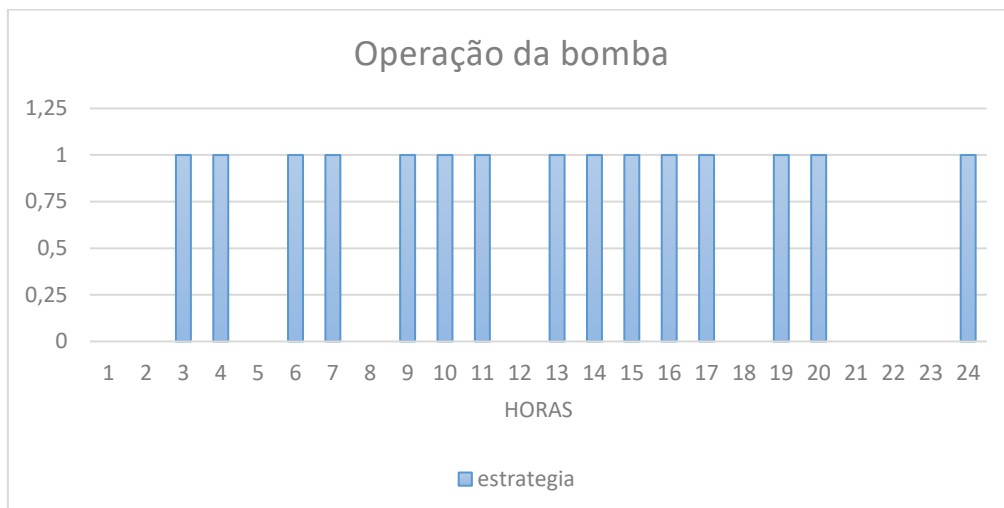


Figura 7. Operação da bomba

A figura indica que a bomba é acionada 15 vezes, ou seja, trabalhará durante 62,5% do dia. Essa estratégia (Tabela 1) resultou em um custo energético de R\$ 9,61 por kWh, 40,33 % mais barato que o acionamento contínuo da bomba ao longo do dia.

Tabela 1. Comparação dos custos

Acionamento da bomba	Dia todo	B&B
R\$/kWh	16,1043	9,60987
Economia	0%	- 40,33%

4. CONCLUSÃO

Verificou-se que a aplicação do Algoritmo B&B foi uma ferramenta fundamental para escolha do cenário operação do sistema de bombeamento que proporciona economia de energia. Vale salientar que o loteamento está parcialmente ocupado, e que é necessário a execução de um novo reservatório para atender a demanda dos pontos de consumo. Conclui-se que a aplicação da metodologia é eficaz para estudo de estratégias de eficiência energética para sistemas elevatórios com até três bombas operando.

5. REFERÊNCIAS

COSTA, L. H. M.; CASTRO, M. A. H. *Definição da solução ótima global no problema de otimização de estratégias operacionais de estações elevatórias*. In: Congresso ABES, 2017, São Paulo, 2017.

COSTA, LUIS HENRIQUE MAGALHÃES; DE ATHAYDE PRATA, BRUNO; Ramos, Helena M.; DE CASTRO, MARCO AURÉLIO HOLANDA. *A Branch-and-Bound Algorithm for Optimal Pump Scheduling in Water Distribution Networks*. *Water Resources Management*, v. 30, p. 1037-1052, 2016.

PORTO, R. D. (2006). *Hidráulica Básica*. São Paulo: EESC USP.

TSUTIYA, M. T. (2006). *Abastecimento de Água*. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

ROSSMAN, L.A. EPANET – Manual do Usuário. Traduzido pelo LENHS/UFPB, (2007)