

XI-008 - MICROGERAÇÃO DE ENERGIA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA (SAA) COM USO DE BOMBA FUNCIONANDO COMO TURBINA (BFT)

Silvia Fernanda Paffrath⁽¹⁾

Engenheira Civil na Companhia de Saneamento do Paraná. Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Endereço⁽¹⁾: Rua Euzébio da Motta, 633, ap 22 - Juvevê - Curitiba - PR - CEP: 80530-260 - Brasil - Tel: (41) 99943-0462 - e-mail: silviapaffrath@hotmail.com

RESUMO

Cada vez mais tem sido estudadas formas de minimizar gastos com energia e/ou de se obter formas alternativas de geração, pela diminuição de oferta hídrica em diversos locais e consequente aumento da tarifa de energia elétrica no país nos últimos anos. Nos sistemas de abastecimento de água são altos os gastos com energia, principalmente nas estações elevatórias. Em sistemas que fazem a distribuição de água por gravidade, não é raro a utilização de válvulas redutoras de pressão em pontos específicos em que é necessária essa redução para garantir condições favoráveis de transporte de água na tubulação. Nesse sentido, ocorre dissipação de energia que poderia ser aproveitada no próprio sistema. Tendo em vista esse aproveitamento energético, esse estudo tem como objetivo determinar de forma teórica a potência gerada por uma bomba funcionando como turbina em locais onde há excedente de pressão, tomando por base dados de um sistema teórico de abastecimento de água de município de pequeno porte. A partir dos resultados, a alternativa mostrou-se tecnicamente viável, com potência gerada igual a 2,2 KW e energia de 16,4 MW.ano, que poderia ser utilizada no próprio sistema, em pontos onde seria necessário bombeamento, seja na captação ou na própria rede de abastecimento, em transição de zonas baixas para altas.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência energética no saneamento, Bomba funcionando como turbina, Microgeração de energia em sistemas de abastecimento de água.

INTRODUÇÃO

Com o aumento na demanda hídrica, para abastecimento, geração de energia, etc., e do custo da tarifa elétrica, surgiram novos estudos de eficiência energética para métodos alternativos de fontes de energia a menores custos, em diversas áreas, com consequente redução no consumo de energia elétrica.

Com relação ao setor do saneamento, segundo relatório de 2010 do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), 2,32% do consumo total de energia elétrica no país era desse setor.

Especificamente em sistemas de abastecimento de água, dados de 2014 apontam para 2,26% do consumo total de energia elétrica. Nesses sistemas, 95% desse consumo é devido aos sistemas de bombeamento, para garantir que a água captada chegue até a estação de tratamento e/ou a água tratada chegue até os pontos de consumo, quando não se pode utilizar a gravidade para esse transporte de água (TSUTIYA, 2001).

Existe sugestão de algumas medidas de eficiência energética no setor, como sistemas mais eficientes a partir de um dimensionamento adequado, reservação bem utilizada e uso da automação, redução de perdas reais de água e a redução de altura manométrica de bombeamento (GOMES, 2013).

Com relação às perdas, segundo Pérez (2008), 30% delas vêm de vazamentos na rede. Nesse sentido, há uma relação direta entre os vazamentos e as pressões, conforme diversos autores que estudam essa relação há mais de 20 anos.

Como controle de pressão, é comum o uso de válvulas redutoras de pressão (VRPs), para redução da pressão para abastecimento de zonas baixas. Vale destacar que ainda existem diversos locais com reservatórios

elevados projetados para abastecimento tanto de zonas altas quando de zonas baixas. Nesses casos o uso de VRP é recomendado para atuar sobre as linhas de pressão na rede, a partir do reservatório.

Resultados de algumas pesquisas mostram redução de perdas após a instalação de válvulas redutoras de pressão (VRPs). No Distrito Federal notou-se redução de 6200 m³/dia para menos de 4500 m³/dia, em determinado setor, após a instalação de VRP entre os anos de 1997 e 1998 (GONÇALVES *et al.*, 2005, apud PÉREZ, 2008).

De forma geral, as VRPs atuam reduzindo a pressão a montante para uma pressão a jusante constante dissipando energia. Comprovada a necessidade das VRPs para controle de pressões e consequente redução de perdas pela diminuição de vazamentos na rede, a energia dissipada pelas válvulas poderia ser aproveitada em outros pontos do sistema, reduzindo, por exemplo, custos de energia elétrica do bombeamento ou outras unidades.

Uma forma de aproveitamento dessa energia, já testada em alguns países como os Estados Unidos, é o uso de turbinas em pontos específicos da rede. Na cidade de Portland, no final do ano de 2014 começou a ser testado um tipo de tubulação com turbinas internas que se movimentam com o fluxo da água. A energia mecânica das turbinas é transmitida para geradores onde é transformada em energia elétrica, podendo gerar até 1100 MWh em um ano (LUCID ENERGY, 2016).

Para atuar de forma semelhante, no Brasil já há estudos da utilização de bombas funcionando como turbinas (BFT), com o sentido inverso do fluxo do fluido, tendo como vantagem o menor custo daquelas em relação a essas, sendo de 2 a 3 vezes menor (RICARDO, 2007).

Nesse sentido, destaca-se a Resolução 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), de 2012, sobre as condições gerais de micro e minigeração de energia elétrica, além do sistema de compensação e outros.

Para viabilizar a utilização de bombas como turbinas, alguns métodos de seleção de bombas foram desenvolvidos, como o método europeu de Chapallaz *et al.* (1992), além de alguns brasileiros como o de Viana (1987), a partir de dados conhecidos no sistema, como vazão e altura manométrica, que deverão ser constantes. Dessa forma, o objetivo geral desse estudo é verificar a eficiência de uma BFT a partir de dados teóricos de abastecimento de água em município de pequeno porte, com cálculo da potência gerada e o possível uso dessa potência.

OBJETIVO

Tendo em vista esse aproveitamento energético, esse estudo tem como objetivo determinar de forma teórica a potência gerada por uma bomba funcionando como turbina em locais onde há excedente de pressão, tomando por base dados de um sistema teórico de abastecimento de água de município de pequeno porte.

METODOLOGIA

Para a determinação da bomba é necessário conhecer alguns dados, como vazão e altura manométrica. Por se tratar de município teórico, apenas com populações conhecidas, deve ser estimada a população de alcance de projeto (para 20 anos, dada por P_f) e a partir dessa as vazões de demanda em pontos específicos do sistema, utilizando a equação 1.

$$Q = \frac{P_f \cdot q \cdot K_1 \cdot K_2}{86.400} + \Sigma Q_{gc} \quad \text{equação (1)}$$

Na qual q é o consumo per capita de água, K_1 e K_2 os coeficientes do dia e hora de maior consumo, respectivamente, e ΣQ_{gc} o somatório de vazões de grandes consumidores (também estimado nesse estudo).

Com essa vazão e altura manométrica (aquela do reservatório elevado dimensionado para atendimento dessa população) é possível determinar o tipo de bomba, a partir do método de Chapallaz *et al.* (1992).

Inicialmente deve ser lembrado que como o sentido do fluxo do fluido será invertido, para que as perdas sejam compensadas, a vazão e a altura da BFT deverão ser maiores que a da bomba funcionando como bomba (BFB). Para isso, altura e vazão da BFT terão acréscimos com coeficientes de altura e vazão, respectivamente, conforme as equações (2) e (3) a seguir.

$$H_b = \frac{H_t}{c_H} \quad \text{equação (2)}$$

$$Q_b = \frac{Q_t}{c_Q} \quad \text{equação (3)}$$

Nas quais H_b e Q_b referem-se às altura e vazão na bomba, H_t e Q_t , na turbina, e c_H e c_Q aos coeficientes de altura e vazão utilizados. Conhecendo H_t e Q_t , determina-se o tipo de bomba que será utilizada como turbina, a partir do ábaco da Figura 1, e a rotação específica n_{qt} a partir da equação (4).

$$n_{qt} = \frac{n_t \sqrt{Q_t}}{H_t^{3/4}} \quad \text{equação (4)}$$

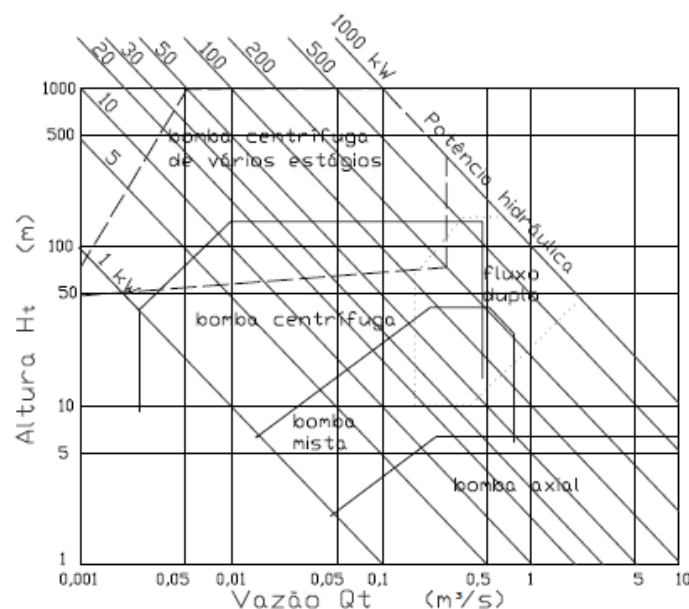


Figura 1 – Pré-seleção da BFT
Fonte: Chapallaz *et al.*, 1992.

Para conhecer o rendimento da bomba, é necessário o cálculo da rotação específica e da vazão da bomba. Estimativamente, são 0,89 e 1,3 vezes menores que a rotação específica e a vazão da BFT. Assim, o rendimento é dado pelo ábaco da Figura 2.

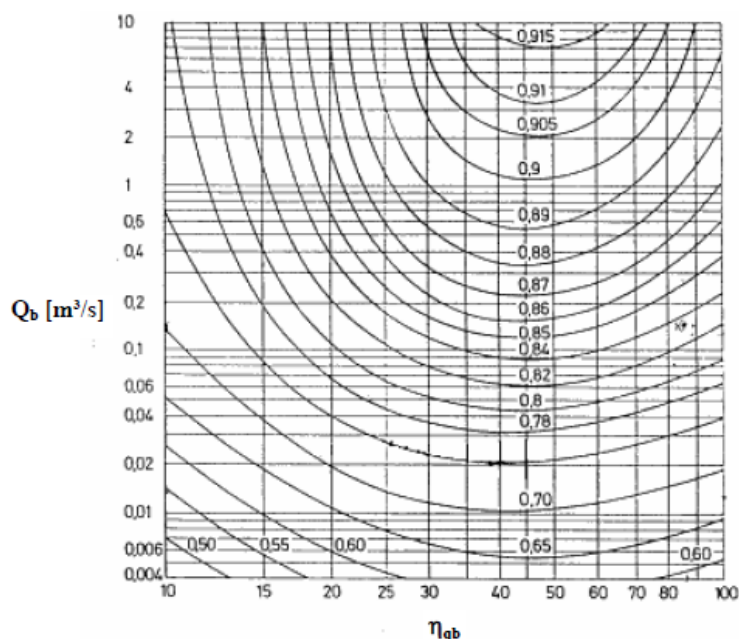


Figura 2 – Rendimento da bomba
Fonte: Chapallaz *et al.*, 1992.

O rendimento da bomba adotado a partir do ábaco da figura acima será o mesmo da BFT, e a partir desse é possível determinar os coeficientes de altura e vazão (Figura 3) para os cálculos da altura e vazão da BFT, voltando às equações 2 e 3 citadas anteriormente.

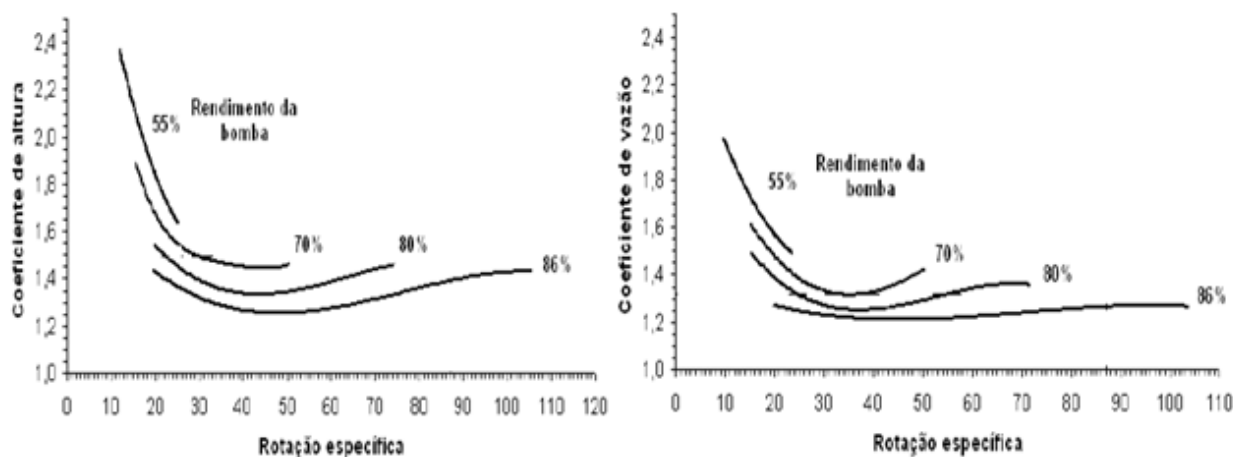


Figura 3 – Coeficiente de altura e de vazão BFT
Fonte: Chapallaz *et al.*, 1992.

O método descrito por Chapallaz *et al.* (1992) encerra-se aqui. No entanto, alguns autores comentam sobre a necessidade de correção da altura e vazão através de leis de semelhança, pela diferença existente entre a rotação da BFT e a rotação da BFB (velocidade síncrona). Conforme Porto (2006), a correção pode ser feita a partir das equações 5 e 6.

$$H_b = \left(\frac{n_b}{n_{0b}} \right)^2 \cdot H_{0b} \quad \text{equação (5)}$$

$$Q_b = \frac{n_b}{n_{0b}} \cdot Q_{0b} \quad \text{equação (6)}$$

Nas quais H_b e Q_b são a altura e vazão referentes às velocidades nominais da bomba (do catálogo do fabricante), n_b , a própria velocidade nominal da bomba (também do catálogo); H_{ob} e Q_{ob} , a altura e vazão referentes às velocidades síncronas, e n_{ob} , a velocidade da BFT.

Com a altura e a vazão da BFT já corrigidas escolhe-se entre os modelos dos fabricantes a que melhor se adequa à situação.

Por fim calcula-se a potência a partir da vazão (Q_t), altura (H_u), peso específico do fluido (γ_f) e rendimento da turbina (η_{tb}), considerando as perdas de energia no interior do equipamento através de fatores de correção (FERREIRA, 2015).

A equação 7 a seguir é a equação geral para o cálculo da potência.

$$P_u = (Q_t \cdot H_u \cdot \gamma_f) \cdot (\eta_{tb}) \quad \text{equação (7)}$$

O rendimento da turbina será o rendimento da bomba dado pelo fabricante (η_b) com um fator de correção CR que geralmente varia entre 0,92 e 0,99 (Oliveira, 2008), uma vez que o sentido contrário do fluxo faz com que a BFT tenha rendimento menor que o da BFB. Além disso, outros fatores de correção também são usados para reduzir esse rendimento de forma a se obter valores próximos aos reais de funcionamento. Esses fatores são dados por η_g e η_t e dizem respeito às relações entre potências de fluxo e de gerador. Assim, a equação 7 acima é convertida para a 8 para o cálculo da potência.

$$P_u = (Q_t \cdot H_u \cdot \gamma_f) \cdot (\eta_b \cdot C_R \cdot \eta_g \cdot \eta_t) \quad \text{equação (8)}$$

RESULTADOS

Embora teórico, já que não levaremos em consideração a topografia e distribuição de economias no local para elaboração da rede de distribuição, adotamos dados de população do município de Capitão Leônidas Marques/PR para cálculo da população de alcance e vazão. Conforme dados dos censos do IBGE, o município tem população inicial de 10.859 habitantes no ano de 2010; considerando, ainda, as populações dos anos de 1991, 1996, 2000, foi estimado crescimento populacional na forma geométrica, alcançando, em 2030, a população de 15.119 habitantes (Pf).

Considerando $q = 126,29$ L/hab.dia (SNIS, 2010), K1 e K2 iguais a 1,2 e 1,5 (valores usuais), respectivamente, e ΣQ_{gc} igual a 5 L/s (estimado), foi calculada a vazão Q através da equação 1, resultando em 44,78 L/s. Se considerarmos que metade da população é atendida por reservatório elevado e a outra metade por semi-enterrado, podemos usar nos próximos cálculos metade da vazão encontrada, igual a 22,39 L/s.

A altura que utilizaremos nas demais equações será de 15 m, considerando um ponto em que se faça necessária a utilização de uma VRP para redução de pressão na ordem de 15 m.c.a.

Com as equações 2 a 4 e as Figuras 1 a 3, obtiveram-se os valores da Tabela 1.

Tabela 1 – Resumo dos resultados encontrados

Dados/Características	Valores
Vazão (Q_t) – equação (1)	$0,022 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$
Tipo de Bomba – Figura 1	Centrífuga
Modelo da Bomba - catálogo	KSB Meganorm 125-080-200
Rotação da BFT (n_t) - catálogo	1750 rpm
Rendimento da bomba (n_b) - catálogo	77%
Rotação específica da BFT (n_{qt}) – equação (4)	34,36
Rotação específica da bomba (n_{qb})	38,60
Vazão da bomba (Q_b)	$0,017 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$
Rendimento máximo da bomba – Figura 2	73%
Coefficiente de altura e vazão – Figura 3	1,45 e 1,35
Altura da BFT (H_b) – equação (2)	10,35 m
Vazão da BFT (Q_b) – equação (3)	$0,0166 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$

Fonte: Autoria Própria, 2016.

Com os valores da tabela e admitindo outros para os fatores de correção mencionados ($CR = 0,955$; $\eta_g = 0,95$; $\eta_t = 0,97$), a potência calculada a partir da equação (8) foi igual a 2,23 KW. O valor se confirma quando utilizamos a Figura 2 mostrada anteriormente, a partir de vazão e altura, resultando em bomba centrífuga com potência entre 1 e 5 KW, e pouco acima de 1 KW. Além disso, em um ano, com funcionamento de 20 h/dia, a energia será 16,44 MW/ano.

CONCLUSÕES

Para determinação da potência gerada foi adotada uma situação hipotética de abastecimento de água de área por reservatório elevado, que poderia gerar excedente de pressão em determinados pontos da rede de alguma zona baixa (pela topografia do local). Esse excedente seria dissipado em forma de energia com a utilização de uma válvula redutora de pressão, que se faz necessária para evitar perdas de água por rompimento da tubulação pelo excesso de pressão. O emprego de uma mini central hidrelétrica com bomba funcionando como turbina eliminaria esse desperdício de energia, convertendo-a em potência hidráulica.

Essa potência poderia ser usada no próprio sistema, quando necessário bombeamento, como por exemplo na captação ou em pontos de transição entre zona baixa e alta da rede de abastecimento.

Em sistemas onde a captação ocorre por gravidade, o mesmo cálculo poderia ser feito para determinar a potência gerada nessa situação.

Outra forma de se obter resultados viáveis de geração de energia seria a partir da análise de uma rede existente, no ponto exato onde seria instalada a VRP, com vazão e diferença de pressão necessária para a redução.

As opções de aproveitamento energético em sistemas de abastecimento de água são variadas, exigindo estudos e testes, laboratoriais e em campo, a fim de determinar qual o ponto ótimo de aproveitamento: se na captação, se na saída de um reservatório elevado, se no ponto onde seria instalada a VRP ou em outro local em que há “sobra” de energia.

Para a análise da viabilidade econômica, além do valor de investimento (custo da bomba e da mini central hidrelétrica, custos de operação e manutenção, etc.), seria levado em conta o valor da tarifa de demanda e de

consumo, o alcance de projeto de 20 anos, as taxas de juros e de aumento de energia e o rendimento médio esperado (já citado anteriormente). Através do cálculo do valor presente líquido (VPL) e da taxa interna de retorno (TIR), além do tempo de retorno de capital (payback), seria possível verificar se o investimento é atrativo (se $TIR >$ taxa de juros) (GOMES, 2014).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Res. Normativa nº 482. Brasília, 2012.
2. CHAPALLAZ, J.; EICHENBERGER, P.; FISCHER, G. Manual on pumps used as turbines. Volume 11. Germany: Informatica International, 1992. 221 p.
3. FERREIRA, R. M. P. Aproveitamento de energia em sistemas de abastecimento de água. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Minho, 2015.
4. GOMES, A. S. In: Seminário gestão do uso da energia elétrica no saneamento: importância e dimensões do problema. Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento. Rio de Janeiro, 2013.
5. KSB Bombas. Folheto de Curvas Características – 60 Hz – Centrífugas – MegaCPK, Meganorm, Megabloc. Disponível em: <www.ksb.com.br>. Acesso em: 25 ago. 2016..
6. Lucid Energy. FAQ/Fast Facts - LucidPipe Power System. Disponível em: <<http://www.lucidenergy.com>>. Acesso em: 25 ago. 2016.
7. OLIVEIRA, A. F. M. Recuperação de energia hidráulica em sistemas de distribuição de água. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, 2008.
8. PÉREZ, A. M. E. A. Estudo ótimo da localização de válvulas redutoras de pressão em sistemas de distribuição de água considerando objetivos múltiplos. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2008.
9. PORTO, R. M. Hidráulica Básica. 4ª Edição. São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 2006. 519 p.
10. RICARDO, M. Estudo de grupos moto-bomba operando como grupos geradores em microcentrais hidrelétricas. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia da Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.
11. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). Ministério das Cidades. Diagnósticos dos Serviços de Água e Esgoto. Brasília, 2010.
12. TSUTIYA, M. T. Redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água. 1ª Edição. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001. 185 p.
13. VIANA, A. N. C. Comportamento de bombas centrífugas funcionando como turbinas hidráulicas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá, 1987.