

24º. Encontro Técnico AESABESP

GERAÇÃO DE ENERGIA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA COM CAPTAÇÃO POR GRAVIDADE

Gustavo Meirelles Lima⁽¹⁾

Mestre em Engenharia de Energia e graduado em Engenharia Hídrica, ambos pela Universidade Federal de Itajubá. Atua em projetos de eficiência energética (bombeamento, ar condicionado e projetos hidráulicos), geração de energia (micro geração e usinas hidrelétricas).

Artino Quintino da Silva Filho⁽²⁾

Mestre em Engenharia de Energia e graduado em Engenharia Elétrica, ambos pela Universidade Federal de Itajubá. Atua em projetos de eficiência energética (bombeamento, ar condicionado e iluminação), geração de energia (micro geração e usinas hidrelétricas).

Renato Swerts Carneiro Dias Junior⁽³⁾

Graduado em Engenharia Elétrica, pela Universidade Federal de Itajubá. Atua em projetos de eficiência energética (bombeamento, ar condicionado e iluminação), geração de energia (micro geração e usinas hidrelétricas).

Augusto Nelson Carvalho Viana⁽⁴⁾

Doutor pela Universidade de São Paulo (USP), mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) e graduado em Engenharia Mecânica pela UNIFEI. Professor da UNIFEI. Atua em projetos de eficiência energética (bombeamento, ar condicionado e projetos hidráulicos), geração de energia (micro geração, usinas hidrelétricas e geração com rotação variável).

Endereço: Av. BPS, 1303 - Campus José Rodrigues Seabra, Condomínio de Empresas, Sala 22, Bairro Pinheirinho - Itajubá - Minas Gerais - CEP: 37500-903 - Brasil - Tel: +55 (35) 36291625 - e-mail: gustavo@soesco.com.br.

RESUMO

O uso racional de energia ganha cada vez mais importância no cenário mundial, tanto pelo seu valor econômico quanto por seu valor ambiental. Muitos sistemas de abastecimento se beneficiam de sua topografia privilegiada, realizando a captação de água por gravidade, evitando os gastos com bombeamento. Neste caso não há gasto com energia elétrica, mas toda a energia potencial disponível é desperdiçada, sendo dissipada no tratamento, seja em válvulas redutoras de pressão ou em reservatórios. Como estes sistemas já possuem componentes básicos de uma central hidrelétrica, como câmara de carga e conduto forçado, facilita a implantação de uma microcentral. Entretanto, para que esta energia possa ser aproveitada de forma adequada, é necessário conhecer o funcionamento do sistema, evitando que o fornecimento de água não seja prejudicado. Este trabalho propõe uma metodologia para avaliar o potencial energético em sistemas de abastecimento de água que possuem captação por gravidade, além de um estudo de caso em um sistema de abastecimento. Também será feita uma análise econômica do investimento, comparando os custos de turbinas convencionais com bombas funcionando como turbinas (BFT), e também os custos de implantação de uma pequena central hidrelétrica com a microcentral do sistema de abastecimento.

PALAVRAS-CHAVE: Geração de energia, Bomba operando como turbina, eficiência energética

INTRODUÇÃO

A microgeração é feita por meio das chamadas energias renováveis e é de responsabilidade de operadores independentes ou de consumidores finais. As fontes de energia renováveis são consideradas fontes de energia inesgotáveis ou cujo potencial

energético pode ser renovado. Inclui-se nessa esfera: as energias solar, eólica, geotérmica, das ondas, das marés, as minicentrals hidrelétricas e o aproveitamento da biomassa (SOUSA, 2009). Nesse tipo de geração o consumidor desenvolve também o papel de produtor, sendo a produção efetuada no local de consumo, evitando perdas de energia durante o transporte e aumentando a confiabilidade no fornecimento de energia (MOREIRA, 2010).

Embora possua muitas vantagens, a microgeração também conta com algumas desvantagens e desafios de ordem técnica, regulamentar, econômica e informativa, que podem constituir barreiras à progressão da instalação de sistemas de microgeração.

As barreiras técnicas vão desde problemas a nível de integração na rede, a lacunas ao nível do planejamento e da carga burocrática associada ao processo de licenciamento. Frequentemente são apontados problemas associados a protocolos que permitam a integração das fontes de microgeração nos mercados de eletricidade, bem como ao nível da segurança e proteção (DUARTE, 2010).

A microgeração pode trazer benefícios às indústrias no que tange a redução de despesas com energia, principalmente quando a fonte de energia estiver sendo perdida no processo. Em sistemas de abastecimento de água esta perda é resultante da redução de pressão nas tubulações. Isto ocorre quando são utilizadas válvulas redutoras de pressão (VRP's), para proteção da rede, e também em locais onde a captação é feita por gravidade, no momento em que a água chega ao tratamento.

O custo dos equipamentos de geração, representados pelo conjunto turbina e gerador é uma desvantagem da microgeração, que pode inviabilizar o projeto. Uma forma de minimizar os gastos iniciais da microgeração seria a utilização de equipamentos de série, que possuem um custo reduzido. Esses equipamentos podem ser, por exemplo, uma bomba funcionando como turbina (BFT) e um motor de indução como gerador (MIG). De acordo com RICARDO (2007), O preço de um grupo gerador BFT/MIG é de 2 a 3 vezes inferior ao de grupos convencionais, o que representa um aumento significativo da viabilidade econômica de uma microcentral hidrelétrica. O investimento inicial na implantação de uma BFT em sistemas de abastecimento de água, é significativamente menor se comparado a pequenas centrais hidrelétricas pelo fato de parte da obra civil já estar pronta, como o conduto forçado.

A seleção da bomba para funcionar como turbina é feita com base nos dados de altura e vazão disponíveis no local. Entretanto, em sistemas de abastecimento de água o potencial disponível depende do consumo de água. Além disso, o aproveitamento não deve prejudicar o abastecimento, mantendo a quantidade e pressão necessárias para que toda a rede seja atendida. Desta forma é necessário conhecer a operação do sistema para definir qual o potencial que realmente pode ser utilizado. Neste trabalho é feito o estudo técnico e econômico do potencial disponível na captação de água bruta do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) da cidade de Cruzeiro – SP, considerando a utilização de bombas funcionando como turbina.

METODOLOGIA

Descrição do Local

A cidade de Cruzeiro está localizada na região leste do estado de São Paulo, próxima à serra da Mantiqueira, com uma população de 77.039 habitantes (IBGE, 2010). O sistema de abastecimento é composto por três sistemas de captação e tratamento em diferentes locais, como mostra a Fig. (1). O estudo foi realizado apenas no sistema 1, responsável por cerca de 60 % do abastecimento de água da cidade, com 13.966 ligações.

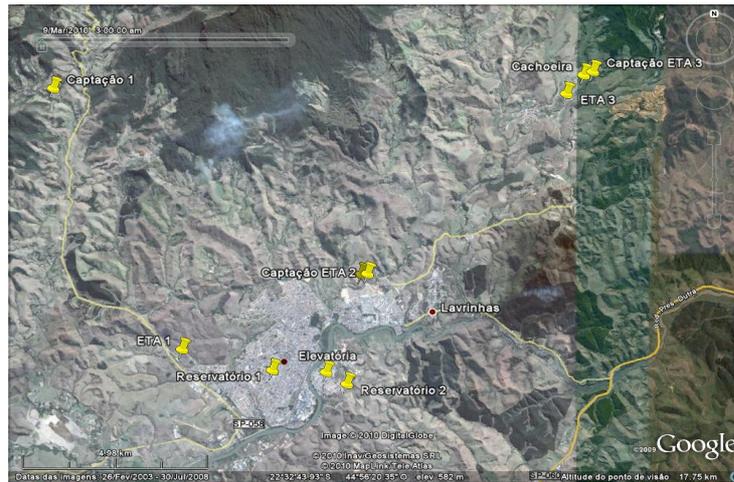


Figura 1 - Localização das captações, ETAs, reservatórios e estações elevatórias do SAAE Cruzeiro.

Neste sistema a captação é feita no rio Batedor, e é composta por uma barragem de concreto com comporta em sua margem esquerda, alimentando um canal de adução, que se divide em dois, alimentando uma ETA, utilizada apenas para decantação da água em situações onde há grande concentração de sedimentos, principalmente no período chuvoso, e também uma câmara de carga, de onde saem duas adutoras, uma de 10" e outra de 12", que abastecem a Estação de Tratamento de Água Avelino Júnior. Na chegada da ETA existe um pequeno reservatório para reduzir a pressão e mantê-la a um nível praticamente constante, em torno de 7 m. Logo em seguida a água bruta passa pelo processo de filtração e desinfecção. A água tratada é então armazenada em um reservatório, de onde saem 4 adutoras, responsáveis por alimentar alguns bairros próximos e outro reservatório, conhecido como a caixa d'água da cidade, de onde é feito o abastecimento por gravidade, além de fornecer água à estação elevatória de Itagaçaba, que por sua vez alimenta o reservatório Bela Vista. A Fig. (2) apresenta um esquema deste sistema e o local onde será estudada a implantação da microcentral, logo na chegada das adutoras de água bruta na ETA Avelino Júnior.

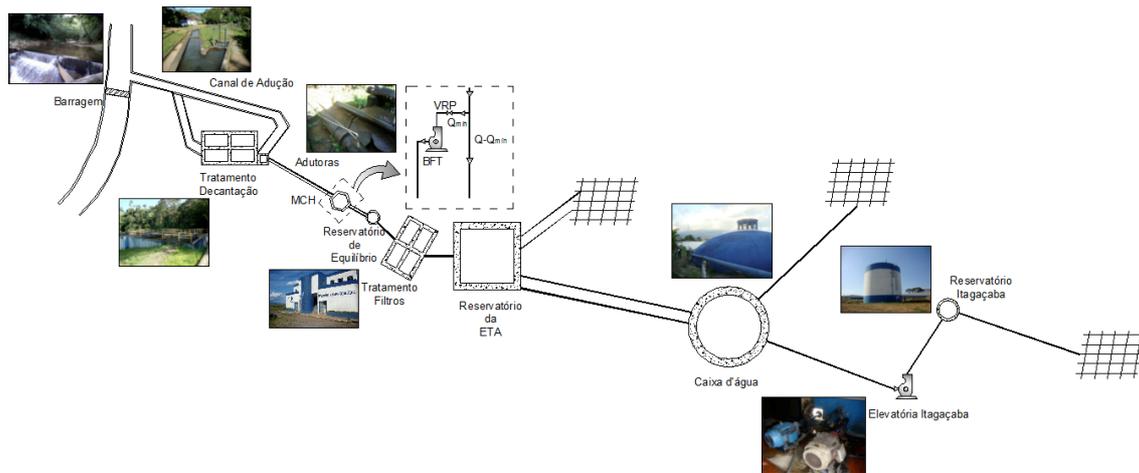


Figura 2 - Esquema do sistema de abastecimento de água e localização da MCH.

Avaliação do Potencial Energético

Determinação da Vazão de Projeto

Para definir qual a vazão de projeto é necessário conhecer as variações da vazão aduzida. Como o SAAE não possui nenhum tipo de macromedidor neste local, optou-se por utilizar um medidor de vazão ultrassônico da marca Thermo Polysonics (Fig. 3). A utilização deste equipamento foi feita devido à sua facilidade de instalação, que é feita externamente, e por sua confiabilidade. A instalação foi feita logo na entrada da ETA Avelino Júnior, logo após o tanque de estabilização. Os dados coletados foram armazenados em um datalogger da marca Contemp, com taxa de aquisição de 1 minuto, durante uma semana. Para que a vazão seja determinada com maior precisão recomenda-se que os dados coletados se estendam por um período de um ano. Caso não seja possível, pode-se utilizar os dados do período de menor consumo, que ocorre normalmente no inverno. Assim, com os dados coletados é possível criar uma curva de permanência de vazões aduzidas, definindo a vazão de projeto como aquela que ocorre 100 % do tempo. Desta forma o grupo gerador, que deve ser instalado em um by-pass, irá trabalhar sempre com vazão constante, enquanto que o restante da vazão necessária é controlada na tubulação principal.



Figura 3 - Medidor de vazão ultrassom e sistema de aquisição de dados em Cruzeiro.

Determinação da Altura de Queda Líquida

Como não foi possível realizar a medida de pressão na chegada das adutoras na ETA, optou-se por obter a medida de pressão neste ponto através da diferença entre a queda bruta e as perdas de carga ao longo das duas adutoras. A queda bruta, bem como o perfil e o comprimento das adutoras foram obtidos através do DGPS (Differential Global Positioning System – Sistema de Posicionamento Global Diferencial) ProMark 3, apresentado na Fig. (4). A Fig. (5) apresenta os perfis transversal e longitudinal da adutora, e as cotas da tomada d'água na captação e da casa de máquinas na ETA.



Figura 4 - Instalação do DGPS base e móvel.

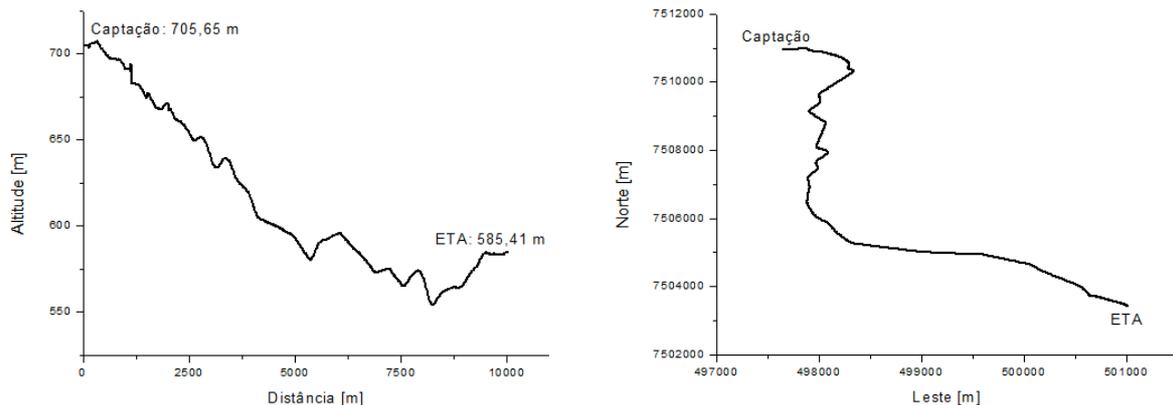


Figura 5 - Perfis transversal e longitudinal das adutoras.

Conhecendo o comprimento da tubulação, seu diâmetro e seu material, determinou-se a perda de carga para cada ponto da série de vazões obtida através das Eqs. (1) e (2) (PORTO, 2006). As perdas de carga localizadas não foram consideradas, pois, segundo AZEVEDO NETTO (1998), quando o comprimento da adutora for superior a 4.000 vezes seu diâmetro estas são desprezíveis em relação a perda distribuída.

$$\Delta H = f \cdot \frac{L_{eq}}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad \text{equação (1)}$$

onde:

- ΔH - perda de carga [m];
- f - fator de atrito da tubulação [1];
- L_{eq} - comprimento equivalente da tubulação [m];
- D - diâmetro da tubulação [m];
- v - velocidade do escoamento [m/s];
- g - aceleração da gravidade [m/s²].

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3,7 \cdot D} + \frac{5,74}{Rey^{0,9}} \right) \right]^2} \quad \text{equação (2)}$$

onde:

f – fator de atrito da tubulação [1];
 ε – rugosidade absoluta [m];
 D – diâmetro da tubulação [m];
 Rey – número de Reynolds [1].

Assim como para a vazão, a altura de queda líquida de projeto deverá ser a mínima observada. Desta forma é possível instalar uma VRP na entrada do by-pass, regularizando a pressão de entrada da BFT.

Definição da Carga a ser Atendida

Para avaliar a economia no consumo de energia elétrica é necessário conhecer qual a carga a ser abastecida e qual a sua demanda. Como a demanda da ETA é muito baixa, optou-se por monitorar o consumo de toda a unidade. Para isto foi instalado um medidor de grandezas elétricas no quadro de comando (Fig. 6).



Figura 6 - Instalação do medidor de grandezas elétricas para monitoramento da demanda na ETA.

Entretanto, como o potencial é muito superior à demanda, o estudo foi dividido em duas etapas: a primeira delas considerando que a energia gerada será utilizada apenas para consumo próprio, utilizando apenas uma das tubulações, enquanto que no segundo caso o excedente será comercializado com a concessionária de energia, gerando energia nas duas adutoras. Portanto, para o caso em que a energia será comercializada utilizou-se o valor de 87,00 R\$/MWh (OLIVEIRA et al, 2011), enquanto que para os casos de consumo próprio a tarifa será aquela praticada pela concessionária, já que o gasto com energia será evitado. A Tab. (1) apresenta os valores de tarifa adotados para realizar a análise econômica.

Tabela 1 - Tarifas utilizadas para realizar a análise econômica.

Local	Tarifa [R\$/kWh]
Cruzeiro – Caso 1	0,32308*
Cruzeiro – Caso 2	0,087**

* tarifa convencional baixa tensão

** OLIVEIRA et al (2011)

Seleção do Grupo Gerador

Para o caso de pequenos aproveitamentos, o uso de bombas funcionando como turbina e motores de indução como gerador, é altamente recomendado. Segundo RICARDO (2007) este grupo chega a ser 3 vezes menor que um grupo convencional. Além disso, sua manutenção é mais simples e há maior facilidade para obter peças de reposição.

A seleção da BFT é feita com base nos dados de vazão e altura do aproveitamento. Entretanto os catálogos dos fabricantes não disponibilizam as curvas da operação como turbina. Para solucionar este problema foram criados diferentes métodos de seleção de BFT a partir dos dados disponíveis de sua operação como bomba. MCCLASKEY (1967) propôs que a altura e vazão da BFT deve ser igual à relação da vazão e da altura operando como bomba com seu rendimento. Já YEDIDIAH (1983) utiliza dados da geometria da bomba para avaliar seu comportamento como turbina. Porém, os métodos mais práticos e com melhores resultados são aqueles baseados na rotação específica, onde considera-se que bombas de mesma rotação específica irão proporcionar condições de vazão e altura similares quando operam como turbina. Dentre os métodos baseados na rotação específica, destaca-se o de CHAPALLAZ et al (1992), devido ao grande número de testes realizados e a diversidade de bombas estudadas. Primeiramente é necessário calcular a rotação específica da BFT através da Eq. (3).

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

onde:

n – rotação da BFT [rpm];
 H_t – altura de queda líquida [m];
 Q_t – vazão [m³/s].

CHAPALLAZ et al (1992) mostrou que a relação da rotação específica da operação como turbina com a da bomba é praticamente constante. Portanto, a rotação específica da bomba que irá operar como turbina, pode ser calculada através da Eq. (4).

$$n_{qb} = \frac{n_{qt}}{0,89} \quad \text{equação (4)}$$

É necessário também estimar a vazão da bomba que irá operar como turbina por meio da Eq. (5). Assim, determina-se seu máximo rendimento através da Eq. (7)

$$Q_b = \frac{Q_t}{1,3} \quad \text{equação (5)}$$

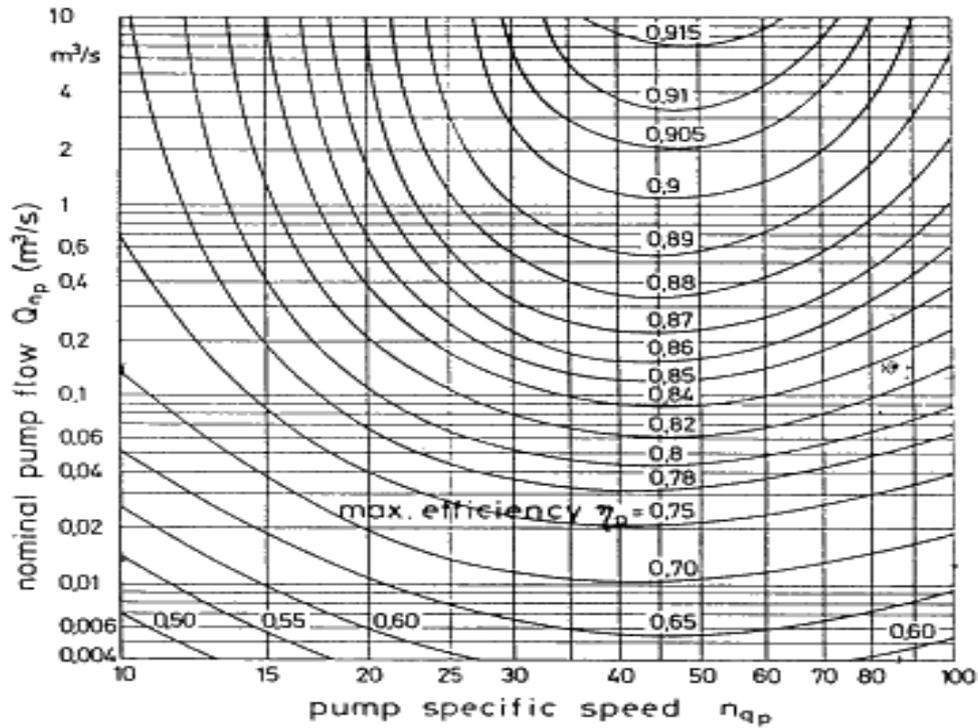


Figura 7 - Eficiência da bomba (Fonte: CHAPALLAZ et al, 1992)

Conhecendo os valores da rotação específica da bomba e seu rendimento máximo determinam-se os coeficientes de altura e vazão através da Fig. (8). Com isto calcula-se o ponto de operação da BFT como bomba através das Eqs. (6) e (7).

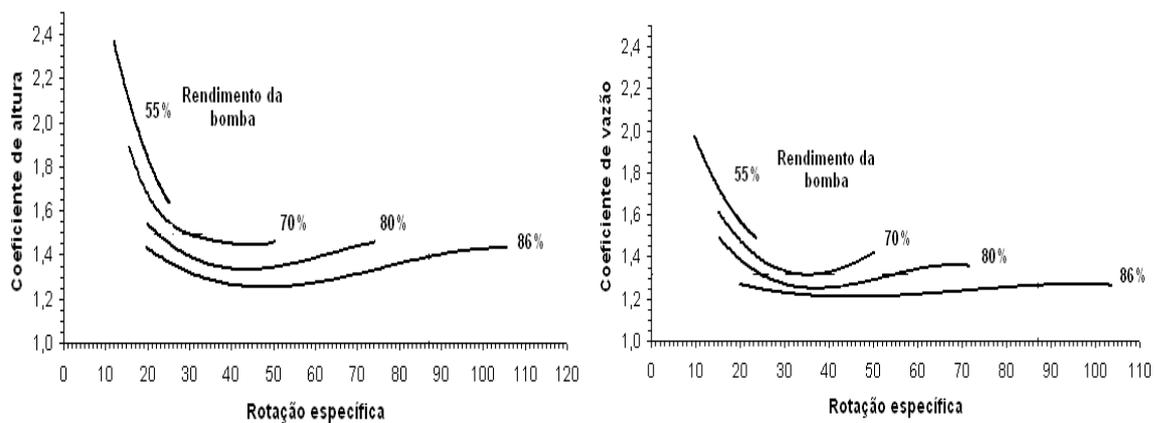


Figura 8 - Coeficientes de vazão e altura (Fonte: CHAPALLAZ et al, 1992)

$$H_b = \frac{H_t}{c_H} \quad \text{equação (6)}$$

$$Q_b = \frac{Q_t}{c_Q} \quad \text{equação (7)}$$

onde:

c_H - coeficiente de altura [1];

H_t - altura da BFT [m];

H_b - altura da BFB [m];

c_Q - coeficiente de vazão [1];
 Q_t - vazão da BFT [m^3/s];
 Q_b - vazão da BFB [m^3/s].

Entretanto, os catálogos dos fabricantes não levam em consideração as rotações de 1800 e 3600 rpm, velocidades síncronas dos motores de indução, pois as bombas operam abaixo destas, em função da velocidade dos motores assíncronos. Estas rotações situam-se em torno de 1750 e 3500 rpm. Portanto é necessário utilizar as leis de semelhança (PORTO, 2006) para corrigir a rotação para a nominal das bombas e assim selecionar nos catálogos dos fabricantes aquela que oferecer o maior rendimento.

$$H_{Ob} = \left(\frac{n_{Ob}}{n_b}\right)^2 \cdot H_b \quad \text{equação (8)}$$

$$Q_{Ob} = \frac{n_{Ob}}{n_b} \cdot Q_b \quad \text{equação (9)}$$

onde:

H_{Ob} [m] - altura referente à velocidade nominal da bomba encontrada no catálogo do fabricante;

n_{Ob} [rpm] - velocidade nominal da bomba encontrada no catálogo do fabricante;

n_b [rpm] - velocidade da BFT;

H_b [m] - altura referente às velocidades síncronas;

Q_{Ob} [m^3/s] - vazão referente à velocidade nominal da bomba encontrada no catálogo do fabricante;

Q_b [m^3/s] - vazão referente às velocidades síncronas.

RESULTADOS

Os dados de vazão foram coletados durante o período de inverno, entre os dias 22 e 29 de junho de 2011. A Fig. (9) apresenta a curva de permanência de vazões aduzidas. Como pode ser observado não há grande variação da vazão aduzida. O valor máximo observado foi de 726,22 m^3/h , enquanto que a mínima foi de 648,59, uma diferença de 11,26 %, o que faz com que a curva tenha uma queda pouco acentuada. Assim, obtém-se uma vazão de projeto de 282 m^3/h e altura de queda líquida de 33 m para a tubulação de 10" e 367 m^3/h e 61 m para a tubulação de 12".

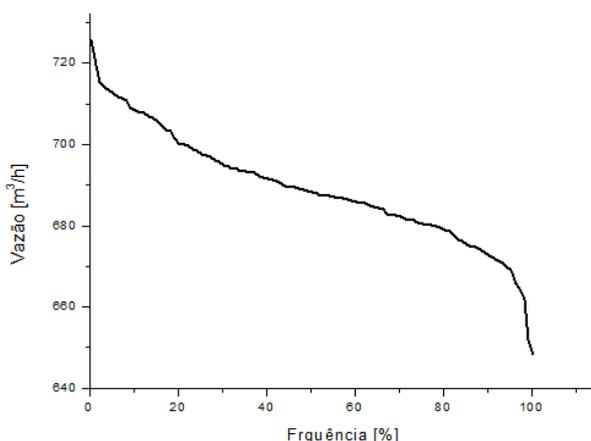


Figura 9 - Curva de permanência de vazões aduzidas.

Com estes dados de projeto e utilizando o método de Chapallaz, selecionou-se a BFT, como mostra a Tab. (2).

Tabela 2 – Resultados obtidos para a seleção das BFTs em Cruzeiro

Tubulação de 10"		Tubulação de 12"	
H_t [m]	33,00	H_t [m]	61,00
Q_t [m ³ /s]	0,08	Q_t [m ³ /s]	0,10
Tipo	Centrífuga	Tipo	Centrífuga
n_{gg} [rpm]	1800	n_{gg} [rpm]	3600
n_b [rpm]	1750	n_b [rpm]	3500
n_{qt}	36,59	n_{qt}	52,66
n_{qb}	41,11	n_{qb}	59,17
Estimativa Q_b [m ³ /s]	0,06	Estimativa Q_b [m ³ /s]	0,08
η_b [%]	82,20	η_b [%]	84,00
C_H	1,304	C_H	1,318
C_Q	1,224	C_Q	1,265
H_b [m]	25,30	H_b [m]	46,29
Q_b [m ³ /s]	0,06	Q_b [m ³ /s]	0,08
H_b corrigido [m]	23,91	H_b corrigido [m]	43,76
Q_b corrigido [m ³ /h]	223,94	Q_b corrigido [m ³ /h]	281,98

Em seguida deve ser avaliada a carga que será atendida. A Fig. (10) apresenta a demanda média da ETA ao longo de um dia. Percebe-se um aumento na demanda a partir das 18:00 h até às 5:00 h, devido à iluminação da ETA. Além disso, nota-se que com apenas uma das BFTs é possível sustentar toda a demanda da ETA, que durante todo o período de medição atingiu um valor máximo de 14,9 kW.

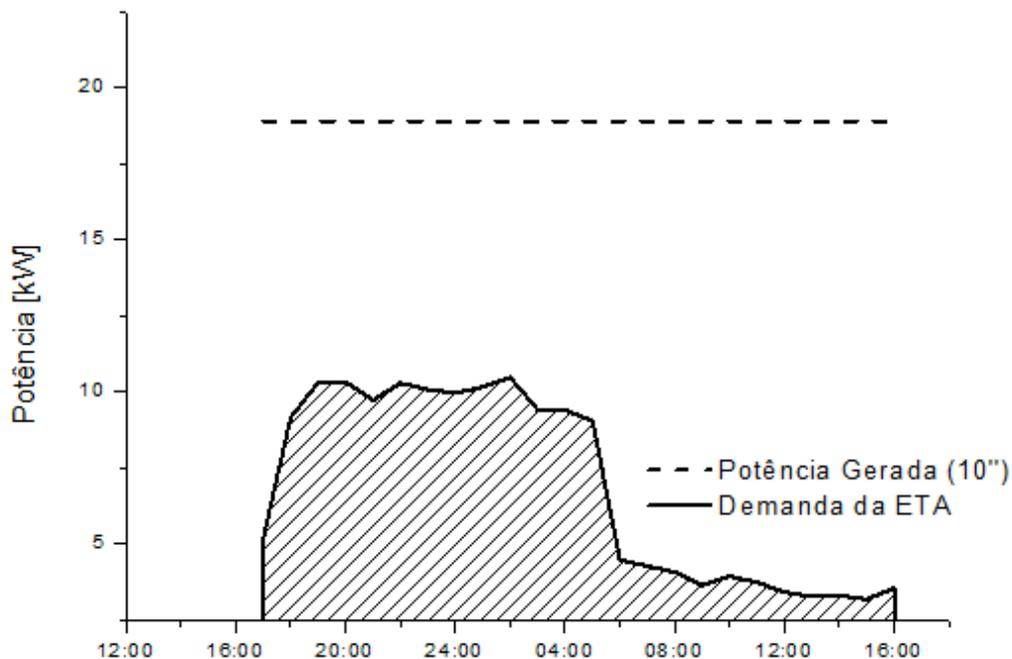


Figura 10. Curva de demanda da ETA de Cruzeiro.

Para avaliar a economia proveniente da microcentral calculou-se a energia economizada diariamente, que corresponde a área abaixo da curva de demanda (Fig. 10). Como a energia gerada pela microcentral será constante, num valor de 18,9 kW para a tubulação de 10", a área entre a curva de demanda e a curva de potência gerada corresponde a energia que será vendida a concessionária. No caso da tubulação de 12", que irá gerar 46,1 kW, toda a energia gerada será comercializada. Para finalizar a análise devem ser levantados os custos do grupo gerador, das obras necessárias, do quadro de proteção e também de operação e manutenção, apresentados na Tab. (3).

Tabela 3 - Investimentos necessários para implantação da microcentral.

BFT	10.941
MIG	14.200
Obras	21.796,00
Quadro de Proteção	32.100
Operação e manutenção (anual)	7.903

A Tab. (4) apresenta os resultados obtidos na análise econômica. Percebe-se que tanto o payback quanto a TIR indicam grande atratividade para o investimento. Além disso, o custo do kW instalado está bem abaixo do estimado para PCHs, que é de R\$5.000,00 (TIAGO FILHO, 2008). Isto ocorre devido à existência de alguns componentes necessários à uma usina, como câmara de carga e conduto forçado.

Tabela 4 - Resultados da análise econômica de Cruzeiro.

	Caso 1	Caso 2
Investimento Inicial [R\$]	36.895	79.037
Economia Anual [R\$]	19.382	63.708
TIR [%]	42,5	70,6
Payback [anos]	2,92	1,64
Custo Específico [R\$/kW]	2.476	1.216

CONCLUSÕES

O potencial energético em sistemas de abastecimento de água está presente em diferentes pontos do sistema, como captações de água bruta, distribuição entre reservatórios e até mesmo diretamente na rede de distribuição, em válvulas redutoras de pressão. Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2010), o Brasil possui aproximadamente 660 prestadores de serviços de água, sendo que em muitos deles existe um potencial energético. Para que estes aproveitamentos possam ser viáveis técnica e economicamente é necessário desenvolver uma metodologia para que se possa avaliar o potencial. Neste trabalho foi proposta uma metodologia para avaliar sistemas que captam água por gravidade utilizando bombas funcionando como turbina. Neste caso foi necessário adotar a altura de queda líquida e vazão mínimas observadas para definir o potencial. Assim, instalando-se a BFT em um by-pass com uma VRP em sua entrada é possível manter sua operação constante. Esta alternativa, além de viabilizar o uso da BFT, que apresenta um custo menor quando comparada à turbinas convencionais, permite que a carga seja atendida de maneira mais confiável. O trabalho também mostrou a

grande atratividade do investimento, já que alguns componentes de uma microcentral já existem no local, como a câmara de carga e principalmente o conduto forçado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Eletrobrás/Procel e ao SAAE Cruzeiro pelo apoio para a realização dos estudos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SOUSA, R. M. A. Impacto da Microgeração na Qualidade de Energia de uma Rede de Baixa Tensão. 87 p. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores- Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal, 2009.
2. MOREIRA, R. I. P. Avaliação do Potencial Eólico em Regime de Microgeração. 131 p. Dissertação realizada no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores Major Energia – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2010.
3. DUARTE, T. A. F. A Microgeração e o Poder Local. 50p. Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Economia Local- Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra, Portugal, 2010.
4. RICARDO, M. Estudo de Grupos Moto-Bomba Operando como Grupos Geradores em Microcentrais Hidrelétricas. 240 p. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia da Energia)- Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.
5. YEDIDIAH, S. – “Application of Centrifugal Pumps for Power Recovery Purposes Characteristics of PATs”. Worthington Division Mc. Graw-Edison Company, 1983.
6. CHAPALLAZ, J. M.; EICHENBERGER, P.; FISCHER, G.; - “Manual on Pumps Used as Turbines”. MHPG Series; Vol. 11; Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH; Germany, 1992.
7. OLIVEIRA, K.C.F.; et. al. – “Estudo do Aproveitamento do Potencial Residual no Trecho Seco da Usina Hidrelétrica de Belo Monte, Volta Grande do Rio Xingu”. IX Conferência de PCH: Mercado e Meio Ambiente, São Paulo, 2011.
8. TIAGO FILHO, G. L. – “Oportunidades em PCH – Desafios de Mercado e tecnológico”. VI Conferência de PCH: Mercado e Meio Ambiente, São Paulo, 2008.
9. RICARDO, M. – “Estudo de Grupos Moto-Bomba Operando como Grupos Geradores em Microcentrais Hidrelétricas”. 240 p. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia da Energia)- Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.
10. MCCLASKEY, J. A. – “Can you justify hydraulic turbines?”. Hydrocarbon Processing, 1976.
11. PORTO, R. M. – “Hidráulica Básica”. 4ª ed. São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo 519 p. 2006.
12. AZEVEDO NETTO, J. M. et al. - “Manual de Hidráulica”, 8a Ed., Editora Edgard Blucher, 670 p., 1998.
13. SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos - 2007. Brasília, DF, 2010.