

XI-025 - ANÁLISE DO POTENCIAL HIDRÁULICO DE UM PONTO DE ELEVADA PRESSÃO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA COM VISTAS AO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO PARA MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Alexandre Kunkel da Costa ⁽¹⁾

Doutorando em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Engenheiro Eletricista pela Universidade Regional do Noroeste do Estado do RS (Unijuí). Engenheiro Eletricista da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN).

Giuliano Crauss Daronco ⁽²⁾

Pós-Doutor em Engenharia pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Doutor em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) com ênfase em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) com ênfase em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos. Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Engenheiro Civil da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN).

Jailton Jair Jablonski ⁽³⁾

Engenheiro Mecânico pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Salgado Filho, 570 – B. Aliança – Santo Ângelo - RS - CEP: 98.803-010 - Brasil - Tel: (55) 99908-2616 - e-mail: alexandre.kunkel@gmail.com

RESUMO

A energia disponível em fluídos tem grande influência no desenvolvimento da humanidade, principalmente para a geração de energia elétrica. A busca por novas formas de obter essa energia em detrimento de questões técnicas e ambientais estão ganhando maior atenção da sociedade e novas linhas de pesquisa. Os pontos de elevada pressão encontrados nas redes de distribuição de água, causados principalmente pela topografia do terreno, podem ser enquadrados como um possível potencial hidráulico. Desta forma, além do benefício do controle de pressão na rede de água, a energia obtida pode ser empregada em um sistema de microgeração distribuída (GD). Por outro lado, as bombas funcionando como turbina (BFT) surgem como alternativas para realizar esse aproveitamento hidráulico, tendo em vista tanto benefícios técnicos e econômicos quanto de disponibilidade junto às companhias de saneamento. Assim, o objetivo deste trabalho é realizar a análise do potencial hidráulico em um ponto de elevada pressão uma rede de distribuição de água, localizada no município de Santo Ângelo - RS, com vistas ao aproveitamento energético para GD. Para isso, foi empregado um método de dimensionamento de uma BFT, a fim de verificar a disponibilidade da potência mecânica no eixo, para posterior conversão em energia elétrica. Através deste estudo foi possível obter as características operacionais de um sistema para estabelecer o princípio de viabilidade técnica. Por fim, evidenciam-se diversos benefícios atrelados a este aproveitamento energético, tais como: controle de pressão da rede de distribuição de água e redução de custos operacionais relacionados à energia elétrica e à manutenção do sistema.

PALAVRAS-CHAVE: Bomba Funcionando como Turbina, Microgeração Distribuída, Controle de Pressão.

INTRODUÇÃO

O conhecimento sobre a energia disponível em fluidos é, desde o início, um dos fatores de importância para o desenvolvimento da humanidade, principalmente no que tange ao aproveitamento hidráulico para a geração de energia. Os estudos voltados a utilizar diferentes formas de gerar energia, em virtude de questões técnicas, econômicas e ambientais, estão recebendo maior atenção. Uma das alternativas para viabilizar essas iniciativas é a microgeração distribuída (GD), isto é, sistemas geração de energia elétrica de pequeno porte advinda do próprio consumidor, os quais são conectados diretamente à rede elétrica da distribuidora. Este tipo de ligação foi regulamentado pelas Resoluções Normativas nº 687 e nº 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2015), cujo conceito de geração é atrelado à compensação de energia consumida – também

conhecida como *net metering*. Desta forma, os benefícios econômicos da GD podem ter um aumento significativo, sobretudo quando o aproveitamento é dado por uma energia desperdiçada de um processo.

Um dos processos em que parte de energia convencionalmente não é aproveitada, é o controle de pressão em sistemas de abastecimento de água. Isso ocorre pois se faz necessária a redução para que fique em acordo com a pressão de operação, permitindo que o sistema trabalhe com segurança, reduzindo as perdas físicas, as interrupções no abastecimento e a necessidade de efetuar manutenções no sistema. A distribuição do sistema pode definir áreas de elevada pressão, onde um método utilizado para o controle desta são as válvulas redutoras de pressão (VRP). As VRP têm como função causar uma perda de carga localizada no sistema, porém toda energia dissipada nesse processo é perdida.

O custo para a implantação de um sistema de aproveitamento dessa energia é reduzido, tendo em vista que já existem no local alguns componentes necessários, tais como sistemas de controle, tubulações e válvulas. No entanto, como a potência nesses locais é relativamente baixa, o custo de implantação de um sistema utilizando uma turbina pode tornar o projeto inviável economicamente, pois os fabricantes de turbinas nacionais são poucos e essas, na maioria dos casos, são fabricadas individualmente de acordo com a necessidade do projeto, o que aumenta ainda mais o custo. Uma opção para reduzir esse custo e tornar o projeto viável economicamente é utilizar Bomba Funcionando como Turbina (BFT). Essas bombas são facilmente encontradas comercialmente e com menor custo quando comparada às turbinas.

Ramos, et al. (2009) demonstram a similaridade de comportamento entre VRP e BFT, possibilitado a utilização de BFT para solução do problema de alta pressão na rede. No entanto, Marchis e Freni (2015) apresentam que em períodos de baixo consumo a BFT não conseguiu gerar a perda de carga necessária na rede para manter a pressão dentro do padrão desejado. Países como Estados Unidos, Alemanha e França vêm substituindo as turbinas, tanto *Pelton*, *Hélice* e *Francis*, por bombas hidráulicas funcionando em reverso, para a geração de energia em pequenos aproveitamentos hidráulicos. Isso se dá devido a um bom funcionamento das BFT e o baixo custo de implantação, quando comparadas as turbinas de igual potência.

O desenvolvimento desse trabalho contou com o apoio e a participação da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN).

OBJETIVO

O artigo tem como objetivo determinar um dispositivo que cause uma perda de carga localizada na rede de distribuição de água, fazendo o controle de pressão necessário da mesma, porém reaproveitando essa energia gerada pelo potencial hidráulico para um sistema de GD.

A rede de água analisada por esse trabalho pertence à CORSAN, localizada na unidade de saneamento do município de Santo Ângelo. Esta possui um ponto que, devido a sua topografia, gera uma alta pressão, tendo a necessidade de um controle para estabilizar a mesma. Com a perda de carga localizada, considerando a instalação de uma BFT ligada em série na rede, a pressão é reduzida, ficando em acordo com a pressão de operação, e com isso a energia que seria dissipada ao meio em forma de calor, por um VRP, é aproveitada na forma de trabalho.

Com os dados obtidos no ponto de elevada pressão aplica-se os devidos cálculos do método de Viana (1987, 2012), que faz o uso de coeficientes obtidos experimentalmente pelo mesmo, e atualizados por Nogueira (1990) e Ricardo (2007), o qual fundamenta-se pela determinação da altura e vazão de bombas comerciais para atuar em modo reverso.

METODOLOGIA

A metodologia apresentada aborda tópicos de realização da parte dimensional do presente trabalho, com intuito de obter especificações para seleção da bomba comercial que irá operar como turbina no sistema de abastecimento de água. Essas etapas estão ilustradas na Figura 1.

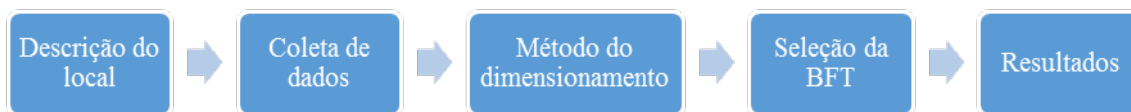


Figura 1: Metodologia aplicada para seleção da BFT

Fonte: autoria própria

PRIMEIRA ETAPA: DESCRIÇÃO DO LOCAL

A rede de distribuição onde será realizado o estudo pertence à CORSAN, localizada na unidade de saneamento do município de Santo Ângelo – RS.

Devido à variação do relevo onde a rede está distribuída, formam-se pontos de elevada pressão na mesma, necessitando que esta seja controlada. Um dos pontos onde ocorre esse problema está localizado Bairro Haller, assim necessitando a instalação de um sistema de controle, de acordo com os dados da companhia, em um ponto entre a Rua Papa João XIII e a Rodovia Ângelo Dala Picola, neste ponto encontra-se também o sistema de monitoramento de pressão da companhia.

SEGUNDA ETAPA: COLETA DE DADOS

Para o dimensionamento do sistema faz-se necessária a coleta de dados da rede, esses são obtidos através do projeto da mesma, onde é identificado as especificações da tubulação presente no local.

Os dados de pressão são adquiridos através de um relatório gerado pelo sistema supervisorio que monitora a rede e os pontos de pressão elevada. A amostragem de medições é realizada a cada 2 minutos, com o uso de um transdutor de pressão com corrente de saída variando de 4 a 20 mA. Este transdutor foi escolhido em virtude de questões técnicas, principalmente relacionadas à robustez aos ruídos elétricos e a distâncias de transmissão das informações.

A Figura 2 (a) e (b) demonstra um exemplo dos dados de pressão instantânea e durante um período de 24h, respectivamente, do local a ser realizado o estudo.

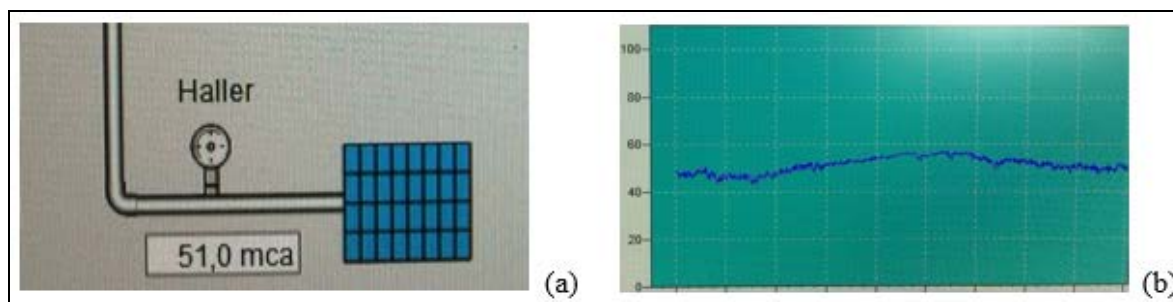


Figura 2: (a) Leitura de pressão instantânea (b) Gráfico diário de pressões para o período

Fonte: autoria própria

Os dados são oriundos de um relatório operacional emitidos através do Centro de Controle Operacional (CCO) da CORSAN. É possível verificar tanto a pressão instantânea no ponto de amostragem (51 m.c.a.), quanto a variação de pressão obtida ao longo de um dia – equivalente a 45m.c.a. a 58 m.c.a., aproximadamente).

Já os dados de vazão são obtidos por meio de um macromedidor eletromagnético instalado no ponto de estudo, o qual efetua a leitura da vazão. O software do CCO também é a ferramenta utilizada para gerar o relatório dos dados mensurados.

TERCEIRA ETAPA: MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO

O método desenvolvido por Viana (1987) consiste na determinação de altura e vazão de bombas comerciais para operar em reverso, com o uso de coeficientes experimentais obtidos pelo mesmo, relacionados à rotação específica η_{qA} da BFT. Este método pode ser aplicado para η_{qA} entre 40 e 200. A Figura 3 apresenta os coeficientes obtidos experimentalmente e atualizados utilizando cerca de 50 bombas, nos trabalhos de Nogueira (1990) e Ricardo (2007).

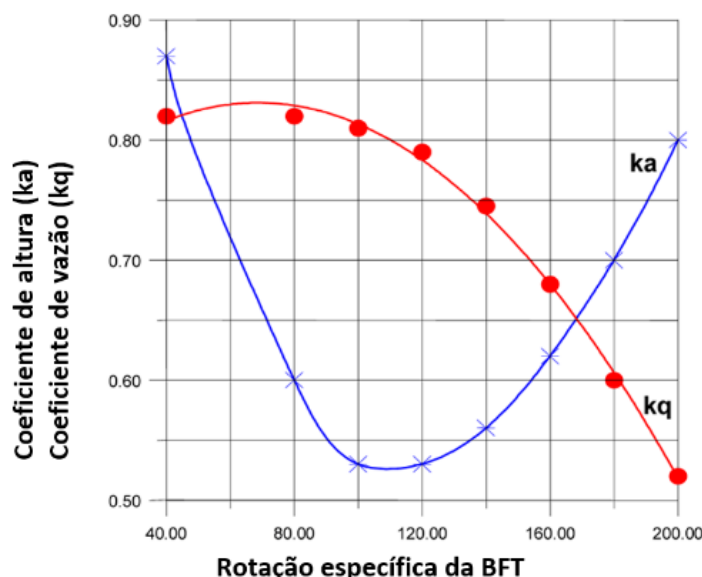


Figura 3: Coeficientes de altura e vazão versus rotação específica da bomba

Fonte: Viana (2012)

Com os dados de vazão de projeto Q e a altura de queda líquida H , dada pela perda de carga necessária na rede para controlar a pressão, calcula-se o n_{qA} utilizando a equação (1), assumindo inicialmente a rotação n como 3600 rpm, adota-se esse valor por questões econômicas, pois quanto maior a rotação menor é o custo do grupo gerador elétrico.

$$n_{qA} = \frac{10^3 \cdot n \cdot \sqrt{Q}}{(H \cdot g)} \quad \text{Equação (1)}$$

onde n_{qA} é a rotação específica, n a rotação da BFT em rps, Q a vazão em m^3/s , H a altura de perda de carga em metros e g a aceleração da velocidade em m/s^2 .

Caso a rotação específica n_{qA} não se encontre dentro da faixa entre 40 e 200, recalcula-se utilizando a rotação n como 1800 rpm. Se ainda assim a rotação não se enquadrar dentro da faixa de 40 a 200, então o método de dimensionamento não pode ser aplicado para tal aproveitamento.

A partir do valor encontrado para n_{qA} determina-se na Figura 3 os coeficientes de altura K_a e vazão K_q , de posse desses, utilizam-se as equações (2) e (3) para determinar a altura e vazão da bomba para operar como turbina.

$$H_b = K_a \cdot H \quad \text{Equação (2)}$$

$$Q_b = K_q \cdot Q \quad \text{Equação (3)}$$

Devido ao fator de escorregamento do motor as bombas operam com rotações menores que 1800 rpm e 3600 rpm, por esse motivo faz-se necessária a correção da altura e vazão encontradas, para a rotação nominal da bomba. Para isso, faz-se o uso das equações (4) e (5) de afinidade.

$$H_{bc} = \left(\frac{n_{nb}}{n} \right)^2 \cdot H_b$$

Equação (4)

$$Q_{bc} = \frac{n_{nb}}{n_{nt}} \cdot Q_b$$

Equação (5)

Para evitar os efeitos de cavitação é necessário determinar a altura máxima de sucção da BFT, para isso será utilizada a equação (6).

$$H_s = 10 - 0,00122 \cdot A - \sigma \cdot Ht$$

Equação (6)

Segundo Viana (1987) o coeficiente de cavitação de Thoma mínimo (σ_{min}), para bombas centrífugas funcionando como turbina, pode ser considerado o mesmo que de turbinas do tipo *Francis*. Tal índice é determinado pela equação (7).

$$\sigma_{min} = 0,0025 \cdot (1 + 10^{-4} \cdot n_{qA}^2)$$

Equação (7)

RESULTADOS

Utilizando o sistema supervisorio, obtiveram-se os relatórios de pressões e vazões. A partir deles, realizou-se a média aritmética e determinou-se os valores médios por hora, para as 24 horas do dia.

Para a vazão optou-se por utilizar um período do dia onde a mesma é maior, das 10h00min às 16h00min, buscando-se ter uma maior potência hidráulica para a geração e também menor variação desta, tendo em vista que em outros períodos do dia existe uma grande variação da vazão. Dentro desse contexto, foi estabelecida a vazão média de 4,2 l/s.

Na sequência, determinou-se um valor de perda de carga que pode ser aplicado para que a pressão seja reduzida, de forma a atender a demanda do sistema. É importante ressaltar que tal redução proporciona a diminuição do número de manutenções na rede de distribuição de água devido às rupturas por alta pressão. Ademais, considerou-se a topografia do local em relação ao reservatório que abastecido pelo ponto. Por fim, o valor de perda de carga estipulado foi de aproximadamente 20 m.c.a.

Com os valores de altura e vazão calculou-se o n_{qA} com a equação (1). Foram considerados duas rotações para a simulação: caso 1, a rotação estabelecida foi de 3600 rpm; e caso 2, a rotação de 1800 rpm. Os valores de n_{qA} para os casos 1 e 2 foram de 19,8 e 9,9, respectivamente.

Devido ao método de dimensionamento desenvolvido por Viana (1987, 2012) somente se aplicar a uma rotação específica dentro de uma faixa entre 40 e 200 rpm, não é possível dar continuidade no dimensionamento do sistema utilizando este método, devido à baixa vazão do ponto estudado.

ANÁLISE DE RESULTADOS

Buscando-se determinar uma vazão mínima do ponto de elevada pressão em questão, para a aplicação do método de dimensionamento, com vistas ao aproveitamento da elevada pressão e do potencial hidráulico gerado, plotou-se um gráfico para verificar a variação do n_{qA} com um possível aumento da vazão, ilustrado na Figura 4. Nesta mesma figura, é possível destacar o ponto de elevada pressão analisado, relacionado à vazão média do sistema, como também a vazão mínima necessária para a aplicação do método de dimensionamento.

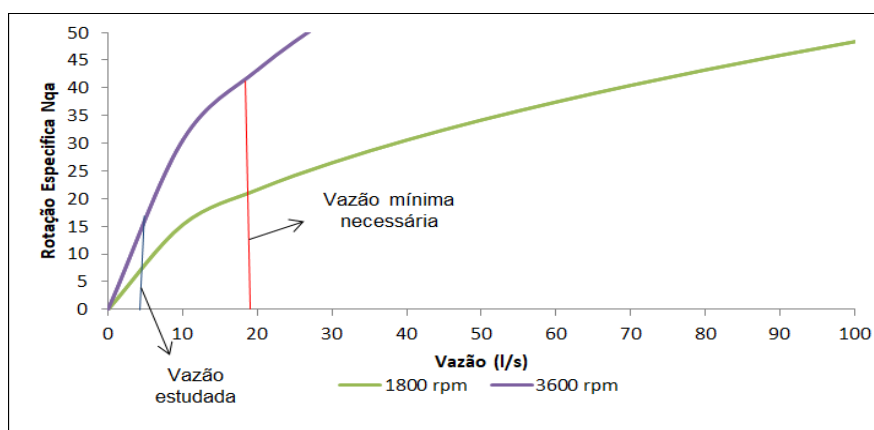


Figura 4: Variação da rotação específica

Fonte: Autor

Assim, para que o n_{qA} se enquadre na faixa de aplicação do método de dimensionamento, a vazão mínima necessária é de aproximadamente 20 l/s.

Utilizando as equações da metodologia supracitadas, obteve-se os valores de altura e vazão da BFT e também a rotação nominal de 3500 rpm. Na sequência, buscou-se no catálogo de um fabricante, uma bomba para funcionar como turbina para o aproveitamento deste caso hipotético, conforme ilustra a Figura 5.

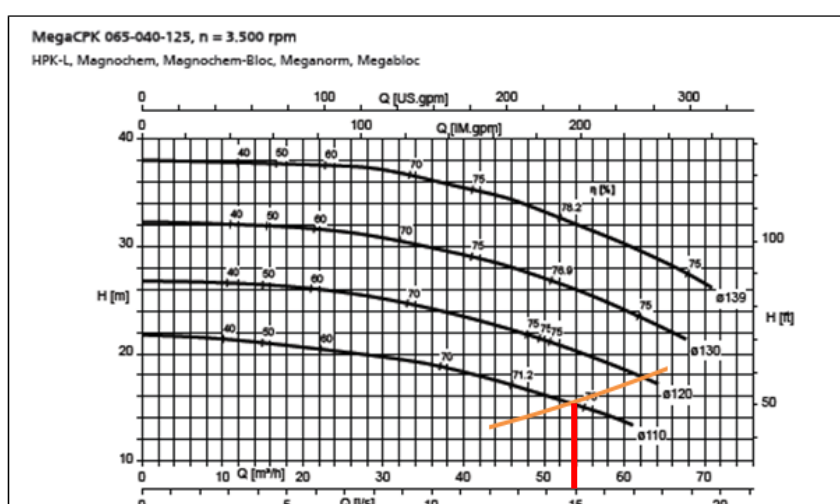


Figura 5: Curva de operação e curva de funcionamento da bomba

Fonte: Adaptado de KSB (2017)

Ainda, no catálogo da bomba é possível determinar a potência no eixo da mesma, apresentado na Figura 6.

A bomba escolhida para funcionar como turbina no sistema simulado é disponibilizada pelo fabricante KSB, modelo MegaCPK 065-040-125, como diâmetro de rotor de 110 mm. Este modelo propicia a disponibilização de uma potência no eixo de aproximadamente 3,2 kW, e uma perda de carga de aproximadamente 16 m.c.a. Essa potência mecânica seria então convertida em potência elétrica com a utilização de um gerador elétrico ou algum dispositivo similar. Portanto, com essa aplicação, evidencia-se que o ponto de elevada pressão proporciona tecnicamente o emprego de uma GD.

Com o intuito de evitar os efeitos de cavitação, determinou-se a altura máxima de sucção da BFT, de acordo com as equações 6 e 7. O valor calculado para H_s representa o de início de cavitação. Por outro lado, a altura geométrica de sucção deverá ser menor que o calculado, portanto adota-se para H_s o valor de 9 m.

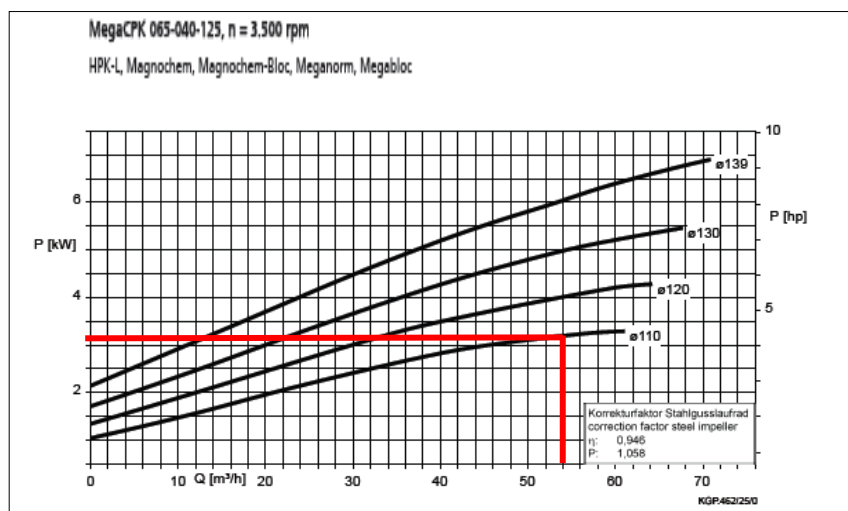


Figura 6: Curva de potência da bomba

Fonte: Adaptado de KSB (2017)

CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos, conclui-se que o ponto inicial analisado neste artigo demonstra uma pressão bastante elevada, e com o emprego da BFT é possível estabelecer uma perda de carga significativa na rede. Entretanto, no que tange ao aproveitamento da energia residual para emprego de uma GD, a proposta técnica acabou inviabilizada, muito em detrimento da baixa vazão média.

Ademais, foi visto que no específico ponto, a partir de uma vazão média de 20 l/s é possível obter uma potência mecânica aproximada de 3,2 kW. Somente a partir deste limite técnico é possível estabelecer um estudo de viabilidade econômica para uma aplicação.

Ainda assim, é importante ressaltar que os sistemas de abastecimento de água por gravidade apresentam pontos com grande potencial energético para a implementação da GD. No entanto, para que esses apresentem viabilidade técnica é necessário realizar um estudo operacional de cada ponto, pois eles são únicos e dificilmente serão iguais uns aos outros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COSTA, E. R. H. Estudo de Polímeros Naturais como Auxiliares de Floculação com Base no Diagrama de Coagulação do Sulfato de Alumínio. São Carlos. 1992. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 1992.
2. Agência Nacional de Energia Elétrica ANEEL. Resolução Normativa Nº 687. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>> Acesso em: 15 nov. 2017.
3. Agência Nacional de Energia Elétrica ANEEL. Resolução Normativa Nº 482. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>> Acesso em: 15 nov. 2017.
4. KSB. Manual Técnico MegaCPK. Disponível em: <<http://www.ksb.com.br/ksb-br-pt/>>. Acesso em: 5 de novembro de 2017.
5. MARCHIS, M.; FRENI, G. Pump as turbine implementation in a dynamics numerical model: cost analysis for energy recovery in water distribution network. Journal of Hydroinformatics, Vol. 16, Nº 1. 2015.
6. RAMOS, H. M.; BORG, A; SIMÃO, M. New design solutions for low-power energy production in water pipe systems. Water Science and Engineering, Vol. 2, Nº 4, pp. 69-84, 2009.
7. RICARDO, M. Estudo de Grupos Moto-Bomba Operando como Grupos Geradores em Microcentrais Hidrelétricas. Itajubá. 2007. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Itajubá, 2007.
8. VIANA, A. N. C. Bombas Funcionando como Turbinas. Rio de Janeiro: Synergia; Minas Gerais: Acta, 2012.
9. VIANA, A. N. C. Comportamento de Bombas Centrífugas Funcionando como Turbinas Hidráulicas. Itajubá. 1992. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Itajubá, 1987.