

GERAÇÃO DE ENERGIA POR INTERPOLAÇÃO EM ADUTORAS POR GRAVIDADE

Santos, Luis Carlos Mendes⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela UFBA, especialista em Gestão Ambiental pela FACTAE, MSc. em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente pela FAMAM/UFRB, CEO e pesquisador em geração de energia elétrica e abastecimento de água na M-Tech Energy.

Endereço⁽¹⁾: Rua José Batista da Fonseca, 49 - Centro – Cruz das Almas - Bahia - CEP: 44.380-000 - Brasil - Tel: +55 (75) 99129-2460 - e-mail: carlos.pontual2@gmail.com.

RESUMO

Energia elétrica é um dos insumos mais importantes e mais onerosos para as operadoras do saneamento e a busca pela eficiência energética por essas corporações é contínua. No momento atual existe forte tendência de elevação dos preços da energia, com reflexos diretos nos custos operacionais dos SAAs e SESs. Entretanto, nos próprios sistemas de abastecimento de água encontra-se disponível uma das mais práticas fontes para redução desse custo: a autogeração de energia hidrelétrica. Vertedouros, descargas ecológicas e redes distribuidoras constituem-se em potenciais fontes de microgeração hidrelétrica. Pressões elevadas representam energia potencial passível de ser convertida em eletricidade. Neste trabalho o autor apresenta soluções para essas situações, seja com modelos de processos, seja com equipamentos desenvolvidos especialmente para uso em SAAs e mesmo, em situações especiais, em SESs. Tais soluções têm custos de implantação e operação relativamente baixos, com curtos prazos de retorno financeiro (*payback*).

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência Energética. Microgeração compartilhada. Redução de custos.

INTRODUÇÃO

A humanidade vive um grande paradoxo energético, devido não só às mudanças climáticas, como também aos avanços tecnológicos. Por um lado, governos e corporações, firmam novos compromissos para a desativação das poluentes fontes geradoras de energia elétrica, enquanto percebe-se uma perspectiva de crescimento substancial na demanda deste importante insumo.

Não há como prescindir do uso da energia elétrica, isso é inquestionável e irreversível. Desde a mais simples até a mais complexa atividade humana, todas dependem de alguma maneira da eletricidade. Demandas elevam-se consideravelmente, sem que parte da humanidade se dê conta dessa inevitável dependência. No Brasil, de acordo com o Plano Nacional de Energia, PNE2050 (2020, p.24)

projeta-se um crescimento do consumo potencial de energia elétrica (que engloba o consumo atendido pela rede, a partir da autoprodução, a geração distribuída – MMGD - e estimado antes da retirada dos ganhos de eficiência energética) da economia brasileira de 3,5% ao ano em média entre 2015 e 2050

e isso certamente configurar-se-á em grande problema para o país, caso não invista em novas soluções, ampliando e aproveitando todos os potenciais de geração e de transmissão de energia, mesmo a microgeração.

Os sistemas de abastecimento de água são grandes consumidores de eletricidade e os custos com esse insumo têm grande representatividade nas despesas de exploração. Porém, grande parte delas ainda não se deram conta de que, ao mesmo tempo, são detentoras de consideráveis potenciais de autogeração. Afinal, a geração hidrelétrica é um dos modais que fornecem energia das mais limpas, e a água circula pelas veias dessas companhias.

Existem muitos milhões de quilômetros de tubulações espalhadas pelo planeta, no interior dos quais são dissipadas incomensuráveis quantidades de energia cinética, as quais poderiam ser convertidas em energia elétrica. Muitas dessas tubulações contêm válvulas redutoras de pressão (VRP), destinadas a dissipar – ou melhor, desperdiçar – pressões consideradas elevadas, com o objetivo de evitar-se a ocorrência de perdas reais de água em vazamentos.

O aproveitamento do potencial de geração de eletricidade em represas, adutoras e redes distribuidoras de água dos SAAs é algo ainda passível de aferição, mas pode-se prever que será de grande importância para o futuro breve, dada a importância que a microgeração vem apresentando, em virtude da elevação da demanda. Foi realizada uma simulação teórica dessa importante fonte de energia, com base no que preconiza o conhecimento técnico/científico existente e sedimentado, para fins de implementação da autogeração por interpolação de microturbina em adutora por gravidade existente. O presente trabalho apresenta os resultados teóricos deste estudo.

A Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, no Art. I, Inciso III, determina que “em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais”. Posteriormente, a Resolução Nº 129, de 29 de junho de 2011, no Art. 2º, Inciso I, diz que considera-se “vazão mínima remanescente: a menor vazão a ser mantida no curso de água em seção de controle”, enquanto que no Art. 2º, Parágrafo único, define que “As vazões mínimas remanescentes devem ser utilizadas como limitantes quando da emissão de manifestações prévias, de outorgas de direito de uso de recursos hídricos e nas autorizações de intervenções hidráulicas”.

No Estado da Bahia, a Superintendência de Recursos Hídricos – SRH emitiu a Instrução Normativa Nº 01, de 23 de fevereiro de 2007, que preconiza no seu Art. 9º, Parágrafo 2º que “No caso do inciso II, a vazão remanescente de 20% (vinte por cento) das vazões regularizadas deverá escoar para jusante, por descarga de fundo ou por qualquer outro dispositivo que não inclua bombas de recalque”.

Disso, infere-se que a legislação impõe que as barragens disponham de descargas ditas ecológicas. Essas tubulações são mantidas abertas perenemente, o que as configura em potenciais pontos geradores de energia elétrica, através da simples inserção de conjuntos gerador/turbina ou de turbogeradores.

Diante dessa realidade incontestável, e objetivando contribuir para a reversão desse quadro, o autor desenvolve equipamentos e processos destinados ao aproveitamento desses excedentes energéticos e sua conversão em energia elétrica. São microturbinas, turbogeradores, turbogeradores híbridos, além de novos processos para geração hidrelétrica.

Os equipamentos oferecem como vantagens competitivas o fato de terem sido criados especialmente para inserção em tubulações de SAAs, respeitando seu objetivo primordial, que é o abastecimento de água potável às populações atendidas. Como resultado, uma vez instalados, tais dispositivos deverão ter sua atuação ajustada para aproveitar apenas os excedentes energéticos existentes nos sistemas hospedeiros.

Também são apresentados modelos para utilização dos equipamentos, seja por interpolação em adutoras mistas de gravidade/recalque, de modo a elevar a linha piezométrica do sistema hospedeiro, seja no aproveitamento das vazões excedentes dos cursos d'água, inseridos nas descargas ecológicas das barragens ou mesmo nas suas descargas de fundo, quando as vazões passíveis de circular pelos vertedores deverão ser canalizadas para tais descargas e utilizadas para geração hidrelétrica. Ou, ainda, poder-se-á utilizar microturbinas como substitutivas de VRPs ou placas de orifício.

O processo de interpolação das microturbinas em tubulações que operam sob o regime de gravidade originou-se da necessidade de suprir com energia elétrica um sistema integrado de abastecimento de água (SIAA) cuja adutora de água bruta (AAB) opera por gravidade, tendo a oferta já atingido a vida útil e necessitando-se elevar imediatamente a produção. Nesses casos normalmente existem alternativas a serem estudadas antes da decisão final sobre o modelo a ser adotado.

METODOLOGIA UTILIZADA

Nas pesquisas realizadas em laboratório, para desenvolvimento de microturbinas e turbogeradores, foi utilizado software de modelação 3D; protótipos foram materializados com impressoras 3D, para confecção de peças e componentes; foram realizadas montagens de protótipos, testes de bancada, testes de campo e aferição dos resultados.

Abaixo a sequência das etapas para criação dos equipamentos.

- Desenho em microcomputador, com software CAD/CAM Solidworks;
- Simulação computacional, utilizando-se o simulador Flow Simulation;
- Impressão dos componentes em impressoras 3D;
- Montagem de protótipos;
- Ensaio de bancada;
- Usinagem e fundição de componentes em ferro, liga de alumínio e aço inox;
- Montagem de protótipos metálicos em escala real;
- Testes de campo com protótipos metálicos, em Sistemas de Abastecimento de Água;
- Validação operacional em campo, com geração de energia e medições das grandezas hidráulicas e elétricas.

O processo de microgeração de energia elétrica por interpolação em adutoras foi idealizado após a realização de estudo técnico pelo autor no SIAA de Presidente Tancredo Neves, operado pela Embasa e localizado no Centro Sul do Estado da Bahia, com a utilização do software Epanet 2.0 e de planilha do MS-Excel. Foram apresentadas duas opções para elevação da vazão do sistema, tendo os gestores da Concessionária optado pela elevação da carga hidráulica, por meio da instalação de conjunto motobomba instalado em captação flutuante, ao invés da intervenção física na adutora de água bruta (AAB).

Foi, então, dimensionado um conjunto motobomba com vazão de 30,56 l/s, altura manométrica de 10 mca ($H_{man} = 10$ mca) e potência consumida projetada de 4,56 KW, o que conduz à tradicional necessidade de construção de uma subestação de energia elétrica ao lado do ponto de captação. Como solução alternativa para o suprimento de energia foi proposto o modelo de autogeração hidrelétrica, com a interpolação do conjunto microturbina/gerador, num ponto da própria AAB, previamente estudado.

Considerando a máxima vazão possível de obter-se com a energia gravitacional disponível no sistema, estudou-se o perfil da adutora, de modo a encontrar-se o melhor local para inserção do conjunto microturbina/gerador, com base no potencial de geração de energia elétrica num sistema hidráulico, o qual é definido pela equação:

$$Pot = 9,81 \times Q \times H_u \times \eta \text{ (em KW)} \quad \text{equação (1)}$$

Onde H_u é a queda útil (diferença de cotas entre o nível d'água do reservatório e a saída do duto alimentador) e Q a vazão em m^3/s , podendo as perdas de carga ser desprezadas. O coeficiente η corresponde ao rendimento do conjunto turbina/alternador, o qual se aproxima do valor 0,75.

Operando por gravidade a vazão média atual na AAB é da ordem de 24 l/s. Aplicando-se a Equação 1, para a geração dos 4,56 KW necessários para o acionamento do motor elétrico da captação flutuante encontra-se o valor de 26 m para o desnível (H_u):

$$4,56 = 9,81 \times 0,024 \times H_u \times 0,75 \text{ donde obtém-se que } H_u = 26 \text{ m.}$$

Analisando-se o perfil da AAB verifica-se que o ponto que fornece esse desnível localiza-se a 550 m de distância da captação. Ou seja, nesse ponto da AAB existe potencial para geração da potência elétrica necessária para a alimentação do conjunto motobomba. Uma vez iniciada a operação da bomba, a vazão eleva-se-á dos 24 l/s iniciais (por gravidade) para 30,56 l/s (por recalque) e também a pressão disponível na entrada da microturbina, o que eleva imediatamente o potencial de geração para

$$Pot = 9,81 \times 0,03056 \times 26 \times 0,75, \text{ donde } Pot = 5,85 \text{ KW}$$

O excedente de potência gerado proporcionará mais segurança energética para eventuais acidentes operacionais – como possíveis obstruções, etc. – além de viabilizar sua entrega à concessionária de eletricidade (com redução de valores a pagar nas demais instalações do sistema).

Em certas situações, nas quais o estudo de uma adutora se defronta com trechos de desníveis acentuados e nos quais as pressões excedem os limites para determinados materiais (a exemplo do PVC) costuma-se utilizar tubos de maior resistência (a exemplo do ferro fundido) para eliminar ou reduzir a probabilidade da ocorrência de quebraamentos. Nesses casos, poder-se-ia interpolar um conjunto microturbina/gerador para reduzir-se a pressão e utilizar-se a energia gerada para elevar a linha piezométrica ao nível desejado, através de conjunto motobomba. Desse modo reduzir-se-iam custos com materiais e também as probabilidades da ocorrência de vazamentos no trecho.

Numa situação hipotética nós teríamos em certo ponto da tubulação:

Pressão no ponto = 160 mca; desnível a ser vencido em relação ao ponto de cota elevada a jusante, mais perda de carga no trecho = 70 m, correspondente à altura manométrica da bomba; vazão (constante) no trecho = Q. Teríamos um potencial de geração de 90 mca, que poderia ser utilizado na geração, conforme pode ser visto a seguir:

Potência gerada = $9,81 \times 90 \times Q_1 \times \eta$, sendo Q em m^3/s e $\eta = 0,76$ e Pot_g em KW

Potência requerida = $(70 \times Q_2) / 50$, sendo Q_2 em l/s e Pot_r em CV

$Q_1 = 0,001 \times Q_2$ e $Pot_r = 0,736 Pot_g$

Temos que $Pot_g = 9,81 \times 90 \times Q_1 \times 0,76$ e $Pot_r = (70 \times Q_2) / 50$

$Pot_g = 671,0 Q_1 \rightarrow Pot_g = 0,671 Q_2$ (em KW)

$Pot_r = (70 \times Q_2) / 50 = 1,4 Q_2$ (em CV)

$Pot_r / Pot_g = 1,4 Q_2 / 0,671,0 \times Q_2$

$Pot_r / Pot_g = 2,09$

Considerando-se que $1 CV = 0,736 KW$, temos que $Pot_r = 2,09 \times 0,736 Pot_g$

Donde $Pot_r = 1,54 \times Pot_g$ ou $Pot_g = 0,65 \%$ da demanda energética no ponto.

Nesse caso específico, conclui-se que o potencial de geração no ponto fictício é de 65% da demanda do conjunto motobomba. Isso conduz à necessidade da realização de um estudo de engenharia econômica para a escolha do modelo mais adequado, ou seja, realizar a obra com tubos de maior resistência às pressões internas (e de maior custo) ou interpolação da microgeração e da estação elevatória. O menor custo no prazo da vida útil da adutora definirá o modelo mais adequado a ser adotado.

RESULTADOS OBTIDOS E PREVISTOS

O protótipo da microturbina testado na bancada do laboratório da M-Tech Energy (Microturbina Model 3-A) possui diâmetro de montante de 25,4 mm. Esse diâmetro mínimo poderá ser destinado ao fornecimento de energia para automação da operação dispositivos remotos, como válvulas, macromedidores de vazão, monitoramento de níveis de reservatórios e similares, em situações nas quais a eletrificação tradicional é onerosa e impeditiva. Foram obtidos os resultados mostrados na **Tabela nº 01** abaixo, sendo que os dados referentes à tensão elétrica são característicos do pequeno gerador utilizado.

Tabela 01: Resultados de ensaio de protótipo para automação.

| Ensaio | Freq. (Hz) | Pressão (mca) | Perda (mca) | Perda (%) | Vazão | Rotação | Tensão |
|--------|------------|---------------|-------------|-----------|-------|---------|--------|
|--------|------------|---------------|-------------|-----------|-------|---------|--------|

| | | | | | | (m ³ /h) | (rpm) | (V) |
|----|----------|---------|-------|------|--------|---------------------|-------|------|
| | Montante | Jusante | | | | | | |
| 01 | 30,0 | 4,50 | 3,40 | 1,10 | 24,44 | 7,2 | 65,0 | 7,5 |
| 02 | 35,0 | 6,10 | 4,70 | 1,40 | 22,95 | 8,3 | 161,0 | 13,0 |
| 03 | 40,0 | 8,30 | 6,20 | 2,10 | 25,30 | 9,4 | 218,0 | 18,0 |
| 04 | 45,0 | 10,60 | 7,90 | 2,70 | 25,47 | 10,6 | 282,0 | 23,0 |
| 05 | 50,0 | 13,50 | 10,20 | 3,30 | 24,44 | 11,8 | 345,0 | 27,8 |
| 06 | 55,0 | 16,10 | 12,40 | 3,70 | 22,98 | 12,8 | 405,0 | 32,4 |
| 07 | 60,0 | 19,20 | 14,90 | 4,30 | 22,40 | 13,8 | 455,0 | 35,9 |
| 08 | 66,0 | 22,30 | 17,00 | 5,30 | 23,77 | 14,9 | 510,0 | 39,8 |
| Σ | | | | | 190,75 | | | |

Fonte: elaboração própria a partir de dados de ensaios de bancada

Esses resultados foram obtidos numa relação direta, sem a utilização de redutor de velocidade entre os eixos da microturbina e do gerador, sendo que os dados de tensão elétrica são característicos do gerador utilizado no ensaio, não representando as capacidades do protótipo da microturbina utilizado. Com uma pressão de montante na microturbina da ordem de 26 mca obteve-se um torque de 0,62 Nm no eixo.

Os resultados da microturbina Model 3-A estão devidamente validados em laboratório e em campo, e indicam que o dispositivo está maduro e pronto para utilização em escala operacional, produtiva e comercial, com elevado potencial para contribuir com os objetivos do trabalho. A escolha dos geradores/alternadores a serem acionados pelo seu eixo deverá ser compatível com a disponibilidade hidráulica do sistema hospedeiro.

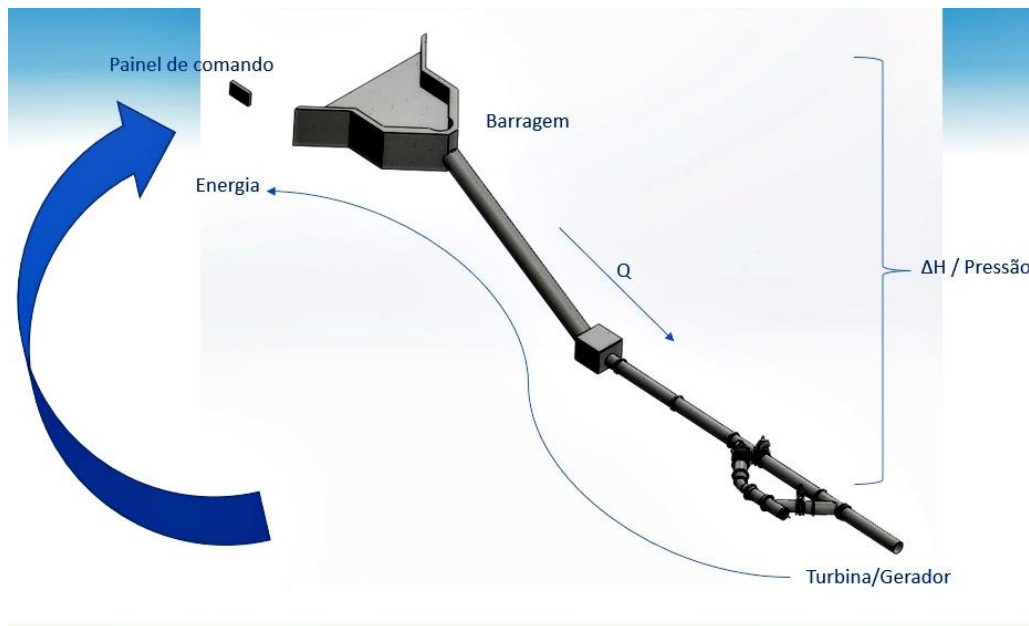
Os ensaios realizados indicaram que o dispositivo poderá se adaptar perfeitamente às características de cada local de instalação, desde que sejam adotados o gerador/alternador capaz de operar com a vazão e a pressão disponíveis, bem como escolhida a quantidade de hélices do rotor adequada. O torque e a rotação passíveis de serem produzidos pela Microturbina Model 3-A são funções da pressão e da vazão obtidas localmente, assim como do rotor instalado.

Em se tratando de adutoras de água por gravidade, prevê-se como resultados que essas microturbinas poderão ser implantadas para promover microgeração hidrelétrica por interpolação, tendo sido escolhido um SAA como piloto, na Unidade Regional de Santo Antonio de Jesus – USA, da Empresa Baiana de Águas e Saneamento S/A (EMBASA), quando poderão ser realizadas as devidas medições e adequações dos parâmetros técnicos. Espera-se como principal resultado que essa unidade piloto contribua para a disseminação do modelo.

Projeta-se gerar uma potência superior à consumida pelo conjunto motobomba instalado (5,85 KW contra 4,56 KW), de modo a garantir-se segurança e a consequente sustentabilidade energética da operação. A subestação rebaixadora existente no local poderá ser mantida como segurança adicional, mas sabe-se que, nas futuras interrupções previstas para manutenção no conjunto microturbina/gerador, a energia gravitacional disponível no sistema manterá uma vazão reduzida e mínima, de modo que parte do abastecimento será mantida.

O modelo proposto poderá ser expandido para inúmeras situações de adutoras e redes distribuidoras onde ocorrem pressões elevadas em trechos finais mas existem impeditivos para a instalação de válvulas redutoras de pressão (VRPs), tendo em vista que trechos intermediários de cotas mais elevadas seriam prejudicados e não abastecidos, devido à redução da linha piezométrica. Nessas situações a microgeração seria utilizada para reduzir pressões, mas ao mesmo tempo para produzir a energia necessária para o acionamento de pequenas bombas, as quais elevariam as cotas piezométricas, permitindo a superação dos desníveis que impedem as reduções de pressão para o(s) trecho(s) de jusante.

A Figura 01 a seguir ilustra de maneira simplificada o processo de microgeração hidrelétrica por interpolação em adutoras por gravidade, indicando a recirculação de energia no sistema.

Figura 1 – Representação simplificada da interpolação da microturbina

Fonte: O próprio autor

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Apesar de a comunidade científica estar permanentemente em busca de novas fontes de energia elétrica, encontrando-as de diversas e novas maneiras, as companhias do saneamento básico ainda demonstram certa lentidão na tomada de decisões pertinentes ao assunto, mesmo estando entre os maiores consumidores e dependentes desse insumo. Com frequência são adotadas soluções caras e de difícil operacionalização, em detrimento do que se poderia denominar como “solução caseira” e de baixo custo, que é o aproveitamento do enorme potencial existente nas suas tubulações e mesmo nas suas represas, nas quais poderiam aproveitar melhor as descargas ecológicas e as vazões excedentes que passam sobre os vertedores.

O processo de interpolação aqui proposto viabilizará a recirculação de parte importante da energia no próprio sistema hospedeiro, além de propiciar condições técnicas para efetivar a sua plena sustentabilidade. Além da considerável redução de custos, o quantum de energia elétrica que seria utilizado na operação da estação elevatória de água bruta ficará disponível para outros consumidores, contribuindo para a redução do déficit energético.

O processo de geração hidrelétrica por interpolação de microturbinas em adutoras por gravidade poderá ser adotado em SAAs, independentemente do seu porte, bastando para isso que se processe uma adequação da escala dos equipamentos a serem utilizados, bem como se realize um adequado estudo de engenharia econômica caso a caso. Também, novas adutoras e redes distribuidoras poderão conter nos respectivos projetos o estudo necessário para viabilizar a redução dos custos de implantação e operação, com base em estudos de engenharia econômica.

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Tratam-se de equipamentos e processos inovadores, de construção e funcionamento relativamente simples e diretos, os quais aproveitam excedentes da energia hidrodinâmica existentes em tubulações de SAAs e os convertem em energia mecânica (caso das microturbinas), provocando a rotação do eixo do gerador/alternador de energia elétrica. Ensaios de protótipos em laboratório, assim como a instalação em unidades operacionais de SAAs validam os resultados e a importância real dos modelos, especialmente o Model 3-A aqui apresentado.

Os dispositivos poderão ser utilizados em trechos de adutoras e de redes distribuidoras portadoras de pressões excessivas, em descargas ecológicas de barragens, instalações industriais ou outras quaisquer, a exemplo de empreendimentos rurais, onde existirem condições para a construção de tubulações adutoras de água por gravidade.

No caso da interpolação da microgeração, caso seja adotado o processo, poder-se-á reduzir custos com obras em adutoras – especialmente com diâmetros de tubulações – e também custos operacionais, devido à autogeração de energia elétrica.

O pioneirismo dos processo e dispositivos atende plenamente à tendência mundial de incorporar novas modalidades de geração de energia elétrica às existentes, contribuindo para reduzir o déficit energético em muitas áreas onde os elevados custos das soluções tradicionais, aliados aos impactos ambientais negativos, inviabilizam a redução das desigualdades. Cada vez mais a evolução da demanda por energia exige soluções inovadoras e de alto rendimento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CONGRESSO NACIONAL. Lei Nº 9.433, Brasília, 1997.
2. CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Resolução Nº 129, Brasília, 3 p., 2011.
3. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. Plano Nacional de Energia – PNE2050, Brasília, 230 p., 2020.
4. PORTO, R. M. Hidráulica Básica, 4 ed, São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 519 p., 2006.