



## **Estudo da viabilidade de microgeração de energia a partir de diferenças de cotas piezométrica em sistemas de abastecimento de água potável**

**João Pedro B Nuernberg <sup>1</sup>, Jaison Araujo Speck <sup>2</sup>, Flávia Cauduro <sup>3</sup>, Evânio Ramos Nicoleit <sup>4</sup>, Christiane Ribeiro da Silva <sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Unesc – Universidade do Extremo Sul Catarinense (joapnuernberg@outlook.com)

<sup>2</sup>Unesc – Universidade do Extremo Sul Catarinense (jspeck@casan.com.br)

<sup>3</sup>Unesc – Universidade do Extremo Sul Catarinense (flavia.cauduro@unesc.net)

<sup>4</sup>Unesc – Universidade do Extremo Sul Catarinense (evaniorn@gmail.com)

<sup>5</sup>Unesc – Universidade do Extremo Sul Catarinense (chribeiro.s@gmail.com)

### **Resumo**

A escassez de recursos naturais, o aumento da demanda da utilização de energia elétrica e a busca por sustentabilidade incentivam a busca por novas soluções para geração de energia elétrica. Com objetivo de estudar a viabilidade de microgeração de energia utilizando diferenças de cotas piezométricas disponíveis em adutoras, rede de adução de água potável, suficientes para gerar energia elétrica. O sistema de abastecimento de água utilizado no presente estudo dispõe de dois pontos com desnível geométrico potencial para o estudo, utilizando turbina *Pelton* o sistema com vazão de 0,033 m<sup>3</sup>/s tem potencial para gerar 27,88 kW, revertendo em moeda, se vendido a concessionária de energia, a energia elétrica gerada representa R\$ 9.237,60 mensais. O custo de implantação dos sistemas foi orçado em mais de 200 mil reais e o tempo de retorno estimado do investimento é de 27 meses. O estudo mostrou uma opção de energia limpa e sustentável com resultados financeiros e técnicos satisfatórios, quando comparado o investimento do sistema, o potencial para microgeração e o retorno financeiro com a venda da energia. Fatores que tornam o sistema atrativo para investimento.

Palavras-chave: Microgeração de energia. Abastecimento de água. Sustentabilidade.

Área Temática: Energia e energias renováveis.

## **Study of the availability of energy microgeneration from the water supply systems**

### **Abstract**

*The shortage of natural resources, the increase in the demand for electric energy use and the search for sustainability encourages the research for solutions for energy generation. This study aims the availability of energy microgeneration using differences in piezometric quotas viable to generate electricity. This study has two points with potential geometric difference for the research, using Pelton turbine the system with a flow of 0.033 m<sup>3</sup>/s shows the potential to generate 27.88 kW. Reversing in currency, It was R\$ 9,237.60 per month. The cost of systems was almost 200 million of Real and the investment return will be in 27 months. The study showed a possible sustainable energy option with satisfactory financial and technical results.*

*Key words: Energy microgeneration. Water supply system. Sustainability.*

*Theme Area: Electric energy.*



## 1 Introdução

Nos tempos atuais, a procura por novas alternativas de produção e geração de energia tornou-se um dos principais campos de estudo e aplicação, estudos estes de meios economicamente viáveis, com aplicação em fontes onde a disponibilidade de recursos seja ilimitada e sem custos, visando métodos inovadores. A geração em pequena escala é uma opção para recursos hídricos em abundância, porém esbarra em aspectos técnicos e econômicos, dificultando a implantação destas novas fontes energéticas (LIMA, 2013).

Simultaneamente a disponibilidade de recursos para esse tipo de geração, amplia a viabilidade quando a fonte de energia é desperdiçada sem nenhum aproveitamento, podendo, deste modo, ser utilizada com eficiência e sem custo. Elementos de armazenamento de água bruta e suas redes de distribuição oferecem, em alguns casos específicos, perfeitas possibilidades de implantações de microgeradoras de energia elétrica, porém a viabilidade econômica e a qualidade da geração da energia elétrica ainda são pouco conhecidas (LIMA, 2013).

Segundo a Resolução Normativa N°482 de 17 de abril de 2012 da ANEEL a microgeração de energia elétrica é configurada por uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW e que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada.

O processo de retirada da água do seu meio natural com finalidade de uso em unidades domésticas, serviços públicos e indústrias, são ordenados de processos típicos do conjunto de obras e serviços. Sendo estes constituídos geralmente de unidades básicas, tais como: captação, adução, estação de tratamento, reservatórios, redes de distribuição e ligações domiciliares, e em alguns casos, estações elevatórias e outros reservatórios de quebra de pressão (TSUTIYA, 2013). Em situações que são utilizadas estações elevatórias ocorre a necessidade de projetar água até cotas maiores, para que atinjam a pressão desejada, conforme determina a NBR 12.218:1994 em que “A pressão estática máxima nas tubulações distribuidoras deve ser de 500 kPa, e a pressão dinâmica mínima, de 100 kPa”. Devido a esse fator são utilizadas bomba motores, assim um dos principais consumos de energia elétrica no sistema de abastecimento de água é proveniente da estação elevatória.

Em contrapartida, onde os reservatórios de armazenamento encontram-se muito acima do local de distribuição e ultrapassa a pressão máxima estipulada, há necessidade da redução de pressão, os métodos utilizados são válvulas redutoras de pressão (VRP), caixas de quebra de pressão e reservatórios de armazenamento.

Em locais onde há caixa de quebra pressão, torna-se possível à instalação de BFT's, Bombas Funcionando como Turbina ou turbinas geradoras de energia, que transformam energia mecânica dissipada em energia elétrica. As BFT's são uma alternativa de energia limpa e sustentável, uma vez que a matéria prima utilizada é o fluido canalizado nas adutoras de forma constante e com, até então, energia mecânica dissipada sem aproveitamento (LIMA, 2013).

É importante, para a determinação da viabilidade deste tipo de estudo, que a utilização do potencial energético deve ser realizada sem afetar a pressão da adutora, o que acarretaria prejuízo na distribuição da água.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo estudar a viabilidade de microgeração de energia elétrica por gravidade pela diferença das cotas piezométricas presentes ao longo da adutora. As turbinas (BFT's) instaladas nas redutoras de pressão, locais onde a dissipação de pressão será realizada. Para alcançar o objetivo principal foi necessário: estudar a rede de adução do estudo de caso; avaliar o potencial hidroelétrico disponível no sistema de abastecimento de água em questão; estudar modelos de BFT's para atender a



demanda deste estudo; orçar o sistema proposto para a microgeração de energia; e apresentar a viabilidade econômica para instalação do mesmo.

## 2 Materiais e métodos

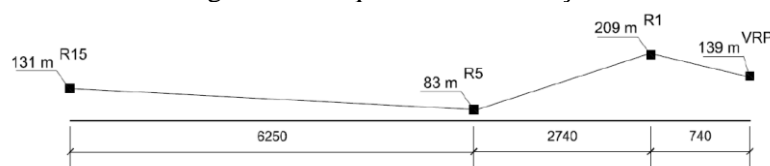
### 2.1 Sistema de abastecimento de água

O sistema integrado de abastecimento da grande Criciúma é o responsável por toda captação e distribuição de água tratada na região sul de Santa Catarina, envolvendo seis municípios integrados, sendo que a água bruta é armazenada e captada na barragem do rio São Bento, em Siderópolis, SC. A seguir da captação, a água bruta segue para a estação de tratamento de água na cidade de Criciúma, onde passa a ser potável antes de ser encaminhada para a distribuição nas cidades integradas. Esse sistema de captação, tratamento e distribuição é interligado por adutoras que transportam água por gravidade, na maioria dos trechos.

Essas cotas piezométricas favoráveis proporcionam na adutora deste estudo de caso dois pontos favoráveis para a microgeração de energia elétrica, pontos onde o terreno tem relevo acidentado. A adutora possui as seguintes características: extensão total de 9.730 m; extensão entre os reservatórios (R): R-15 e R-5 de 6.250 m; entre R-5 e R-1 de 2.740 m; e do R-1 a VRP de 740 m. E as seguintes cotas, em relação ao mar: R-15: 131 m; R-5: 83 m; R-1: 209 m; e VRP: 139 m, esquematizados na figura 2.

Salientando que os pontos favoráveis e estudados neste estudo para a geração de energia são entre R-15 e R-5 e entre R-1 e VRP.

Figura 2 – Esquema de localização



Na adução é utilizado tubo de PVC DE FoFo, fabricados em PVC (Policloreto de vinila) rígido, nomenclatura DE FoFo por possuírem Diâmetros Externos equivalente as tubulações de ferro fundido – FoFo.

### 2.2 Turbina Geradora de Energia (BFT`s)

A turbina é um motor rotativo que converte em energia mecânica a energia de pressão e cinética de um fluxo de água. Essa energia mecânica é transferida através de um eixo movimentado pela ação da água em sua corrente.

No cenário de microgeração, os modelos mais típicos de turbinas podem ser citados: Turbina *Pelton*, *Francis*, *Kaplan* e Fluxo cruzado. Sua classificação consiste em avaliar a vazão em m<sup>3</sup>/s, altura equivalente em metros, e potência mecânica em kW.

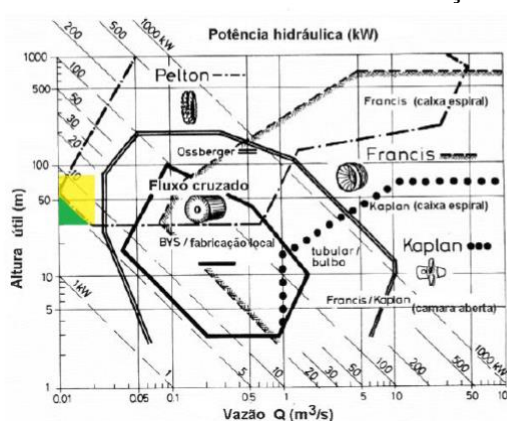
Abaixo seguem as características das principais turbinas utilizadas:

- **Turbina Pelton:** foi criada em 1.980, por Allan Lester Pelton, é constituída por uma roda de pás em formas de conchas. O torque é gerado pela a ação de um jato livre sobre a dupla concha do rotor, por essa razão a turbina Pelton também é chamada turbina de jato livre. Podem ser instaladas no sentido vertical ou horizontal, sua operação compreende quedas de (100 m a 2.000 m) e para micro aplicações podem operar até com uma queda inferior a 20 m e vazões de 20 a 1.000 l/s.

- **Turbina Francis:** foi criada em 1.847, por James Bicheno Francis, sua capacidade de queda de água varia entre 10 m e 200 m e com vazões de 100 l/s a 6.000 l/s.
- **Turbina Kaplan:** Seu criador foi o austríaco Victor Kaplan, o fluxo de água tem direção radial no distribuidor, aproximadamente axial na entrada do rotor, suas turbinas utilizam formas de hélice, porém na qual as pás têm passo regulável no funcionamento, o que atribui um custo elevado. As quedas de água da turbina são possíveis até 60 m e sua vazões variam entre 300 l/s e 1000 l/s.

O modelo gráfico que contempla as características do estudo é revelado por Chapallaz, et al. (1992), conforme figura 3, e indica a turbina mais eficiente para cada situação considerando a vazão em m<sup>3</sup>/s, altura equivalente em metros, e a potência mecânica em kW.

Figura 3 – Gráfico de CHAPALLAZ – definição das BFT's.



Fonte: CHAPALLAZ, et al (1992).

A potência mecânica, potencial hidroelétrico, da turbina geradora de energia elétrica é determinada por variáveis de medição de queda d'água e vazão, considerando ainda rendimento e perdas de carga em tubulações e geradores.

Desta forma a equação 1 demonstra de modo simplificado o potencial hidroelétrico a ser calculado.

$$Pe = 7,16 \times Q \times Hb \quad \text{Equação 1.}$$

Onde: **Pe**: é o Potencial hidroelétrico (kW); **Q**: Equivalente a vazão (m³/s); **Hb**: Corresponde à altura bruta (m).

Conhecidas a vazão do sistema, 0,033 m<sup>3</sup>/s, e as alturas brutas dos dois pontos favoráveis para a geração de energia elétrica e com a utilização da equação 1 é obtido o potencial hidroelétrico para definição da BFT's em consulta na figura 3.

Nos pontos de instalação das BFT's deve conter espaço suficiente para a construção de uma edificação de abrigo dos equipamentos. Os pontos analisados nesse estudo são afastados do meio urbano e possuem espaço suficiente para a realização do projeto. No primeiro ponto do estudo a área disponível é cerca de 225 m<sup>2</sup> (15 m x 15 m) e no segundo ponto a área tem cerca de 30 m<sup>2</sup> (3 m x 10 m).

## 2.3 Análise Financeira

Para estudo e análise da viabilidade de implantação do sistema foram identificados o quantitativo de material e os custos de material e manutenção do sistema.



Os custos foram realizados com base no orçamento de Matos (2017) e reajustado os valores de acordo com a inflação do período (05/2017 a 11/2017). Também foram utilizados valores da tabela SINAPI, Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil, tabela de preço da CELESC e orçamentos com empresas do mercado.

Com a venda da microgeração de energia elétrica devido a implantação do sistema, juntamente com o valor de implantação e gastos anuais com manutenção foi realizado o fluxo de caixa no período de 10 anos, vida útil estimada do equipamento.

Para determinar o Tempo de Retorno do Capital (TRC) foi verificado em que instante o somatório dos valores ficou positivo. O último período com valor negativo é o mês em que o investimento foi pago.

### 3 Resultados e discussões

#### 3.1 Dimensionamento do sistema

- **Potencial hidroelétrico**

Utilizando a equação 1, a vazão média disponível ao longo do trecho,  $0,033\text{m}^3/\text{s}$  e considerando a diferença de cota dos dois pontos favoráveis para a geração de energia elétrica, o primeiro com 48 m de diferença entre as cotas de montante e jusante; e o segundo com 70 m de diferença entre as cotas de montante e jusante. O sistema tem capacidade de gerar: no primeiro trecho 11,34 kW e no segundo trecho 16,54 kW, sendo o total de potência mecânica de 27,88 kW.

A título de curiosidade com esta energia gerada seria possível abastecer, aproximadamente, 112 residências unifamiliares por mês. Considerando o consumo médio mensal das residências brasileiras de 180 kWh, conforme Lauand (2017).

- **Turbina geradora de energia**

Cruzando os dados dos sistemas: diferença de cota, vazão e potência mecânica; no gráfico de Chapallaz, et al. (1992), figura 3, pode ser definido o modelo ideal de turbina para a situação do estudo. Deste modo, para o presente estudo, a turbina adotada é a *Pelton*. Considerando que a *Pelton*, por ser uma turbina de jato livre, tem uma vantagem de não interrompe o fluxo da adutora de distribuição de água.

#### 3.2 Viabilidade Econômica

##### 3.2.1 Instalação do sistema

Os custos para instalação do sistema de microgeração de energia na adutora e para o *By Pass* são apresentados na figura 4.

O sistema *By Pass* será utilizado para facilitar a realização das manutenções e/ou intervenções necessárias no sistema. O *By Pass* é um desvio do trajeto em um ponto estratégico que desvia o fluxo através de um canal paralelo, permitindo a manutenção do canal principal.

Por se tratar de um sistema com dois pontos em potencial, devem ser considerados dois sistemas de microgeração e dois *By Pass*. A figura 5 apresenta o valor total para a instalação dos dois sistemas.

O valor estimado para manutenção anual do equipamento é tabelado pelo fornecedor em R\$ 7.200,00 anuais, ou seja, R\$ 600,00 mensais.





Figura 4 – Orçamento.

<b>Material e Mão de Obra</b>	
Turbina Pelton 20 kVA	
Gerador p/ Turbina 20 kVA	
Transformador Elevador 038/13,8kVA - 30 kVA	
Medição com medidor bidirecional	
Tubulação DeFoFo 250 mm	
Instalação elétrica com a rede	
Poste DT 600dan	
Circuito de Interligação	
Casa de Alvenaria	
Mão de Obra	
TÊ DE FoFo ø 250 mm F.F	
TOCO DE FoFo ø 250 mm - 0,5 m F.F	
Curva 90° DE FoFo ø 250 mm F.F	
Registro DE FoFo ø 250 mm F.F	
Barra DE FoFo ø 250 mm F.F	
<b>Total do Orçamento – R\$ 101.844,80</b>	

Figura 5 – Orçamento total

Item	EQUIPAMENTO	QUANTIDADE	PREÇO UNITARIO	PREÇO TOTAL
1	Instalação Sistema Turbina Pelton	2	R\$ 65.060,80	R\$ 130.121,60
2	Instalação By Pass	2	R\$ 36.784,00	R\$ 73.568,00
	<b>Total</b>	<b>4</b>		<b>R\$: 203.689,60</b>

### 3.2.2 Fluxo de caixa

Ao definir o potencial elétrico de geração, há possibilidades de utilização dessa energia gerada. As opções estudadas foram:

1ª Opção: A energia gerada pelo sistema pode ser utilizada no próprio funcionamento do sistema, já que ao longo da rede há uma estação elevatória, porém em caso de falhas e paradas do gerador, o abastecimento e o funcionamento da estação elevatória estarão comprometidos;

2ª Opção: Vender a energia elétrica gerada para a concessionária de energia local, neste estudo de caso a CELESC. Deste modo, a resolução homologatória N° 2.286 de 15 de agosto de 2017, indica que o custo por kW/h é de R\$ 0,39, porém pelo fato da geradora de energia ser de uma empresa de água, esgoto e saneamento, e esta ser do grupo B3 da classificação da CELESC o custo do kW/h será de R\$ 0,46 quando a concessionária de energia estiver operando em bandeira vermelha, devido aos períodos de seca e baixa geração energética no país.

Assim, com o levantamento da produção de geração de energia, é possível calcular o valor do rendimento monetário especulado pelo estudo. Conforme observado na figura 6.

Figura 6 – Fluxo de caixa

	Geração Diária (kW)	Custo de KW/h em Bandeira Verde	Lucro Gerado por Hora	Lucro Gerado por Mês	Custo de KW/h em Bandeira Vermelha	Lucro Gerado por Hora	Lucro Gerado Por Mês
Ponto 01	11,34	0,39	R\$ 4,42	R\$ 3.184,27	R\$ 0,46	R\$ 5,22	R\$ 3.758,40
Ponto 02	16,54	0,39	R\$ 6,45	R\$ 4.644,43	R\$ 0,46	R\$ 7,61	R\$ 5.479,20
<b>Total</b>	<b>27,88</b>			<b>R\$ 7.828,70</b>			<b>R\$ 9.237,60</b>

Portanto observando a figura 6 é constatado rendimento monetário do sistema, na pior hipótese, de aproximadamente 8 mil reais nos períodos de bandeira verde, quando o valor do



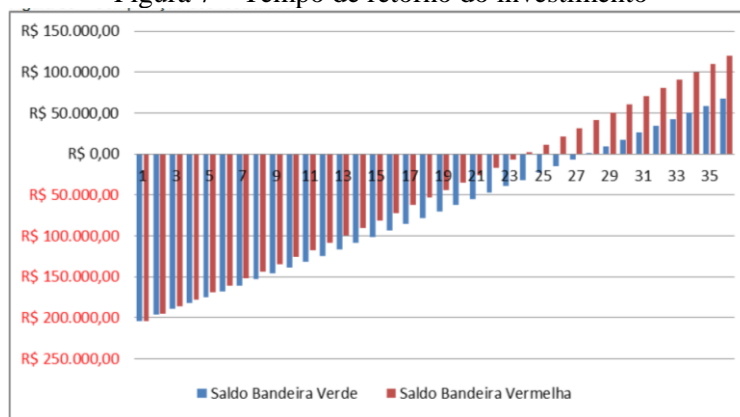
kW/h é menor, valor que pode ser convertido em melhorias no sistema de abastecimento de água da concessionária de água.

### 3.2.3 Tempo de retorno do capital (TRC)

Na figura 7 é apresentado o gráfico com o saldo entre investimento x lucro ao longo do tempo com as duas situações de mercado do valor do kW/h, utilizando Bandeira Verde e Bandeira Vermelha.

O tempo de retorno do investimento do sistema de microgeração de energia é visto no momento que o gráfico inverte e os valores que eram negativos se tornam valores positivos. No caso deste estudo de caso, conforme figura 7, o período de retorno é de 24 meses, no caso da Bandeira Vermelha que seria a melhor hipótese de período de retorno, e 27 meses para a Bandeira Verde, sendo a pior situação para o período de retorno do investimento.

Figura 7 – Tempo de retorno do investimento



É sabido que ao longo dos meses de um ano as Bandeiras Verde e Vermelha são utilizadas de forma alternada conforme a disponibilidade hídrica nas hidrelétricas do país. Portanto na análise do gráfico 7 deve ser considerado que o retorno real do investimento deverá estar no intervalo entre o tempo de retorno do investimento da Bandeira Verde e o da Bandeira Vermelha, sendo no mínimo 24 meses e no máximo 27 meses dependendo das condições pluviométricas do país neste período.

## 4. Conclusões

O presente estudo permitiu o desenvolvimento do conhecimento de uma alternativa de microgeração de energia limpa, sustentável e disponível nas regiões montanhosas do Brasil que até o momento é pouco ou nada explorada. Promove-se com este estudo o despertar de uma nova fonte de energia e o cultivo de ideias sustentáveis e que não agridam o meio ambiente em troca de lucro ao homem.

Com este estudo é possível confirmar que a aplicação desta tecnologia é tecnicamente viável, uma vez que a instalação de uma turbina na adutora é possível sem prejudicar o sistema de abastecimento de água, a geração de energia utiliza uma rede de adução existente e dispõe de espaço físico livre para instalação e manutenção do sistema, pois neste estudo os pontos analisados encontram-se afastados da cidade.

Economicamente o estudo também se mostrou viável, pois apesar de apresentar um investimento inicial alto, ultrapassando 200 mil reais, o valor contabilizado com a venda da energia gerada é significativo por mês o que torna o período de retorno curto, 27 meses para a



pior situação. E após o investimento pago será obtido um valor significativo mensalmente que poderá ser utilizado para manutenções, reformas, serviços, etc.

O estudo desta energia alternativa não só provou que a microgeração de energia em adutoras é possível como também viável técnica e financeiramente. Mostrando a importância das pesquisas nesta área e a viabilidade do uso de energias sustentáveis.

## Referências

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Homologatória nº 2286/2017**, CELESC, Brasil, 2017.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 482/2012**, Diretoria Geral, Brasília, Brasil, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público: NBR 12218**. Rio de Janeiro, 1994.

BARRETO, M. **Turbinas, Motores e Geradores Elétricos**. Disponível em: <<https://www.coladaweb.com/fisica/electricidade/hidreletricas-turbinas-motores-e-geradores-eletricos>>. Acesso em: 30 out 2017.

CHAPALLAZ, J. M.; EICHENBERGER, P.; FISCHER, G.; **Manual on Pumps Used as Turbines**; MHPG Series; Vol. 11; Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH; Germany, 1992.

ELETROBRÁS. **Informativo Eletrobrás do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica**, nº 81, Brasil, 2009.

IBGE. **Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo – IPCA**. Governo Federal, Brasília-DF, Brasil, 2017.

LIMA, G. M. – **Microgeração em Sistemas de Abastecimento de Água**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia. UNIFEI, Itajuba-MG, 2013.

MATOS, T.A. – **Viabilidade Econômica para implantação de Microgeração de Energia em Sistemas de Abastecimento de Água**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica, SATC, Criciúma-SC, 2017.

SILVA, B. L. A. **Levantamento do potencial energético e estudo da viabilidade econômica da geração hidroelétrica utilizando a rede pública de distribuição de água: estudo de caso: sistema de abastecimento de água de Pato Branco**. Dissertação de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco-PR, 2012.

SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. Disponível em:

<[http://www2.seplag.pe.gov.br/c/document\\_library/get\\_file?p\\_l\\_id=6189117&folderId=6475260&name=DLFE-34564.pdf](http://www2.seplag.pe.gov.br/c/document_library/get_file?p_l_id=6189117&folderId=6475260&name=DLFE-34564.pdf)> Acesso em: 16 dezembro. 2017.

TSUTIYA, M.T. **Abastecimento de Água**. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica de Universidade de São Paulo, São Paulo, 3ª edição, 2006.