

MICROGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO POTENCIAL HIDRÁULICO PREDIAL

Karina Maliska Cechinel (1); Jaison Araújo Speck (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)karinacechinel@hotmail.com; (2)jspeck@casan.com.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estudar a viabilidade da implantação de um sistema de geração de energia complementar e sustentável, utilizando a pressão hidráulica excendente da tubulação em diversos pontos. Foi feito um estudo de caso para a instalação do microgerador de energia a partir dos dados obtidos no Edifício Residencial Lúcio Cavaler, localizado no município de Criciúma, SC, que conta com 25 pavimentos. Realizou-se um estudo, em todo o sistema de abastecimento de água do edifício, localizando os pontos em que ocorre uma energia potencial desperdiçada. Após a análise do projeto hidráulico foram considerados itens que influenciam diretamente na pressão da água na tubulação. Além disso, verificou-se: o volume total mensal de abastecimento de água; consumo diário; velocidade; vazão; e diâmetro da tubulação. Também avaliou-se a disponibilidade de pressão gerada pela bomba de sucção. A partir da vazão e altura manométrica de cada ponto, foi definido o tipo de turbina e gerador que melhor se enquadra. E por fim foi analisada a viabilidade financeira. Em termos econômicos, o projeto mostrou-se inviável. Contudo, frente aos recursos cada vez mais escassos no planeta, talvez em um futuro próximo, projetos deste segmento sejam implementados ou até mesmo indispensáveis, mesmo levando-se em conta que a relação custos benefícios não se mostram atraentes para a implantação.

Palavras chaves: Microgeração, potencial hidráulico predial, instalação hidráulica predial.

1. INTRODUÇÃO

Fisicamente, trabalho é uma forma de manifestação de energia que um sistema é capaz de fornecer. Ela não pode ser criada, consumida ou destruída, apenas transformada, como por exemplo, quando se abastece o carro com combustível, a energia química contida no tanque transforma-se em movimento (energia cinética), em calor (energia térmica) e em barulho (energia sonora) (CAPELLI, 2013).

As principais fontes de energia elétrica são hídrica, térmica, nuclear, geotérmica, eólica, mareomotriz e fotovoltaica, também conhecida como solar (CAPELLI, 2013).

O consumidor pode reduzir os valores de energia elétrica requeridos da rede de distribuição da concessionária, gerando parte ou até a totalidade da energia que consome, o que é comumente chamado de geração distribuída. Para incentivar a geração local de energia elétrica, a Aneel regulamentou, pela Resolução no 482, publicada em 2012, revisada em 2017, as condições gerais para o acesso à rede de sistemas de mini e microgeração (BARROS; BORELLI; GEDRA, 2016).

Sistemas de geração de energia elétrica com capacidade igual ou inferior a 75 kW são caracterizados como microgeração. Sistemas com capacidade superior a 75 kW e igual ou inferior a 5.000 kW são intitulados como minigeração. Essa Resolução aplica-se a sistemas de geração que utilizam as fontes de energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada (BARROS; BORELLI; GEDRA, 2016).

Com intuito de atender esse aumento de demanda é preciso melhorar as fontes já existentes e criar novas alternativas de geração de energia. Equilibrando a demanda e a produção, evitando a crise energética.

Uma das alternativas, descrita nesse trabalho, é a microgeração de energia elétrica a partir do potencial hidráulico do ramal predial, aproveitando a energia fornecida pela empresa responsável pelo abastecimento de água do município que normalmente seria dissipada através de válvulas redutoras de pressão ou reservatórios.

O projeto que ora se apresenta tem como intuito oferecer uma possibilidade de geração de energia elétrica de forma renovável, tornando a construção mais sustentável, sem descartar nenhuma forma atual de geração de energia. Pretende-se fornecer uma forma de complementar o sistema já existente, tornando-o o mais eficiente ao se recuperar a energia, que seria perdida nas tubulações prediais.

O estudo tem como objetivo a avaliar a obtenção de energia elétrica através do potencial hidráulico predial. Como objetivos específicos, o trabalho pretende analisar as vantagens e desvantagens do sistema, a vazão mínima necessária para o funcionamento, requisitos elétricos e estruturais, escolha de válvula e gerador, e buscar a forma mais econômica a fim de tornar a implantação desse sistema viável. Com a obtenção desses dados e a ajuda de um manômetro encontraremos a pressão disponível e o potencial de energia que poderá ser gerada. Assim discutiremos o tipo de válvula, gerador e a viabilidade do projeto.

Por fim, para melhor expor as ideias do trabalho será feita uma maquete, simulando o funcionamento do projeto descrito.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Local de estudo

O estudo foi realizado no Edifício Residencial Lúcio Cavaler, localizado na Rua Cecília Darós Casagrande, bairro Comerciário, no município de Criciúma- SC.

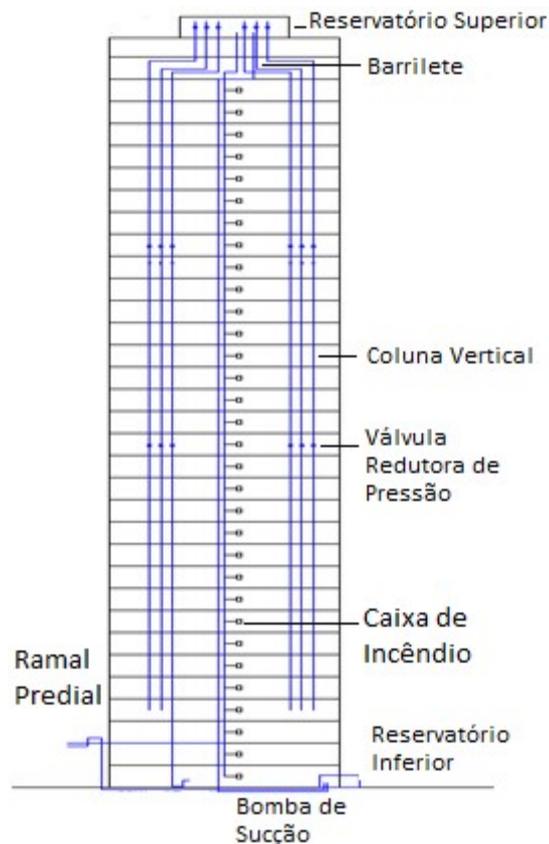
A edificação possui 25 pavimentos-tipo, dois pavimentos de garagem, salão de festas e portaria, totalizando 106m de altura. Cada pavimento tipo possui 2 apartamentos, com 3 quartos e 3 banheiros.

2.2 Sistema Hidráulico

O sistema hidráulico do local é composto por ramal predial, reservatório inferior, reservatório superior, bomba de sucção, coluna de distribuição, barrilete, caixa de incêndio e válvulas redutoras de pressão. Analisando as últimas leituras e consumos de água (12 meses) junto a CASAN, obteve-se uma média de consumo de 875m^3 por mês, o que corresponde a uma vazão média de $0,00033758\text{m}^3/\text{s}$.

Na figura 1, pode-se observar o sistema de abastecimento do local de estudo.

Figura 1 – Sistema de abastecimento hidráulico indireto Edifício Lúcio Cavaler



Fonte: do autor, 2017.

2.3 Ramal hidráulico predial

É a tubulação compreendida entre a rede pública de abastecimento e a instalação predial, ou seja, a canalização que conduz a água da rede pública para o imóvel. A concessionária necessita entregar a água com uma pressão entre 10m e 50m de coluna de água. No local de estudo, a pressão fornecida é de 32m de coluna de água e o diâmetro da tubulação 50mm. Esta pressão é desperdiçada no sistema de abastecimento indireto, podendo ser instalada uma turbina para geração de energia, reaproveitando essa energia.

2.4 Sistema de abastecimento indireto

O sistema de abastecimento indireto com bombeamento é utilizado quando a pressão disponível na rede é insuficiente para elevar a água até o reservatório superior. Neste caso, há a necessidade do uso de um reservatório inferior e um sistema de recalque para fazer a elevação da água até os reservatórios superiores.

Desta forma, a alimentação da rede pública abastece o reservatório inferior e, após isto, a água é bombeada para o reservatório superior. A pressão nesse caso é desperdiçada, mostrando-se assim um ótimo ponto para geração de energia.

A bomba de sucção utilizada no local possui rendimento de 81% e altura manométrica de 152 metros de coluna de água(mca). A tubulação possui diâmetro de 65cm e altura total de 106m. A pressão excedente pode ser utilizada para gerar energia.

A bomba de sucção abastece 4000 litros por vez, levando a água do reservatório inferior para o superior. O consumo diário é de 30m³, funcionando de 7 á 8 vezes por dia.

2.5 Barrilete e colunas

Denomina-se barrilete o cano que interliga as duas metades da caixa d'água e de onde partem as colunas de água fria. Neste sentido, as colunas são tubulações verticais que partem do barrilete. Delas, saem os ramais de distribuição. As colunas são dimensionadas trecho a trecho e para isso é necessário dispor de um esquema vertical da instalação, com as peças que serão atendidas em cada coluna.

A edificação possui 6 colunas de água. A tubulação dos primeiros 22,75 m da coluna possui o diâmetro de 65mm, e uma válvula de redução de pressão, os próximos 22,8m tem diâmetro de 50mm, mais uma válvula redutora de pressão e o restante da tubulação possui 38mm.

2.6 Válvula redutora de pressão

Quando a pressão estática ultrapassar 40mca (edifícios com mais de 12 andares) é necessário reduzir as pressões. Segundo a norma NBR 5626/98, a válvula de redução de pressão reduz a pressão para 2 mca.

No local de estudo, o sistema hidráulico possui 6 colunas e 12 válvulas redutoras de pressão. Dessa forma, a água sai do reservatório superior e se divide em seis colunas verticais. Como a pressão da água é muito alta, após 22,75m existem válvulas redutoras de pressão.

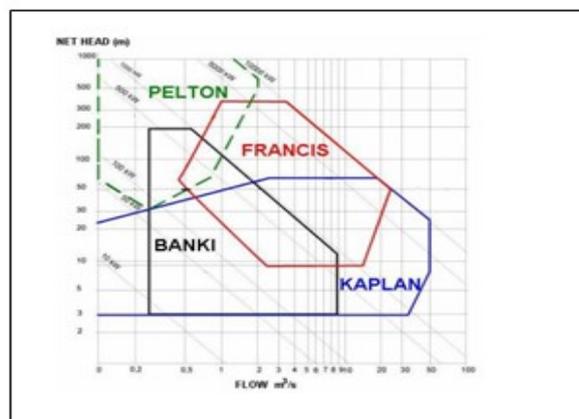
Para a realização deste estudo, antes dessas válvulas, serão colocadas turbinas para aproveitar esta pressão, gerando energia, salientando-se que, depois de mais 22,8m existem mais válvulas redutoras de pressão, nas quais também serão colocadas turbinas. No total de 12 pontos de geração de energia.

2.7 Escolha das turbinas

Turbinas hidráulicas são construídas especificamente para a geração de energia, de forma que são mais eficientes e atuam numa faixa bem maior de variação de fluxo. Além disso, a escolha da turbina depende da altura da queda (pressão disponível) e vazão.

A escolha da turbina resulta da interação de três parâmetros: queda, caudal e potência, conforme se demonstra na Figura 2.

Figura 2 – Tabela gráfica para seleção de turbinas para CMH [ECO]



Fonte: Rui M.G. Castro, 2002.

O quadro 1 apresenta o rendimento máximo de cada tipo de turbina.

Quadro 1 – Eficiência dos equipamentos

Nome	Rotação NS	Especificação	Vazão Q (m ³ /s)	Queda H (m)	Potência kW	η máximo (%)
	Nº Jatos	Ns				
Pelton	1	30				
	2	30 - 50	0,05-50	30-1.800	0,1-300.000	70-91
	4	40 - 60				
	6	50 - 70				
Banki	40 - 160		0,025 - 5	1 - 50	1 - 750	65 - 82
	Tipo	Ns	0,05 - 700	2 - 750	1 - 750.000	80 - 93
Francis	Lenta	60 - 170				
	Normal	150 - 250				
	Rápida	250 - 400				
Kaplan	300 - 800		0,3 - 1.000	5- 80	2- 200.000	88 - 93

Fonte: Tiago Filho (2004 – adaptado).

2.7.1 Turbina Michell-Banki

Tendo em vista a necessidade de escolha da turbina que possui o melhor desempenho em menores vazões e baixas alturas manométricas, optou-se pelo modelo de Turbina Michell-Banki, onde a queda é menor de 30 mca. Seu intervalo de queda abrange valores de 1 a 200m (novamente enquadrando-se dentro dos limites legais brasileiros, que determinam que uma micro central opere com quedas d'água de até 50 m de altura), que, considerando uma queda equivalente à altura de um edifício, é ideal para o projeto proposto.

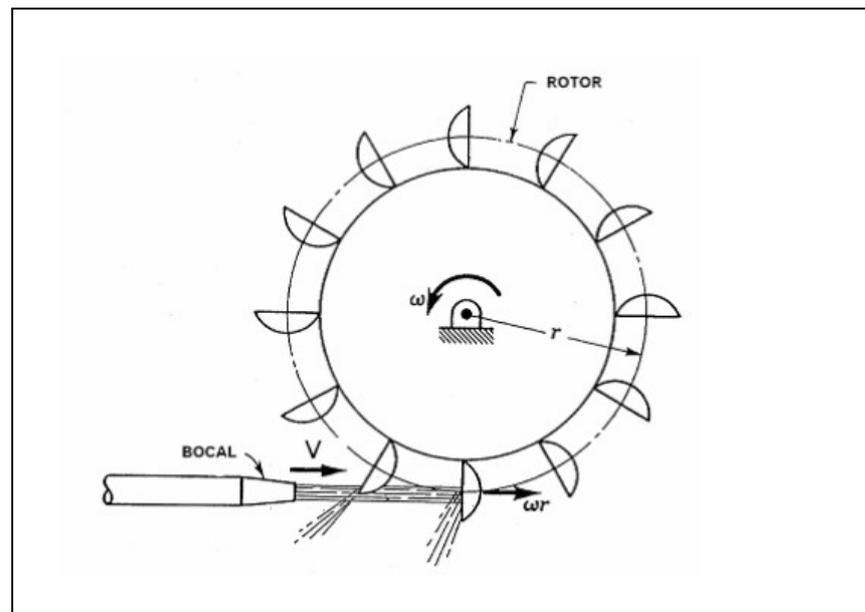
A turbina trabalha com pás, que, ao sofrerem colisão com a água corrente, põem o rotor a girar, acionando então a turbina (BONOW, 2014).

2.7.2 Turbina Tesla-Pelton

Para quedas acima de 30 mca a turbina escolhida é Tesla-Pelton. Esta turbina consiste em uma roda circular que tem na sua periferia um conjunto de copos, ou conchas, conforme a figura 3, sobre as quais é inserido tangencialmente um jato de água por um ou mais injetores que são distribuídos uniformemente na periferia da roda. Existem duas opções de eixo para as turbinas Pelton: o eixo horizontal e o

vertical, e são utilizados em situações de pequenas vazões e elevadas quedas úteis (30 a 500m) em potências que variam de 500 a 12.500 kW (GOMES, 2010).

Figura 3 – Turbina de impulsão Roda Pelton



Fonte: Batista (2009).

2.8 Escolha do gerador

Segundo IORRA, 2013, a energia elétrica em geradores CA tipo síncronos é a energia mais comum para distribuição domiciliar, por ter um controle relativamente fácil será o escolhido. Os geradores síncronos possuem características conhecidas e de controle relativamente fácil. Além disso, é fácil conectá-los em paralelo, basta que para isto possuam mesma tensão, ângulo entre fases e sequência de fases, além de frequências muito similares (recomenda-se que o novo gerador a ser conectado tenha frequência levemente maior, que depois sincronizará com a rede). Outro fator positivo quanto a este tipo de gerador é sua capacidade de agüentar sobrecargas em curtos períodos de tempo, fato que pode ocorrer nesta aplicação. Com isto, o gerador síncrono aparentemente é uma boa opção, caso seja possível controlar um pouco a carga hidráulica.

2.9 Maquete

Com o intuito de simular o sistema de geração de energia a partir da pressão da água, foi montada uma maquete. A turbina foi representada por colheres, anexadas a dois CDs e em um eixo que faz girar uma roldana que por sua vez através de uma correia, ativa o timer da maquina de lavar roupa (que representa o gerador).

2.10 Posicionamento das turbinas

As turbinas deverão ser posicionadas em locais onde haja pressão excedente e maiores vazões. Com ajuda da CASAN, foram analisadas pressões em diversos pontos da tubulação e discutido o melhor posicionamento das turbinas de modo que não comprometessem a distribuição de água do edifício.

2.11 Análise de potencial

De acordo com Farret (1999), potencial pode ser evidenciado na equação representada a seguir:

$$P_t = n * \rho * g * Q * H_m$$

Onde: P_t é a potência da turbina (em Watts);

n é a eficiência da turbina ;

ρ é a densidade da água (1000 kg/m^3);

g é a gravidade ($9,8 \text{ m/s}^2$);

Q é o vazão do sistema (em m^3/s)

H_m é a altura manométrica de água equivalente (em N/m^2).

Como é facilmente observável, a energia gerada depende da pressão média (que depende do local), que é o fator H_m na equação acima. Como se deseja obter a energia gerada por um determinado período de tempo, ao invés de fluxo, deve-se considerar a quantidade total do líquido envolvido. Com isto, a energia gerada pode ser calculada pela seguinte equação:

$$Et = n * \rho * g * V * Hm$$

Onde: Et é a energia potencial (em Joules);

n é a eficiência da turbina ;

ρ é a densidade da água (1000 kg/m³);

g é a gravidade (9,8 m/s²);

V é o volume de água consumido no momento (m³);

Hm é a altura manométrica de água equivalente (em mca).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Energia gerada por cada turbina

Turbina 1:

Utiliza a pressão fornecida pela concessionária, ramal hidráulico predial.

Para esta situação, considerou-se a pressão média de 32 metros de coluna de água (valor fornecido pela CASAN), vazão média de 5,65 l/s (dado fornecido pelo EPANET/CASAN em Nov/17), a turbina que melhor se encaixa com essa pressão e vazão foi a turbina Pelton com rendimento estimado de 80%, consumo médio mensal de 875m³. Com isto, é possível considerar que a energia gerada por mês:

$$Et = 0,8 * 1000 * 9,8 * 875 * 32$$

$$Et = 219520000J/mês$$

$$Et = 60,98kWh/mês$$

Turbina 2:

Utiliza a pressão excedente da bomba de sucção. Para esta situação, considerou-se a pressão excedente de 46 metros de coluna de água (a bomba de sucção tem altura manométrica de 152mca e a tubulação possui 106m, sobrando 46mca), vazão média de 5,65 l/s, a turbina que melhor se encaixa com essa pressão e vazão foi a turbina Pelton com rendimento estimado de 80%, consumo médio mensal de 875m³. Com isto, é possível considerar que a energia gerada por mês:

$$Et = 0,8 * 1000 * 9,8 * 875 * 46$$

$$Et = 3155600000J/mês$$

$$Et = 87,65 kWh/mês$$

Turbinas 3, 4, 5, 6, 7 e 8:

Utiliza a pressão excedente nas colunas de água após 22,75 metros do reservatório superior, antes das válvulas redutoras de pressão. Nesta situação, considerou-se a pressão de 22,75 metros de coluna de água, vazão média de 0,5626l/s, a turbina que melhor se encaixa com essa pressão e vazão foi a turbina Banki com rendimento estimado de 40%, consumo médio mensal de 145,83 m³/mês (875 dividido entre as 6 colunas, indiferente a quantidade de água que passa por cada uma delas, pois foi considerado o mesmo rendimento). O diâmetro da tubulação de acordo com o projeto hidráulico é 65mm de aço galvanizado (C=125), perda de carga calculada $J= 0,00001136$ (que será desconsiderado, pois o valor é desprezável). Com isto, é possível considerar que a energia gerada por mês:

$$Et = 0,4 * 1000 * 9,8 * 145,83 * 22,75$$

$$Et = 13005114,4J/mês$$

$$Et = 3,61 kWh/mês * 6$$

$$Et = 21,66kWh/mês$$

Turbinas 9,10,11,12,13 e 14:

Posicionadas antes das demais válvulas redutoras de pressão na segunda parte da coluna de água. Neste caso, considerou-se a pressão de 24,8 metros de coluna de água (22,8mca da altura mais 2mca da válvula de pressão), vazão média de 0,5626l/s, a turbina que melhor se encaixa com essa pressão e vazão é a turbina Banki com rendimento estimado de 40%, devido a baixa vazão. Consumo médio mensal de 145,83 m³/mês (875 dividido entre as 6 colunas, indiferente a quantidade de água que passa por cada uma delas, pois foi considerado o mesmo rendimento). O diâmetro da tubulação de acordo com o projeto hidráulico é 60mm de aço galvanizado (C=125), perda de carga calculada $J= 0,00004077$ (que será desconsiderado, pois o valor é desprezável). Com isto, é possível considerar que a energia gerada por mês:

$$Et = 0.4 * 1000 * 9,8 * 145,83 * 24,8$$

$$Et = 14177009,28 \text{ J/mês}$$

$$Et = 3,94 \text{ kWh/mês} \times 6$$

$$Et = 23,64 \text{ kWh/mês}$$

O cálculo da geração de energia por kWh/mês em relação às respectivas turbinas encontram-se demonstrado na tabela 1.

Tabela 1 – Cálculo da geração de energia

TURBINA	Geração de energia (kWh/mês)
1	60,98
2	87,65
3,4,5,7,8,9	21,66
10,11,12,13,14	23,64
TOTAL	193,93

Fonte: do autor, 2017.

Devido à baixa vazão das colunas de água, a grande quantidade de turbinas que deveriam ser instaladas e a baixa produtividade de energia, foram consideradas somente as turbinas 1 e 2, equivalente a um total de 148,63 kWh/mês.

3.2 Maquete

A maquete obteve resultado esperado, transformando a energia cinética da pressão da água em energia elétrica, acendendo uma lâmpada de LED.

A figura 4 ilustra a maquete.

Figura 4 – Maquete demonstrativa do funcionamento das turbinas



Fonte: do autor, 2017.

3.3 Destino da energia gerada

Para o cálculo do consumo de energia são necessárias três variáveis: a potência, o número de horas e os dias de uso. Para tanto, basta proceder-se a um cálculo muito simples, ou seja, multiplicar a potência conhecida pelo número de horas das lâmpadas ligadas e pela quantidade de dias de uso.

Considerando lâmpadas de LED de 12 Watts e que permanecerão ligadas por 8 horas diárias no período de 30 dias. O cálculo de consumo energético será dado por:

$$\text{Consumo de energia} = n^{\circ} \text{ de lâmpadas} \times \text{Potência} \times \text{Horas por dia} \times n^{\circ} \text{ de dias}$$

$$\text{Consumo de energia} = 50 \times 12 \times 8 \times 30$$

$$\text{Consumo de energia} = 144000 \text{ Wh}$$

$$\text{Consumo de energia} = 144 \text{ kWh}$$

A energia gerada pelas duas turbinas tem capacidade para acender 50 lâmpadas de LED, atendendo toda parte de iluminação das áreas comuns, garagens, portaria, escadas e playground.

Considerando-se a tarifa com tributos da Celesc de R\$ 0,54110, gera-se uma economia de R\$77,92/mês. Observando que essa conta de consumo geral é rateada pelos 50 condôminos, a economia é de menos de R\$2,00/mês. Além disso, para

instalar o sistema, o custo seria próximo a R\$25 mil, Pois cada turbina Pelton custa em média R\$ 8.900,00 e o gerador aproximadamente R\$ 3.000,00. Isto sem considerar a instalação e manutenção do sistema.

Dessa forma, apesar da intenção de buscar-se um racional e sustentável tanto da água como da energia, o sistema mostra-se inviável financeiramente, considerando o cenário atual.

4. CONCLUSÕES

Por meio deste estudo, foi possível analisar uma possibilidade de reaproveitamento de recursos hídricos gerados em uma instalação predial, como uma alternativa para gerar energia por meio de uma fonte que é dissipada nas instalações.

Foi verificado que, em termos de engenharia, mesmo considerando-se as dificuldades, sobretudo as hidráulicas, o projeto pode ser considerado viável, no que se refere à parte hidráulica, bem como na parte elétrica. Diante disso, pode-se considerar que iniciativas deste tipo podem ser uma forma sustentável e energeticamente viável.

No entanto, o projeto proposto, por não ser trivial, requer investimento de grande monta, o que não o torna atrativo, principalmente em períodos de escassez de recursos financeiros, devido a crises políticas e econômicas.

Apesar disso, considera-se que a solução proposta é perfeitamente viável do ponto de vista energético, e se aplicado em larga escala, seria uma solução eficaz para a diminuição da descarga de água nas turbinas de hidroelétricas. Além disso, o projeto é capaz de funcionar de forma eficaz em termos de reaproveitamento energético, visando a sustentabilidade dos recursos. Porém, expressiva é a dificuldade de implantação em larga escala, principalmente porque muitas instalações prediais já instaladas não comportam as especificações e para construí-las demandaria um investimento financeiro alto.

Em termos econômicos, o projeto mostrou-se neste momento inviável. Contudo, frente aos recursos cada vez mais esgotáveis no planeta, quase chegando à escassez dos ativos ambientais, talvez em um futuro próximo, projetos nesta área sejam implementados, mesmo levando-se em conta que a relação custos X benefícios não se mostrem atraentes para a implantação.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5626**: Instalações Prediais de Água Fria. Rio de Janeiro, 1998.

BARROS, Benjamim Ferreira de; BORELLI, Reinaldo; GEDRA, Ricardo Luis. **Gerenciamento de energia: ações administrativas e técnicas de uso adequado da energia elétrica**. São Paulo: Érica, 2016.

BATISTA, J. C. **Micro-geração de Energia Elétrica (Abaixo de 100 kW) Utilizando Turbina Tesla Modificada**, 2009. 107f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá. Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2009.

BONOW, Antônio Alice; IBAÑEZ, Gedson Bohrer; NETO, Túlio Pinto. **O Uso do Potencial Hidráulico Predial para Micro Geração de Energia Elétrica**. 2014. 6p. Artigo (Graduação em Engenharia de Energia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CAPELLI, Alexandre. **Energia elétrica: qualidade e eficiência para aplicações industriais**. São Paulo: Érica, 2013.

CASTRO, Rui M.G.; **Introdução a Energia Mini-Hídrica**. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa: 2002.

FLOREZ, Ramiro Ortiz. **Pequenas Centrais Hidrelétricas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

IORRA, Paulo Roberto de Quadros. **Análise do Potencial de Microgeração Hidroelétrica Predial**. 2013. 57p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

LIMA, Gustavo Meirelles. **Microgeração em Sistemas de Abastecimento de Água**. 2013. 86p. Monografia/Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Energia) Universidade Federal de Itajubá.

REIS, Lineu Belico dos. **Geração de Energia Elétrica**, 2^aEd. – Barueri-SP, Editora: Manole, 2011.

TIAGO FILHO, Geraldo Lucio. **Eficiência dos equipamentos de PCHs no Brasil**. Itajuba-Mg: EFEI,2004.