

ESTUDO EXPERIMENTAL DE UM PROTÓTIPO DE MICRO GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NAS TUBULAÇÕES DE ÁGUA PREDIAIS

Thadeu Martins de Oliveira, thadeudeoliveira@hotmail.com¹

Francisco Jarmeson Silva Bandeira, jarmesonbandeira@gmail.com^{1,2}

Flavia da Silva, flaviasilva@unisuam.edu.br¹

Calvino Vitor do Rosário Cordeiro, calvinovitor@yahoo.com.br²

Geraldo Motta Azevedo Júnior, geraldo@unisuamdoc.com.br¹

¹Centro Universitário Augusto Motta - UNISUAM

²Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Resumo: O presente trabalho realiza um estudo do potencial hídrico das tubulações de água potável dos edifícios para micro geração de energia elétrica, visando caracterizar um sistema de micro geração de energia elétrica aproveitando-se da energia cinética e potencial existente, constituindo assim uma fonte de energia limpa, de baixo custo, que independe do clima e é encontrado em abundância principalmente nas grandes cidades. A partir da fundamentação teórica de projetos hidráulicos e de geração de energia foram realizado estudos teórico e experimental afim de determinar a viabilidade dessa forma de geração. Os experimentos foram realizados para um modelo de turbina hidrocinética. Assim, pretende-se observar um novo sistema de geração de energia alternativa para atender à necessidade e o desenvolvimento da sociedade com uma fonte de energia limpa.

Palavras-chave: Potencial hidráulico, Energias alternativas, Geração de energia.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Introdução

O crescimento populacional e o desenvolvimento tecnológico estão fazendo com que o consumo de energia cresça e consequentemente que a geração de energia acompanhe esse crescimento, tornando esse um grande desafio, já que não é simples gerar energia em grande escala, os métodos convencionais demandam grandes investimentos, tempo de construção e dependendo da forma como será feita essa geração irá ser necessário grandes áreas territoriais. Essas formas de geração de grande porte mais convencionais ainda geram problemas relacionados ao meio ambiente. Existem diversas pesquisas relacionando fontes de energia sustentáveis, analisando fontes antes não exploradas de geração.

Um conceito chamado Energy Harvesting (colheita de energia), vem ganhando força, pois consiste em um processo que converte a energia presente no ambiente, em energia elétrica para alimentar dispositivos eletrônicos autônomos de baixa potência. Algumas dessas fontes já são amplamente utilizadas, como por exemplo, a energia solar, eólica, força das marés.

Segundo HENN (2006) a energia potencial ou cinética pode ser transformada em trabalho útil através das centrais elétricas e são classificadas de acordo com sua potência, conforme mostrado abaixo:

- MICROCENTRAIS - Para potência menor ou igual a 100kW;
- MINICENTRAIS - Potência entre 100 e 1000kW;
- PEQUENAS CENTRAIS - Potência entre 1000 e 300000 kW;
- MÉDIAS CENTRAIS - Potência entre 30000 e 1000000 kW;
- GRANDES CENTRAIS - Potência maiores que 100000 kW;

As pequenas centrais de geração de energia, tem gerado grandes destaques nas ultimas décadas por diversos motivos principalmente por uma crescente demanda de energia como efeitos sociais e ambientais. De acordo com MELLO JR (2000) a segunda principal fonte de geração de eletricidade (19%) e através do sistema hidro, conforme ilustrado na figura (1)

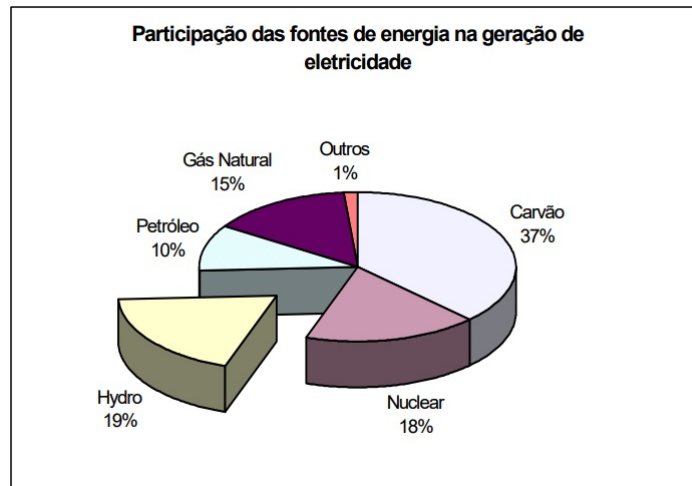


Figura 1: Fontes de geração de eletricidade - Fonte: International Energy Agency, Paris, França, 1998

A crescente utilização da energia elétrica induz a necessidade de buscar novos sistemas de geração alternativa. A energia elétrica é um bem de consumo fundamental para o desenvolvimento da indústria e da sociedade. Neste contexto, observa-se geração através da energia eólica, solar, biomassa, biogás, pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), e energias de ondas.

Alguns processos de geração na verdade utilizam fontes consideradas desperdiçadas, por exemplo, energia eletromagnética gerada por indutores, bobinas e transformadores, vibração de motores e fontes de calor derivadas dos fornos, energia de rádio frequência no ambiente por causa das emissoras de rádio e TV. Em muitos casos essas fontes fornecem energia de forma irregular ou muito baixa, por esse motivo normalmente a energia é armazenada em um capacitor, super capacitor ou bateria.

No presente trabalho será proposto um aproveitamento da energia potencial e cinética existente na tubulação de água em grandes edifícios, através de uma microcentral hidroelétrica que transforma a energia disponível no escoamento d'água em energia elétrica.

1.2 Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo realizar um estudo experimental da micro-geração de energia elétrica a partir da energia potencial e cinética disponível nas tubulações de água dos edifícios, afim de proporcionar uma nova fonte de geração para o uso comum da sociedade, motivado no grande desafio de atender a demanda por energia elétrica de forma limpa, autossustentável, além de atender a questões ambientais, sem prejuízo ao meio ambiente.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os aproveitamentos hidroelétricos figuram com destaque no cenário de expansão futura do sistema interligado devido a grande quantidade de recursos naturais disponíveis em território brasileiro. Na América do Sul, o Brasil tem o maior potencial de geração hidroelétrica seguido da Venezuela. Observa-se que a grande parte destes recursos hídricos situam-se na região norte do país, onde o impacto ambiental decorrente da implantação destes aproveitamentos é um fator preponderante. Tendo em vista o relevo, as grandes áreas alagadas pelos reservatórios, além do próprio transporte de energia elétrica da região norte aos centros consumidores, como a região sudeste que gera perdas devido as grandes extensões entre as regiões. Os sistemas convencionais de linhas de transmissão apresentam obstáculos tecnológicos a sua implantação, alternativas ainda estão em estudo como a transmissão através de corrente contínua e o uso de linhas de transmissão de meio comprimento de onda. Tais dificuldades geram obstáculos para o desenvolvimento da sociedade.

Sabe-se que o petróleo e a energia elétrica foram extremamente relevantes para o desenvolvimento tecnológico e econômico do mundo, entretanto torna-se necessário pesquisar outras fontes de energia menos nocivas ao meio ambiente, afim de proporcionar um desenvolvimento sustentável. Observa-se diversas formas de se gerar energia elétrica utilizando recursos naturais como ventos, água, sol, ondas, entre outras. Mas existe uma preocupação ambiental com um intuito de buscar uma geração limpa assim denominadas energias renováveis.

De acordo com SILVA et al (2010) os principais países pioneiros com estudos de energias renováveis são a Alemanha, Suécia, Holanda e USA. O Brasil investe menos de 1% na produção de energia deste tipo de geração. O incentivo a implementação das fontes alternativas de energia é insignificante.

SVICK (2013) realizou um estudo do potencial de geração de energia elétrica do sistema de esgoto em um prédio vertical para um possível aproveitamento para a geração de energia elétrica.

KOCK (2014) desenvolveu um estudo de uma micro usina hidro cinética de custo reduzido direcionada a geração de energia elétrica para agricultores. MACINTYRE (1983) aborda que as primeiras das fontes de geração de energia elétrica

foi através do uso da roda d'água.

BONOW et all (2014) realizou uma pesquisa bibliográfica a respeito de uso de tecnologias para aproveitamento a energia potencial pluviométrica para geração de energia elétrica, usando uma turbina do tipo Michel – Banki.

Uma proposta inovadora para contribuir com as alternativas de geração de energia elétrica é a de pequenas turbinas instaladas nas tubulações. A conversão da energia potencial e cinética, ocorre devido a capacidade de rotação das pás de uma turbina devido o escoamento de água, a turbina está acopladas a um gerador, gerando energia elétrica. Pode-se destacar três principal vantagem desta alternativa de geração:

- A não dependência das condições climáticas, como o sol na energias solar e o vento na eólica;
- Não haver impactos no meio ambiente,
- Não interfere quimicamente e biologicamente na qualidade da água.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Potência da Turbina

As turbinas hidráulicas apresentam um papel fundamental na geração de energia. Estes equipamentos são responsáveis pela conversão da energia cinética do fluido para o estator, que posteriormente é convertida em energia elétrica pelos geradores. Atualmente existem diversos modelos de turbina, que tem como principal critério de escolha segundo FARRET (1999) a variação da diferença de cotas entre jusante e montante. A tabela abaixo ilustra a relação entre o tipo de turbina e a diferença entre cotas.

Tabela 1: Relação entre o tipo de turbina e a diferença entre cotas

Tipo de Turbina	Diferença entre cotas - m (Δz)
Turbina Pelton (TP)	20 - 500
Turbina Francis (TF)	2 - 150
Turbina Michel-Banki (TMB)	1,5 - 150
Turbina Kaplan, tipo "S" ou Sifão (TS)	0,8 - 5

A potência instalada disponível nas turbinas é dado por:

$$P = g \cdot Q \cdot H_u \cdot \eta_t \quad (1)$$

onde: P - Potência instalada; g - aceleração da gravidade; Q - a vazão; H_u - carga manométrica da turbina; η_t - rendimento da máquina.

A perda de carga é calculada a partir da equação de Bernoulli, que relaciona à equação da energia para um escoamento, abordando uma relação entre pressão, velocidade e carga potencial. A equação da energia (2) entre dois pontos é válida para o escoamento em regime permanente e incompressível.

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + z_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + z_2 \quad (2)$$

onde: "p" é pressão; "v" é a velocidade e "z" a carga potencial.

A carga manométrica de uma turbina H_T , pode ser obtida a partir da equação da energia aplicada em dois pontos e diante da presença de uma turbina, tal expressão é dada segundo BRUNETTI (2009) pela equação (3) abaixo.

$$H_T = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + (z_2 - z_1) + \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2g} \quad (3)$$

Se as pressões p_1 e p_2 forem iguais, a equação para a carga manométrica da turbina pode ser simplificada, sendo composta apenas pelos termos da energia potencial e cinética. A equação da energia simplificada é mostrada na equação (4):

$$H_u = \Delta z + \frac{v_e^2 - v_s^2}{2g} \quad (4)$$

onde v_e é a velocidade na entrada e v_s é a velocidade na saída da máquina.

O rendimento total da turbina (η_t) é dado pela relação entre a potência efetiva no eixo da turbina P_t e a potência hidráulica disponível P_H , conforme a equação (5).

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_H} \quad (5)$$

MELLO JR(2000), HARVEY et all (1998), MEIER E UELI (1985) ilustram um gráfico que ilustra o rendimento de alguns tipos de turbinas com a variação de vazões mantendo H_u constantes. A figura (2) ilustra a relação entre o rendimento e a vazão para as turbinas Pelton, Francis, Axil, Kaplan e de Fluxo Cruzado.

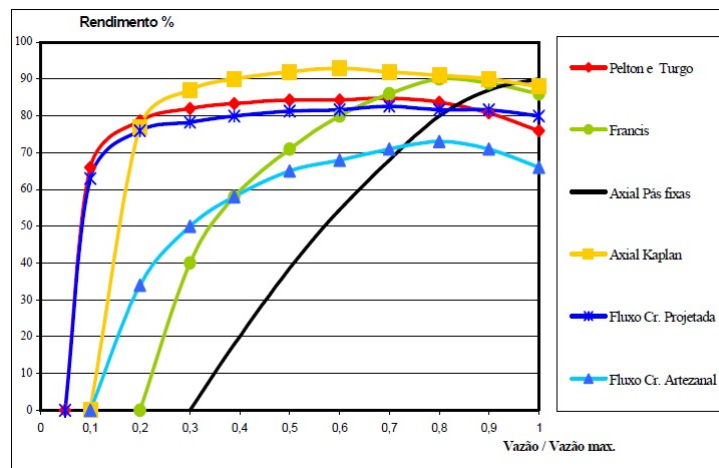


Figura 2: **Relação entre o rendimento e a vazão para as turbinas Pelton, Francis, Axil, Kaplan e de Fluxo Cruzado**
- Fonte: HARVET(1998)

3.2 Gerador

Geradores são máquinas que convertem energia mecânica em energia elétrica. Os geradores podem ser do tipo de corrente alternada (CA) e de corrente contínua (CC).

A geração de energia ocorre quando há uma alteração no fluxo magnético decorrente do movimento mecânico, que normalmente são rotativos, as tensões são geradas quando os enrolamentos ou grupo de bobinas giram dentro de um campo magnético, ou quando um campo magnético gira em torno dos enrolamentos. Nos motores e geradores no geral a parte móvel é chamada de rotor e a parte fixa chamada de estator, nas máquinas CA normalmente o conjunto de enrolamentos fica no estator, já nas máquinas CC comumente ficam no rotor.

O gerador de CA é o meio mais utilizado para a produção da energia elétrica que usamos atualmente. A tensão CA é usada na maioria das aplicações, devido à facilidade com que o seu valor pode ser modificado com o auxílio de transformadores, possibilitando aumento da tensão para melhorar a transmissão. Os geradores elementares de CA e de CC têm o mesmo princípio de funcionamento, diferenciando-se apenas na forma como coletam a tensão induzida na armadura (que é sempre alternada).

Um ponto importante é que nem toda potência entregue a um gerador será convertida em energia elétrica, pois devem ser consideradas várias perdas, a isso se dá o nome de rendimento do gerador o rendimento de um gerador CA é definida pela equação (6).

$$\eta = \frac{P_{entrada}}{P_{sada}} \times 100\% \quad (6)$$

4. APARATO EXPERIMENTAL

O aparato experimental foi instalado no laboratório de hidráulica presente no Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM).

Segundo JUNIOR (2007), as turbinas hidrocinéticas não são novos recursos tecnológicos e sim uma re-visitação desta tecnologia, o que pode proporcionar grandes avanços na geração da energia alternativa e para a geração de energia elétrica sustentável. Existem diversos modelos de turbinas hidrocinéticas, SILVA (2007) apresenta os modelos mais comuns e observa-se que alguns modelos "novos" retornam ao princípio de funcionamento da roda d'água.

A seção de teste do presente trabalho é constituída de um rotor concêntrico de fluxo radial, com princípio de funcionamento semelhante a do tipo roda d'água, sendo que na entrada do sistema de micro geração há uma redução de área com a finalidade de aumentar a velocidade do jato incidente na turbina, semelhante ao modelo da turbina Pelton, conforme mostrado na figura 3. A turbina é composta por 24 pás, o líquido é aprisionado no espaço formado entre as hélices e a carcaça cilíndrica sendo conduzido até o ponto de descarga da turbina.

A turbina fica acoplada magneticamente ao suporte do estator, e fluxo do campo magnético é gerado por um ímã e nesse caso a tensão gerada é diretamente proporcional à velocidade de rotação do rotor. A figura 4 (a) ilustra a turbina no item (1), a carcaça cilíndrica no item (2) e o estator no item (3). O acoplamento magnético entre a turbina e o estator é observado na figura 4 (c), e o conjunto montado é observado na figura 4 (b).

O micro gerador é capaz de gerar 12V e 10W, no interior do suporte da turbina existe um ímã permanente. O micro gerador é ilustrado no item (3) da figura (4) (a), o mesmo é responsável por gerar uma corrente alternada. O circuito possui um retificador trifásico formado por diodos, um capacitor para minimizar as quedas entre os semi ciclos e um diodo zenner para fornecer uma tensão em 12 Volts.

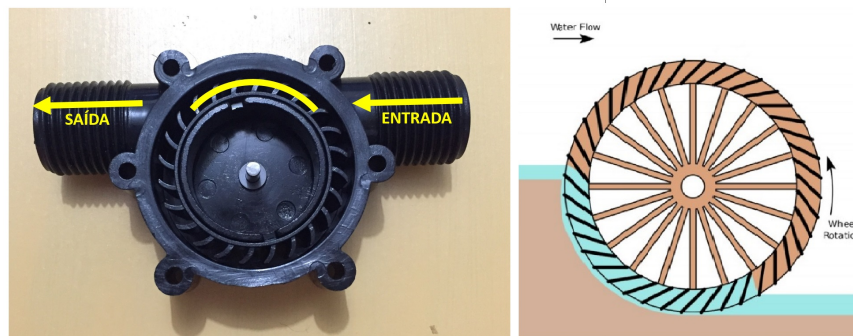


Figura 3: Princípio de funcionamento da turbina - Fonte: Autoria própria

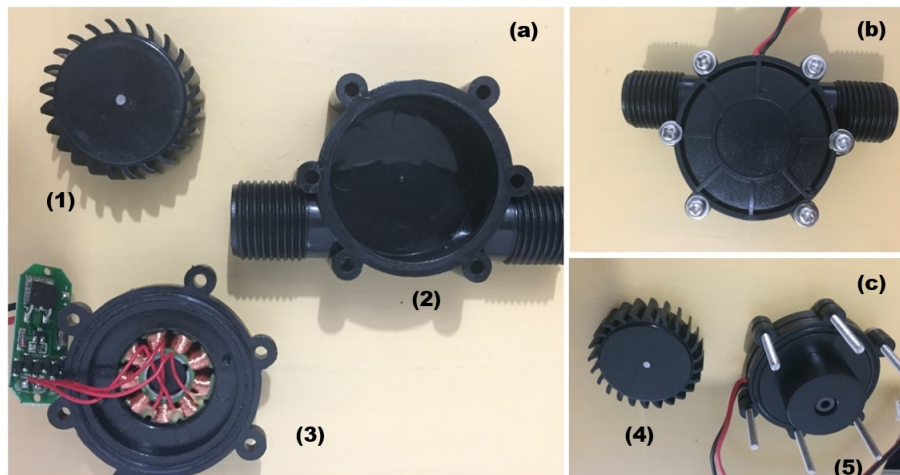


Figura 4: Peças da Micro central hidroelétrica - Fonte: Autoria própria

A tubulação a jusante da entrada da turbina tem um diâmetro externo de 20 mm e na entrada da carcaça cilíndrica o diâmetro é reduzido para 4 mm, dessa forma, pelo princípio da equação da continuidade, a redução da seção transversal aumenta a velocidade na entrada, ou seja, a velocidade do jato incidente sobre a turbina será maior.

5. RESULTADOS

A descentralização da produção de energia elétrica tem um papel promissor para a sociedade. O aproveitamento dos pequenos potenciais energéticos no meio urbano pode atenuar a demanda das grandes centrais energéticas, além de aproveitar os recursos inicialmente desperdiçados.

O aproveitamento energético do escoamento de uma tubulação de água em um edifício constitui de uma ideia de uso de potenciais energéticos no meio urbano, utilizar-se-ia a própria água de abastecimento de uma instalação do uso doméstico da água nos mais diversos andares de um prédio, para alimentar a micro turbina com a finalidade de produzir uma parcela da eletricidade.

O escoamento de água nas tubulações prediais é o principal responsável pela transformação da energia potencial e cinética em potência disponível na turbina. Para que a fosse gerado um potencial energético foi realizados ensaios no laboratório de hidráulica da UNISUAM, utilizando uma coluna de 0,8 metros de água em uma queda vertical até o micro central hidroelétrica.

Um dos ensaios realizados foi para determinar a carga manométrica da turbina, observando a capacidade de geração de tensão para a coluna de 0,8 metros. A figura 5 ilustra tal resultado.

Foi observado que para uma altura de 0,8 metros era possível gerar tensões na ordem de 3 volts. A figura 6 ilustra em azul os dados de tensão em função da variação de altura (diferença de cotas), e em vermelho os dados representativos da estimativa teórica em função da altura necessária para a geração de tensão.

O Comportamento da tensão gerada em Volts e a corrente em mA, assim como os dados da potência útil da turbina, foram obtidos e podem ser observados na figura (7).

O principal parâmetro a ser analisado é a perda de carga em função da retirada de energia do fluido, pois se a perda de carga for muito alta o fluido não teria energia suficiente para se deslocar até a tubulação de cada apartamento ou sala comercial. Entretanto, prédios residenciais e comerciais utilizam redutores de pressão para que a pressão devido altura de água localizada entre os reservatórios e o sistema de distribuição não seja grande o suficiente para danificar as tubulações. Assim, pode-se substituir os redutores de pressão pela micro central de geração. A perda de carga para o presente trabalho

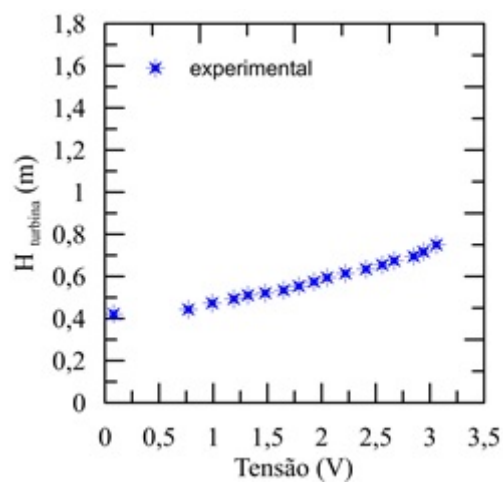


Figura 5: Carga manométrica da Turbina x Tensão gerada - Fonte: Autoria própria

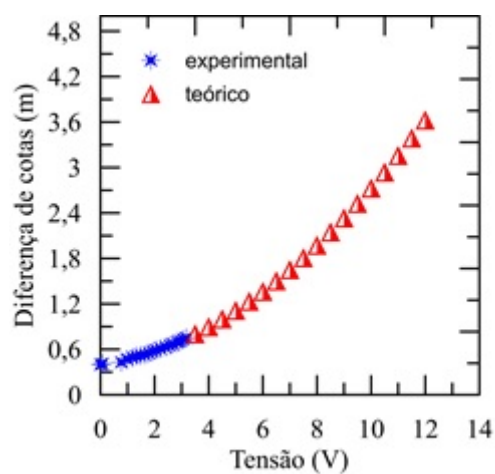


Figura 6: Carga potencial x Tensão gerada - Fonte: Autoria própria

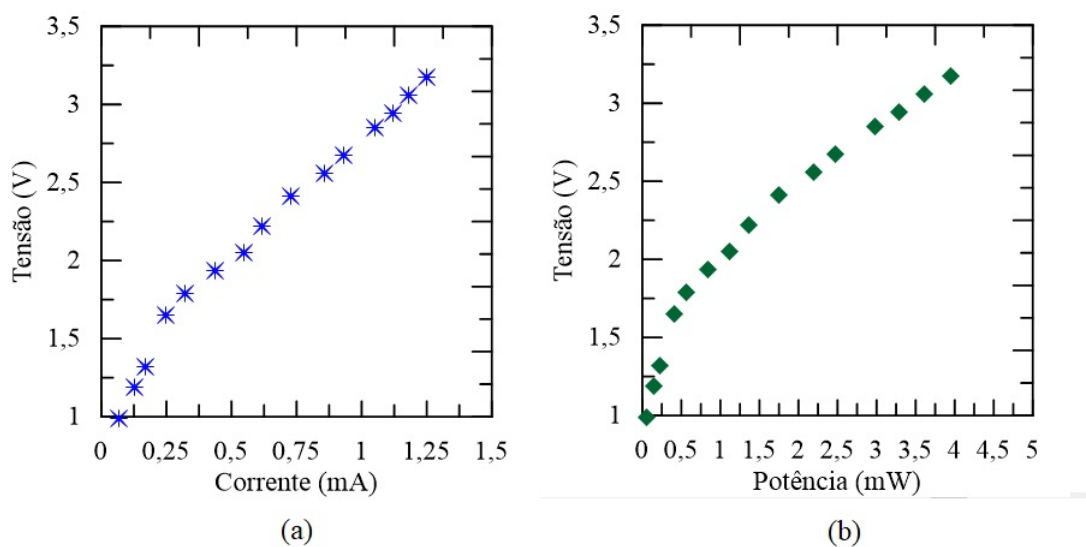


Figura 7: (a) Tensão x Corrente e (b) Tensão x Potência gerada pela turbina

foi da ordem de 500 Pa, conforme ilustrado na figura (8).

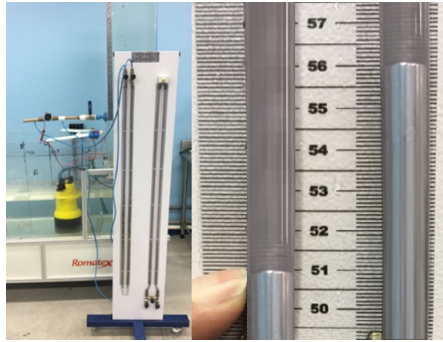


Figura 8: Ensaio para verificar a perda de carga na turbina - Fonte: Autoria própria

Em função da limitação da coluna de água a 80 cm de altura utilizada para gerar a energia potencial, foi realizado um ensaio utilizando uma bomba d'água de 0,5 HP, para simular a capacidade de geração do protótipo. Neste caso observou-se uma geração de uma tensão de 12 Volts e uma corrente de 300 mA, sendo possível ligar a lâmpada de LED diretamente nos terminais do hidro gerador, conforme ilustrado na figura (10).



Figura 9: Ensaio com lâmpada LED - Fonte: Autoria própria

Observou-se que a micro central hidroelétrica reduziu a vazão em 80%, na figura (??) é possível observar a diferença entre os turbilhões provocados pela velocidade da queda de água no reservatório.



Figura 10: (a) teste sem a turbina e (b) teste com a turbina - Fonte: Autoria própria

Analisando esses resultados juntamente com o modelo de projeto proposto, observa-se que se a turbina for instalada no subsolo dos edifícios, quanto maior a altura do prédio maior será a capacidade de geração através da micro central hidroelétrica. Observa-se que o protótipo foi capaz de aproveitar uma energia inicialmente descartada, tornando-se viável a aplicação desse sistema para a geração de energia elétrica.

6. CONCLUSÃO

Gerar energia a partir da energia potencial e cinética de um edifício é uma grande possibilidade do uso de energia limpa e renovável. O nosso país tem um grande potencial para a geração hidrocinética, principalmente nas grandes cidades onde existe uma quantidade significativa de edifícios residenciais e comerciais. Esse projeto pode gerar energia para as necessidades básicas de uma comunidade, beneficiando economicamente e socialmente um grande número de pessoas. No trabalho foi possível mostrar quais são os principais componentes que esse tipo de geração de energia requer,

assim como, de que maneira os componentes estão dispostos dentro do equipamento. A geração pode ser aperfeiçoada para atender inicialmente a pequenas demanda de energia.

Com o aprimoramento da turbina hidrocínética é possível ampliar a demanda de geração. Espera-se que a difusão desse projeto contribua para trazer a energias alternativas para o país. A turbina apresentada é de fácil construção, instalação, entre outros fatores associado a um baixo custo, entretanto apresenta faixas de baixos rendimentos, o que resultou uma potência baixa, como foi observado nos resultados do presente trabalho.

Para aumentar a capacidade de geração de energia seria necessário aumentar as proporções da turbina, ou alterar o tipo de turbina, e analisar melhor o tipo de gerador a ser utilizado. Entretanto a finalidade do presente trabalho é proporcionar contribuições para o sistema de geração de energia alternativa que possam atender ao crescimento no qual a sociedade se encontra e como já mencionado anteriormente, a necessidade pela geração de novas fontes de energia elétrica sustentável.

7. REFERÊNCIAS

- BONOW, A. A., IBANEZ, G. B, NETO, T. P.: O uso do potencial hidráulico predial para micro geração de energia elétrica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. 2014.
- BRUNETTI, F.: Mecânica dos Fluidos. 2ª ed, ed. Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2008.
- HARVET, A.; BROWN, A., HETTIARACHI, P., INVERSIN, A.: Micro-hydro design manual: a guide to small scale power shemes. London, IT, 1998.
- HENN, E. A. L.: Máquinas de Fluido. 2ª ed, Santa Maria, Editora UFSM. 2006
- MEIER, U.: Local experience with micro-hydro technology. 3ª ed. St. Gallen: SKAT Publ., 1985.
- MELLO JR, A. G. D.: A Turbina de Fluxo Cruzado (Michell - Banki) Como Opção Para Centrais Hidráulicas de Pequeno Porte. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- JUNIOR, Antônio C. P. B. et all. Turbina Hidrocínética Geração 3. ANEEL, 2007.
- KOCK, J.: Micro Central Hidrelétrica com Turbina Hidrocínética. Trabalho de Conclusão de Curso - TCC, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UFPR, Pato Branco - PR, 2014.
- MANCITYRE, A. J. (1990). Manual de Instalações Hidráulicas e Sanitárias. Rio de Janeiro: Guanabara
- OLIVEIRA, T. M. D.: Micro geração de energia elétrica através do escoamento de água nas tubulações principais dos edifícios. Trabalho de Conclusão de Curso - TCC, Centro Universitário Augusto Motta - UNISUAM, Rio de Janeiro - RJ, 2017.
- SILVA, E. C. P. D; SANTOS, E. C. M. D; SILVA, R. M. D; FILHO, E. F. D. N; FERREIRA, I. E. C.: Uma análise dos incentivos que podem favorecer o uso da energia renovável no Brasil. XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP, São Carlos, SP. 2010.
- SILVA, Teófilo R. M. D. Construção de um Protótipo Hidrocínético em Escala Reduzida para Geração de Energia Aplicado a Educação. Universidade Federal do Pará. Pará. 2011.
- SVICK, F. S. R.: Estudo do potencial de geração de energia elétrica do sistema de esgoto em um prédio vertical. Trabalho de Conclusão de Curso - TCC, Universidade Regional do Noroeste do estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ. Ijuí - RS, 2013.

8. RESPONSABILIDADE AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

EXPERIMENTAL STUDY OF A MICRO GENERATION PROTOTYPE OF ELECTRICAL ENERGY OF PREDIAL WATER PIPES

Thadeu Martins de Oliveira, thadeudeoliveira@hotmail.com¹

Francisco Jarmeson Silva Bandeira, jarmesonbandeira@gmail.com^{1,2}

Flavia da Silva, flaviasilva@unisum.edu.br¹

Calvino Vitor do Rosário Cordeiro, calvinovictor@yahoo.com.br²

Geraldo Motta Azevedo Júnior, geraldo@unisumdoc.com.br¹

¹Centro Universitário Augusto Motta - UNISUAM

²Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Resumo: This work presents a study of the hydroelectric potential of the main potable water pipes for buildings for micro electric power generation, aiming to characterize a system of micro electric power generation taking advantage of the existing kinetic and potential energy, thus constituting a source of clean energy, of low cost, that is independent of the climate and is found in abundance mainly in the big cities. Based on the theoretical basis of hydraulic projects and energy generation, theoretical and experimental studies were carried out to determine the viability of this generation form. The experiments were performed for a hydrokinetic turbine model. Thus, it is intended to observe a new system of alternative energy generation to meet the need and development of society with a clean energy source.

Palavras-chave: Hydraulic potential, Alternative energy, Energy generation.