

CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO HIDROCINÉTICO EM ESCALA REDUZIDA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA APLICADO A EDUCAÇÃO

Teófilo R. M. Silva – teofilorennan@gmail.com
Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica
Rua Augusto Corrêa, 01 Guamá
66075-110 – Belém – Pará
Sávio W. O. Figueiredo – saviowes@hotmail.com
Jerson R. P. Vaz – jerson@ufpa.br
Déborah A. T. D. R. Vaz – deborahvaz@ufpa.br

***Resumo:** Este trabalho apresenta fundamentações da geração de energia elétrica através do uso de um protótipo construído em escala reduzida de uma turbina hidrocínética para alunos da graduação em engenharia mecânica e alunos do ensino médio, com intuito de facilitar o entendimento dos mecanismos, suas dificuldades e vantagens, além da divulgação da necessidade que o mundo tem de encontrar e implantar novas tecnologias de geração das chamadas energias limpas. Neste artigo é discutida a construção e a montagem dos componentes presentes no mecanismo do projeto, o qual consiste em um rotor que aproveita parte energia cinética do fluxo de água bombeada em um tanque e a transmite em forma de energia cinética de rotação através de eixos-árvore, polias e correias para um pequeno gerador elétrico que alimenta a rede de iluminação de uma maquete instalada em uma bancada. Este mecanismo demonstra claramente e pedagogicamente a geração de energia elétrica usando uma turbina hidrocínética.*

***Palavras-chave:** turbina hidrocínética, energia limpa, geração de energia*

1 INTRODUÇÃO

Uma das grandes preocupações que a sociedade mundial enfrenta é com relação aos impactos ambientais devido à geração de energia, e de como desenvolver novas tecnologias para que a demanda de fontes renováveis possa ter maior participação na matriz energética mundial. Problemas ambientais como, o aquecimento global estão associados à crescente emissão de poluentes provenientes do uso de combustíveis fósseis. Por isso é importante investir no desenvolvimento de tecnologias de conversão de energia, além do que, é de fundamental importância que o aluno de engenharia esteja inserido nesse contexto, pois é necessário que a universidade participe dessas transformações energéticas na sociedade (Sale *et al.*, 2009).

Como resposta a essa necessidade o uso de tecnologias como a da turbina hidrocínética se mostram como um interessante meio de geração de energia. Tal tecnologia é renovável e não-poluente (Rodrigues, 2007). Seu princípio de funcionamento utiliza a energia cinética de água e a converte em energia elétrica por meio dos equipamentos adequados. Além disso, pode funcionar em uma grande variedade de rios, desde os pequenos aos grandes, sem interromper o fluxo natural das águas. A viabilidade de sua aplicação depende de estudos das

características apresentadas pelos rios tais como velocidade das águas, profundidade, perenidade, presença de entulhos entre outras.

A divulgação da existência de alternativas energéticas com menor dano ao meio ambiente se mostra como um passo fundamental para o uso e desenvolvimento de novas tecnologias, principalmente na região amazônica, onde são inúmeros os rios com bom potencial hidrocínético. Na graduação em engenharia mecânica, a disseminação desse conhecimento permite aos alunos entenderem melhor o mecanismo de funcionamento e também desenvolverem melhorias para o assunto em questão. Essa divulgação não se prende apenas a graduandos, o trabalho também é apresentado a alunos do ensino médio da região na tentativa de aumentar o interesse desses jovens sobre o assunto.

O presente trabalho trata da construção de um sistema hidrocínético em escala reduzida em uma bancada de caráter educativo com intuito de apresentar à graduação a aplicação dos conhecimentos de várias áreas da engenharia quanto à geração de energia com aproveitamento de recursos naturais e renováveis com baixo impacto ambiental. O sistema compreende uma maquete com um protótipo de turbina hidrocínética submersa em um tanque contendo água. A água é bombeada no tanque de forma a fazer a recirculação da mesma, imprimindo velocidade ao fluido e mantendo o volume de líquido constante, além de ser flexível quanto a sua montagem e desmontagem, onde o aluno pode ter noção de manutenção de rotores, cálculo de perda de carga e geração de energia elétrica para atendimento de pequenas comunidades isoladas.

2 PROJETO DO SISTEMA HIDROCINÉTICO EM ESCALA REDUZIDA

2.1 Projeto e funcionamento da bancada

O processo de conscientização sobre o uso das energias renováveis pode ser otimizado através da utilização de meios didático-pedagógicos. Para tal fim foi planejada a construção de uma maquete na qual é representado um vilarejo com o abastecimento elétrico advindo de uma turbina hidrocínética.

A bancada aqui descrita tem o objetivo de apresentar uma aplicação do sistema hidrocínético através de um protótipo em escala reduzida que utiliza os conceitos usados em instalações reais. Através da visualização do protótipo e do circuito elétrico em funcionamento o público alvo terá a possibilidade de obter melhor entendimento da operação de tal mecanismo de conversão de energia.

O funcionamento do mecanismo está representado através da Figura 1, onde parte da energia cinética fornecida pela bomba ao fluido é aproveitada pelo protótipo para ser convertida em energia elétrica alimentando os componentes do circuito presente ao longo da maquete e a outra parte que se mantém no fluido.

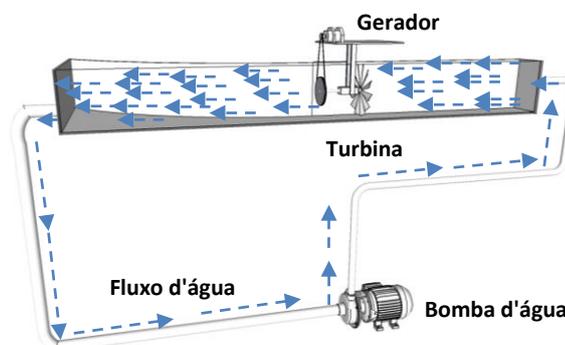


Figura 1 - Ilustração do sistema hidrocínético utilizado na bancada.

A construção da bancada teve como base os desenhos mostrados na Figura 2 e estudos relacionados à geração de energia através de turbinas hidrocinéticas. Os desenhos em 3D exibem a bancada, a maquete e o protótipo.

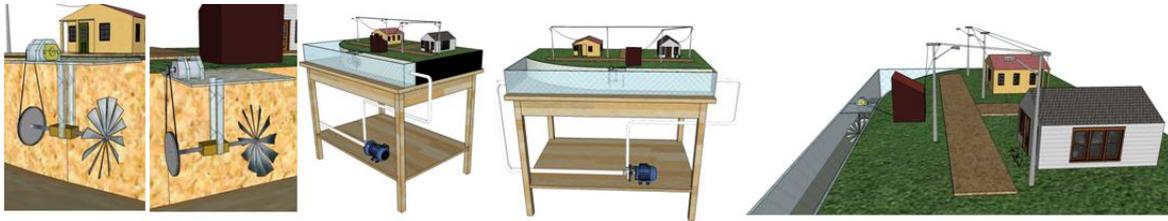


Figura 2 - Desenhos em 3D na fase de projeto.

A bancada tem como função comportar as três partes principais do projeto: o sistema hidráulico, o protótipo de geração de energia e a maquete com a pequena cidade como mostra a Figura 3. O projeto facilita o entendimento de questões importantes envolvidas em engenharia, pois correlaciona áreas do conhecimento como hidráulica, materiais, eletrônica, turbomáquinas, transmissão de potência, mecânica dos fluidos etc.

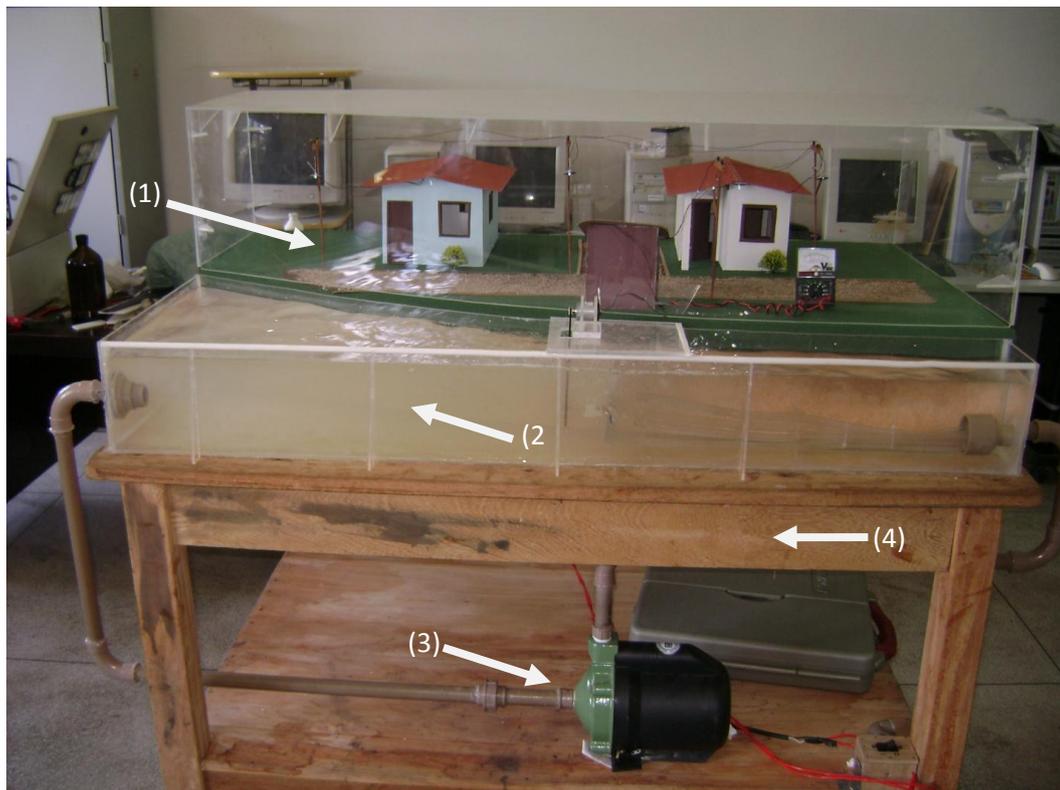


Figura 3 - Maquete (1), tanque (2), sistema hidráulico (3), bancada (4)

2.2 Projeto e funcionamento da maquete

A maquete simula uma pequena comunidade geograficamente isolada às proximidades de um rio, onde o suprimento energético das concessionárias locais não está disponível. Sabe-se que, cerca de 85% dos pequenos povoados localizados no interior do estado do Amazonas ao longo da calha oriental do rio Amazonas são razoavelmente atendidos pela concessionária

local utilizando motor diesel-elétrico e os 15% restante estão em regiões que impossibilitam esse atendimento (IBGE, 1992). Tal aspecto, mostra que há a necessidade de desenvolver novas tecnologias capazes de atender comunidades isoladas, além de reduzir os impactos ambientais promovidos pelos combustíveis fósseis existentes em muitos dos pequenos vilarejos da região amazônica.

Portanto, no presente trabalho, descreve-se um sistema hidrocínético em escala reduzida que simula a geração de energia utilizando recursos dos próprios rios da região. Neste caso, a maquete utilizada é abastecida pelo sistema hidrocínético instalado no centro do tanque. As imagens da construção e funcionamento da maquete aparecem na Figura 4. Os componentes foram projetados em escala de 1:20. O circuito elétrico da cidade possui nove LED de cor branca de alto brilho ligados em paralelo a uma tensão média contínua de 2.8V e corrente de 0.7mA fornecida pelo gerador CC. Os dados de tensão são fornecidos por um multímetro analógico instalado na maquete, figura 3. Os componentes presentes na maquete e no sistema elétrico são: duas casas, postes, fiação elétrica, LED, multímetro, capacitor, um dispositivo regulador de tensão para evitar sobrecargas.

A maquete ajuda o aluno a compreender que o sistema hidrocínético é capaz de substituir por completo o fornecimento energético tradicional proveniente das redes de distribuição. Tal feito representa uma quebra de paradigma, já que para muitos as energias renováveis são vistas como realidades distantes. Equipamentos domésticos como lâmpadas, ventiladores, refrigeradores entre outros são perfeitamente acionados com esse tipo de fonte.

O circuito elétrico da bancada também pode ser usado como exemplo de uma aplicação prática de conceitos de eletrotécnica visto em sala de aula, mostrando a função de cada componente e suas devidas formulações, proporcionando aos alunos entendimento sobre circuitos elétricos associados a partir do acionamento mecânico de rotores hidrocínéticos.



Figura 4 - Imagens da construção e funcionamento da maquete.

2.3 Sistema hidrocínético em escala reduzida

O protótipo tem como objetivo gerar energia elétrica para um pequeno sistema espalhado ao longo da maquete, que foi construída com uma configuração proposital para que a observação de seus componentes e de suas operações seja clara. Seu funcionamento dá-se pela passagem da água no plano do rotor da turbina, fazendo-o girar, transmitindo a potência

através do sistema de transmissão por correias até o eixo do gerador ligado ao sistema elétrico.

Os componentes presentes no sistema mecânico são: (1) rotor de alumínio de 12 pás com 10 cm de diâmetro fixado ao eixo por buchas; (2) eixo de aço maciço com 8 cm de comprimento e 3mm diâmetro apoiado em mancal de deslizamento; (3) polia motora com diâmetro de 55mm; (4) polia movida de diâmetro igual a 6,85mm; (5) correia; (6) gerador elétrico e estruturas de acrílico. Estes componentes são apresentados nas Figuras 5 e 6.

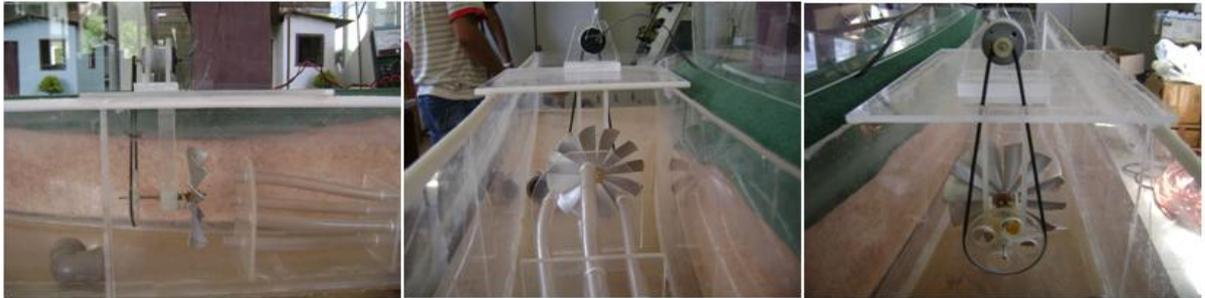


Figura 5 - Imagens do protótipo.

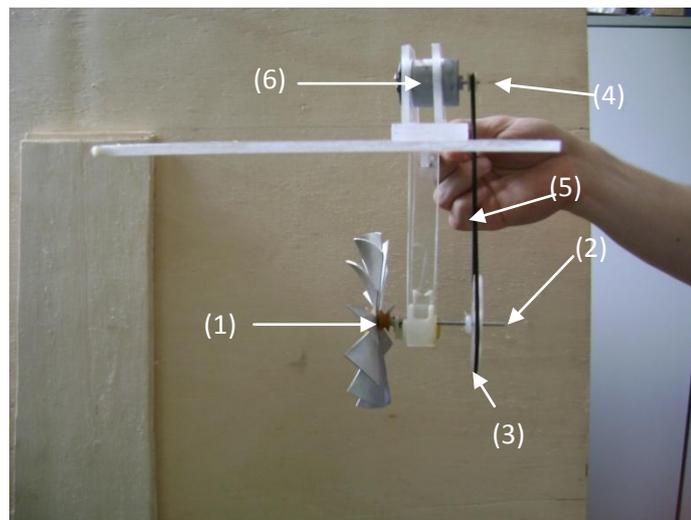


Figura 6 - Componentes do protótipo

O rotor é o componente mecânico composto por pás que são responsáveis por aproveitar a energia cinética presente no fluxo de água e transformá-la em energia cinética de rotação. As características geométricas dessas pás afetam diretamente o desempenho da turbina e por isso devem ser estudadas e controladas. Os estudos nessa área são importantes para a otimização das formas e perfis de pás e para o avanço dessa tecnologia, pois aumenta a eficiência da turbina e torna o seu uso ainda mais interessante do ponto de vista da capacidade de fornecimento energético. No caso desse trabalho foi escolhido um rotor com chapas curvas de alumínio, que apesar de não apresentar boa eficiência se comparado aos perfis usados nas turbinas reais atende às necessidades do projeto em questão.

Transmissão mecânica é o subsistema necessário para o acoplamento entre o eixo do rotor com o eixo do gerador. A sua eficiência também é importante porque afeta consideravelmente o rendimento geral do protótipo. Para melhorar o rendimento da transmissão devem ser observados parâmetros e conceitos sobre o assunto. A relação de

transmissão, que é dada pela razão entre o diâmetro da polia movida pela polia motora, é um dos parâmetros que devem ser bem calculados, pois influencia bastante a geração do sistema. A transmissão por correia foi escolhida pelo fato de ser mais simples de ser construída e de bom acesso visual por parte do observador.

O gerador elétrico é o componente do protótipo responsável pela conversão da energia que vem da transmissão mecânica em energia elétrica. Uma atenção especial deve ser dada a este componente, porque sua forma de operação e eficiência afeta substancialmente a geração energética da turbina. Para se ter uma idéia, para um mesmo rotor e dois geradores diferentes pode haver maior ou menor eficiência no sistema. Por exemplo, o uso de um gerador elétrico assíncrono para sistemas com altas variações de velocidade é menos eficiente do que um gerador síncrono de ímã permanente, que é apropriado a baixas rotações e altos torques, além de serem mais adequados a grandes variações de velocidade, como ocorrem em turbinas de pequeno porte. Desta forma, para um estudante de engenharia tais conhecimentos são relevantes, pois a decisão sobre o tipo de gerador elétrico a ser utilizado em uma turbina de eixo axial afeta diretamente o bom dimensionamento do sistema.

3 OS DESAFIOS E SOLUÇÕES ENCONTRADOS NA CONSTRUÇÃO E NO FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

Durante as fases de testes notou-se que o escoamento dentro do tanque estava muito turbulento, o que influenciava negativamente na rotação da turbina, reduzindo a sua eficiência. A turbulência é um fenômeno caracterizado por movimentos tridimensionais aleatórios de partículas fluidas fazendo-as se misturar enquanto se movimentam ao longo do escoamento (Fox *et al.*, 2010) e reduz a quantidade de energia disponível no fluxo de água incidente para aproveitamento pela turbina. Por isso o escoamento de água deve se apresentar o mais laminar possível para uma melhor eficiência do rotor. Levando-se em conta essa observação, resolveu-se introduzir um dispositivo chamado "colméia" para amenizar essa turbulência. A Figura 7 mostra os diferentes tipos desenvolvidos neste trabalho.

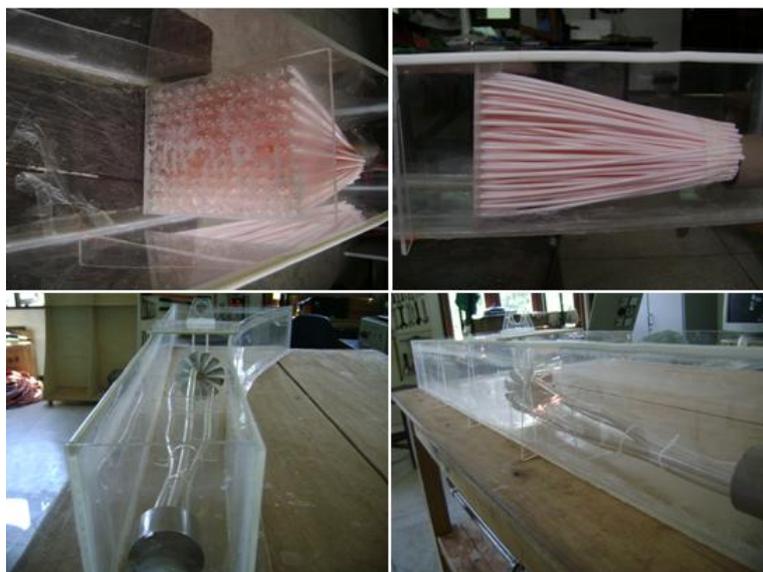


Figura 7 - Colméias para reduzir o efeito turbulento do escoamento

Foram aplicados três tipos de colméia, uma com 154 dutos e 3 mm de diâmetro, outra com 3 dutos com diâmetro igual a 9 mm, e outra com 4 dutos de mesmo diâmetro da anterior.

A primeira tornou o escoamento laminar, porém ocorreu uma grande perda de carga devido ao grande número de dutos e ao diâmetro reduzido destes. Este fato diminuiu a velocidade do fluido, não atendendo satisfatoriamente ao sistema, reduzindo a potência do rotor (Hirsch & Worthington, 2008 e Vaz *et al.*, 2010). A segunda acionou o sistema elétrico e ligou os nove LED, porém, devido à má distribuição do fluxo nas pás do rotor, gerou uma grande vibração no rotor, que foi sentida na luminosidade dos LED. Já a terceira, com quatro dutos, acionou o sistema e manteve a tensão elétrica relativamente constante deixando o brilho do LED mais uniforme.

Quanto aos rotores, foram feitos testes com dois tipos, um com 4 e outro com 12 pás todos desenvolvidos com chapas curvas. Optou-se pelo rotor de 12 pás devido a sua menor vibração e maior torque obtido em relação ao de 4 pás. A vibração causa dissipação de energia no sistema, ocasionando a perda da eficiência do conjunto e a oscilação da tensão gerada. A Figura 8 ilustra os rotores.

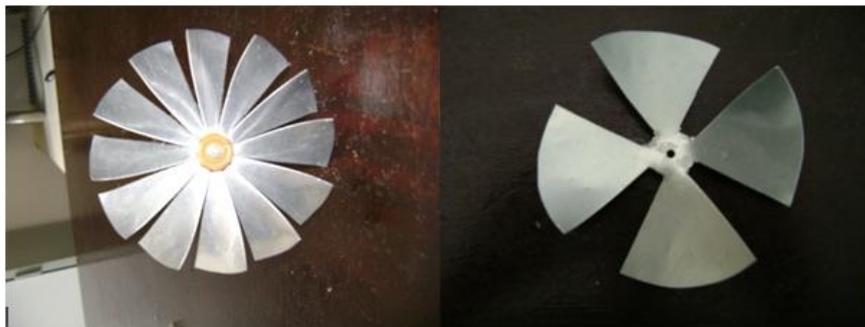


Figura 8 - Rotores utilizados.

Outro problema encontrado foi adequar um gerador à potência fornecida pelo eixo da turbina. Considerando que o modelo em questão apresenta-se em escala reduzida o eixo do rotor deve fornecer um valor de torque suficiente para vencer os esforços resistentes do sistema de transmissão e girar o eixo do gerador que, por sua vez, deve oferecer a menor resistência possível ao torque fornecido através das polias. A solução deste problema foi conseguida através da instalação do gerador com baixo torque resistente indicado na Figura 9.



Figura 9 - Gerador escolhido

Como a maioria dos componentes foi feita sem auxílio de máquinas de precisão as melhorias no protótipo não foram suficientes para eliminar totalmente a oscilação da tensão. Assim sendo, foi empregado um dispositivo eletrônico (capacitor) para efetuar essa tarefa.

Antes e após a instalação dos capacitores foram feitas medições e comparações da tensão gerada no circuito com o auxílio de um multímetro digital com capacidade de aquisição de dados. Na Figura 10 são mostrados dois gráficos da tensão em função do tempo decorrido obtidos pelo aparelho. O capacitor é um dispositivo armazenador de cargas elétricas e age como filtro no circuito, de forma a reduzir parcialmente as oscilações de tensão do gerador. No momento em que ocorre a queda na potência fornecida pelo gerador o capacitor age repondo cargas elétricas no circuito.

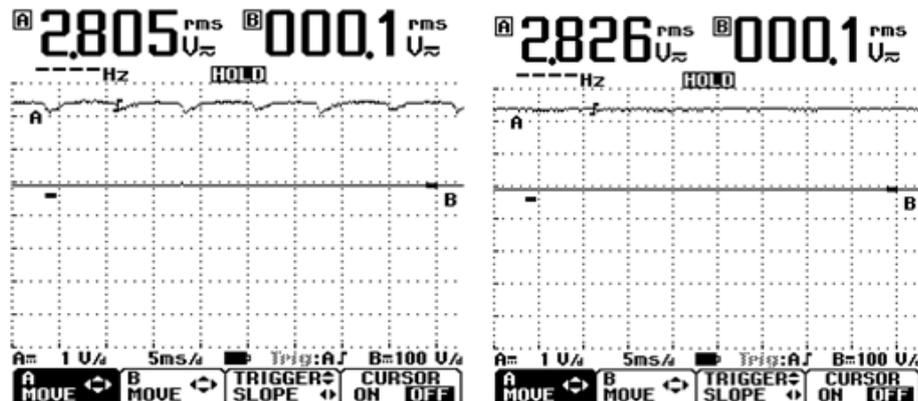


Figura 10 - À esquerda, sem capacitor. À direita, com capacitor.

Todos os desafios e soluções que foram encontrados durante o processo de confecção da bancada são discutidos junto aos alunos durante apresentações do projeto, dando uma maior atenção a graduação comentando os fundamentos teóricos usados para cada etapa de projeto.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto desenvolvido contribui para a disseminação do aproveitamento da energia do fluxo da água na forma de energia elétrica, objetivando o uso renovável de energia com baixo impacto ambiental. É claro que por se tratar de um protótipo em escala reduzida só gera pequenas potências. No entanto, apresenta-se como uma forma prática de levar o conhecimento da energia hidrocínética aos graduandos em engenharia, principalmente pelo fato de que, apesar da tecnologia hidrocínética ser nova já existe turbinas de maior porte em operação capazes de gerar maior potência e acionar dispositivos domésticos, importantes para a rotina das pessoas como: computadores, televisões, geladeiras, lâmpadas, ventiladores etc (Souza *et al.*, 2006).

É de suma importância para o ensino nas graduações em engenharia a criação de programas que estimulem o aprendizado ao uso de novas alternativas energéticas ainda em desenvolvimento. Com a visualização do modelo em operação o aluno pode ter uma melhor percepção do funcionamento da turbina, dos dispositivos a ela acoplados, dos princípios físicos envolvidos, das aplicações do modelo, das dificuldades de projeto e instalações empregadas. O modelo também abre pauta para várias áreas de estudo como modelagem estrutural de perfis de pás, aerodinâmica, vibrações entre outros.

5 REFERÊNCIAS

Livro

Fox, R. W.; McDonald, A. T.; Pritchard, P. J. "Introduction to Fluid Mechanics" LTC, 7th ed., Rio de Janeiro, Brazil, 2010. p. 38.

Artigos

- IBGE, Sinopse Preliminar do Censo Demográfico do Amazonas, Projeto Potencialidades, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 1992. p. 25.
- Souza, F. M.; Oliveira, T. F.; Brasil Junior, A. C. P. "Estudo Experimental de um Modelo Reduzido de Turbina Hidrocinética", Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil, 2006. 10p.

Trabalhos em eventos

- Hirsch, Brian; Worthington, Monty. "Hydrokinetic Turbines in Canals: Potential and Reality". Bureau of Indian Affairs Tribal Service Providers Conference. YRITWC Energy Department. Anchorage, Alaska, 2008.
- Sale, D.; Jonkman, J.; Musial, W. "Hydrodynamic Optimization Method and Design Code for Stall-Regulated Hydrokinetic Turbine Rotors". ASME 28th International Conference on Ocean, Offshore, and Arctic Engineering, Honolulu, Hawaii, E.U.A, 2009.
- Vaz, D. A. T. D. R.; Vaz, J. R. P.; Blanco, C. J. C.; Pinho, J. T. "Uma Extensão do Método BEM Aplicada ao Projeto de Rotores Hidrocinéticos de Fluxo Livre". III Congresso Brasileiro de Energia Solar, Belém, Pará, Brasil, 2010.

Dissertação

- Rodrigues, A. P. S. P. "Parametrização e Simulação Numérica da Turbina Hidrocinética – Otimização via Algoritmos Genéticos". Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica, Publicação ENM.DM-119A/07, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil, 2007. 94p.

CONSTRUCTION OF A HYDROKINETIC PROTOTYPE IN SMALL-SCALE TO ELECTRIC ENERGY GENERATION APPLIED TO EDUCATION

Abstract: *This paper presents the foundations of power generation by using a prototype of a hydrokinetic turbine built in reduced scale for undergraduate students in Mechanical Engineering and High School students in order to facilitate the understanding of the mechanisms, advantages and difficulties of implementing new technologies for generation of so-called clean energy, another point is disclose the need of the world in finding a implementing these new technologies. This article discusses the construction and assemblage of the components present in the mechanism of the project, which consists of a rotor that takes part of the kinetic energy of the water's flow pumped into a tank and transmits in the form of kinetic energy of rotation through the spindles, pulleys and belts for a small electric generator that feeds the lighting network installed in a countertop model. This mechanism clearly and pedagogically demonstrates the electricity generation using a hydrokinetic turbine.*

Key-words: hydrokinetic turbine, clean energy, energy generation.