

# PROTÓTIPO HIDROKINÉTICO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA APLICADO À EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA

Sávio Wesley Oliveira Figueiredo,<sup>1</sup> Teófilo Rennan Miranda da Silva,<sup>2</sup> Jerson Rogério Pinheiro,<sup>3</sup> Claudio José Cavalcante Blanco,<sup>4</sup> Déborah Aline Tavares Dias do Rio Vaz<sup>5</sup>

## RESUMO

Este trabalho apresenta fundamentações da geração de energia elétrica pelo uso de um protótipo de uma turbina hidrocínética, construído em escala reduzida, para alunos da graduação em engenharia e alunos do ensino médio, com o intuito de facilitar o entendimento dos mecanismos, suas dificuldades e vantagens. O trabalho também oportuniza a divulgação da necessidade que o mundo tem de encontrar e implantar tecnologias de geração de energias renováveis. Assim, é discutida a importância do uso da energia hidrocínética como sistema alternativo, principalmente em comunidades isoladas, como as da Região Amazônica. O protótipo consiste de um rotor que aproveita parte da 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. Esse mecanismo demonstra claramente e pedagogicamente a geração de energia elétrica usando uma turbina hidrocínética.

**Palavras-chave:** Turbina hidrocínética; energia renovável; geração de energia.

## HYDROKINETIC PROTOTYPE FOR ELECTRICITY GENERATION APPLIED TO EDUCATION IN ENGINEERING

### ABSTRACT

This paper presents the fundamentals of power generation by using a prototype of a reduced scale hydrokinetic turbine for engineering undergraduate students and high school students in order to facilitate their comprehension of the mechanisms, the advantages and difficulties. This paper also favors the dissemination of the necessity the world has to find and deploy technologies to generate renewable energy. Thus, the importance of using the hydrokinetic energy system as an alternative generation is discussed, especially in isolated communities, such as some in the Amazon region. The prototype consists of a rotor that takes part of the kinetic energy of the water's flow pumped into a tank and transmits as kinetic energy of rotation through power shafts, pulleys and belts to 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.

**Keywords:** Hydrokinetic turbine; renewable energy; energy generation.

<sup>1</sup> Bolsista ITI-A pelo CNPq. Estudante do 6º semestre do curso de Engenharia Mecânica da UFPa; savio.figueiredo@itec.ufpa.br

<sup>2</sup> Bolsista ITI-A pelo CNPq. Estudante do 10º semestre do curso de Engenharia Mecânica da UFPa; teofilorennan@gmail.com

<sup>3</sup> Prof. Adjunto I da Faculdade de Engenharia Mecânica da UFPa. Doutor em Engenharia Elétrica pela UFPa; jerson@ufpa.br

<sup>4</sup> Prof. Adjunto II da Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFPa. Ph.D. pelo INRS-ETE da Universidade do Quebec; blanco@ufpa.br

<sup>5</sup> Bolsista DTI - 2 pelo CNPQ. Estudante de Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia pela UFPa. Mestre em Engenharia Mecânica pela UFPa; deborahvaz@ufpa.br

## INTRODUÇÃO

### A preocupação da sociedade mundial com as fontes de energia

Uma das grandes preocupações que as várias sociedades enfrentam diz respeito aos impactos ambientais devidos à geração de energia, e às possibilidades de se desenvolver novas tecnologias para que a demanda de fontes renováveis tenha maior participação na matriz energética mundial. Problemas ambientais como o aquecimento global estão associados à crescente emissão de poluentes advindos do uso de combustíveis fósseis. Na tentativa de mitigação desses problemas, outras formas de energias não convencionais, chamadas de energias alternativas, estão ganhando aceitação, dados a sua sustentabilidade e baixo impacto ambiental durante operação.

No Brasil, destacam-se a energia eólica, a solar, a biomassa e a hidroelétrica. A última delas abrange, comumente, as turbinas hidráulicas convencionais e as turbinas hidrocinéticas, que fazem parte do foco deste artigo.

O Brasil tem um bom potencial para o aproveitamento eólico, os locais próximos à costa e as elevações (topo dos montes ou montanhas) são, em geral, as que possuem as melhores condições de vento. Por exemplo, o estado do Pará é banhado, ao nordeste, pelo oceano Atlântico, o que mostra, pelos estudos realizados por Frade (2000), que o potencial eólico nessa região é interessante à geração de energia eólica, principalmente ao uso de sistemas de pequeno porte.

Quanto à utilização da energia solar, vem sendo bastante intensa, tornando-se, inclusive, comum em sistemas domésticos, sinalização marítima, eletrificação de cercas e outros (BARRETO et al., 2008). Macêdo (2011) afirma que a aplicação de sistemas solares residenciais no Brasil é extremamente interessante, porque permite uma produção de electricidade distribuída, o que é essencial para suprir áreas remotas. Considerando-se a Amazônia brasileira, onde há muitas comu-

nidades isoladas, há um grande interesse no uso de sistemas solares para o fornecimento de energia para pequenas residências.

Também o uso de biomassa sólida tem se tornado expressivo no Brasil. De acordo com Barreto et al. (2008), no início de 2006, havia 294 sistemas isolados (biomassa) em operação, autorizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Na região Norte, eram 288, no estado de Mato Grosso, 32 e, nos estados de Pernambuco, Bahia, Maranhão e Mato Grosso do Sul, mais 4. Tomados em conjunto, esses sistemas cobrem quase 50% do território nacional, consomem aproximadamente 2% da energia elétrica utilizada no país e representam a mesma proporção do PIB. Cabe ressaltar que, além dos 294 sistemas isolados autorizados, existem centenas de sistemas isolados em operação sem autorização, mesmo quando pertencentes a concessionárias, e outras tantas centenas de localidades sem atendimento. Esses aspectos mostram a necessidade de se desenvolver mais pesquisas no uso de fontes alternativas para atender comunidades não assistidas pelas concessionárias locais. Diante do grande potencial existente, as micro e minicentrals hidrelétricas (MCH) podem vir a ser uma boa opção para o atendimento dessas comunidades, uma vez que sítios localizados no interior amazônico, por exemplo, se mostram propícios à implantação dessas pequenas unidades de geração. Quintas et al. (2011) desenvolveram avaliações de uma MCH para uma pequena comunidade da Região Amazônica, considerando os aspectos econômicos e ambientais. No estudo, a MCH demonstrou ser viável quando comparada ao grupo gerador diesel da comunidade. Em termos de energia, as MCHs são mais viáveis do que os geradores a diesel e são ambientalmente sustentáveis, principalmente porque tais projetos envolvem pequenas áreas inundadas – nesse caso, não são maiores do que 0,02 km<sup>2</sup> (QUINTAS et al. 2011).

## A distribuição de energia elétrica no Brasil

O processo de eletrificação nacional tem ocorrido semelhantemente aos de outros países, acontecendo a partir dos grandes centros industriais e das grandes cidades para as pequenas cidades e comunidades rurais (MENEZES, 2009). Porém, em muitas comunidades rurais isoladas, como as presentes na Região Amazônica, a instalação de linhas elétricas sequer acontece. Tal fato ocorre devido a certas características limitantes do processo inerente a essas comunidades, tais como a localização geográfica de difícil acesso, baixa densidade populacional e baixo nível de atividade econômica. Esse conjunto de características desestimula a universalização do serviço de energia.

Como consequência, as comunidades rurais isoladas têm o seu desenvolvimento econômico-social limitado, ou seja:

A falta de acesso à eletricidade é um fator indicativo de más condições de vida, uma vez que implica em dificuldades quanto à qualidade de serviço de saúde (atendimento e serviços limitados em hospitais, inadequado acondicionamento de medicamentos e vacinas), de abastecimento de água, de educação, além de acesso limitado a informações e interferência em atividades econômicas e de subsistência, por dificultar o acondicionamento adequado de bens perecíveis e seu beneficiamento. (cf.: MENEZES, 2009).

De acordo com os estudos de Blanco *et al.* (2008), o desenvolvimento socioeconômico na Região Amazônica tem como um dos principais obstáculos a falta de energia elétrica, que atinge inúmeras comunidades isoladas, afetando negativamente a produção agrícola e a criação de empregos em geral, pois os sistemas convencionais centralizados não atendem às demandas produtivas das pequenas comunidades, além das demandas domésticas.

Portanto, é necessário alcançar a eletrificação dessas comunidades através de outros meios que não sejam os modelos

convencionais centralizados. Essa linha de pensamento é mostrada no trecho abaixo:

Hoje, a idéia que a energia não deve ser gerada apenas a partir de plantas centralizadas e distribuídas por redes já não é iconoclastia. Redefinido em novembro de 1995, no seminário de Marrakesh, o conceito de Eletrificação Rural Descentralizada (ERD) está recebendo um novo impulso. (cf.: GOUVELLO e MAIGNE, 2003).

## O emprego das tecnologias de energias alternativas renováveis para geração de energia descentralizada na Amazônia

Uma das soluções mais sensatas adotadas é investir no desenvolvimento de sistemas de tecnologias limpas de geração de energia descentralizada. Tais sistemas, aplicados a comunidades rurais isoladas na Região Amazônica, devem aproveitar o potencial natural energético disponível nas localidades e, assim, proporcionar a melhoria de vida das populações, através da viabilização do funcionamento de pequenas escolas, postos médicos, máquinas para processamento de grãos da produção local, etc.

Em muitas áreas da Amazônia, é possível lançar mão da geração de energia solar, eólica, biomassa e hidráulica. No caso deste artigo, o foco é a aplicação da energia hidráulica, que engloba as turbinas hidrocinéticas (THCs) para a produção de energia em pequena escala.

As THCs são equipamentos destinados a extrair parte da energia cinética da correnteza de um rio sem intervir no seu curso natural, de maneira análoga às turbinas eólicas, podendo ser instaladas às margens deste. Essas turbinas necessitam apenas da energia cinética dos rios para operar.

Seu funcionamento requer alguns pré-requisitos básicos: i) rios perenes com uma profundidade mínima durante o ano todo; ii) poucos detritos flutuantes, para se evitar choques contra a turbina; iii) velocidade mínima da correnteza das águas; e iv) possibilidade de ancoragem da turbina na margem ou no fundo do rio (ELS, 2005).

Tudo depende de estudos prévios desses locais, para avaliação da viabilidade de funcionamento. Na Amazônia, uma quantidade grande de comunidades localiza-se às margens de rios, baías e do oceano Atlântico, a exemplo das comunidades da Ilha de Marajó, que ainda não usufruem da energia elétrica proveniente do sistema nacional, pois as linhas elétricas ainda não chegaram até lá (VAZ, 2011). As comunidades mencionadas acima possuem características que estimulam o uso das TCHs. Segundo a autora, o fato de esses povoados estarem localizados nas proximidades de rios, “que são recursos naturais de energia das correntes de água e que podem ter bom potencial elétrico a ser explorado durante o ano inteiro, atrai atenção para a possibilidade de instalação das THC’s”. O estudo da viabilidade de implantação de turbinas hidrocinéticas para a geração de energia em regiões isoladas tem se destacado no Brasil (RODRIGUES, 2007), visto que tais sistemas, além da utilização de energia limpa pelo uso de fonte renovável, contribuem para o avanço tecnológico e sustentável do país. De acordo com esses estudos, diversas localidades apresentam bom potencial para a implantação de sistemas hidrocinéticos, principalmente aquelas localizadas na Região Amazônica (RIO VAZ, 2011 e RIO VAZ *et al.*, 2011).

### **A construção de um protótipo hidrocinético para ser utilizado como ferramenta de ensino e conscientização**

O processo de conscientização sobre o uso das energias renováveis pode ser difundido através da utilização de meios didático-pedagógicos. Para tal fim, foi construída uma maquete, na qual é representado um vilarejo com o abastecimento elétrico oriundo de uma turbina hidrocinética.

O intuito é apresentar à graduação e ao ensino médio 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. Deseja-se, também, aumentar o grau de inserção e interesse desses alunos na

discussão sobre geração de energia elétrica provenientes de fontes renováveis.

A divulgação da existência de alternativas energéticas causadoras de menor dano ao meio ambiente mostra-se como passo fundamental para o uso e desenvolvimento da tecnologia hidrocinética, principalmente na Região Amazônica, onde são inúmeros os rios com bom potencial hídrico. Nas graduações em engenharia, a disseminação desse conhecimento permite aos alunos entenderem de modo satisfatório o mecanismo de funcionamento e também desenvolverem melhorias para o assunto em questão. Essa divulgação não se prende apenas a graduandos, o trabalho pode igualmente ser apresentado a alunos do ensino médio, na tentativa de aumentar o interesse desses jovens sobre o assunto. Nesse caso, os alunos passam a ter uma melhor noção de geração de energia elétrica para atendimento de pequenas comunidades isoladas.

## **PROJETO DO SISTEMA HIDROcinÉTICO EM ESCALA REDUZIDA**

### **Projeto e funcionamento da bancada**

O sistema compreende uma maquete, com um protótipo de turbina hidrocinética 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 à sua montagem e desmontagem.

Para representar fisicamente o sistema, foi construída uma bancada 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 do sistema de conversão de energia.

O funcionamento do sistema está representado na Figura 1, na qual se observa que parte da energia cinética fornecida pela bomba ao fluido é aproveitada pelo protótipo

para ser convertida em energia elétrica, alimentando tanto os componentes do circuito presente ao longo da maquete quanto a outra parte que se mantém no fluido.

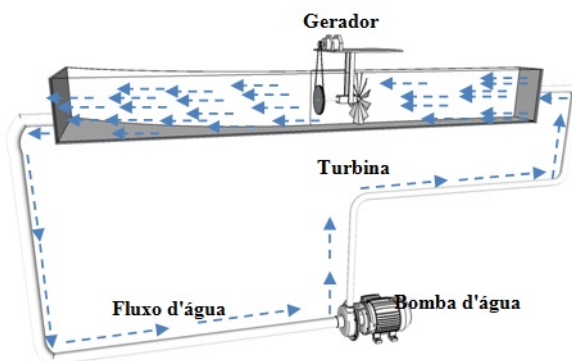


Figura 1 – Ilustração do sistema hidrocínético utilizado na bancada.

A construção da bancada teve como base os desenhos mostrados na Figura 2, além de estudos relacionados à geração de energia através de turbinas hidrocínéticas realizados por Vaz (2011) e Vaz *et al.* (2011). 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 diversas áreas do conhecimento, como hidráulica, materiais, eletrônica, turbomáquinas, transmissão de potência, mecânica dos fluidos, etc.

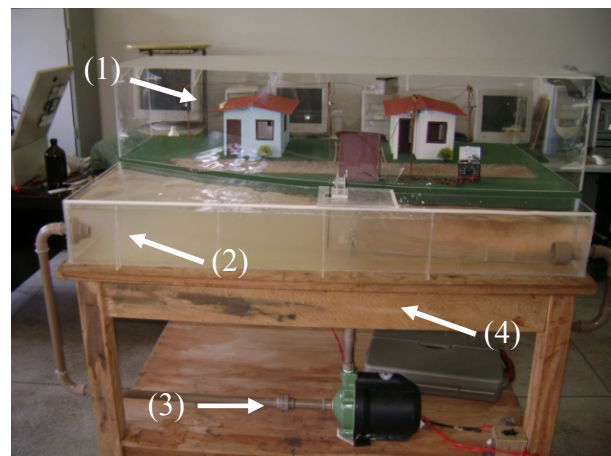
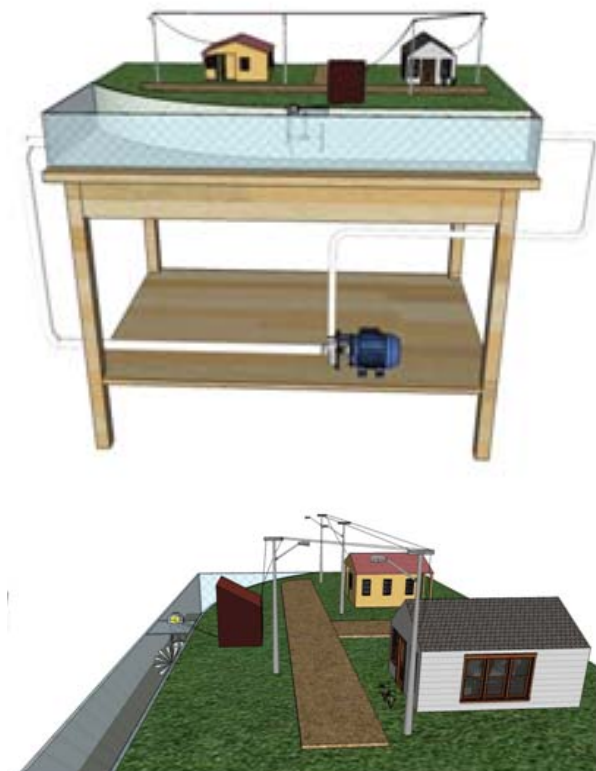


Figura 3 – Maquete (1), tanque (2), sistema hidráulico (3), bancada (4).

### Projeto e funcionamento da maquete

A maquete simula uma pequena comunidade, eletricamente 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 Norte 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), fato que se estende à Calha Norte dos estados do Pará e Amapá. Tal aspecto mostra que há a necessidade de se desenvolver novas tecnologias capazes de atender a 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 rios da região. 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 (*Light Emitting Diode*) 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 e 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.

### Sistema hidrocínético em escala reduzida

O protótipo tem como objetivo gerar energia elétrica para o pequeno sistema elétrico espalhado ao longo da maquete, que foi construída com uma configuração proposital para que a observação de seus componentes e de suas operações fosse clara. Seu funcionamento dá-se pela passagem da água no plano do rotor da turbina, fazendo-o girar, transmitindo 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 3 mm de diâmetro, apoiado em mancal de deslizamento; (3) polia motora com diâmetro de 55 mm; (4) polia movida de diâmetro igual a 6,85mm; (5) correia; (6) gerador elétrico e estruturas de acrílico. Esses componentes são apresentados nas figuras 5 e 6.

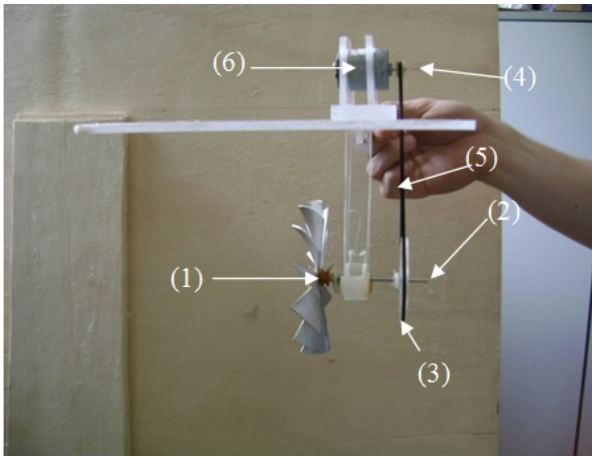


Figura 5 – Componentes do protótipo.



Figura 6 – Imagens 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 podem aumentar a eficiência da turbina e torna o seu uso ainda mais interessante do ponto de vista da capacidade de fornecimento energético. No caso deste trabalho, foi escolhido um rotor com pás de chapas curvas, em alumínio, que, apesar de não apresentar boa eficiência se comparado aos perfis de pás usadas nos rotores de turbinas reais, atende às necessidades do projeto em questão.

A transmissão mecânica é o subsistema necessário para o acoplamento entre o eixo do rotor e 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 por oferecer 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 esse componente, porque sua forma de operação e eficiência afeta substancialmente a geração energética da turbina. Para se ter uma ideia, 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. Dessa 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.

### OS DESAFIOS E SOLUÇÕES ENCONTRADOS NA CONSTRUÇÃO E NA OPERAÇÃO 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, que se misturam enquanto se movimentam ao longo do escoamento (FOX *et al.*, 2010), reduzindo a quantidade de energia disponível no fluxo de água incidente, para o aproveitamento pela turbina. Por isso, o escoamento de água deve se apresentar o mais laminar possível, para uma melhor eficiência do rotor. Considerando essa observação, introduziu-se um dispositivo chamado “colmeia” para amenizar a turbulência. A Figura 7 mostra os diferentes tipos desenvolvidos neste trabalho.

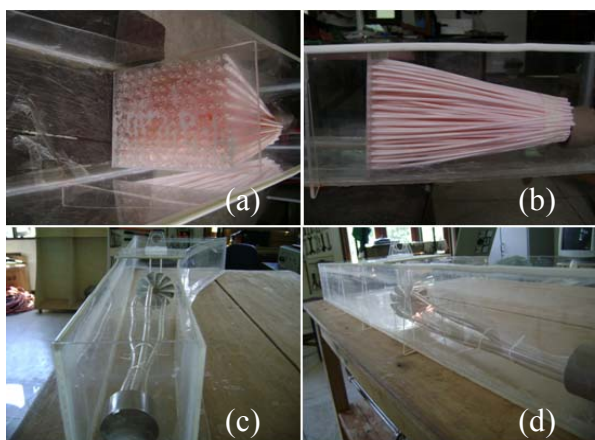


Figura 7 – Colméias para reduzir o efeito turbulento do escoamento.

Foram aplicados dois tipos de colmeia, uma com 154 dutos de 3 mm de diâmetro (Figura 7 a e b) e outra com 4 dutos (Figura 7c) 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. Esse fato diminuiu a velocidade do fluido, não atendendo satisfatoriamente ao sistema, reduzindo a potência do rotor (HIRSCH e WORTHINGTON, 2008; 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 a luminosidade 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 por 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.

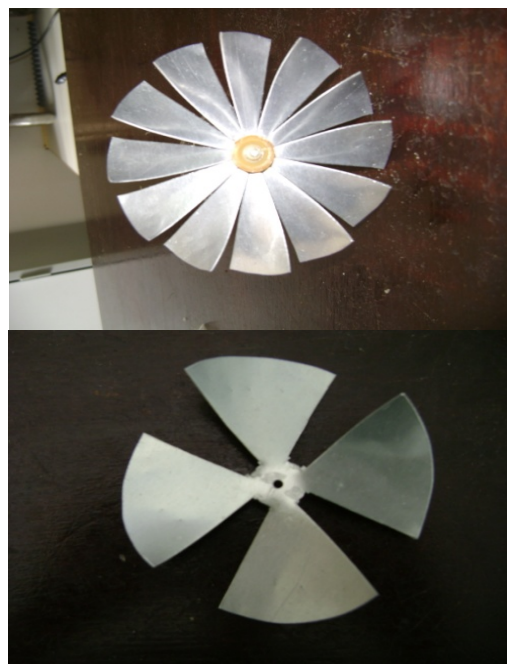


Figura 8 – Rotores utilizados, de 12 e 4 pás.



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 desse problema foi conseguida através da instalação do gerador com baixo torque resistente, indicado na Figura 9.

O gerador elétrico, que, na verdade, é um motor elétrico de corrente contínua, foi retirado de um aparelho leitor de fitas VHS e acoplado ao eixo da turbina, alcançando uma rotação suficiente para gerar a potência para acionar o circuito de LED.

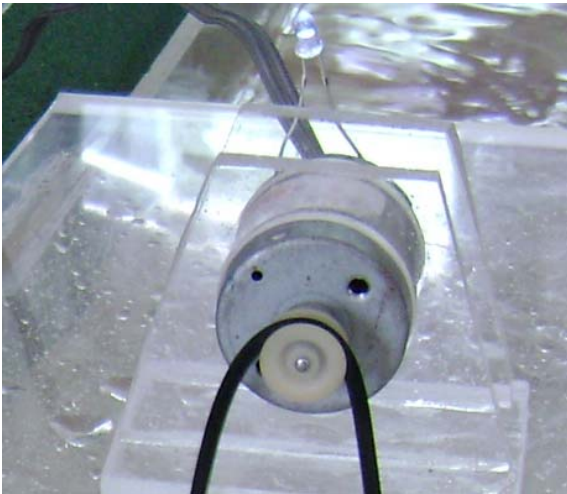


Figura 9 – Gerador escolhido.

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, foram empregados capacitores para efetuar essa tarefa. 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. 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, os quais foram obtidos pelo aparelho. O gráfico do sistema com capacitores apresenta uma reduzida variação de tensão.

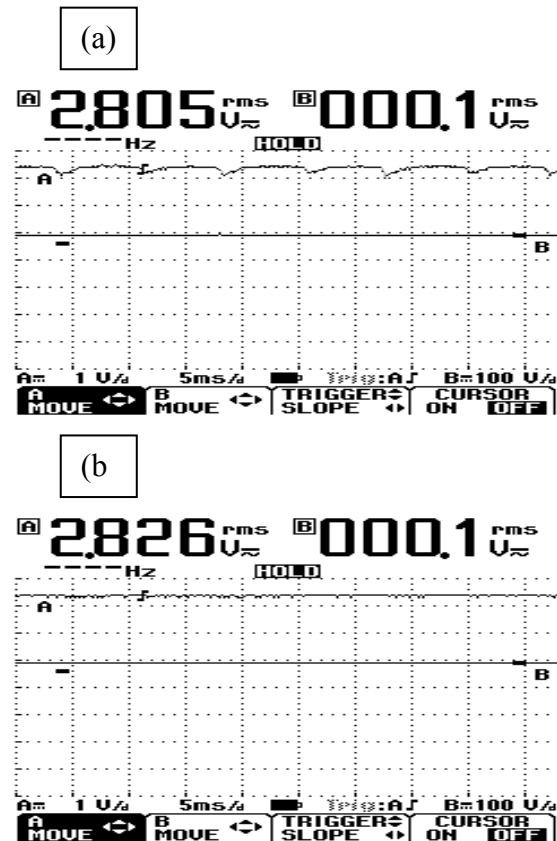


Figura 10 – Sem capacitor (a), com capacitor (b).

Todos os desafios e soluções que foram encontrados durante o processo de confecção da bancada serão discutidos com os alunos durante apresentações da bancada dentro do projeto INCT-EREEA/MCT/CNPq.

### 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, o mesmo só gera pequenas potências. No entanto, apresenta-se como uma forma prática

de disseminar o conhecimento da energia hidrocínética aos graduandos em engenharia e aos alunos de ensino médio. Fato importante, já que a tecnologia hidrocínética, apesar de ser nova, já apresenta turbinas de maior porte em operação, capazes de gerar maiores potências.

Assim, é de suma importância para o ensino, nas graduações em engenharia, a criação continuada de programas que estimulem o aprendizado do uso de novas alternativas energéticas ainda em desenvolvimento.

O trabalho descrito aqui faz parte de um projeto estruturante do Instituto de Energias Renováveis e Eficiência Energética da Amazônia. Esse projeto estruturante tem os objetivos de desenvolver materiais didáticos (*kits* e cartilhas) e de divulgação para escolas de ensino médio e fundamental, porém, no caso do protótipo de turbina hidrocínética, também será estendido à divulgação nas engenharias. Outros trabalhos, que tratam de outras tecnologias de energias renováveis, estão sendo desenvolvidos paralelamente a este. O passo posterior será a confecção de cartilhas educativas sobre tecnologias de energias renováveis.

O saldo total esperado dessa ação é a obtenção de uma sociedade com uma maior e melhor visão sobre as tecnologias de geração de energia que utilizam fontes renováveis. Por esse caminho, a expansão da eletrificação das regiões e comunidades rurais isoladas da Amazônia e de outros lugares do Brasil poderá ser otimizada.

## REFERÊNCIAS

- BLANCO, C. J. C.; SECRETAN, Y.; MESQUITA, A. L. A. Decision support system for micro-hydro power plants in the Amazon region under a sustainable development perspective. *Energy sustainable development*, v. 12, p. 25-33, 2008.
- BARRETO, E. J. F.; PINHO, J. T., TIAGO FILHO, G. L.; RENDEIRO, G., NOGUEIRA, M. E GONZALEZ, W. de A., **Tecnologias de energias renováveis: Soluções Energéticas para a Amazônia**, Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 2008.
- COIMBRA, R. J. S.; FIGUEIREDO, R. M. B. **Impactos ambientais das centrais hidroelétricas**. Coimbra: Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, 2003.
- ELS, R. V. **Energia elétrica para comunidades isoladas na Amazônia**. Centro de Desenvolvimento Sustentável. Monografia apresentada no curso de Doutorado, 2005.
- FELIZOLA, E. R.; MAROCCOLO, J. F.; FONSECA, M. R. S. **Identificação de áreas potenciais para implantação de turbina hidrocínética através da utilização de técnicas de geoprocessamento**. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, 2007.
- FOX, Robert. W.; MCDONALD, Alan. T.; PRITCHARD, Philip. J. **Introduction to fluid mechanics**. 7<sup>th</sup> ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. Cap. 2.
- FRADE, L. C. S. **Estudo da potencialidade de energia eólica no litoral do estado do Pará**. Dissertação (Mestrado) - PPGEE, UFPA. Belém, 2000.
- GOUVELLO, C.; MAIGNE, Y. **Eletrificação rural descentralizada – uma oportunidade para a humanidade**. Técnicas para o Planeta. CRESESB – CEPEL. Rio de Janeiro, 2003.
- HIRSCH, B.; WORTHINGTON, M. **Hydrokinetic turbines in canals: potential and reality**. Bureau of Indian Affairs Tribal Service Providers Conference, Anchorage, AK, 2008.
- IBGE. **Sinopse preliminar do censo demográfico do Amazonas. Projeto Potencialidades**. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1992.
- MACÊDO, W. N.; MAIA, K.; NASCIMENTO, A.; GALHARDO, M. A. B.; PINHO, J. T. Experimental results of a 180 Wp solar home system to supply typical river dweller families in the Amazon. In: ISES SOLAR WORLD CONGRESS 2011, Kassel. **Proceedings...** Kassel, 2011. v. 1.
- MENEZES, P. C. P. **Análise da equidade no acesso à energia elétrica utilizando técnicas de regressão espacial: estudo de caso no estado do Amazonas, Brasil**. 111f. Trabalho de Conclusão de Curso (Dissertação de Mestrado em Estudos Populacionais e Pesquisas Sociais) - Escola Nacional de Ciências Estatísticas, Rio de Janeiro, 2009.
- QUINTAS, M. C., BLANCO, C. J. C.; MESQUITA, A. L. A. Analysis of two schemes using micro hydroelectric power (MHPs) in the Amazon with environmental sustainability and

energy and economic feasibility. **Environment, Development and Sustainability**, Netherlands, v. 14, n. 2, p. 283-295, 2011.

RODRIGUES, A. P. S. P. **Parametrização e simulação numérica da turbina hidrocínética** – otimização via algoritmos genéticos. 94 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007.

SOUZA, F. M.; OLIVEIRA, T. F.; BRASIL JUNIOR, A. C. P. **Estudo experimental de um modelo reduzido de turbina hidrocínética**. Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2006.

VAZ, D. A. T. R. D.; BLANCO, C. J. C. B.; VAZ, J. R. P.; MESQUITA, A. L. A. e PINHO, J. T. Uma extensão do método bem aplicada ao projeto de rotores hidrocínéticos de eixo horizontal. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 2, Série 1, p. 78-88, 2011.

VAZ, D. A. T. R. D. **Projeto de rotores hidrocínéticos de eixo horizontal adaptados às condições dos rios amazônicos**. 116f. Trabalho de

Conclusão de Curso (Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

VAZ, J. R. P. **Estudo de turbinas eólicas adaptadas a baixas velocidades de vento**. 166f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Grupo de Recursos Hídricos da Amazônia (GRHAMA) e no Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE), sendo ambos membros do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Energias Renováveis e Eficiência Energética da Amazônia (INCT – EREEA); como parte de um projeto financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Os autores agradecem as duas bolsas ITI-A e uma DTI-2.

---

## DADOS DOS AUTORES



**Sávio Wesley Oliveira Figueiredo** é estudante do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará. Atualmente é bolsista ITI-A pelo CNPQ e desenvolve estudos no campo das energias renováveis.



**Teófilo Rennan Miranda da Silva** é bacharel em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Pará – UFPA (2011), na área de Sistemas de Energia. Atualmente é bolsista ITI-A pelo CNPq. Possui experiência na área de Sistemas Hidrocínéticos e Mecânica dos Sólidos.



**Jerson Rogério Pinheiro Vaz** possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Pará – UFPA (2000), mestrado em Geofísica pela UFPA (2004) e doutorado em Engenharia Elétrica pela UFPA (2010), na área de Sistemas de Energia. Atualmente é professor adjunto I da Faculdade de Engenharia Mecânica do Instituto de Tecnologia da UFPA. Possui experiência na área de modelagem matemática-numérica, atuando principalmente nos seguintes temas: análise numérica, aerodinâmica, projeto de rotores eólicos, hidrocínéticos e aerogeradores.



**Claudio José Cavalcante Blanco** possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Pará (1995), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (1998) e doutorado em Sciences de l'Eau - Institut National de la Recherche Scientifique - Eau, Terre et Environnement (2005). Atualmente é professor adjunto II da Universidade Federal do Pará. Possui experiência na área de recursos hídricos, com ênfase em hidrologia, metodologias para implantação de Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH); e hidrodinâmica lacustre, fluvial e estuarina. Também atua na área de desenvolvimento sustentável. Em Engenharia Mecânica, tem experiência em dinâmica dos fluidos computacional, principalmente em lubrificação hidrodinâmica.



**Déborah Aline Tavares Dias do Rio Vaz** possui licenciatura plena em Matemática pela Universidade do Estado do Pará (2007), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Pará (2011). Atualmente, cursa o doutorado em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia pela Universidade Federal do Pará, sendo bolsista DTI - 2 pelo CNPQ. Tem experiência na área de matemática aplicada, com ênfase em análise numérica e sistemas hidrocinéticos, atuando principalmente nos seguintes temas: energia renovável e métodos numéricos.