

**Modalidade do trabalho:** Relato de experiência  
**Evento:** XXIII Seminário de Iniciação Científica

## **PROJETO DE UMA TURBINA HIDRÁULICA PORTÁTIL<sup>1</sup>**

**Ricardo Böhm<sup>2</sup>, Roger Schildt Hoffmann<sup>3</sup>.**

<sup>1</sup> Trabalho de conclusão de curso do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul

<sup>2</sup> Aluno do Curso de Graduação do Curso de Engenharia Mecânica da UNIJUI

<sup>3</sup> Professor Mestre do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias

### **Introdução**

Existem diversas formas de geração de energia elétrica, entre elas as Usinas Hidrelétricas, Eolielétricas, Termelétricas, entre outras. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, do total da potência outorgada pelos empreendimentos em operação no Brasil, 71,20% é proveniente do uso de usinas hidrelétrica de energia, devido a grande abundância de fontes hídricas no Brasil.

Entretanto, novas formas de aproveitamento energético vêm sendo instaladas e usadas nas residências da população, entre elas pode citar o aquecedor solar e a célula fotovoltaica, que minimizam a dependência da energia elétrica vinda da rede pública.

Este trabalho visa dimensionar uma turbina hidrocínética portátil para possibilitar a geração de energia elétrica em locais afastados que tenham uma fonte de energia hidráulica, ou seja, lugares que se encontrem rios ou riachos. O trabalho analisará os resultados obtidos, como a potência útil e o tamanho da turbina portátil.

### **Metodologia**

O dimensionamento do rotor da turbina seguiu o roteiro para cálculo de rotor axial para turbina hidráulica do tipo Kaplan, pelo método do vórtice potencial, proposto por HENN, 2010. Com este roteiro é possível determinar a forma da pá do rotor para o projeto sugerido.

A partir do dimensionamento do rotor, será apresentado o projeto mecânico da turbina portátil, onde será proposto uma concepção de turbina para satisfazer as necessidades do projeto.

Foi respeitado alguns parâmetros construtivos para o projeto do rotor da turbina proposta, que consiste em uma pequena turbina hidrocínética axial, para poder ser facilmente transportada para lugares remotos, indicando as características como diâmetro externo da turbina, velocidade da corrente de água entre outros citados no Tabela 1.

**Modalidade do trabalho:** Relato de experiência  
**Evento:** XXIII Seminário de Iniciação Científica

|        | Descrição da característica    | Valor | Unidade           | Observação     |
|--------|--------------------------------|-------|-------------------|----------------|
| $d_e$  | Diâmetro externo da turbina    | 0,295 | m                 |                |
| $d_i$  | Diâmetro interno da turbina    | 0,08  | m                 |                |
| $v$    | Velocidade da corrente da água | 0,6   | m/s               |                |
| $\eta$ | Rendimento global da turbina   | 40    | %                 | (SANTOS, 2004) |
| $n$    | Rotação da turbina             | 90    | rpm               |                |
| $\rho$ | Densidade do fluido            | 1000  | kg/m <sup>3</sup> |                |
| $N$    | Número de pás                  | 4     |                   |                |

Características de projeto do rotor da turbina

### Resultados e discussão

A partir da definição destes dados, pode-se dar início ao desenvolvimento dos cálculos, seguindo o roteiro para cálculo de um rotor axial para turbina hidráulica do tipo Kaplan pelo método do vórtice potencial, proposta por Henn (2010).

Inicialmente precisa-se encontrar a área de passagem do fluido, calculando através da Equação (1), obtendo:

$$A = \frac{\pi}{4} (d_e^2 - d_i^2)$$

$$A = 0,0632 \text{ m}^2$$

Equação 1

Com o resultado da Equação (1), pode-se encontrar a vazão que deverá passar pela turbina, a partir da Equação (2).

**Modalidade do trabalho:** Relato de experiência  
**Evento:** XXIII Seminário de Iniciação Científica

$$Q = v A$$

$$Q = 0,0379 \text{ m}^3/\text{s}$$

Equação 2

O salto energético disponível foi considerado como sendo a velocidade da corrente da água dividido por dois, por ser uma turbina horizontal, o que impossibilita o uso da equação  $Y = g.H$ , usada para calcular o salto energético de turbinas axiais com rotores verticais, logo o salto energético será calculado pela Equação (3).

$$Y = \frac{v^2}{2}$$

$$Y = 0,018 \text{ J/kg}$$

Equação 3

Conhecendo os valores de  $Q$  e  $Y$ , pode-se encontrar o valor da velocidade de rotação específica, o qual está associado à forma e as proporções dos rotores de máquinas de fluxo e é uma informação fundamental para a seleção do tipo de máquina mais adequada para determinada situação. A Equação (4) será utilizada para este cálculo.

$$n_{qa} = 10^3 \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{Q^{1/2}}{Y^{3/4}}$$

$$n_{qa} = 1057,74 \text{ rps}$$

Equação 4

**Modalidade do trabalho:** Relato de experiência  
**Evento:** XXIII Seminário de Iniciação Científica

Com os dados das Equações 2 e 3, pode-se partir agora para os cálculos da potência disponível e potência útil disponível da turbina proposta. A potência disponível pode ser calculada pela Equação (5).

$$P = \rho Q Y$$

$$P = 6,8353 W$$

Equação 5

Já, a potência útil da turbina,  $P_e$ , será calculada pela Equação (6).

$$P_e = \rho Q Y \eta$$

$$P_e = 2,7341 W$$

Equação 6

A partir desta etapa serão definidos o número e os diâmetros das superfícies a serem consideradas para os cálculos dos perfis do rotor. Quanto o maior número de superfícies adotadas, maior será a precisão do traçado das pás do rotor. Para o projeto proposto serão determinadas cinco superfícies, correspondendo ao diâmetro exterior  $d_5$ , ao diâmetro médio  $d_3$ , ao diâmetro interior  $d_1$  e mais duas intermediárias a estas denominadas  $d_2$  e  $d_4$ . Neste caso a distância radial entre os cortes cilíndricos da pá, terá o valor de

$$b = \frac{d_e - d_i}{4}$$

$$b = 0,0575$$

Equação 7

**Modalidade do trabalho:** Relato de experiência  
**Evento:** XXIII Seminário de Iniciação Científica

Para cada diâmetro correspondente à superfície cilíndrica considerada, a velocidade tangencial que será calculada pela Equação (8).

$$u = \pi d_{\infty} \frac{n}{60}$$

Equação 8

Sabendo a velocidade tangencial para cada diâmetro determinado da turbina consegue-se calcular a variação da componente de giro da velocidade absoluta entre a entrada e a saída do rotor, através da Equação (9).

$$\Delta c_u = \frac{Y \eta}{u_{\infty}}$$

Equação 9

Os valores da velocidade relativa da corrente não perturbada podem ser calculados pela Equação (10).

$$w = \sqrt{(u_{\infty} - \Delta c_{u\infty}/2)^2 + c_m^2}$$

Equação 10

O valor do ângulo  $\beta$ , ou seja, o ângulo que a velocidade  $w$  forma com a direção da velocidade tangencial  $u$ , pode ser definido através da Equação (11).

$$\beta = \arctg \frac{c_m}{u_c - \Delta c_u/2}$$

**Modalidade do trabalho:** Relato de experiência  
**Evento:** XXIII Seminário de Iniciação Científica

# Equação 11

Os dados inseridos na Tabela 2 correspondem aos resultados da velocidade tangencial,  $u_{\infty}$ , da variação da componente de giro da velocidade absoluta entre a entrada e a saída do rotor,  $\Delta c_{u\infty}$ ; e a velocidade relativa da corrente não perturbada,  $w_{\infty}$ , para cada diâmetro de superfícies adotado,  $d_{\infty}$ .

| $d_{\infty}$ | $u_{\infty}$ | $\Delta c_{u\infty}$ | $w_{\infty}$ |
|--------------|--------------|----------------------|--------------|
| 0,080 m      | 0,376 m/s    | 0,191 m/s            | 0,535 m/s    |
| 0,133 m      | 0,629 m/s    | 0,114 m/s            | 0,732 m/s    |
| 0,187 m      | 0,883 m/s    | 0,081 m/s            | 0,957 m/s    |
| 0,241 m      | 1,136 m/s    | 0,063 m/s            | 1,194 m/s    |
| 0,295 m      | 1,389 m/s    | 0,051 m/s            | 1,437 m/s    |

Resultados das velocidades do rotor

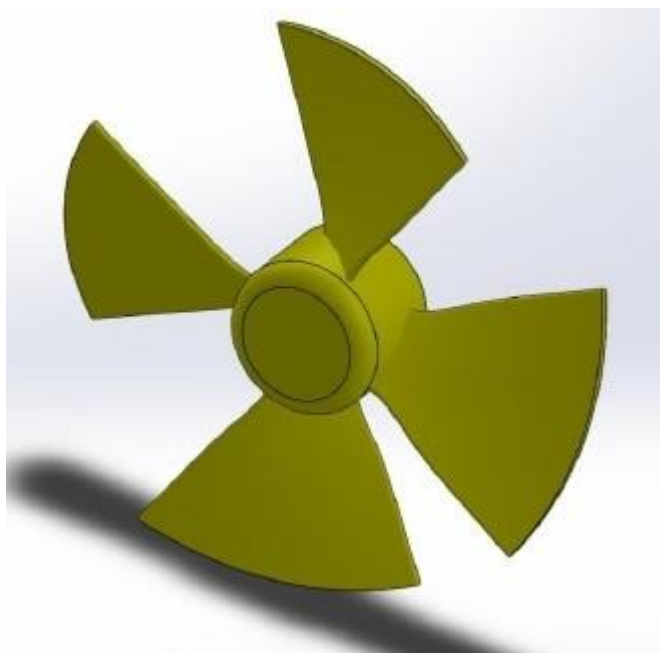
Na tabela 3 encontram-se os resultados para o ângulo  $\beta_{\infty}$ , que consiste no ângulo formado entre a velocidade relativa  $w_{\infty}$  e a velocidade tangencial  $u_{\infty}$ , o valor do passo entre pás,  $t_{\infty}$ , o comprimento da corda do perfil,  $L_{\infty}$ , e o coeficiente de sustentação,  $C_{s\infty}$ , para cada diâmetro de superfícies adotado,  $d_{\infty}$ .

| $d_{\infty}$ | $\beta_{\infty}$ | $t_{\infty}$ | $L_{\infty}$ | $C_{s\infty}$ |
|--------------|------------------|--------------|--------------|---------------|
| 0,080 m      | 45,5°            | 0,062 m      | 0,042 m      | 1,284         |
| 0,133 m      | 33,9°            | 0,104 m      | 0,070 m      | 0,530         |
| 0,187 m      | 26,3°            | 0,147 m      | 0,099 m      | 0,280         |
| 0,241 m      | 21,3°            | 0,189 m      | 0,127 m      | 0,172         |
| 0,295 m      | 17,9°            | 0,231 m      | 0,156 m      | 0,116         |

Resultados obtidos

**Modalidade do trabalho:** Relato de experiência  
**Evento:** XXIII Seminário de Iniciação Científica

Com base nos cálculos realizados, foi desenhado e apresentado na Figura 1 o rotor da turbina, seguindo rigorosamente os dados obtidos através dos cálculos apresentados anteriormente.



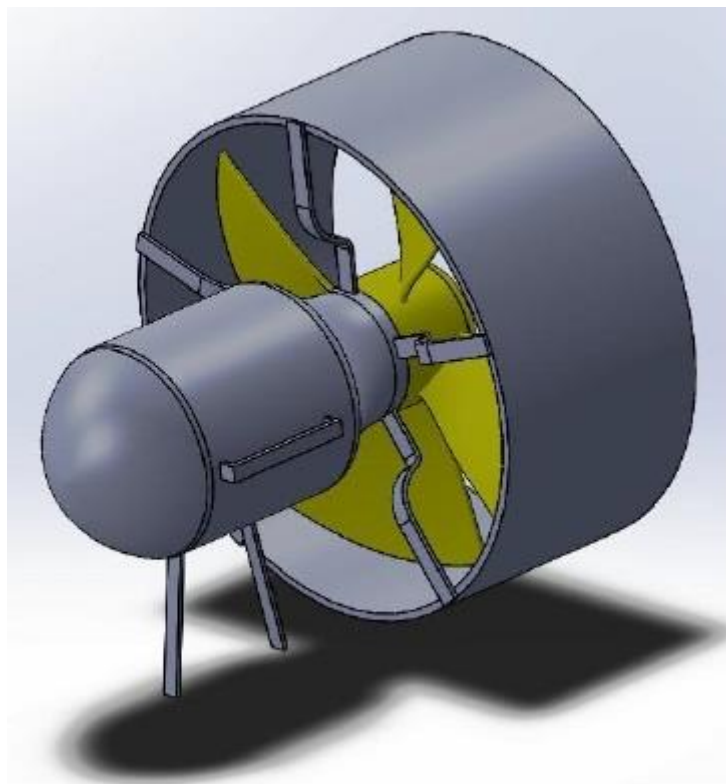
Rotor da Turbina

Após a definição do rotor da turbina é apresentado o esboço do projeto mecânico da turbina hidráulica portátil idealizada neste trabalho. O modelo proposto visa à facilidade de transporte e de alocação da turbina nos locais onde poderá ser utilizada.

O gerador desta turbina foi considerado, como referência, o motor comercial BOSCH modelo DPG de 24V. O comprimento e o diâmetro deste motor foram respeitados para o esboço do projeto da turbina.

A Figura 2 é a exposição do projeto da turbina axial hidrocínética elaborado neste trabalho, considerando os cálculos realizados e o gerador referenciado.

**Modalidade do trabalho:** Relato de experiência  
**Evento:** XXIII Seminário de Iniciação Científica



Projeto Turbina Axial Hidrocinética

A turbina possui um corpo cilindro para a proteção do gerador, impedindo o contato entre o gerador e o fluido. Abaixo do corpo há um suporte que possibilita um apoio uniforme, assim deixando-a em uma posição horizontal em relação ao fluxo do fluido.

Além disso, também há duas alças que deverão ser usadas para prender a turbina a dois elementos fixos fora do fluxo da água, onde a turbina estará inserida. Estes locais funcionarão como apoios impossibilitando que a turbina gire em torno de seu eixo e assegurando que o fluxo de água não deslocará a turbina de lugar. Há também um tubo ao redor do rotor, com a função de manter a velocidade do fluido constante após a passagem deste pelo rotor, assim aumentando a eficiência da turbina e também de proteger as pás do rotor de se chocarem com sedimentos depositados no local onde a turbina estará sendo utilizada.

### Conclusões

As informações que constam neste trabalho mostraram a metodologia de cálculo de um rotor axial e estabeleceram a teoria básica necessária para o desenvolvimento de turbinas hidrocinéticas de eixo axial portáteis.

**Modalidade do trabalho:** Relato de experiência  
**Evento:** XXIII Seminário de Iniciação Científica

De acordo com os resultados demonstrados nos cálculos a turbina apresentou uma baixa potência útil, entretanto o dimensionamento da turbina projetada atendeu a necessidade de portabilidade da turbina.

Para que ocorra um aperfeiçoamento e domínio dos métodos empregados é necessário dar continuidade aos estudos, realizando pesquisas de campo e recomenda-se a continuação deste trabalho para aprimorar esta tecnologia, visto que ainda há poucas referências na literatura técnica sobre a concepção e o uso de turbinas hidrocínéticas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Atlas de energia elétrica do Brasil. 2008. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>>. Acesso em: 23 mar 2015.

BOSCH. Catálogo Motores Elétricos. 2010. Disponível em: <[http://www.catalogobosch.com/BibliotecaPDF/El%C3%A9trica/Cat.%20Motores%20El%C3%A9tricos\\_I-Business\\_6%20008%20FP1%20851\\_12.2009.pdf](http://www.catalogobosch.com/BibliotecaPDF/El%C3%A9trica/Cat.%20Motores%20El%C3%A9tricos_I-Business_6%20008%20FP1%20851_12.2009.pdf)>. Acesso em: 20 mar 2015.

COSTA, Antonio Simões. Turbinas Hidráulicas e Condutos Forçados. 2003. Disponível em: <<http://user.das.ufsc.br/~moreno/nonlin/artigos/turb-hidr-2003.pdf>>. Acesso em: 25 mar 2015.

SANTOS, Sonia Magalhães dos. et al. Turbina Hidrocínética Axial. Disponível em: <[http://www.abcm.org.br/anais/encit/2004/artigos/symp\\_energy/CIT04-0695.pdf](http://www.abcm.org.br/anais/encit/2004/artigos/symp_energy/CIT04-0695.pdf)>. Acesso em: 20 mar 2015.

HENN, É. A. L. Máquinas de Fluido. 2.ed. Santa Maria: UFSM, 2006.

HENN, É. A. L. Máquinas de Fluido. 3.ed. Santa Maria: UFSM, 2010.

JUNIOR, A. C. B. et al. Turbina Hidrocínética Geração 3. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/biblioteca/citenel2007/pdf/it46.pdf>>. Acesso em: 20 mar 2015.

PFLEIDERER, C.; PETERMANN, H. Máquinas de Fluxo. Rio de Janeiro: LTC, 1979.

SOUZA, Zulcy de. Projeto de máquinas de Fluxo. Tomo IV, Turbinas hidráulicas com rotores axiais. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.