



Grupo de Estudo de Geração Hidráulica-GGH

USO DA TURBINA DE FLUXO REVERSÍVEL, DO TIPO WELLS, PARA CONVERSÃO DE ENERGIA MAREMOTRIZ.

ALMIR LUIZ RODRIGUES (1); GERALDO LÚCIO TIAGO FILHO (1); ANTONIO CARLOS BARKETT BOTAN (1);

RESUMO

Turbinas de fluxo reversível do tipo Wells têm sido utilizadas na geração de energia em unidades do tipo Usinas de Coluna de Água Oscilante - CAO, mas não interagindo diretamente com a água, mas sim com o movimento de sentido alternado da corrente de ar gerada pela variação das ondas em uma câmara fechada. Este trabalho consiste em dimensionar um sistema diretor para uma turbina de fluxo reversível do tipo Wells funcionando diretamente com o fluxo de água em usinas do tipo maremotriz. O sistema diretor tem o objetivo de guiar o fluxo radialmente, fazendo com que o ângulo de incidência da lâmina promova o mínimo de choque do fluido com a pá do rotor. O desenvolvimento consiste em calcular a geometria e determinar as características da pá diretriz (diâmetros, número de pás, ângulos de entrada e saída, velocidades de saída de fluido), simular o comportamento do escoamento e da máquina operando sob diferentes condições de carga, de rotação. O estudo é composto por simulações computacionais de três situações onde o distribuidor desenvolvido é posicionado, primeiramente, a montante, posteriormente a jusante e por fim, uma situação onde o distribuidor é posicionado a montante e a jusante.

PALAVRAS-CHAVE

Turbina Wells, Energia das Marés, Energia Maremotriz, Distribuidor.

1.0 - INTRODUÇÃO

Atualmente, um dos maiores desafios enfrentados pelos países é a busca por fontes de energia renováveis, limpas e baratas e sustentáveis, com menores impactos ambientais, que sejam economicamente viáveis, e que propiciam a diminuição da dependência dos combustíveis fósseis.

Os oceanos possuem grande potencial energético contido nas ondas e nas marés, mas ainda pouco explorado, mesmo tendo sido estudado desde a década de 1960, com a construção da usina maremotriz de La Rance na França. Desde então, pouco a pouco, novas usinas maremotrizes têm sido construídas na Europa e Ásia, e as novas tecnologias foram sendo desenvolvidas e aprimoradas para serem utilizadas na geração de energia elétrica.

No Brasil, a região nordeste apresenta as melhores condições para esse tipo de aproveitamento energético, onde a variação das marés pode chegar a 11m. Dessa maneira, existem estudos para implantação de usinas maremotrizes nessa região, nos quais, dentre eles, se destaca o estudo da usina no rio Bacanga, em São Luís, no Maranhão. As máquinas geralmente utilizadas nas usinas maremotriz são turbinas do tipo Kaplan, Bulbo e Straflo. No entanto, quando a usina é projetada para operar em duplo efeito, ou seja: com o fluxo da água nos dois sentidos, o dimensionamento da turbina torna-se complexo, pois precisa apresentar rendimento satisfatório operando com o escoamento em ambas as direções, sob diferentes condições operacionais de queda, vazão e rotação aos quais poderá ser submetida.

As turbinas de fluxo reversível podem ser utilizadas nesse tipo de geração de energia, pois o rotor gira no mesmo sentido independente do sentido do fluxo do fluido de trabalho. Um exemplo de turbina de fluxo reversível é a turbina do tipo Wells, desenvolvida na década de 1970, que é constituída por pás com perfil hidrodinâmico simétrico do tipo NACA 00xx que fazem com que a turbina gire na mesma direção, independente do sentido do fluxo de ar. As turbinas do tipo Wells se destacam por serem utilizadas em Centrais de Coluna de Água Oscilante – CAO, porém nesse tipo de central a turbina não interage diretamente com a água. Nas centrais CAO, a turbina Wells é acionada pelo movimento do ar gerado pela variação das ondas. Seguindo esse conceito foi desenvolvido esse projeto, que consiste em dimensionar um sistema diretor para uma turbina de fluxo reversível do tipo Wells impulsionada diretamente pelo fluxo de água. O sistema diretor tem o objetivo de guiar o fluxo radialmente, fazendo com que o ângulo de incidência da lâmina promova o mínimo de choque do fluido com a pá do rotor, aumentando assim sua eficiência.

O desenvolvimento do projeto consiste em determinar as características das pás diretrizes, como os diâmetros, número de pás, ângulos de entrada e saída, além de velocidades de saída de fluido. Simulações computacionais serão realizadas para analisar o comportamento do escoamento da máquina operando em diferentes condições de carga e de rotação.

2.0 - METODOLOGIA PARA DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

2.1 Turbina desenvolvida

Desenvolvida na década de 1970 por Alan Arthur Wells, a turbina reversível que leva seu sobrenome tem por características ser uma turbina axial. Suas pás são radialmente fixadas no cubo do rotor e possuem perfil hidrodinâmico simétrico tipo NACA 00xx posicionado a 90° ao eixo do rotor no plano de rotação normal ao fluxo incidente (1).

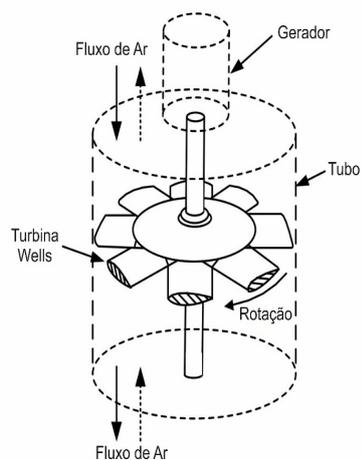


Figura 1 – Turbina de fluxo reversível do tipo Wells.
Fonte: (2), adaptado.

Estudos sobre turbina hidráulica do tipo Wells que possuem distribuidor e que utilizam ar como fluido de trabalho atingem cerca de 50% de eficiência. Foram analisadas situações onde a turbina operava sem distribuidor; um distribuidor a montante; um a jusante; um a montante e a jusante. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 2.

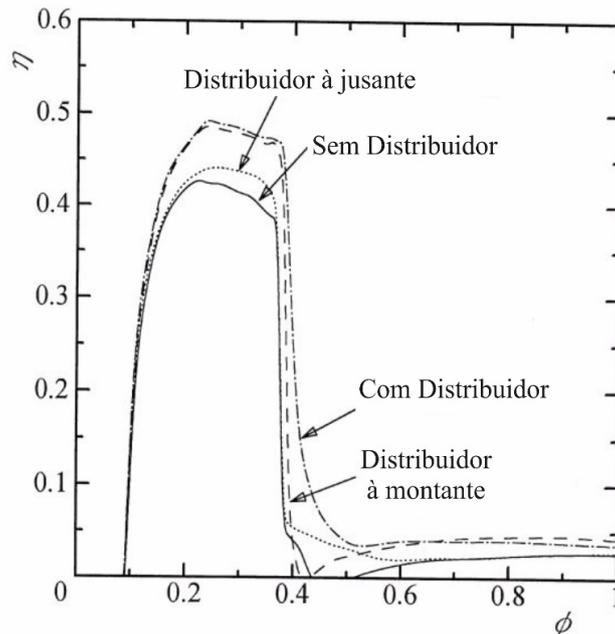


Figura 2 – Eficiência de uma turbina de fluxo reversível do tipo Wells com distribuidor.
Fonte: (3), adaptado.

Turbinas do tipo Wells são normalmente utilizadas com o ar como fluido de operação da turbina, porém, neste estudo, o fluido de trabalho utilizado para operar a turbina é a água.

Baseado na turbina desenvolvida por Wells, a turbina de fluxo reversível desenvolvida, apresentada na Figura 3(a), possui 6 pás simétricas, com perfil NACA 0015, porém as pás têm um ângulo de inclinação de 13°, diâmetro externo de 0,188m e relação de diâmetro de 0,6 (4).

Foram realizadas simulações computacionais onde a vazão varia de 0,01 a 0,04 m³/s e rotação tem valores 300, 400, 500, 600, 700 e 800 rpm. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 3(b), onde a eficiência máxima obtida foi de 62,49% para uma rotação de 400 rpm e uma vazão de 0,01749 m³/s (4).

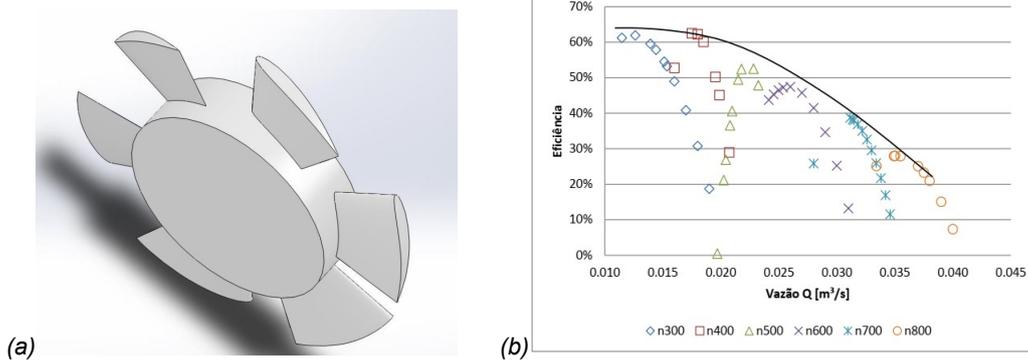


Figura 3 – Rotor de fluxo reversível e a curva de eficiência obtida.
Fonte: (4)

2.2 Distribuidor desenvolvido

O distribuidor desenvolvido, Figura 4 – Distribuidor desenvolvido., possui 10 pás, de 3mm de espessura e ângulo de ataque constante e igual a 0° em relação ao sentido de fluxo e ângulos de saída variável radialmente

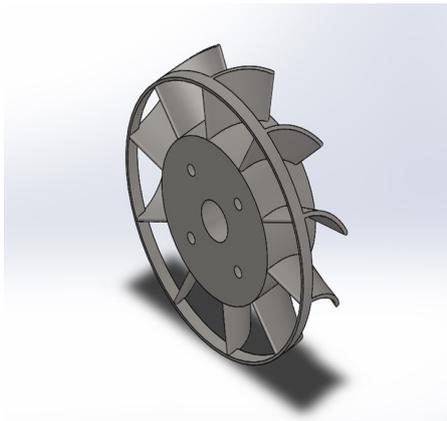


Figura 4 – Distribuidor desenvolvido.

2.3 Montagens Estudadas

Para o desenvolvimento do projeto foram analisadas 3 situações: com um distribuidor a montante; com um distribuidor a jusante e com dois distribuidores. As montagens são apresentadas na Figura 5.

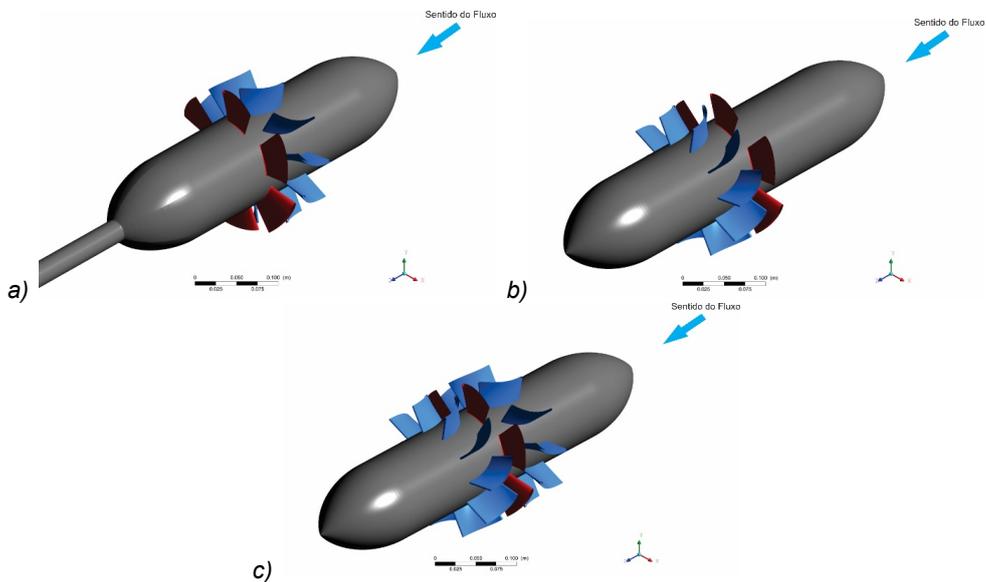


Figura 5 – Montagens com o distribuidor: a) montante, b) jusante e c) montante e jusante.

3.0 - RESULTADOS

O desempenho da turbina sob condições de fluxo constante foi avaliado pela eficiência da turbina (η), Equação (1). As definições desses parâmetros são as seguintes:

$$\eta = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot T}{Q \cdot \Delta p} \quad \text{Equação (1)}$$

$$\Phi = \frac{c_m}{u} \quad \text{Equação (2)}$$

Sendo:

- n : Rotação;
- T : Torque;
- Δp : Variação da pressão na turbina;

- Q : Vazão;
- u : Velocidade tangencial da turbina;
- c_m : Velocidade absoluta meridional;

Ao comparar a relação entre o coeficiente de vazão e o eficiência (Figura 6) com demais turbina de fluxo reversível existentes observa-se que os resultados que apresentaram maior rendimento se encontram com coeficiente de vazão entre 0 e 0,4, e atingem rendimento de, aproximadamente, 45%. Nas simulações computacionais da turbina hidráulica de fluxo reversível objeto deste estudo operando com água, o coeficiente de vazão ficou entre 0,2 e 0,4, porém o rendimento máximo obtido foi de 76,23%.

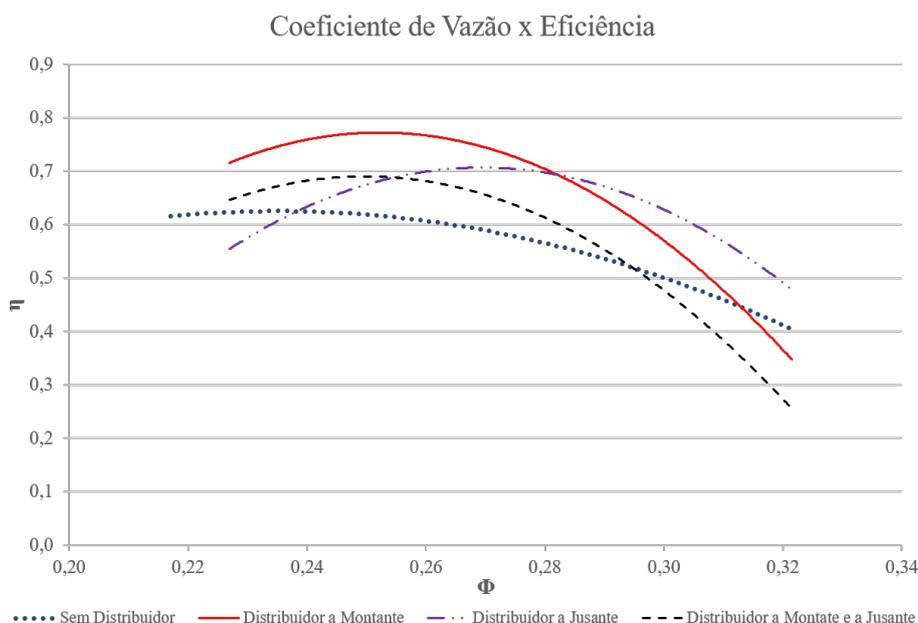


Figura 6 – Relação entre o coeficiente de vazão e a eficiência da turbina.

4.0 - CONCLUSÃO

O rotor desenvolvido com base na turbina Wells se comportou de forma adequada e apresentou rendimentos satisfatórios, mesmo operando em condições diferentes das usualmente conhecidas, como o fluido de trabalho do sistema que, originalmente, é o ar e neste projeto é utilizado água. Essa alteração do fluido influenciou no desenvolvimento do projeto, tanto na parte estrutural quanto na parte de análise do escoamento do fluido e no comportamento da turbina em todo o seu domínio operacional.

Analisando as turbinas Wells operando com ar e sem distribuidor apresentaram rendimentos na ordem de 40% e com distribuidor os rendimentos foram na ordem de 50%. Já os estudos realizados com a turbina Wells operando com água e sem distribuidor apresentaram rendimentos na ordem de 63% e no presente estudo foram obtidos rendimentos na ordem de 77%, nesse caso o rotor está associado com o distribuidor.

Os modelos computacionais permitiram simular diferentes arranjos para o rotor e distribuir, tais como: o distribuidor a montante (antes) do rotor, o distribuidor a jusante (depois) do rotor, distribuidor a montante e a jusante do rotor. Os resultados demonstraram que a atuação do distribuidor, independente do seu posicionamento, proporciona melhorias consideráveis nos rendimentos da turbina operando sem distribuidor, e amplia o campo operacional quando o distribuidor é colocado a montante, ou seja, antes do rotor.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) RAGHUNATHAN, S. The Wells Air Turbine for Wave Energy Conversion. Progress in Aerospace Sciences., Vol. 31. 335-386. 1995.

(2) OKUHARA, S., SETOGUCHI, T., TAKAO, M., TAKAMI, A., “Wells Turbine for Wave Energy Conversion”. Open Journal of Fluid Dynamics, 3, pp. 36-41. 2013.

(3) SETOGUCHI, T., SANTHAKUMAR, S., TAKAO, M., KIM, T. H., KANEKO, K. “Effect of guide vane shape on the performance of a Wells turbine”. Renewable Energy, vol. 23, 1-15. 2001.

(4) BOTAN, A. C. B. Desenvolvimento de uma turbina de fluxo reversível para uso em usina maremotriz com operação em duplo efeito. Tese de Mestrado em Ciências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia da Universidade Federal de Itajubá, Itajubá-MG, 2014.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Almir Luiz Rodrigues, graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) no ano de 2014, mestre em Engenharia Hídrica – Mestrado Profissional pela mesma instituição, no ano de 2019. Atualmente, integrante da equipe de projetos do Centro Nacional em Referência de Pequenas Centrais Hidrelétricas (CERPCH).