

ANÁLISE CFD NO PROJETO DE UM BANCO DE ENSAIOS DE TURBINA DE QUEDA ULTRA BAIXA

¹Antonio C. B. Botan, ²Ramiro G. R. Camacho, ³Letícia de Oliveira S. D. Colletta, ⁴Andrés C. Terceros

^{1,2,3}Universidade Federal de Itajubá, Brasil

⁴Universidad Mayor de San Andrés, Bolívia

¹acbotan@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

Os bancos de ensaios são fundamentais para validar experimentalmente o desempenho hidrodinâmico dos projetos de turbinas hidráulicas, e a análise CFD contribui ao fornecer informações detalhadas sobre o comportamento do escoamento interno, identificando regiões críticas como zonas de recirculação, cavitação e perdas hidráulicas (Jiang *et al.*, 2020; Patel *et al.*, 2021). Além disso, simulações numéricas permitem avaliar diferentes configurações geométricas e condições operacionais ainda na fase de projeto, otimizando tempo e recursos (Paudel *et al.*, 2022).

Com os avanços recentes em técnicas de modelagem, malhas adaptativas e processamento de alto desempenho, as simulações CFD tornaram-se mais precisas e acessíveis (Chandra *et al.*, 2021; Kumar *et al.*, 2023). Assim, a aplicação da CFD no desenvolvimento de bancos de ensaio para turbinas hidráulicas não apenas aprimora a eficiência do processo projetual, como também assegura maior segurança e robustez na validação de desempenho hidromecânico.

Este trabalho destaca a importância do uso de CFD no projeto de um banco de ensaios de uma turbina de quedas ultrabaixas ULH (Botan *et al.*, 2021). Os resultados apresentados são essenciais no dimensionamento do banco e da instrumentação empregada.

MATERIAIS E MÉTODOS

O modelo de turbina tipo bulbo ULH possui sistema diretor com seis aletas fixas, rotor com três pás e tubo de sucção tipo duplo com difusor interno, Figura 1. O laboratório possui sistema de tubulação com duas bombas ITAP 250-290 atuantes em paralelo. A escala do protótipo para o modelo é de 0,287, para a adaptação à tubulação de 16" existente.

O espaço existente no laboratório compreende o comprimento de 5,25 m desde o flange da válvula borboleta da tubulação até o acesso ao reservatório subterrâneo, onde será montado o sistema de fuga a jusante do tubo de sucção. A altura do nível do reservatório também é de suma importância para a determinar a altura de

sucção através do coeficiente de Thoma σ e verificar se a bancada não terá problemas relacionados à cavitação.

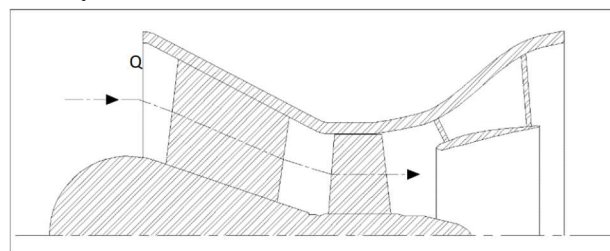


Figura 1.- Seção de corte longitudinal da turbina ULH.

O modelo tridimensional e malha do sistema hidráulico foi gerado em escala real, considerando o projeto de um equalizador de fluxo após a válvula borboleta. A malha gerada foi não estruturada tetraédrica sem camada prismática na região de parede. Por ser uma análise qualitativa dos efeitos físicos macro que não necessitam de precisão tão acurada e de menor custo computacional por ora, já seria previsto que o modelo de turbulência a ser utilizado seria o k- ϵ .

O modelo numérico foi simulado considerando regime permanente, construído em três domínios: a montante desde a entrada no equalizador de fluxo até a interface do sistema diretor com o domínio rotativo; domínio rotativo do rotor; e a jusante desde a interface deste último passando pelo tubo de sucção até a saída, no reservatório inferior. As condições de contorno utilizadas (vazão mássica, rotação do rotor e altura de queda líquida) foram pré-determinadas a partir de análise dimensional entre protótipo e modelo, considerando estudo anterior (Botan *et al.*, 2021).

RESULTADOS

Foram realizadas simulações variando-se a vazão na entrada e mantendo-se a rotação constante, para as rotações 645, 912 e 1442 rpm, levantando-se a curva de potência em função da vazão volumétrica (Figura 2). As curvas permitem que se tenha uma previsão do comportamento do modelo de turbina, prevendo-se as faixas de operação na qual será ensaiado experimentalmente.

Com a avaliação do comportamento fluidodinâmico durante cada simulação modelada, obteve-se como resultado os comprimentos de tubulação, a distância a montante a jusante da turbina para a instalação das tomadas de pressão, as faixas de

pressão e de vazão e a faixa de torque, assim como os limites de rotação.

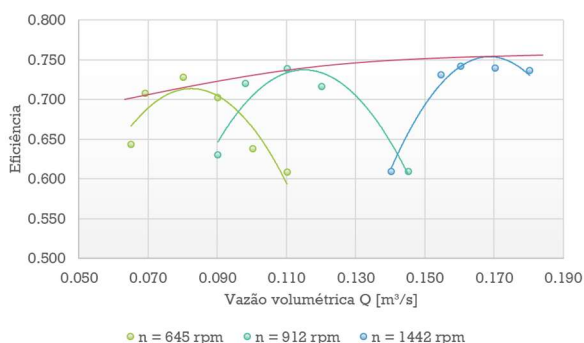


Figura 2.- Curvas de eficiência do modelo ULH.

Portanto, a rotação de ensaio será de até 1500 rpm, a pressão a montante é de 1,4 a 40 kPa, a pressão a jusante é de até 0,15 kPa, e o torque é de até 45 N.m. Estes valores são de vital importância para a seleção dos instrumentos do banco de ensaios. A Figura 3 apresenta as distancias seguras para as tomadas de pressão, sendo estas 0,5 metros à montante do rotor e 1,2 metros à jusante do rotor.

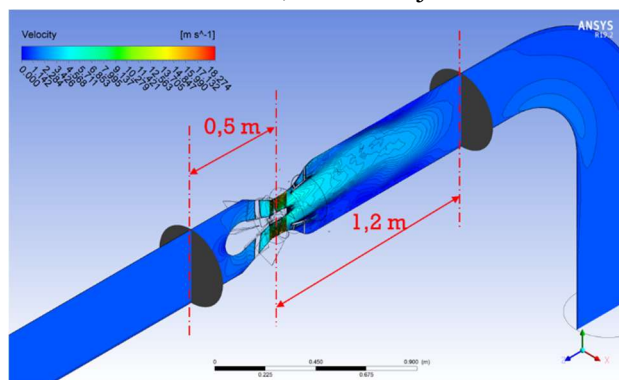


Figura 3.- Posições das tomadas de pressão no banco de ensaios.

Os componentes mecânicos do banco de ensaios também dependem destes resultados. A rotação e o torque determinam as dimensões de eixos, de acordo com os comprimentos necessários para transmissão, assim como os mancais de rolamento. A determinação das pressões também são importantes na definição de espessura da tubulação, assim como esforços para os sistemas de sustentação. Outros fatores que dependem deste estudo são relacionados ao banco de resistência para a frenagem de eixo ao controlar a rotação constante, dimensionamento de torquímetro, motor e inversor de corrente para controle de velocidade.

Os estudos de projeto mecânico resultaram em um banco de ensaio com tubulação de aço ASTM A-36 de 16" e paredes de 3/8", fixação por flanges parafusadas, com o rotor apoiado em mancais de rolamento vedados e com distribuição de apoios ao longo da tubulação. O conjunto central, composto por bulbo e sistema diretor, rotor e tubo de sucção, este último com sistema de posicionamento longitudinal apoiado no eixo para

estudos posteriores, são projetados em alumínio aeronáutico liga 7075, por sua resistência e usinabilidade.

Os instrumentos utilizados, sendo estes sensores de pressão estática, medidor de vazão, torquímetro, sensor de temperatura, sensor arduino para a rotação e motor com controle de rotação por placa dedicada, assim como o sistema de aquisição de dados, foram definidos respeitando os resultados obtidos pelas simulações de CFD.

A Figura 4 apresenta o banco de ensaios desenvolvido para este projeto.

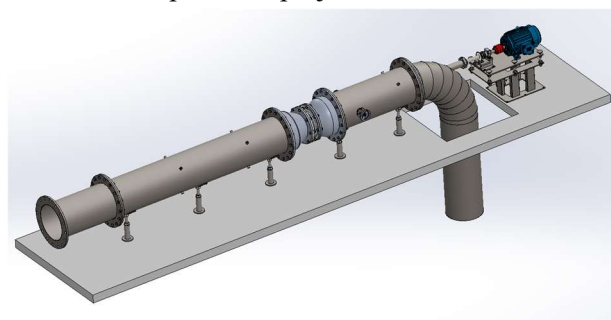


Figura 4.- Projeto do banco de ensaios.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com as simulações CFD demonstraram-se fundamentais para a definição dos parâmetros hidráulicos e geométricos do banco de ensaio, permitindo prever com precisão o comportamento do escoamento nas diferentes regiões do sistema. A análise numérica possibilitou definir as dimensões de projeto e também selecionar os instrumentos com segurança para as faixas de trabalho dos seus parâmetros físicos.

Com base nesses estudos, o projeto mecânico do banco de ensaio foi desenvolvido de forma otimizada, assegurando maior confiabilidade nos testes experimentais do modelo de turbina ULH. A integração entre modelagem computacional e engenharia aplicada mostrou-se eficaz para reduzir incertezas, minimizar custos com retrabalho e garantir uma infraestrutura de ensaio alinhada às exigências técnicas.

Devido o estudo desenvolvido tem caráter preliminar, novas simulações considerando eventuais alterações no projeto definitivo, e com maiores critérios na fluidodinâmica computacional, como refino nas regiões de parede, independência de malha, uso do modelo de turbulência SST, entre outros fatores, serão realizadas posteriormente. Um estudo mais criterioso deverá ser realizado com validação dos resultados experimentais.

REFERÊNCIAS

Botan, A. C. B.; Camacho, R. G. R.; Tiago Filho, G. L.; Da Silva, Edna R. (2021) Optimization of a Draft Tube using Statistical Techniques- DOE and 2D

Computational Fluid Dynamic Analysis. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, v. 14, p. 1617-1633.

Chandra, S., Dey, P., & Panigrahi, P. K. (2021). Design of an experimental setup for model testing of reaction turbines using CFD tools. *Journal of Hydraulic Research*, 59(6), 1053–1065.

Jiang, H., Liu, J., Wang, Z., & Zhao, Y. (2020). Numerical investigation on the influence of guide vane geometry on hydraulic turbine performance. *Renewable Energy*, 149, 235-245.

Kumar, M., Sharma, N., & Jain, R. (2023). Recent developments in CFD applications for hydro turbine design and testing. *Renewable Energy Focus*, 45, 73-86.

Patel, D., Shah, R., & Bhatt, P. (2021). CFD Analysis for optimization of Francis turbine model test rig. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 796(1), 012023.

Paudel, S., Vu, T. C., & Schleiss, A. J. (2022). Hydraulic performance and cavitation characteristics of Francis turbines using CFD and model testing. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 156, 111982.