

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

PROCESSO CONSTRUTIVO DE UM MODELO REDUZIDO DE UMA TURBINA HIDROCINÉTICA DE BAIXO CUSTO

Felipe Laffiti Assis Soares¹, Leirrisson Patrick Santos² & Edna Maria de Faria Viana³

RESUMO – A utilização de modelos reduzidos na engenharia hidráulica propicia melhor compreensão de diferentes fenômenos físicos em casos complexos ou não abrangidos na literatura. Seu uso ainda reduz custos, facilita o controle das variáveis envolvidas e fornece ao engenheiro projetista informações mais assertivas do projeto ou protótipo já existente. Em particular com as turbinas hidrocínéticas, esse recurso se apresenta como o mais viável para melhor compreender e comparar os diversos tipos e modelos existentes. O desenvolvimento de uma técnica de construção utilizando materiais de baixo custo que permitam uma sequência de testes em laboratório pode alavancar as pesquisas na área e cobrir a constante demanda por alternativas energéticas renováveis e menos poluentes. O presente trabalho apresenta o processo construtivo de uma turbina do tipo Darrieus produzida no Centro de Pesquisas Hidráulicas e Recursos Hídricos (CPH) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) utilizando equipamentos da universidade e insumos de baixo custo que vem se mostrando adequado para a realização de diversos testes.

ABSTRACT– The use of reduced models in hydraulic engineering provides a better understanding of different physical phenomena in complex cases or not covered in the literature, reduces costs, assist the control of the variables involved and provides the design engineer more assertive information of the project or existing prototype. In particular, with hydrokinetic turbines, this feature is the most viable to better understand and compare the various types and models. The development of a construction technique using low cost materials that allow a sequence of laboratory tests can leverage research in the area and cover the constant demand for renewable and less polluting energy alternatives. The present work presents the constructive process of a Darrieus-type turbine produced at the Centro de Pesquisas Hidráulicas e Recursos Hídricos (CPH) of the Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) using university equipment and low-cost inputs that has proven to be suitable for several tests.

Palavras-Chave – Turbina hidrocínética, Modelagem física, Modelo reduzido.

1) Mestrando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG – Belo Horizonte/MG – laffiti@gmail.com

2) Doutorando em Engenharia Mecânica da UFMG – Belo Horizonte/MG – l.patrickssantos@gmail.com

3) Orientadora - Professora Adjunta do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG – Belo Horizonte/MG - ednamfv@ufmg.br

INTRODUÇÃO

O uso de modelos físicos é uma prática comum nas engenharias de forma geral, mas principalmente na engenharia de recursos hídricos é utilizado com frequência para o melhor entendimento de diversos fenômenos hidráulicos. Os ensaios de laboratório são uma ferramenta importante para o engenheiro em casos complexos ou não previstos na literatura, já que o projetista precisa prever com segurança o comportamento de estruturas conforme condições de projeto (ex. capacidade máxima de descarga), nas condições de operação (ex. operação de comportas), ou nas situações de emergência (ex. cheia máxima provável para um vertedor). [BATISTA (1993)]

Executar um modelo físico com condições de funcionamento idêntico ao protótipo é, na maioria dos casos, impossível ou inviável. Para grandes obras, como barragens ou hidrelétricas, faz-se uso dos modelos reduzidos. O modelo reduzido deve-se comportar de modo semelhante ao sistema cujo comportamento deseja-se prever. Garantir esse comportamento não é algo simples, visto que diversos fenômenos físicos podem sofrer influência da escala.

Mesmo para sistemas de menores dimensões como estruturas ou turbinas hidráulicas, o uso de modelos reduzidos é interessante, pois reduz os custos de execução e facilita o controle das grandezas consideradas.

Mesmo nesse cenário, a bibliografia com foco em modelos reduzidos é escassa e por vez inexistente. No Brasil, hoje, podemos contar com a norma “NBR 6412 - Turbinas hidráulicas — Recepção de modelos” (2016), que foi desenvolvida para estabelecer um método de ensaio para recepção de modelos de turbinas hidráulicas para grandes e pequenas centrais hidrelétricas, sem abrangência às turbinas hidrocínéticas.

Nas últimas décadas diversos trabalhos com modelos de turbinas hidrocínéticas têm sido desenvolvidos pelo mundo, inclusive no Brasil. Devido à grande variedade de modelos de turbinas hidrocínéticas existentes, a execução em modelos reduzidos é uma maneira de compreendê-las e compará-las. Uma metodologia de construção de baixo custo de modelos reduzidos pode alavancar as pesquisas na área, sendo este o objetivo desse trabalho.

O desenvolvimento de um modelo reduzido de uma turbina hidrocínética no Centro de Pesquisas Hidráulicas e Recursos Hídricos (CPH) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) utilizando materiais de baixo custo tem se mostrado promissor.

OBJETIVO

Desenvolver o modelo reduzido de uma turbina hidrocínética em resina para sequência de testes em canal aberto.

REVISÃO

Diversos trabalhos pelo mundo recorrem ao uso de modelos, reduzidos ou em escala real (1:1), para melhor compreender as turbinas hidrocínéticas. Casos de estudos na África do Sul, Austrália, Inglaterra [ANYI e KIRKE (2010)], Colômbia [CHICA *et al.* (2018)], Estados Unidos [BACHANT (2011)], demonstram a ampla utilização da técnica pelo mundo [LAGO *et al.* (2010); VERMAAK *et al.* (2014)].

No Brasil, Els (2015) aponta que a tecnologia já é alvo de estudos desde a década de 80, porém a tecnologia tem se apresentada mais viável a partir de 2004 com a regulação de marcos legais, favorecendo a descentralização da geração de energia elétrica e ampliando o alcance para regiões afastadas. O autor ainda cita uma série de trabalhos realizados com modelos em cursos d'água naturais do país, principalmente no rio Amazonas, ilustrando o potencial nacional de explorar essa tecnologia.

Os modelos dos trabalhos citados neste item foram construídos de alumínio ou chapas de aço, utilizando técnicas como usinagem em fresadoras CNC, outros casos com peças plásticas ou ainda de acrílico. Não foram encontrados trabalhos que utilizem a resina como material base para a construção de modelos.

METODOLOGIA

Para ensaiar a turbina, foi escolhido o canal artificial presente no CPH que possui 10,0 m de comprimento, 0,40 m de largura e altura de 0,50 m. O canal é alimentado por um sistema de duas bombas que podem trabalhar em série ou paralelo, garantindo uma ampla faixa de vazões, além de possuir comportas a montante e jusante, permitindo maior controle do escoamento.

O sistema projetado para suportar a turbina exerce diversas funções. Além da já citada, foi pensado para ser acoplado no canal modo que reduza efeitos secundários e não desejados como vibração, e ainda apoiar a instrumentação para a realização de medidas diversas como rotação e torque gerados. A peça suporte é composta por uma chapa de aço de 1/8" (aproximadamente 3,0 mm) com 390 mm de largura (o canal dispõe de 400 mm de largura), 150 mm de comprimento (no sentido do canal) e 520 mm de altura, dobrada três vezes e unida por solda. Em sua base e seu

topo são fixados dois mancais de rolamento (um em cada extremidade) modelo KLF000 que permite o giro livre do eixo, formado por uma haste de aço de 10 mm de diâmetro, com menor atrito e suporta o peso da haste para que essa não comprima a turbina. A turbina é fixada por sua base e topo na haste de forma descontinuada, já que o modelo em estudo não apresenta um eixo passante. O comprimento da haste ultrapassa a chapa no topo para permitir a instrumentação. A chapa foi doada pelo setor de Técnicas Gerais de Laboratório (TLG) do Colégio Técnico da UFMG (COLTEC), assim como a haste, e o trabalho de corte, dobra e solda executado no mesmo espaço. Os mancais de rolamento foram comprados em loja especializada no centro de Belo Horizonte. O esquema do sistema projetado pode ser visto na Figura 1:

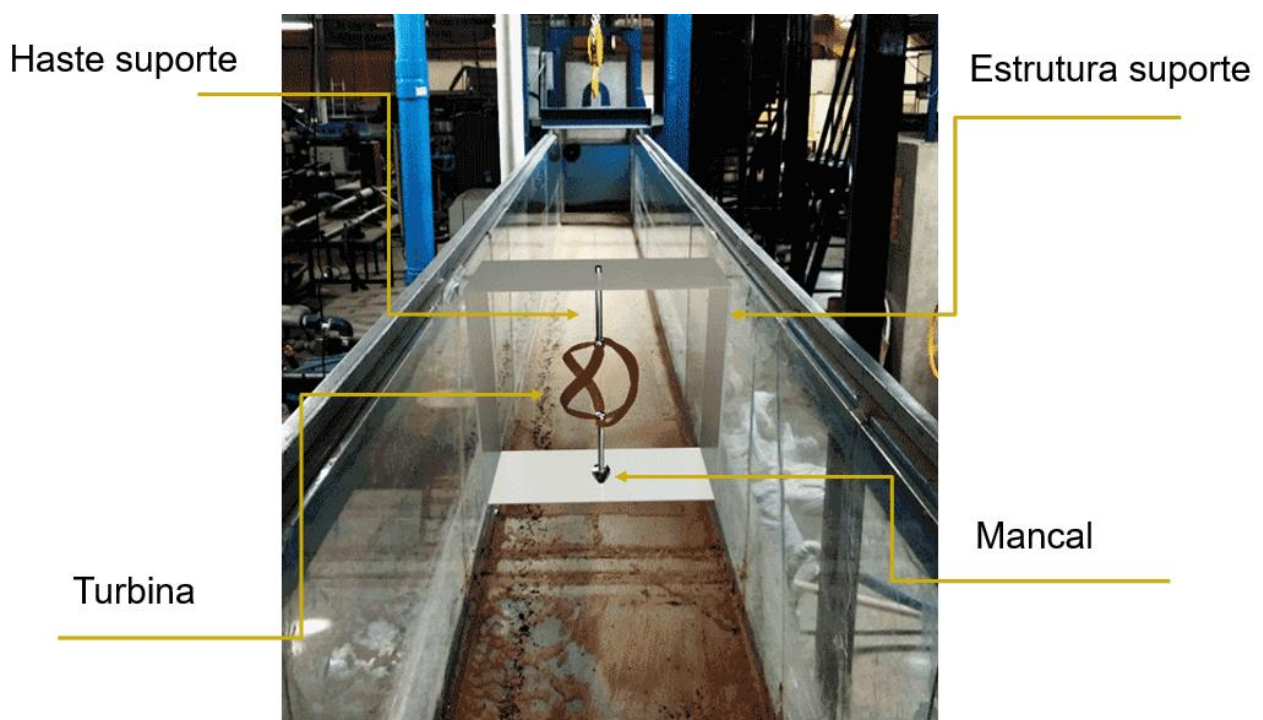


Figura 1: Esquema do sistema suporte projetado com a turbina Darrieus modificada.

O modelo reduzido da turbina foi inicialmente pensado e projetado por Santos (2019) que fornece em seu trabalho as informações técnicas para a execução da turbina com o auxílio de software de desenho técnico em três dimensões. A turbina proposta é uma variante do modelo Darrieus e possui design esférico com quatro pás idênticas. Devido à complexidade das pás, que possuem um perfil hidrodinâmico, além de dupla curvatura, a execução do modelo físico fiel só pode se dar via impressoras que trabalham com as três dimensões. A impressão da peça foi realizada no Laboratório de Bioengenharia (LabBio) da UFMG utilizando a impressora ProJet 4500. Conhecendo às limitações dimensionais impostas pela impressora, e avaliando a posição da turbina no canal, foi definido um diâmetro nominal para a turbina de 200 mm, o que garante uma distância das paredes do canal superior a 6,0 cm, valor mínimo recomendado para que os efeitos da camada

limite do escoamento que ocorre próximo às paredes não interferissem no funcionamento da turbina. Devido a dupla simetria da turbina e objetivando a redução de custos, optou-se por imprimir apenas uma das pás da turbina, visto que essa já forneceria a base necessária para a confecção de um molde e a partir deste a construção das demais pás.

Dessa forma a impressão de uma das pás da turbina foi realizada conforme Figura 2:

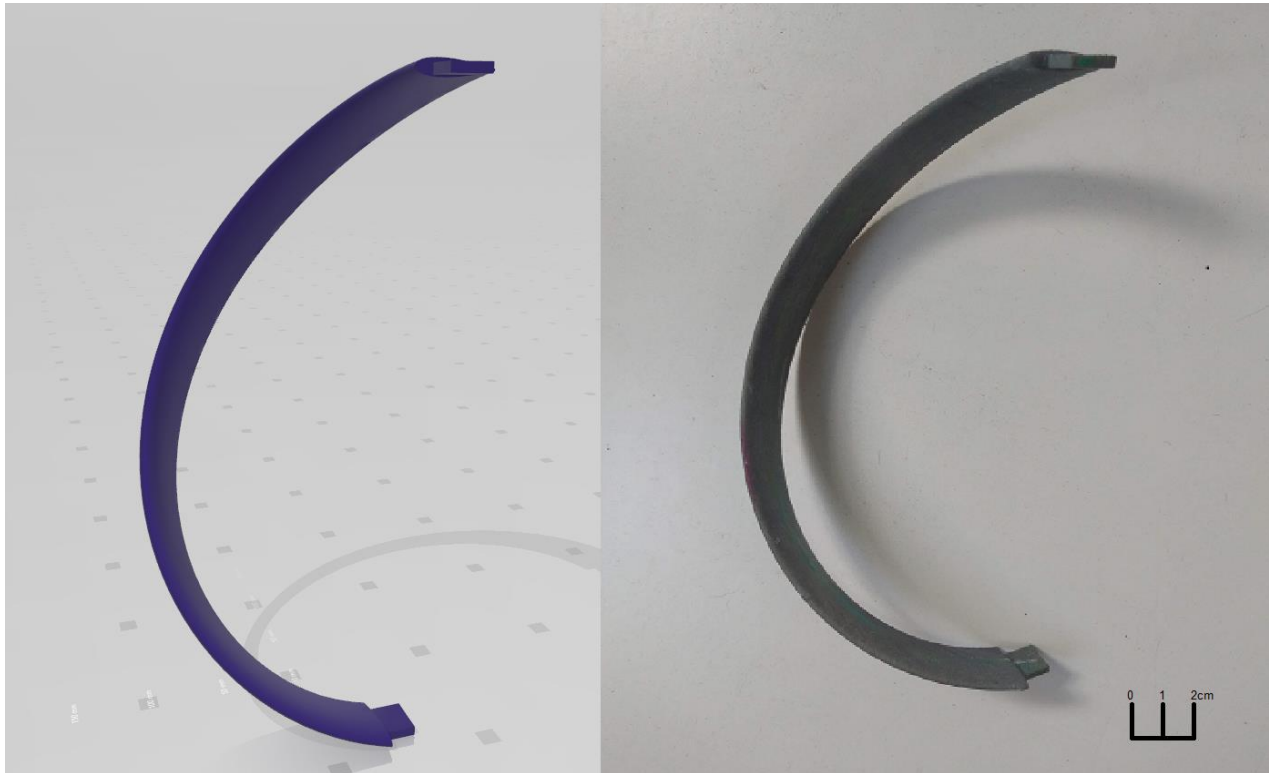


Figura 2: Comparativo entre o modelo digital de uma pá da turbina (à esquerda) com a impressão 3D (à direita).

Foi verificado que a peça impressa possui baixa resistência ao cisalhamento devido ao seu processo de fabricação, logo, não seria indicada para constituir a turbina alvo de ensaios em laboratório. Dessa forma, o modelo impresso serviu de base para a execução da turbina em resina, material escolhido por possuir uma maior resistência, facilidade de se trabalhar e baixo custo.

A partir da pá impressa, foi possível construir um molde em silicone para a execução das demais pás em resina. O processo de fabricação do molde é artesanal, a peça impressa é imersa em silicone líquido que enrijece e mantém sua forma. Devido à esbelteza e particular desenho da peça, a fôrma deve cobrir toda a pá, garantindo o desenho do perfil. Para facilitar o enchimento do molde e retirada da peça, o molde foi construído em duas partes, com respiros em ambas extremidades, permitindo a fuga do ar interno enquanto a resina é lançada e o molde preenchido. Detalhes e posições dos pontos podem ser vistos nas Figura 3 e Figura 4:

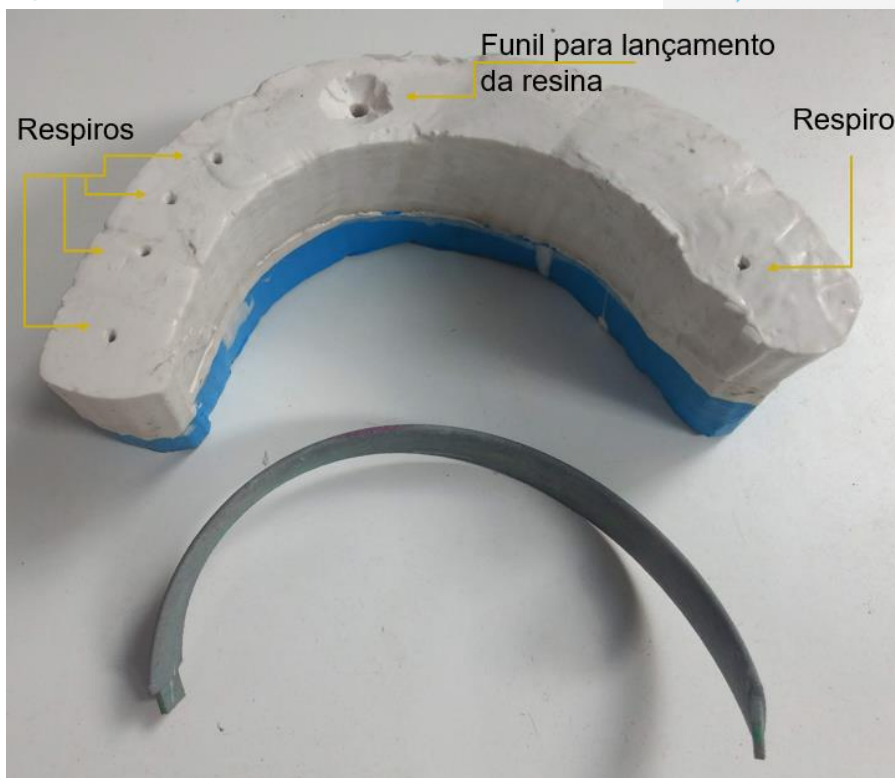


Figura 3: Molde em silicone construído a partir da pá impressa

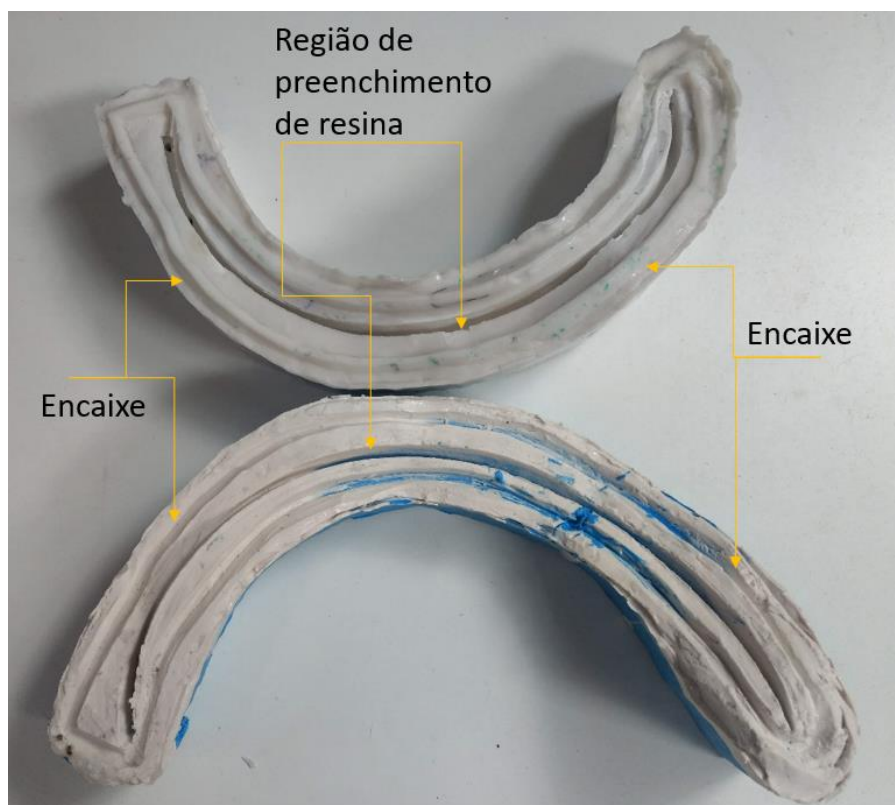


Figura 4: Detalhes internos do molde em silicone

A resina é um material polimérico, que é vendido em sua forma líquida. Para que se torne rígido, é necessário a adição de um catalisador. Foi necessário também o uso de um material diluidor (estireno), principalmente pela característica da peça, sem esse, a resina dificilmente ocuparia todo

o espaço no interior do molde. Nessa etapa também é possível adicionar um corante e deixar a peça na cor desejada. Após o tempo de cura, o molde é aberto e a peça retirada em sua forma bruta, necessitando um trabalho de corte de lixamento para remover os excessos.

A montagem da turbina é realizada com a união das quatro pás em uma chapa metálica fina com a utilização de rebites nos pontos de fixação preparados nas extremidades de cada pá (pode ser visto na Figura 2). Por fim, a montagem de todo o sistema executando a união de todas as peças.

RESULTADOS PRÉVIOS E DISCUSSÃO

Uma série de peças foram moldadas para testar o traço ideal para o desenho desejado. A Figura 5 apresenta algumas dessas peças em sua forma bruta.



Figura 5: Peças de resina em sua forma bruta com diferentes traços de resina, solvente, catalisador e pigmento.

A peça 1 apresenta boa conformação, porém também dispõe de falhas de preenchimento da fôrma devido ao pouco volume de diluidor utilizado (detalhe na Figura 6). A peça 2 já apresenta, além de boa conformação, um preenchimento completo, sem formação de bolhas. Na peça 3, não foi utilizado nenhum pigmento e foi reduzida a quantidade de catalisador, tornando-a totalmente transparente, dando maior resistência a peça e aumentando consideravelmente o tempo de cura. Os volumes referentes as construções das peças estão dispostos na tabela 1:

Tabela 1: Volumes utilizados nas peças 1, 2 e 3

Peça	Resina (ml)	Estireno (ml)	Catalisador (gotas)	Pigmento (gotas)
1	30	10	15	2
2	30	15	15	1
3	30	15	10	0



Figura 6: Detalhe do defeito na peça 1

A busca por um traço que garantisse a forma da pá mais próxima da projetada foi o maior desafio do projeto. Importante citar que os valores encontrados são válidos apenas para a peça em questão. Peças diferentes, com pesos e características distintas demandam traços particulares, portanto o processo de testes é necessário para cada novo projeto.

Para a pá em questão, o modelo em resina pesa aproximadamente 36 g e o traço ideal encontrado constitui de aproximadamente 30 g de resina, 5 g de diluidor e 8 gotas de catalisador, sem o uso de pigmento. O tempo de cura foi de 24 h num dia com temperatura variando de 18 °C à 27 °C.

Todo o material foi adquirido em lojas especializadas na região central de Belo Horizonte nos meses de fevereiro e março de 2019. Para a execução de 35 peças o valor de insumos foi de aproximadamente R\$ 40,00 (quarenta reais).

CONCLUSÃO

A utilização de resina como material base para a construção de modelos reduzidos de turbinas hidrocínéticas tem se apresentado como uma boa solução para a redução de custos.

A execução em resina demanda uma série de cuidados especiais devido às características do material, em especial a propriedade de retração. Uma série de testes do traço é recomendada para garantir o menor efeito possível de tal propriedade, buscando peças o mais próximo possível do idealizado ou projetado. Para peças com uma dimensão proporcionalmente muito inferior a demais, o caso de chapas ou hastes finas, é recomendado trabalhar com um tempo de cura de três a quatro vezes o indicado pelo fabricante.

Para o uso final é possível realizar a pintura da peça para garantir a aspereza, ou rugosidade, desejada.

O valor final dos insumos para a execução da turbina é, pelo menos, 20 vezes mais barato do que o custo para a fundição da peça em alumínio. Valor orçado em Belo Horizonte em março de 2019. Porém há a necessidade de utilização de equipamentos sofisticados, como a impressora 3D. Mesmo buscando esse recurso no setor privado, a utilização do método descrito reduz os custos envolvidos.

RECOMENDAÇÕES FUTURAS

Executar um ensaio detalhado atestando a resistência das peças para diferentes esforços a fim de garantir uma margem segura de trabalho.

Devido ao formato da peça está em avaliação utilizar uma alma metálica (alumínio ou aço galvanizado) e verificar se houve aumento da resistência do conjunto.

AGRADECIMENTOS

Ao LabBio da UFMG que gentilmente cedeu a impressora 3D para a confecção da peça em estudo. Ao Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG). Ao Colégio Técnico da UFMG (Coltec/UFMG). Ao Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG (PPG-SMARH/UFMG). A toda equipe de técnicos e de docentes do CPH/UFMG. Os autores ainda manifestam seus agradecimentos à ANEEL, à CEMIG, à ELETROBRAS-FURNAS, à SEFAC, à FAPEMIG, ao CNPq, à Capes e à VALE pelo suporte financeiro para a realização desse trabalho.

REFERÊNCIAS

- ANYI, M.; KIRKE, B. (2011) “*Hydrokinetic turbine blades: Design and local construction techniques for remote communities*”. Energy for Sustainable Development, vol. 15, nº 3, pp. 223-230.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2016) “*NBR 6412 - Turbinas hidráulicas — Recepção de modelos*”. Rio de Janeiro.
- BACHANT, P. (2011) “*Experimental investigation of helical cross-flow axis hydrokinetic turbines, including effects of waves and turbulence*”. Master's Theses and Capstones. University of New Hampshire.
- BAPTISTA, M.B. (1993) “*Modelos físicos e matemáticos em hidrologia e hidráulica*”. Apostila EHR. 84p.
- CHICA, E.; TORRES, E. A.; ARBELÁEZ, J. “*Manufacture and experimental evaluation of a hydrokinetic turbine for remote communities in Colombia*”. In International Conference on Renewable Energies and Power Quality, Salamanca/Spain, Abr, Vol.1, No.16. 2018.
- ELS, R. H. V.; BRASIL JUNIOR, A. C. P. (2015) “*The Brazilian Experience with Hydrokinetic Turbines*”. Energy Procedia, v. 75, pp. 259-264.
- LAGO, L. I.; PONTA, F. L.; CHEN, L. (2010) “*Advances and trends in hydrokinetic turbine systems*”. Energy for Sustainable Development, vol. 14, nº 2, pp. 287-296.
- SANTOS, L. P. (2019) “*Avaliação do desempenho de uma turbina hidrocínética para aplicação em condutos abertos e forçados utilizando cfd*”. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais.
- VERMAAK, H.J.; KUSAKANA, K.; KOKO, S.P. (2014) “*Status of micro-hydrokinetic river technology in rural applications: A review of literature*”. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 29, pp. 625-633.