

ANÁLISE COMPARATIVA DE MÉTODOS DE FIXAÇÃO DAS PÁS EM TURBINAS HIDROcinÉTICAS DARRIEUS

Wendell Alves Noronha ⁽¹⁾ (wan.eng@uea.edu.br), Ricardo Wilson Aguiar da Cruz ⁽¹⁾ (rcruz@uea.edu.br),
João D’Anuzio Lima de Azevedo ⁽¹⁾ (jdlazevedo@uea.edu.br)

⁽¹⁾ Universidade do Estado do Amazonas (UEA); Departamento de Engenharia Mecânica.

RESUMO: *Este trabalho tem como objetivo identificar o método mais vantajoso de fixação mecânica (solda ou parafuso) empregado na construção de componentes fundamentais de turbinas hidrocinéticas do tipo Darrieus-H, de modo a garantir a integridade estrutural do dispositivo sujeito a grandes cargas hidrodinâmicas. A simulação fluidodinâmica computacional (CFD) foi empregada com o auxílio do software SolidWorks® FlowSimulation para determinar as forças atuantes na estrutura do rotor e as cargas máximas admissíveis nos elementos de união. Os resultados indicaram que o custo total da fixação por parafuso (AISI 304) é cerca de 38,85% inferior ao da união por soldagem. Além disso, a fixação por parafuso mostrou-se mais vantajosa em termos de construção e manutenção, sendo a opção mais adequada para este tipo de turbina.*

PALAVRAS-CHAVE: *Turbina hidrocinética, Rotor Darrieus, Fixação Mecânica, CFD.*

COMPARATIVE ANALYSIS OF FASTENING METHODS IN DARRIEUS HYDROKINETIC TURBINES

ABSTRACT: *This study aims to identify the most advantageous mechanical fastening method (welding or bolting) used in the construction of fundamental components of Darrieus-H type hydrokinetic turbines, in order to ensure the structural integrity of the device subjected to large hydrodynamic loads. Computational fluid dynamics (CFD) simulation was employed using SolidWorks® FlowSimulation software to determine the forces acting on the rotor structure and the maximum admissible loads on the joining elements. The results indicated that the total cost of bolting (AISI 304) is approximately 38.85% lower than that of welding. Additionally, bolting proved to be more advantageous in terms of construction and maintenance, making it the most suitable fastening option for this type of turbine.*

KEYWORDS: *Hydrokinetic turbine, Darrieus rotor, Mechanical fastening, Renewable energy, CFD.*

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável, como indicado pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS7), enfoca a redução do consumo de combustíveis fósseis através de políticas energéticas (Kartal *et al.*, 2023). Neste cerne, as turbinas hidrocínéticas (THC) emergem como uma opção viável para energia limpa (Neto, 2018).

No Brasil, programas como Luz no Campo e Luz para Todos têm impulsionado o acesso à energia em áreas rurais (Leite e de Souza, 2021). Ainda assim, muitas pessoas na região amazônica carecem de acesso à energia, destacando a necessidade de soluções sustentáveis (Da Cunha *et al.*, 2018). Nesse contexto, turbinas hidrocínéticas representam uma alternativa eficiente, reduzindo impactos ambientais e sociais (Oliveira, 2021; Fraenkel, 2007).

1.1 Justificativa

Para sua viabilidade, a análise estrutural do rotor se torna crucial, influenciando a eficiência energética e a durabilidade (Rezaeiha *et al.*, 2017). A maioria das pesquisas sobre THC's tem focado na eficiência energética, entretanto estudos estruturais são limitados, especialmente nas conexões críticas entre a haste de sustentação, as pás (hidrofólio) e o eixo-rotor (Rezaeiha *et al.*, 2017).

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo determinar o tipo de fixação mecânica mais vantajosa, entre parafusos ou soldagem, para as conexões de uma turbina hidrocínética do tipo Darrieus-H. A análise será realizada utilizando métodos computacionais para avaliar os esforços durante a operação da turbina

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O processo metodológico deste estudo foi dividido em quatro etapas. Primeiramente, foi realizado o dimensionamento para determinar as características geométricas do rotor, seguido pela construção de um modelo CAD (*computer aided design*). Em seguida, o modelo CAD foi exportado para o ambiente de CFD (*computational fluid dynamics*) do software SolidWorks® Flow Simulation, onde foi conduzida uma simulação analítica para determinar as máximas forças atuantes. Posteriormente, os resultados foram exportados para o software SolidWorks® Simulation, onde uma simulação estática foi realizada considerando as máximas forças hidrodinâmicas, permitindo a obtenção das forças resultantes máximas em cada conexão. Em seguida, procedeu-se com uma comparação detalhada para determinar qual método de fixação mecânica, entre solda e parafuso, seria mais vantajoso.

2.1 Dimensionamento do rotor

A potência de o eixo da turbina foi estabelecida em 100W para facilitar sua integração em sistemas de fazenda, inspirado em estudos anteriores (Patel *et al.*, 2017). Após a fixação da potência a área frontal do rotor foi calculada através da Equação 1 derivada da teoria de Betz para fluidos sob escoamento livre (não confinado).

$$P_t = \frac{1}{2} \rho A_f v^3 C_p \eta_g \quad (1)$$

Onde P_t [W] é a potência convertida a partir do fluxo livre, ρ [kg/m³] é a massa específica da água, A_f [m²] é área frontal do rotor v [m/s] é a velocidade da água, C_p é o coeficiente de potência – que indica quanta energia teoricamente um rotor pode extrair do fluxo livre, de acordo com a teoria de Betz, assumido 0,35 (López *et al.*, 2015); e η_g é o rendimento total do rotor, assumido 85% (Mon, 2019)

A modelagem da THC considerou vários parâmetros de design essenciais para o dimensionamento otimizado. Esses parâmetros foram baseados em dados e recomendações de estudos anteriores. Assim, um parâmetro de importância utilizado foi a razão de aspecto, definido como a razão entre o diâmetro (D_R) e a altura do rotor (H_R), para o que, acompanhando os resultados de Guiasi *et al.* (2022), foi adotado o valor 1,0, para estimar estas respectivas dimensões. Também se utilizou o fator de solidez do rotor (σ), como dado pela Equação 2, para o qual se adotou o valor

0,36, conforme recomendação de Paraschivoiu (2002). Deste fator, foi obtido o comprimento da corda do perfil das pás da turbina.

$$\sigma = \frac{nc}{\pi D_R} \quad (2)$$

Onde n é o número de pás do rotor (adotado 3 – conf. seção 2.2), c é o comprimento da corda e D_R é o diâmetro do rotor. E por último, usou-se a razão de velocidade de ponta TSR da Equação 3, para o que foi assumido o valor 4,0, consistente com a análise de López *et al.* (2015), para obter a velocidade angular do rotor.

Por último, a $TSR(\lambda)$, Equação 3, foi considerado o valor de 4, conforme análise de López *et al.* (2015), foi utilizada para calcular a velocidade angular do rotor.

$$\lambda = \frac{\omega R_R}{v} \quad (3)$$

Onde ω é a velocidade angular do rotor R_R é o raio do rotor e v é a velocidade da água.

2.2 Dimensionamento da união por solda.

O dimensionamento da união por solda procedeu-se com base na norma NBR 8800 (2008) onde se considera as características do metal das partes a serem soldadas. Para as hastes que formam a estrutura básica do rotor foram atribuídos o aço 1020 por suas propriedades anticorrosivas e por suportar altas cargas (Pinheiro, 2005).

2.3 Dimensionamento da conexão por parafuso.

O dimensionamento da conexão por parafuso foi realizado para assegurar uma distribuição simétrica de carga entre os parafusos e reduzir os impactos causados por vibrações. Além disso se considerou um fator de segurança de 2 (Moro *et al.*, 2016).

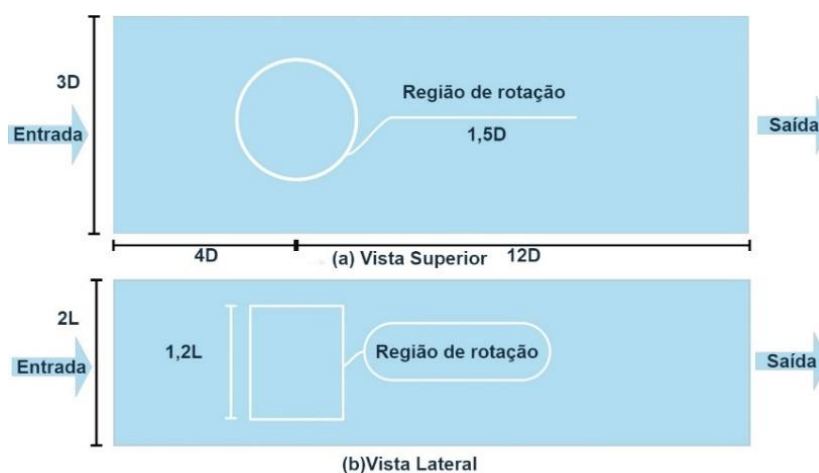
2.4 Processo de simulação CFD por meio de MVF.

A simulação hidrodinâmica é implementada no software SolidWorks® Flow Simulation pelo método de volumes finitos (MVF), que exige definir-se as condições de contorno que constam na Tabela 2, Seção 3.2; e o domínio computacional do problema. Tais restrições foram atendidas

usando-se dados de referências e dados experimentais relevantes. Adicionalmente, a água foi definida como o fluido de trabalho, para cuja velocidade foi adotado 1,5 m/s, baseada em medições de valores típicos dos trechos mais velozes dos rios amazônicos no entorno da calha do Rio Solimões (Da Cruz, 1995). Além disso, foi adotado o modelo de turbulência $k-\epsilon$, com uma intensidade de turbulência de 5%, conforme a abordagem de Rezaeiha *et al.* (2017). Por fim, foi definido um número de pás igual a 3, com base nas análises de Da Cruz (1995), que mostraram que este é o número mais vantajoso, do ponto de vista da obtenção das menores flutuações sinusoidais no torque e na potência da máquina.

Como domínio computacional, foi considerada uma região rotacional no entorno do rotor, à qual foram aplicadas as condições de contorno predefinidas. As dimensões do domínio seguiram as diretrizes de Yagmur e Kose (2021) e Rezaeiha *et al.* (2017) indicadas na Figura 1, onde a distância da borda de entrada ao centro de rotação da turbina foi definida como 4 vezes o diâmetro do rotor, a distância do centro de rotação à borda de saída foi configurada como 12 vezes o diâmetro do rotor, a largura do canal foi estabelecida como 3 vezes o diâmetro do rotor e a profundidade da água no canal onde foi definido o problema físico foi considerado como 2 vezes a altura do rotor.

FIGURA 1. Dimensões do domínio computacional.



Fonte: Autores (2024).

2.5 Análise estática por meio de MEF e dimensionamento do tipo de fixação

Após a simulação CFD, os resultados foram exportados para o ambiente do software SolidWorks® Simulation, onde foi realizada uma simulação estática pelo método de elementos finitos (MEF), para análise das forças resultantes nas conexões entre a haste de sustentação e o rotor, e entre a haste de sustentação e a pá (hidrofólio). Para tanto, para cada pá, foi adotado o perfil NACA

0012 (Da Cruz, 1995), e considerado que em cada giro do rotor (360°) o ângulo de ataque de cada pá varia relativamente à direção fixa do fluxo da água que a incide. Por fim, foram selecionados os dois tipos de conexão sob análise neste trabalho, a saber, fixação por solda e fixação por parafuso. Ambas opções foram dimensionadas com base nos valores máximos das forças resultantes ao longo de um giro do rotor.

3. RESULTADOS

3.1 Modelagem da THC

Esta seção oferece uma visualização detalhada dos resultados sobre as características da turbina, com foco especial na modelagem do rotor. Os dados apresentados na Tabela 1 oferecem uma visão das dimensões e propriedades do rotor, projetado para atender a meta de potência de 100W.

TABELA 1.Características dimensionais da THC.

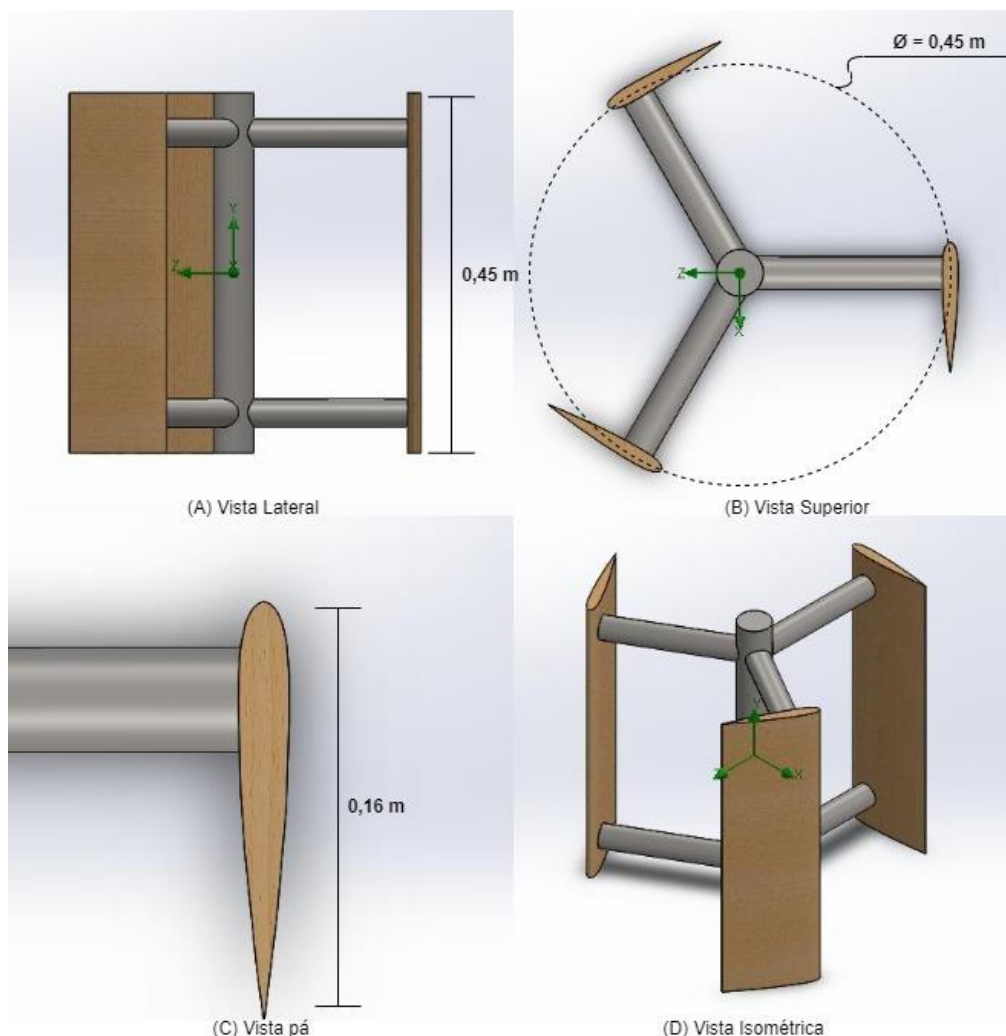
Parâmetros	Símbolo	Valor
Razão de aspecto (adm)	D_R/H_R	1
Número de pás	N	3
Razão da velocidade de ponta (adm)	$TSR(\lambda)$	4
Solidez (adm)	σ	0,36
Área frontal (m^2)	A_f	0,2 m^2
Diâmetro (m)	D_R	0,45 m
Altura (m)	H_R	0,45 m
Velocidade angular do rotor (rad/s)	ω	254,52 RPM
Corda do hidrofólio (m)	c	0,16 m
Perfil do hidrofólio	Naca	Naca0012

Fonte: Autores (2024).

3.2 Construção do modelo CAD

A construção do modelo CAD foi realizada no ambiente de modelagem do SolidWorks® e pode ser Observado na Figura 2 nas vistas (A) Lateral (b) Superior (C) Pá e (D) Isométrica. Nesta etapa os materiais também foram adicionados ao protótipo, adotando-se madeira de Balsa para as pás (hidrofólios) e aço 1020 nas hastes de sustentação e haste central do modelo. Em relação ao diâmetro de construção das Hastes, a haste de sustentação foi elaborada com um diâmetro de 35 mm e o eixo central do rotor em 50mm.

FIGURA 2. Vistas do Modelo CAD.



Fonte: Autores (2024)

3.3 Condições de contorno e malha

No processo de simulação CFD, primeiramente se definiram as condições de contorno e as restrições descritas na Tabela 2.

TABELA 2. Condições de contorno e restrições de escoamento associadas.

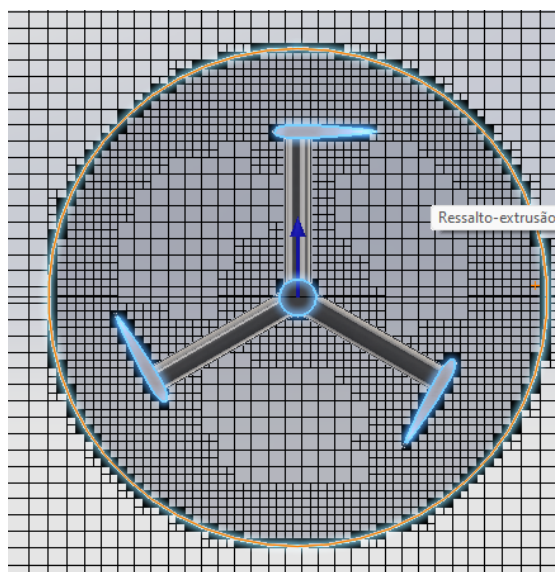
PARÂMETRO	VALOR
FLUIDO	água
VELOCIDADE DO FLUXO DO FLUIDO	1,5 m/s
MODELO DE TURBULÊNCIA	k-ε
INTENSIDADE DE TURBULÊNCIA	5%
TEMPERATURA DA ÁGUA	27°C
PRESSÃO	101325 Pa

Fonte: Autores (2024).

A região de rotação, onde está situada o rotor foi configurada com a velocidade angular calculada no valor de 26,66 Rad/s.

Na geração de malha computacional, optou-se pela utilização do gerador de malha padrão do SolidWorks® Simulation, o qual assume um movimento rotacional do campo de escoamento em torno do rotor, sob a velocidade angular ω do rotor mantido virtualmente imóvel relativamente a um referencial absoluto, como ferramenta padrão de refinamento de malha. Essa abordagem ajusta automaticamente o tamanho dos elementos de malha de acordo com a curvatura local da geometria na região da camada limite das pás, que sofre variação de espessura conforme o giro do rotor, resultando em uma malha suave e de alta qualidade como mostrada na Figura 3.

FIGURA 3. Malha da região de rotação.



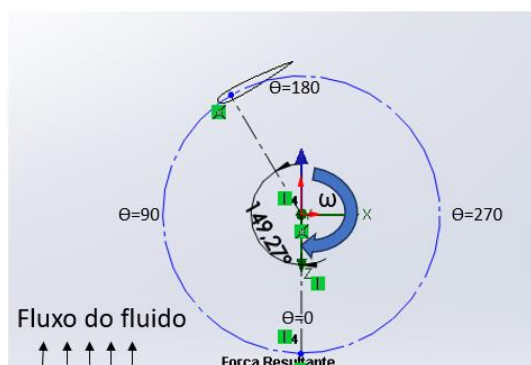
Fonte: Autores (2024).

A quantidade total de células geradas dentro do domínio computacional foi de 392837, desse montante 6004 células estão em contato com a parte sólida do rotor.

3.4 Força máxima calculada

Da simulação, verificou-se que a máxima força resultante experimentada por uma pá ocorreu quando a posição da pá em relação ao ângulo de azimuth dextrogiro (θ), gerado pelo giro virtual da malha em torno do rotor, alcançou o valor de foi de 149,27° (Figura 4).

FIGURA 4. Força máxima calculada.



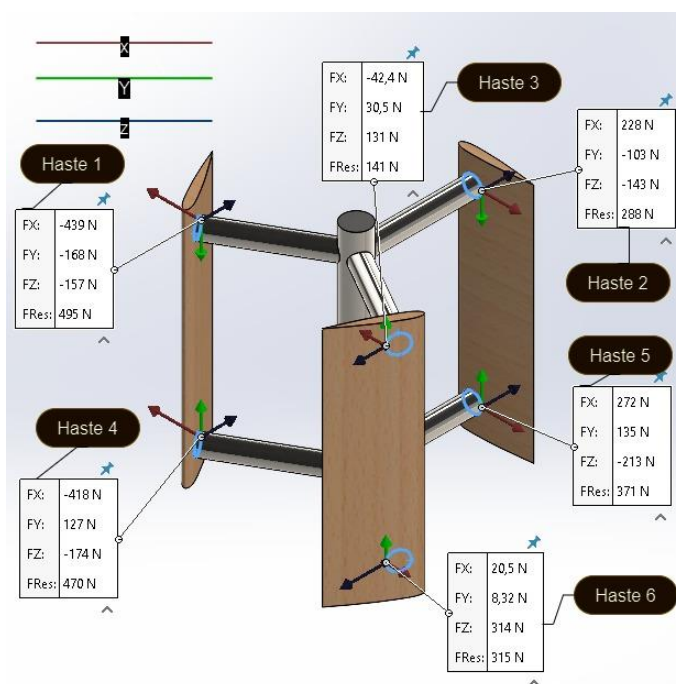
Fonte: Autores (2024).

3.5 Esforços solicitados

3.5.1 Esforços solicitados na conexão haste-pá

Na conexão haste-hidrofólio se observou uma força máxima de tração no valor de 439 N na haste 1, enquanto se observou uma força resultante máxima de cisalhamento de 314 N na haste 6 como evidenciado na Figura 5.

FIGURA 5. Esforços solicitada na conexão Haste-pá (hidrofólio).

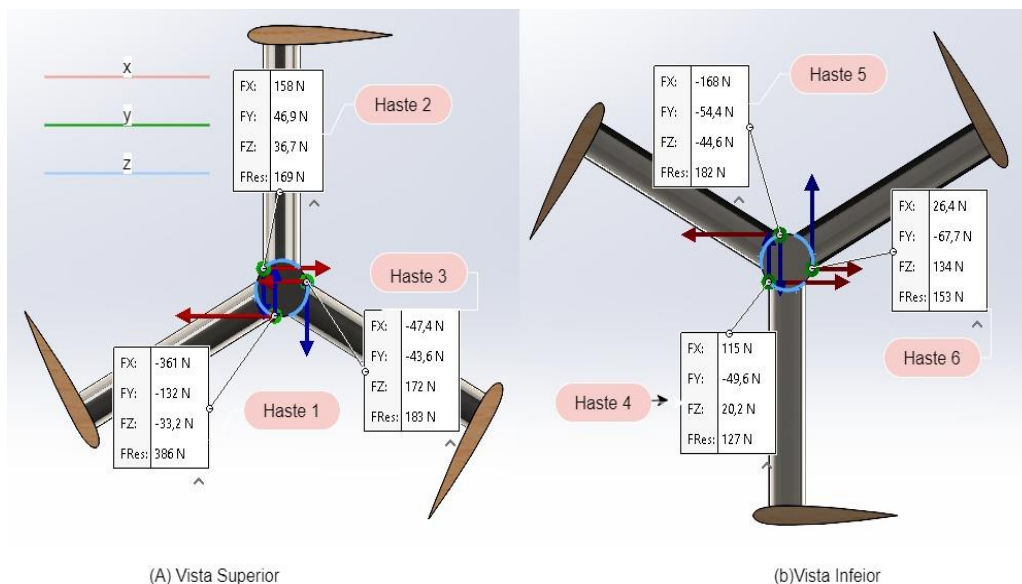


Fonte: Autores (2024).

3.5.2 Esforços solicitados na conexão eixo-haste

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se, na conexão haste-eixo uma força máxima de tração de 361 N na haste 1 enquanto há uma força de cisalhamento de 172N na haste 3 evidenciados na Figura 6.

FIGURA 6. Esforços resultantes nas conexão haste-eixo.



Fonte: Autores (2024).

3.6 Dimensionamento da fixação Mecânica por parafuso

Para a conexão haste-pá (hidrofólio), foi dimensionado um parafuso com diâmetro nominal de 5 mm, pertencente à classe de resistência A4 e fabricado em aço inoxidável AISI 316, conforme especificado na Tabela 3. Da mesma forma, para a conexão haste-eixo do rotor, foi escolhido um parafuso de diâmetro nominal de 5 mm, também da classe de resistência A4 e fabricado em aço inoxidável AISI 316, com características detalhadas na mesma tabela.

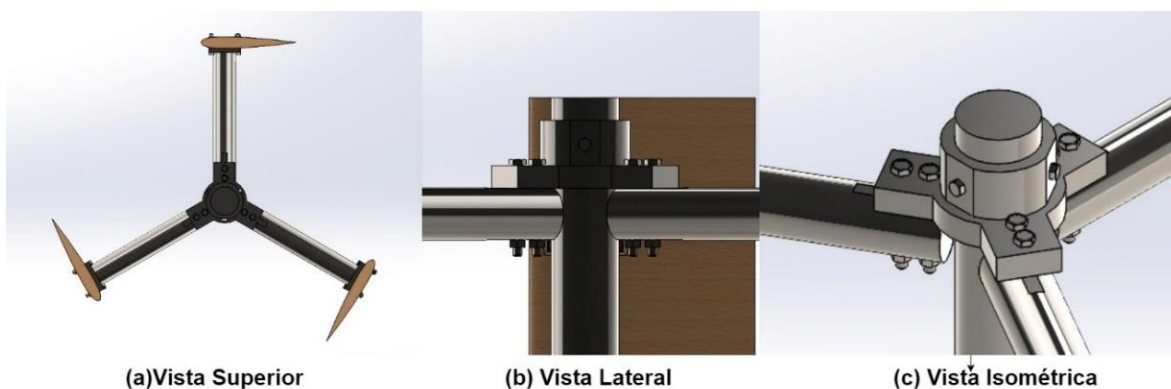
TABELA 3. Características do parafuso da conexão Haste-hidrofólio e Haste-Eixo

CARACTERÍSTICA	Haste-Hidrofólio	Haste-eixo
Diâmetro Nominal	5 mm	
Classe de Resistência	A4	
Material	Aço Inoxidável AISI 316	
Resistência à Tração	13.741 N	
Resistência à Cisalhamento	5.764,8 N	
Comprimento do Parafuso	30mm	60mm

Fonte: Autores (2024)

Para realizar a união das hastes na conexão haste-eixo, foi necessário a elaboração de uma peça de união que pode ser observado na Figura 7 Nas vistas (a) superior (b) frontal e (c) isométrica. Para a fixação dessa peça, um parafuso com as mesmas características dos mencionados na Tabela 3 foi dimensionado, no entanto seu comprimento é de 25 mm, pois deverá ser fixado no eixo do rotor. O comprimento de 25 mm permitirá que o parafuso seja fixado no eixo do rotor sem interferir nos outros parafusos adjacentes.

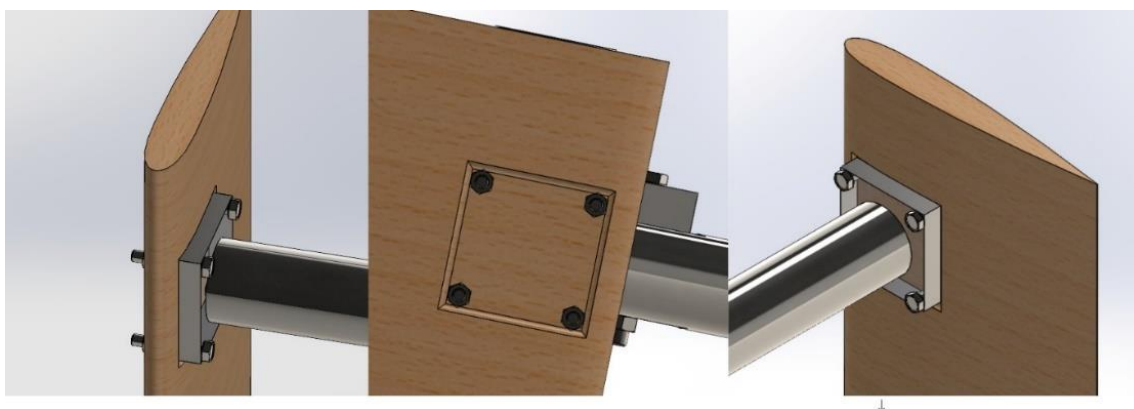
FIGURA 7. Ilustração da conexão haste-eixo por parafuso com a peça de união.



Fonte: Autores (2024).

A ilustração da fixação por parafuso entre a haste de sustentação e a pá (hidrofólio) pode ser observada na Figura 8.

FIGURA 8. Ilustração da conexão haste-hidrofólio.



Fonte: Autores (2024).

3.7 Dimensionamento da União por solda

Em relação a união por solda, foi adotada a norma NBR8800 (2008) que estabelece um número de filete mínimo para a solda e um critério de escolha de eletrodo. Algumas dimensões construtivas foram adotadas, e.g. O diâmetro do Eixo do rotor que foi fixado em 50mm e o diâmetro da haste de sustentação que foi fixado em 35mm. Para soldar esses componentes com precisão e qualidade, optamos pelo eletrodo ER70S-6. Sua versatilidade se encaixa perfeitamente nesse tipo de aplicação, permitindo o uso dos processos MIG/MAG (Metal Inert Gas/Metal Active Gas) e GMAW (Gas Metal Arc Welding).

Foi definido que o diâmetro do filete para a união haste-eixo do rotor como sendo 8 mm, com uma resistência máxima de 142,32 kN, que é maior que a tensão de tração máxima solicitada, num montante de 361N.

Na união haste-pá (hidrofólio) do rotor uma solda com um filete de 5mm foi dimensionada. A resistência máxima do metal da solda calculada foi de 83,65 kN, suficiente para suportar uma tensão de 439N Solicitada. As características da união por solda estão evidenciadas na Tabela 4

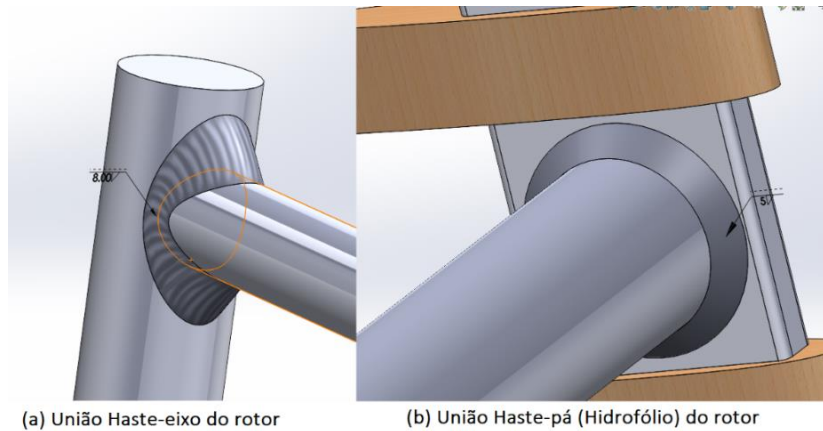
TABELA 3. Características da conexão por solda.

CARACTERÍSTICA	Haste-eixo	Haste-hidrofólio
Material da Haste	Aço 1020	
Limite de Escoamento da Haste	330 MPa	
Diâmetro do Filete	8 mm	5 mm
Resistência Máxima do Metal da Solda	142,32 kN	83,65 kN
Tensão de Tração Máxima Solicitada	361 N	439 N
Eletrodo Escolhido	ER70S-6	

Fonte: Autores (2024).

Na Figura 9 estão representados da união por solda na conexão haste-eixo do rotor (a) e também a união na conexão haste-pá (hidrofólio) (b).

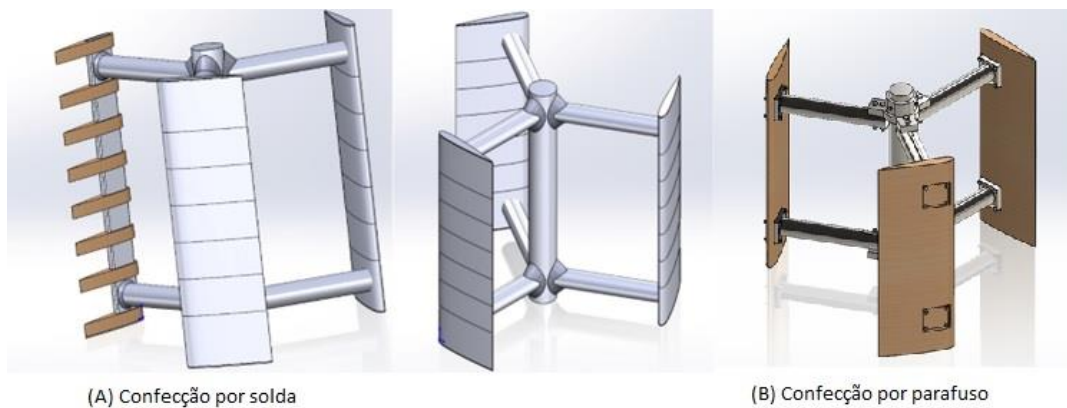
FIGURA 9. Representação da união por solda.



Fonte: Autores (2024).

Na Figura 10 é possível observar uma ilustração do rotor construído com dois tipos fixação, solda (A) e parafuso (B).

FIGURA 10. Resultado da construção do rotor com os dois tipos de conexão.

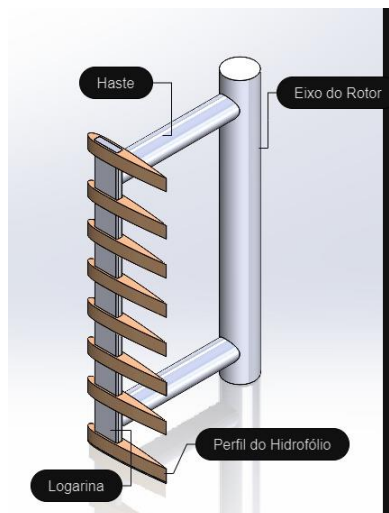


Fonte: Autores (2024).

3.8 Vantagens e desvantagens da fixação por solda

O uso da solda na conexão adiciona dificuldade à construção do modelo, pois exige o uso de longarinas semelhante ao utilizado em asas de aeronaves, como mostrado na Figura 11. Essas longarinas são conformes o perfil aerodinâmico adotado, que, neste trabalho é o NACA 0012.

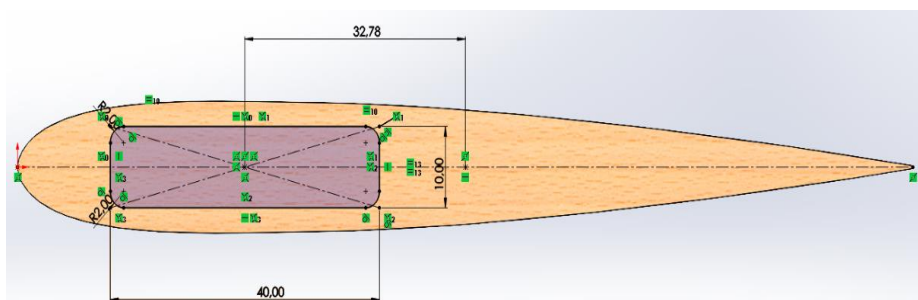
FIGURA 11. Construção do modelo na fixação por solda.



Fonte: Autores (2024).

A solda de filete deve ter diâmetro mínimo de acordo com a espessura das chapas a serem unidas, e a espessura do perfil do hidrofólio não deve ultrapassar 12% da corda do perfil (160 mm) como exemplificado na Figura 12.

FIGURA 12. Ilustração da disposição de longarinas no modelo na fixação por solda



Fonte: Autores (2024).

Essas limitações afetam a espessura e a largura da longarina, essencial para suportar os perfis de madeira-balsa. A norma NBR-8800 (2008) estabelece dimensões mínimas para a solda de filete, determinadas pela parte menos espessa dessa técnica. No modelo em questão, a longarina pode ter até 10 mm de espessura sem afetar o hidrofólio, mas aumentar a largura para mais de 50 mm pode comprometer a integridade do perfil. Além disso, os custos de construção e de manutenção dos dispositivos podem ser elevados, pois é necessário o uso de mão-de-obra qualificada para suas construções. Por outro lado, uniões por solda podem resistir a grandes cargas e requerer menores ciclos de manutenção.

3.9 Vantagens e desvantagens da fixação por parafuso

O uso de parafusos na conexão pode ser vantajoso devido à sua simplicidade, permitindo que qualquer pessoa com mínima qualificação realize a montagem e a manutenção dos dispositivos, o que pode contribuir para a redução dos custos. Isso também traz mais flexibilidade ao projeto, tornando a construção do protótipo mais simples. No entanto, é importante considerar que o uso de parafusos adiciona massa e arrasto ao rotor, o que pode reduzir a eficiência de conversão do sistema. Além disso, devido à alternância do módulo e do sentido das forças que submetem o conjunto, os parafusos estão sujeitos a vibrações constantes, o que pode produzir afrouxamentos periódicos da união, e exigir um ciclo de manutenção mais frequente.

4. CONCLUSÕES

O dimensionamento da turbina foi realizado focando uma potência de referência de 100 W, para o que foi dimensionado um rotor com 0,45 m de comprimento de pá (hidrofílico) e 0,45 m de diâmetro. A velocidade de rotação necessária para obter a potência de 100 W é de 254,52 RPM. Uma máquina com estas características pode ser usada em comunidades ribeirinhas na Amazônia, isolada ou associadamente a obter potências múltiplas de 100 W.

Simulações CFD foram realizadas, e com isso obtidos os esforços hidrodinâmicos atuantes no rotor Darrieus. Em sequência, essas figuras foram exportadas para o ambiente de simulação do software SolidWorks®. Os resultados assim obtidos permitiram determinar a posição angular do hidrofólio, em 149,27°, no instante em que a força máxima alcança o valor de 871,60 N.

Com os resultados obtidos através da simulação CFD, foram obtidos os esforços máximos resultantes nas conexões, através da análise numérica por MEF, no ambiente SolidWorks® Simulation. Essa análise revelou uma resultante máxima na conexão haste-pá do rotor (hidrofólio), de aproximadamente 440 N, enquanto na conexão haste-rotor se observou uma máxima resultante no valor de 336 N.

Com base nos esforços máximo obtidos, foram dimensionados dois tipos de fixação mecânica: solda de filete e união por parafuso. Considerando as desvantagens relacionadas ao custo da fixação por solda, que pode ser mais elevado que a fixação por parafuso, bem como a complexidade na realização da conexão por solda, que adiciona complexidade à construção do rotor, e também a facilidade de manutenção proporcionada pela conexão por parafuso, pôde-se concluir que a fixação por parafusos é mais vantajosa do que a fixação por solda.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este trabalho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

DA CRUZ, R. W. A. Modelagem de Turbina Hidrocinética a Eixo Vertical. 1995. 87f. Dissertação de Mestrado (Engenharia Mecânica). Itajubá: UNIFEI, 1995.

DA CUNHA, K. B.; SOARES, M.; DA SILVA, A. F. Acesso aos serviços de energia elétrica nas comunidades isoladas da Amazônia: Mapeamento jurídico-institucional. *Instituto de Energia e Meio Ambiente*, Vol. 1, São Paulo, Brasil, 2018.

FRAENKEL, P. Marine current turbines: Pioneering the development of marine kinetic energy converters. *Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers Part A-journal of Power and Energy - PROC INST MECH ENG A-J POWER*, v. 221, 2007. DOI: 10.1243/09576509JPE307.

GHIASI, P.; NAJAFI, G.; GHOBADIAN, B.; JAFARI, A.; MAZLAN, M. Analytical Study of the Impact of Solidity, Chord Length, Number of Blades, Aspect Ratio and Airfoil Type on H-Rotor Darrieus Wind Turbine Performance at Low Reynolds Number. *Sustainability*, 14(5), 2623, 2022.

KARTAL, M. T.; PATA, U.; DESTEK, M.; ÇAĞLAR, A. E. Environmental Effect of Clean Energy Research and Development Investments: Evidence from Japan by Using Load Capacity Factor. *Journal of Cleaner Production*, v. 416, 2023. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.137972.

LEITE, C. C.; DE SOUZA, V. Exclusão elétrica na Amazônia legal: Quem ainda está sem acesso à energia elétrica. *Instituto de Energia e Meio Ambiente*, Vol.1, São Paulo, Brasil, 2020.

LÓPEZ, M.; BARRERO, D.; GARZON, S. Sistema de Control para Aerogeneradores Empleando Lógica Difusa. *Difu100ci@ Revista en Ingeniería y Tecnología*, UAZ, v. 8, p. 1, 2015.

MON, Ei Ei. Design of Low Head Hydrokinetic Turbine. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD)*, Volume 3, Issue 5, August 2019, e-ISSN: 2456-6470.

MORO, N.; MAY, C. A. Elementos de máquinas: cálculo simplificado de parafusos. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Departamento Acadêmico de Metal Mecânica, Florianópolis: IFSC, 22 p., 2021.

NETO, Candido Justino de melo. Turbina hidrocinética para comunidades isoladas na Amazônia: aperfeiçoamento e adequação do uso do produto. *Inc.Soc.*, Vol.12 n.1, Brasília, DF, p.73-79,2018.

OLIVEIRA, C. H. da C. Avaliação do potencial hidráulico com turbinas hidrocinéticas e sua atratividade para sistemas isolados e geração distribuída em localidades da região amazônica. Tese de Doutorado (Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 276 p., 2021.

PARASCHIVOIU, I. Wind turbine design – with emphasis on (the) Darrieus Concept. In Presses Inter Polytechnique (Ed.), Presses Inter Polytechnique, 85 p., 2002.

PATEL, V.; ELDHO, T.I.; PRABHU, S.V. Experimental investigations on Darrieus straight blade turbine for tidal current application and parametric optimization for hydro farm arrangement. *International Journal of Marine Energy*, v. 17, p. 110-135, 2017. DOI: 10.1016/j.ijome.2017.01.003.

PINHEIRO, A. C. da F. B. Estruturas metálicas. Editora Edgard Blücher. 2. Ed., São Paulo, Brasil, 301 p., 2005.

REZAEIHA, A.; KALKMAN, I.; BLOCKEN, B. CFD simulation of a vertical axis wind turbine operating at a moderate tip speed ratio: Guidelines for minimum domain size and azimuthal increment. *Renewable Energy*, v. 107, p. 373-385, 2017.

YAGMUR, Sercan; KOSE, Faruk. Numerical evolution of unsteady wake characteristics of H-type Darrieus Hydrokinetic Turbine for a hydro farm arrangement. *Applied Ocean Research*, v. 110, p. 102582, 2021. DOI: 10.1016/j.apor.2021.102582.