

Protótipo de Bancada Hidrocinética para Estudo Eletromecânico na Conversão de Energia

Luciano L. Pompeu, Wellington S. Fonseca, Allan R. A. Manito, Edson O. de Matos

Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia, Universidade Federal do Pará,
BRASIL (e-mail: leitepompeu@gmail.com).
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará,
BRASIL (e-mail: fonseca@ufpa.br).
Faculdade de Engenharia Elétrica e Biomédica, Universidade Federal do Pará,
BRASIL (e-mail: allanarrifano@gmail.com).
Faculdade de Engenharia Elétrica e Biomédica, Universidade Federal do Pará,
BRASIL (e-mail: ortiz@ufpa.br).

Abstract: This work aimed at the development (study, design and construction) of a bench for axial axis hydrokinetic turbines, with its power train developed by the motor-generator, the motor responsible for emulating the torque of the hydro turbine rotor and the generator with converter function the rotation movement of the shaft into power. Through this workbench, it was possible to make the studies more flexible for different hydrokinetic projects, from its mechanical design or operation, separate from its mechanical design or operation, to obtain an optimal operating point for maximum efficiency in energy conversion. This study is intended for turbines aimed at isolated communities and riverside communities located on the banks of the Guamá-PA river, places of high density of difficult systems systems, or that make the installation of photovoltaic and photovoltaic systems difficult; therefore, hydrokinetic studies have very significant importance as an alternative for energy production, as there is a great potential for a renewable energy source not only in the Amazon but in all parts of the world that propose energy sources in their rivers and oceans, for through currents and tides. The bench is composed of a microcontrolled system by means of an electrical control flow, which sends the rotor of the machine's power train to the electrical generator to the actuator (servomotor), emulating the conversion of current flows into energy, for efficiency studies. in the use of machines in different scenarios.

Resumo: Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento (estudo, projeto e construção) de uma bancada para emulação de turbinas hidrocinéticas de eixo axial, com seu trem de potência constituído pelo acoplamento motor-gerador, sendo o motor responsável por emular o torque do rotor da turbina hidrocinética, e o gerador com a função de converter o movimento de rotação do eixo em potência elétrica. Através desta bancada foi possível flexibilizar os estudos laboratoriais para diversos designs hidrocinéticos, seja no seu projeto ou operação, facilitando a análise do comportamento mecânico e elétrico desses sistemas, afim de se obter um ponto ótimo de operação para garantir a máxima eficiência na conversão de energia. Este estudo destina-se a turbinas direcionadas a sistemas isolados para comunidades ribeirinhas localizadas às margens do rio Guamá-PA, locais de difícil acesso devido à alta densidade da vegetação, o que dificulta a instalação de sistemas fotovoltaicos e eólicos; sendo assim, os estudos hidrocinéticos possuem importância muito significativa como fonte alternativa de produção de energia renovável, pois existe um grande potencial de extração de energia hidrocinética não só na Amazônia mais em todas as partes do mundo que apresentam fluxos de água em seus rios e oceanos, por meio das correntes e marés. A bancada é composta por um sistema microcontrolado que por meio de um algoritmo de sinais de controle, envia para o atuador (servomotor) acoplado o rotor do trem de potência da máquina ao gerador elétrico, emulando a conversão dos fluxos de correntes em energia elétrica, para estudos de eficiência na utilização dessas máquinas em diferentes cenários.

Keywords: Hydrokinetic Turbine, Microcontroller, Energy Conversion, Energy Efficiency, Simulation.

Palavras-chaves: Turbina Hidrocinética, Microcontrolador, Conversão de Energia, Eficiência Energética, Simulação.

1. INTRODUÇÃO

As fontes de energia renovável precisam ser usadas como principal ferramenta de contribuição para o desenvolvimento sustentável nas regiões menos desenvolvidas do mundo. As microcentrais são uma fonte de energia renovável e apropriada para eletrificação de áreas rurais nos países em desenvolvimento. É uma tecnologia confiável, podendo operar conectada ao sistema elétrico ou de forma isolada, contribuindo adequadamente para as necessidades de energia de países em desenvolvimento. Além disso, a substituição de fontes convencionais de energia (lenha para cozimento, geradores diesel, lâmpões), por energias renováveis como microcentrais ajuda na redução da emissão de CO². Isso contribui para mitigação das mudanças climáticas e também para diminuição da pobreza e aumento do desenvolvimento econômico através do suprimento da necessidade de energia para iluminação, bombeamento de água e operação de pequenas unidades produtivas. (FILHO et al, 2008, p.24).

É importante ressaltar que de acordo com (NIEBUHR, 2019) nos últimos anos, as fontes de energia renovável têm contribuído cada vez mais para produção global de energia, considerando a crise das mudanças climáticas e a crescente demanda global por eletricidade, pois existe uma necessidade de acelerar rapidamente essa transição para um portfólio dominante de energia renovável que reduzam significativamente as emissões de carbono para a próxima década.

Estes desafios podem ser alcançados em grande parte através da rápida expansão da escala de projetos e mercados de energia renovável, utilizando sistemas eficientes, econômicos e tecnologias de conversão de energia renovável, como por exemplo, solar, hídrica e eólica. Também são necessários esforços para acelerar o desenvolvimento de novas indústrias e mercados de energia renovável usando a próxima geração tecnologias de conversão de energia com a capacidade de extrair inexploradas reservas de energia renovável, incluindo hidrelétricas de baixo consumo (potencial) e hidrocinética em correntes e ondas de água dos rios e do oceano.

Diante dessa realidade, novas fontes têm sido buscadas como forma não só de diversificar a matriz energética dos países, mas também desenvolver alternativas que busquem uma redução dos impactos ambientais causados pela geração de energia elétrica, seja eles, de pequena ou grande escala. É nessa perspectiva que surge a discussão da viabilidade de implantação de energias renováveis, com destaque para aquelas que permitam um distúrbio cada vez menor ao meio ambiente e a sociedade como um todo (Empresa de Pesquisa Energética, 2018).

Para investigar essas opções mais a fundo, o presente trabalho consolidou o desenvolvimento de uma bancada para emulação da geração de energia elétrica, expandindo as pesquisas de energia renovável para desenvolver novas ferramentas para o projeto e análise de sistemas de energia, utilizando o conceito da conversão hidrocinética do fluxo de água de rios em eletricidade, enfatizando velocidades de escoamentos dos rios da Amazônia, uma região com diversas comunidades ribeirinhas e também localidades com potencial

produtivo, que possuem condições precárias de fornecimento de energia elétrica (Neely, et al., 2013).

Uma etapa necessária para essa pesquisa é a validação experimental, que resultou no desenvolvimento de uma bancada (Hardware) para turbinas de eixo axial, que possui a função de executar os ensaios de acordo com os dados e parâmetros inseridos no firmware. Com base em um perfil hidrográfico indexado ao tempo, ou seja, a velocidade de escoamento da água de um rio (m/s), bem como o perfil de carga (W) ou (VA), a bancada de teste pode ser usada para repetir uma experiência indefinidamente usando configurações de controle diferentes, isso é feito a partir de uma interface com o computador central ou supervisor. O laboratório e a bancada podem ser visualizados conforme a Fig. 1.



Fig. 1 Bancada Hidrocinética: Protótipo desenvolvido

Ao Hardware da bancada foi integrada uma interface visual SCADA (Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados.) desenvolvido em linguagem C. A ilustração do ambiente está disponível conforme a Fig. 2.

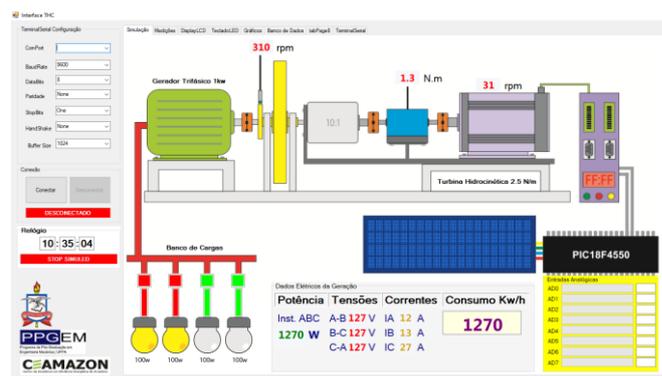


Fig. 2 Sistema de Gerenciamento SCADA da Bancada

Dispositivos hidrocinéticos são uma tecnologia renovável nascente com grande potencial para nos ajudar a atender nossas crescentes necessidades de energia. Eles se beneficiam da conversão de energia cinética em energia elétrica utilizável a partir de recursos de energia altamente densos, incluindo rios, correntes das marés do oceano e de suas ondas. Para isso, um método para incorporar fontes

hidrocinética em uma bancada de laboratório é apresentado, incluindo os projetos utilizando um software de código aberto desenvolvido para estudo de turbinas Qblde foi adotado como referência para a geração das curvas de torque conforme as necessidades de um projeto, e assim implementar no ensaio de THCH (Turbina Hidrocinética de Eixo Horizontal) e ao final analisar a conversão energética para obter o melhor ponto de extração de energia.

2. TURBINAS HIDROCINÉTICAS

A turbina hidrocinética é um sistema eletromecânico que converte a energia cinética do escoamento do fluxo de água em energia elétrica. Os componentes principais do trem de potência da THCH são: o rotor, eixo de baixa rotação acoplado ao eixo, a caixa multiplicadora que converte a baixa rotação em alta e o gerador elétrico. O rotor é colocado em rotação pela ação do escoamento da água e gira o hub acoplado ao eixo de baixa rotação. A caixa de engrenagens multiplica a rotação por meio de um conjunto de engrenagens e entrega ao gerador para produção de potência elétrica (Diniz, Moraes, Kalkmann, & Mesquita, 2016, p. 3).

2.1 Conversão de Energia e Hidrodinâmica

As turbinas hidrocinéticas de eixo horizontal são formadas por um rotor que possuem um certo número de pás fixadas sobre um eixo, e pelo efeito que o fluxo das correntes de água de um rio incide sobre a área varrida das pás manifestam-se forças hidrodinâmicas que atuam sobre a estrutura gerando o torque resultante e assim o movimento linear do fluxo é convertido em rotação entregue ao gerador. A Fig. 3 representa o perfil hidrodinâmico, qual atuam as forças que convertem o fluxo da água e movimento rotativo.

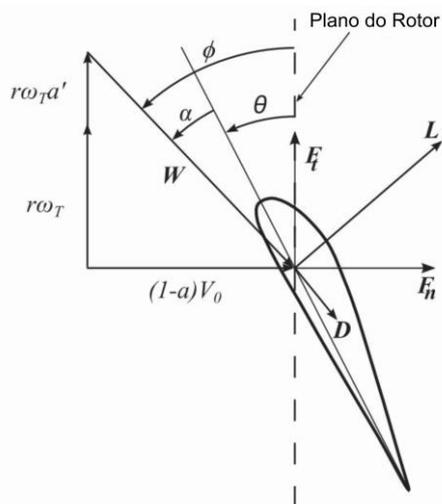


Fig. 3 Perfil hidrodinâmico e suas componentes de força

A força resultante em um perfil hidrodinâmico se divide em duas componentes, a força de sustentação (Fs), perpendicular ao plano, e a força de arrasto (Fa) paralelo ao escoamento. Elas surgem da pressão exercida pelo fluxo de água ao perfil da turbina. Essas forças sofrem alterações de acordo com o ângulo de ataque(α) do perfil das pás do rotor, assim para condições ideais, é desejável que o mesmo gere o máximo de

sustentação e o mínimo de arrasto para que opere com máxima eficiência. A seguir se tem as equações para coeficiente de arrasto e sustentação.

$$Ca = \frac{Fa}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot Ap} \quad (1)$$

$$Cs = \frac{Fs}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot Ap} \quad (2)$$

Fa – Força de arrasto

Fs – Força de sustentação

V – Velocidade do fluxo incidente sobre a pá

ρ – densidade da água

Ap – área da secção transversal da pá

O processo de conversão é basicamente composto de 3 componentes de sistema principal. O rotor onde são fixas as pás, o multiplicador de velocidades qual possui a função de aumentar a rotação a ser entregue ao eixo final, e o gerador que transforma a rotação em energia elétrica. Veja na Fig. 4 esses componentes.

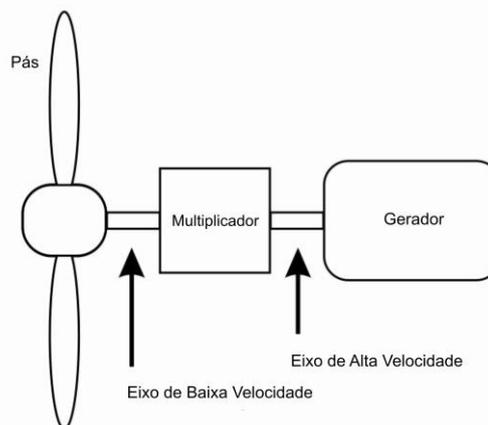


Fig. 4 Trem de Potência de uma THEH

Considerando o fluxo de água de massa m movimentando-se a uma velocidade v, pode-se estabelecer sua energia cinética como $E = (m \cdot v^2) / 2$. A potência (P) de forma simplificada, é a quantidade de energia sobre o tempo (E/t), que por sua vez pode ser escrita como $P = (A \cdot \rho \cdot v^3) / 2$, onde ρ é a massa específica da água, e A é a área varrida pela turbina (Empresa de Pesquisa Energética, 2016). A seguir são apresentadas as equações que regem esse tipo de sistema para auxiliar no projeto, simulação e emulação de um sistema completo de geração hidrocinética.

2.2 Equações de Potência

Basicamente o potencial hidrocinético é proporcional a área de captura e densidade da água, e esses valores podem ser definidos, com a variação cúbica do escoamento incidente na turbina, como expresso na equação (3); onde A é a área varrida pelo Rotor da turbina, ρ é a densidade do fluido e V^3 corresponde a velocidade defluxo livre do rio.

$$Ph = \frac{1}{2} \cdot A \cdot \rho \cdot V^3 \quad (3)$$

Para uma turbina hidrocinética a potência extraída pelo rotor é dada por:

$$Pt = \frac{1}{2} \cdot Cp(\lambda) \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (4)$$

Onde $Cp(\lambda)$ é o coeficiente de potência, e λ é a relação de velocidade do fluxo que passa pela turbina pela velocidade na ponta da pá do rotor.

2.3 Torque do Rotor

O torque do rotor de uma turbina hidrocinética é obtido da ação das forças hidrodinâmicas que atuam sobre as pás do rotor. Aplicando a teoria do momento de elemento de pá (BEM, Blade Element-Momentum), o torque do rotor (Tt) pode ser expresso, segundo (HANSEI, 2015).

$$Tt = \frac{Pt}{\omega M} = \frac{1}{2} \frac{\rho \pi R^2 V^3}{\omega M} Cp \quad (5)$$

Sendo Pt , a potência extraída pelo rotor, ωM a rotação do rotor, R o raio do rotor, V a velocidade de escoamento não perturbado e o Cp o coeficiente de potência que, para um rotor de turbina hidrocinética é dado segundo (HANSEI, 2015) por:

$$Cp = \frac{8}{X^2} \int_0^X a'F(1 - aF)x^3 dx \quad (6)$$

Sendo $X = \Omega m R/V$ é a razão entre a velocidade tangencial na ponta da pá e a velocidade de escoamento (V), (Conhecida como TSR, do inglês Tip speed ratio) e $x = \omega m r/V$ é a razão entre a velocidade tangencial no pé da pá e a velocidade do escoamento (conhecida como LSR, Local-Speed Ratio); “ a ” e “ a' ” são, respectivamente, os fatores de indução tangencial e radial e “ F ” é o fator de aproximação para as perdas na ponta da pá (Sayed, Kandil e Shaltot, 2012).

2.4 Torque do Gerador

Considera-se um gerador síncrono de ímã permanente (PMSG do inglês Permanent Magnet Synchronous Generator), cujo torque magnético (TG) pode ser calculado por (HANSEI, 2015).

$$Tg = \frac{3}{2} j \cdot v \cdot isv (N.m) \quad (7)$$

sendo “ j ” o número de pares de polos, “ v ” o fluxo magnético e “ isv ” a corrente elétrica de uma das fases síncronas.

2.5 Potência Elétrica Gerada no Sistema

Para conversão de potência hidrocinética em elétrica, basta utilizar a equação 4, considerando os rendimentos do gerador elétrico (ng), do multiplicador de velocidades (nm) e atrito nos enrolamentos (ne), conforme a equação 8.

$$Peg = \frac{1}{2} \cdot A \cdot \rho \cdot V^3 \cdot Cp \cdot ng \cdot nm \cdot ne \quad (8)$$

3. MODELO DA TURBINA

O modelo para emulação no hardware tem como referência o software Qblade (Pechlivanoglou, s.d.), nele é possível construir um projeto de uma turbina hidrocinética ou eólica e gerar valores de torque e potência de acordo com os parâmetros configurados. Nele é possível criar o modelo 3d da turbina especificando todas as características essenciais para uma análise satisfatória, dentre os parâmetros utilizados no projeto podemos citar alguns na tabela a seguir.

Tabela 1. Parâmetros de projeto da turbina

Parâmetro	Descrição/Quantidade
Padrão do Aerofólio	Naca 23018
Número de pás	3-4
Comprimento da pá	1 m
Viscosidade da água	1.002
Relação de velocidade	1:10
Densidade da água	997
Eixo	Horizontal
Faixa de Escoamento	0 – 5 m/s
Comprimento do Hub	0,067 m

Na construção do modelo da turbina foram utilizados dois parâmetros de turbina, com 3 e 4 pás incluindo os apresentados na tabela 1, a partir deles foi possível projetar duas turbinas de eixo axial para ser incorporada na emulação hidrocinética da bancada, assim pode ser visualizado o design de projeto do rotor conforme a Fig. 5 e Fig. 6.

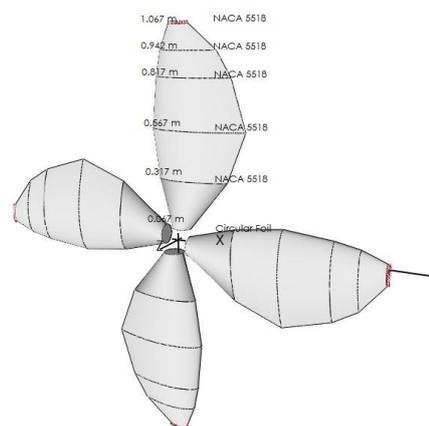


Fig. 5 Perfil de Rotor da Turbina com 4 Pás

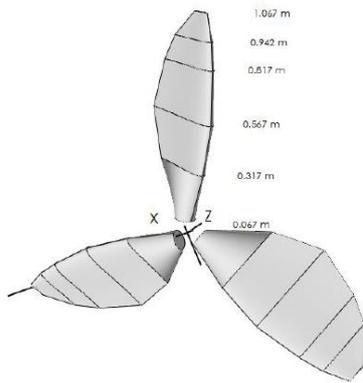


Fig. 6 Perfil de Rotor da turbina com 3 Pás

Conforme a Fig. 5, compõe a etapa de design do modelo da turbina, e segundo a Fig. 7 é possível observar o resultado das curvas referente ao projeto com 3 e 4 pás, demais resultados também são gerados com a potência e a curva de torque. Ao se obter o torque da turbina diante as condições a ela imposta, esses valores são convertidos em linguagem C para assim serem inseridos na bancada para execução do ensaio.

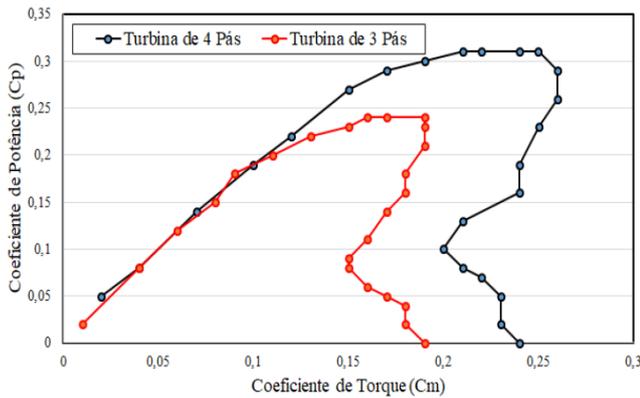


Fig. 7 Coeficiente de potência (C_p), e Torque (C_m) em função do número de Pás da Turbina.

4. HARDWARE E EMULAÇÃO DA TURBINA

O trem de potência físico do sistema de emulação é composto por um acoplamento entre um motor com a função de injetar o torque no eixo e um gerador de ímã permanente, esse sistema é gerenciado por um microcontrolador pic18f4550 que possui a função de executar os sinais de controle da bancada afim de reproduzir as condições de operação do sistema hidrocínéticos, e para auxiliar a visualização e operação foi desenvolvido em linguagem C# comunicando ao sistema por meio de um cabo serial rs232. Na Fig. 8 é possível visualizar o diagrama de funcionamento da bancada, assim como seus componentes principais.

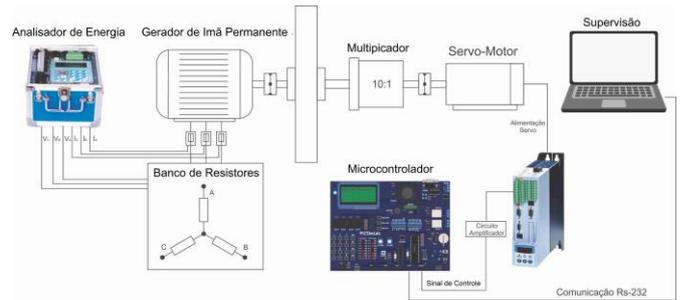


Fig. 8 Diagrama de funcionamento da bancada.

O microcontrolador e um hardware programável que possui muitos recursos, um deles é o módulo pwm (Pulse Width Modulation) significa Modulação por Largura de Pulso. A técnica PWM consegue substituir outras técnicas de controle de potência, como a técnica on-off, modulação por frequência (FM), por meio dela é possível converter um sinal digital em analógico, e como o drive do servomotor possui uma entrada analógica para o controle do torque no servo, ele foi utilizado para essa finalidade. Porém foi necessário também um amplificador operacional para converter o sinal do microcontrolador que é de 0 a 5v em 0 a 10v, para isso foi projetado um circuito amplificador para o condicionamento do sinal e reproduzir assim curvas de controle conforme é apresentado na Fig. 9.

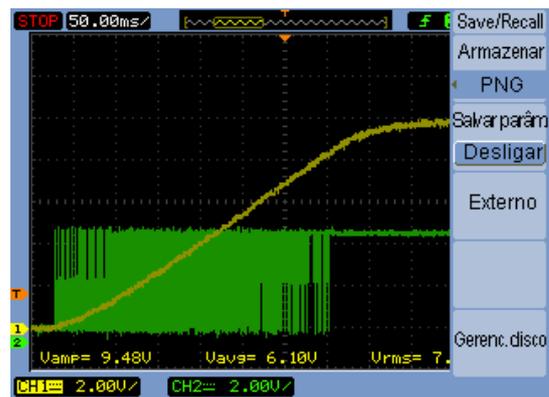


Fig. 9 Sinal Pwm em verde x Sinal analógico em Amarelo.

O princípio de funcionamento e controle do torque é baseado em um sinal pwm (pulso por largura de pulso), esse sinal possui uma range de 0 a 800, e para cada incremento de 1 pwm equivale a 0,0127 N.m aplicados no eixo da bancada pelo servo motor. Para chegar a essa conclusão foi utilizado o método da força peso aplicada pelo motor sobre uma balança, assim foi mapeado o valor de torque para cada incremento pwm. Na tabela 2 é possível visualizar a conversão do sinal digital em torque mecânico.

Tabela 2. Conversão do sinal de controle em torque no eixo

Value pwm pin Microcontroler	Torque Quantizado	Torque Real
000	000 N.m	000 N.m
005	0,06 N.m	0,02 N.m
010	0,127 N.m	0,05 N.m
100	1,27 N.m	1,25 N.m
230	2,921 N.m	3,07 N.m

400	5,08 N.m	5,15 N.m
500	6,35 N.m	6,36 N.m

Na sequência foi possível traçar a curva de linearização entre o valor real e o ideal, qual apresentou uma margem satisfatória devido ao pequeno desvio como pode ser observado na Fig. 10.

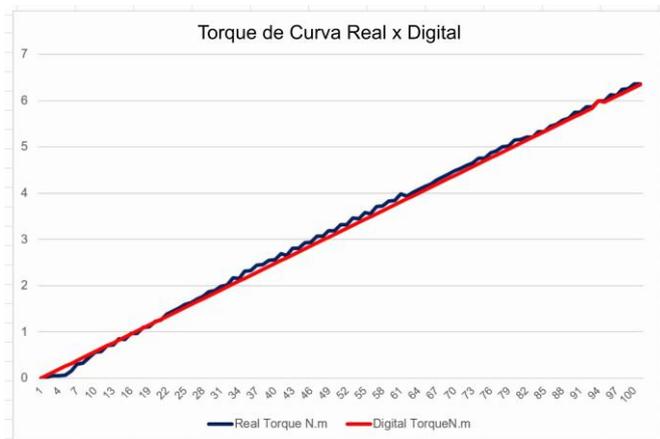


Fig. 10. Linearização da curva de controle de torque.

4.1 Resistência do Trem de Potência

O Sistema consiste em um rotor acoplado a um gerador por meio de um conjunto de acoplamentos, multiplicador de velocidades e freio de Foucault com momento de massa de inércia, J_T , conforme a Fig 11.

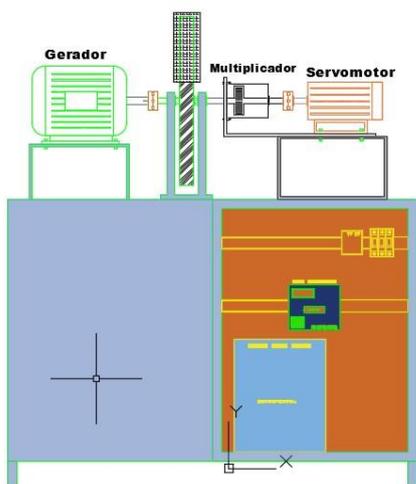


Fig. 11 Esquema de acoplamento da bancada.

O equilíbrio do trem de força possui uma inércia J_S . Assim o equilíbrio de torque na turbina eólica é:

$$T_T - T_R = J_{total} \frac{d\omega_T}{dt} \quad (9)$$

Onde T_T é o torque hidrodinâmico, $T_R = T_G + T_D$ é o torque resistivo do sistema de transmissão da bancada, que é composto por duas componentes, T_G é a parte formada pelo torque do gerador e T_D , corresponde a parcela formada pela fricção e atrito dos rolamentos. Observando-se que durante a

partida da turbina o gerador não produz potência, ou seja, a corrente de saída é zero. A velocidade da turbina é dada por ω_T , o momento de massa total de inércia é dado por $J_{TOTAL} = J_T + J_G$, onde o primeiro é a inércia do rotor e o último do gerador. Logo a bancada só começa a girar quando $T_T > T_R$.

5. APLICAÇÕES E ENSAIOS NA BANCADA

Para aplicar os testes de ensaio na bancada, foi utilizada uma curva linear de crescimento de torque em diferentes condições, considerando a variação das variáveis tempo, torque e carga no trem de potência. Para esses testes foram adotadas curvas crescentes em um tempo de atualização de 1 segundo com incrementos de pwm com valores 1,2,4 e 10, ou seja, significa dizer que cada incremento PWM se tem o valor multiplicado por 0,0127 N.m aplicados no motor, desse modo foram obtidas as seguintes curvas na Fig. 12.

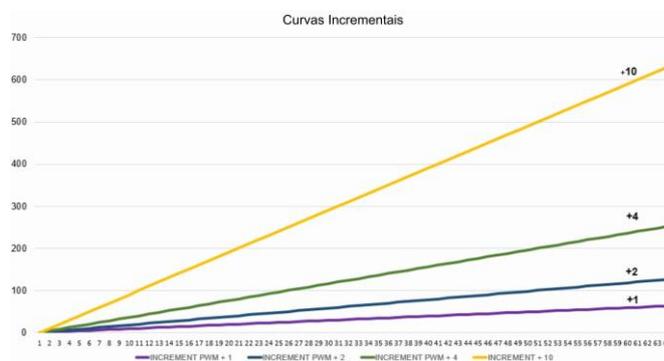


Fig. 12. Curvas adotadas para ensaios.

O primeiro ensaio a ser realizado foi com o rotor livre desconectado do gerador para mapear o comportamento da relação torque injetado x rpm no trem de potência do sistema, e nos valores para o torque de partida da turbina, constatou-se que para diferentes velocidades de crescimento esses valores alteram de acordo com o tempo. Os valores obtidos podem ser observados na Fig 13.

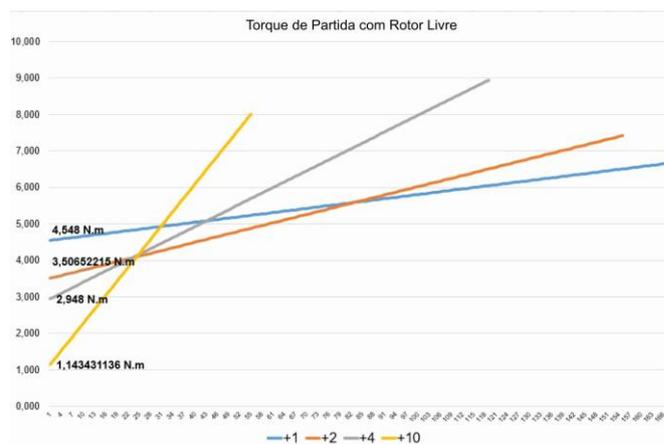


Fig. 13 Torque de partida.

Tabela 3. Torques de partidas

Tipo de Incremento da Curva	Torque de Partida (N.m) $T_T > T_R$	Valor Pwm	Tempo (s)
01	4,548	358	358
02	5,506	276	138
04	2,948	232	58
10	1,143	90	9

Nos ensaios realizados com o gerador conectado a uma carga trifásica composta por um banco de resistores de 25w cada, configurando um Sistema equilibrado foi possível obter os dados de potência mecânica injetada x potência elétrica produzida, com o principal objeto de consolidar o comportamento linear do Sistema e volta-lo para aplicações reais em desenvolvimento. A figura 12 representa a curva torque potência fornecida ao Sistema enquanto que na figura 13 é apresentado a potência elétrica gerada.

A potência mecânica da turbina é calculada pela equação:

$$P_{MEC} = T_{MEC} \cdot \omega \quad (10)$$

O gráfico ilustrado na Fig. 14, exibe os valores de crescimento proporcional de potência em função da rotação e torque.

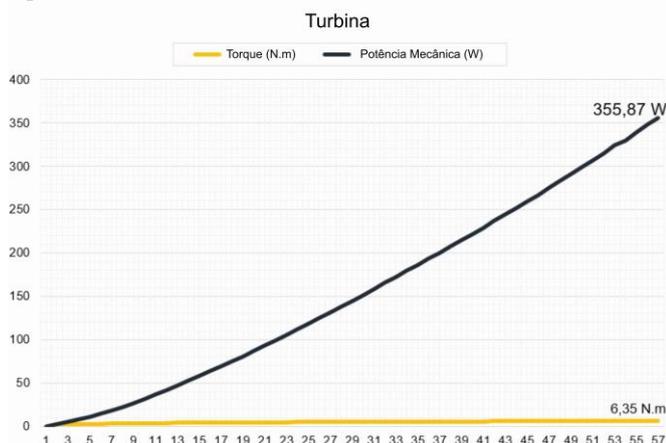


Fig. 14 Relação do Torque x RPM.

Com base nas equações de potência elétrica, foi possível gerar o gráfico de geração aplicando uma carga trifásica e verificando o comportamento na partida da turbina emulada.

$$P_E = U \cdot I \quad (11)$$

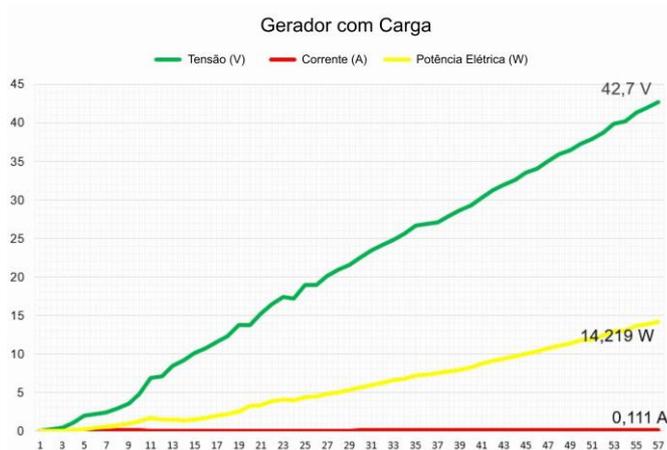


Fig. 15. Curva de Geração para carga resistiva de 150w.

Conforme observado na Fig. 15, são apresentados os dados elétricos como resultados da potência elétrica de saída para uma curva linear para o torque máximo entregue pela bancada, assim qualquer modelo de turbina que opere dentro da faixa de torque entregue pelo emulador pode ser objeto de ensaio no sistema desenvolvido.

Table 4. Valores de desempenho do sistema para a curva exibida na Fig. 14

RPM	Torque (N.m)	Potência Mecânica (W)	Potência Elétrica do Gerador (W)
0	0	0	0
1	2,72	2,72	0,007
5	2,95	14,74	0,436
10	3,79	36,35	1,677
20	4,65	93,4	3,374
56	6,35	355,87	14,289

Os gráficos mostram um comportamento de um Sistema típico ligado a um gerador elétrico, ou seja, a rotação produzida no Sistema está diretamente proporcional a capacidade de produção de energia elétrica, entretanto quanto mais carga elétrica o gerador alimenta, maior será o torque resistivo forçando a redução de velocidade, sendo assim o monitoramento inteligente auxilia no corte de carga para que haja recuperação da rotação e favoreça no ganho de eficiência do Sistema.

6. CONCLUSÕES

Os métodos simples para projeto de uma turbina de rio foram apresentados e demonstrados tanto a simulação das curvas e forças que regem essa conversa, como a emulação do hardware bancada; o que ao final foi possível obter dados para o estudo do comportamento desses tipos de sistema e como utiliza-los da melhor forma o possível. A grande representatividade desses recursos renováveis inestimáveis tem ganhado grande destaque em ambiente de testes seja em Micro redes ou sistemas híbridos isolados. O trabalho futuro tem como objetivo incorporar técnicas buscando melhor eficiência na geração, seja com a mudança em hardware ou melhores técnicas de projeto, visando o desenvolvimento e teste de esquemas de controle que incorporam fontes de energia hidrocínética em sistemas de energia que incluem

geração convencional, armazenamento de energia e cargas heterogêneas.

REFERÊNCIAS

- Araujo, L. F., Galhardo, M. A., & Vaz, J. R. (2020). Experimental investigation of drivetrain resistance applied to small. *elsevier*, 10, Publisher.
- Cavagnaro, R. J., Neely, J. C., & Mendia, J. L. (2016). Evaluation of Electromechanical Systems. *Eetransactions on sustainable energy*, 10.
- Diniz, A. C., Moraes, M. V., Kalkmann, A., & Mesquita, A. L. (2016). Modelagem dinâmica de mancais de rolamentos. *XXXVII Iberian latin american congress on computational methods in engineering*, p.18.
- Empresa de Pesquisa Energética. (2018). *Matriz Energética e Matriz Elétrica*. Retrieved 03 05, 2019 from <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matrizenergia-e-eletrica#TOPO>
- Fapespa. (2015). www.fapespa.pa.gov.br. Retrieved 09 16, 2019 from <http://www.fapespa.pa.gov/anuario-estatistico/imagens/mapas/territorio/hidrografia.jpg>
- HANSEI, M. O. (2015). *Aerodynamics of Wind Turbines* (3ed.).
- Hansen, M. O. (2008). *Aerodynamics of Wind Turbines* (Vol.2). Sterling: Earthscan. IEMA. (2019) www.energiaeambiente.org.br. Retrieved 12 16, 2019 from [energiaeambiente](http://www.energiaeambiente.org.br).
- Junior, A. C., Vans, R. E., Salomon, L. R., Oliveira, T., & Rodrigues, A. P. (2007). *annel*. Retrieved 12 15, 2019 from www2.aneel.gov.br/biblioteca/citenel2007/pdf/it46.pdf
- Khan, M. J., Bhuyan, G., Iqbal, M. T., & Quaicoe, J. E. (2009). Hydrokinetic energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications: A technology status review. *Applied Energy*, pp. 1823-1835, Publisher.
- Khan, M. J., Iqbal, M. T., & Quaicoe, J. E. (2007, Abril 16). River current energy conversion systems: Progress, prospects and challenges. pp. 2177–2193.
- Kirinus, E. P., & Marques, W. C. (2015). Viabilidade do uso de turbinas hidrocínéticas na Plataforma Continental SulSudeste Brasileira. *Scientia Plena*, 11, Publisher.
- Klassmann, C. O., Dias, M. d., Ramires, M. J., Fett, J. R., & Fröhlich, M. A. (2018). DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA PARA ENSAIOS DE. *RENOMAT*, p. 17. Moreira, J. L., Mesquita, A. L.,
- Neely, J. C., Ruehl, K. M., Jepsen, R. A., Roberts, J. D., Glover, S. F., White, F. E., & Horry, M. L. (2013, SEPTEMBER). Electromechanical Emulation of Hydrokinetic. *OCEANS*, 8. NIEBUHR, C. M. (2019, junho). A review of hydrokinetic turbines and enhancement techniques for canal. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18. Pechlivanoglou, G. (n.d.). *q-blade.org*. Retrieved 04 02, 2021 from <http://www.q-blade.org/#second-screen>
- VAZ, J. R. (2010). *Estudo De Turbinas Eólicas Adaptadas A Baixas Velocidades De*. Belem.