

## **Hidroeletricidade: geração de energia por meio de balsas em rios com grande vazão**

### ***Hydroelectricity: power generation through ferries in rivers with big flow rate***

**Klirssia Matos Isaac Sahdo, estudante de Engenharia Elétrica, Universidade do Estado do Amazonas.**

Kmis.eng17@uea.edu.br

**Jussara Socorro Cury Maciel, professora doutora, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas.**

Jussara@ifam.edu.br

#### **Resumo**

A geração de energia sustentável tem sido uma pauta mundialmente discutida com ênfase à energia renovável. Este artigo tem como objetivo sugerir a implantação de uma Balsa Geradora de Energia em um rio de grande vazão de forma limpa. Na região norte do Brasil, os rios e afluentes geralmente tem velocidade de correnteza baixa às margens, mas longe das margens pode alcançar mais de 2 m/s, capaz de mover turbinas hidrocínéticas na conversão de energia mecânica em potencial elétrica. A fim de se sugerir um esquema desse sistema, analisou-se um trecho de rio quanto a sua velocidade e potencial de uso, além dos modelos de turbina existentes no mercado favoráveis à inserção na plataforma. Com a análise, gerou-se um esquema de Balsa Geradora de Energia e levantou-se sua viabilidade de implementação, ressaltando-se suas vantagens e propostas de utilização. Torna-se relevante o estudo desse caso, visto como uma alternativa ainda não explorada, uma inovação capaz de sustentar populações isoladas e precárias de eletricidade.

**Palavras-chave:** Energia Renovável; Conversão de Energia; Energia Limpa; Inovação

#### **Abstract**

*Sustainable energy generation has been an internationally discussed agenda with a focus on renewable energy. This paper aims to suggest the implantation of an Energy Generating Balsa in a river of great flow of clean form. In the northern region of Brazil, rivers and tributaries have the same frequency of low power at the edges, but the radiation can reach more than 2 m/s, capable of moving hydrokinetic turbines in the conversion of*

*mechanical energy into electrical potential. In order to determine the sampling system, a market model was analyzed for its speed and potential of use, besides the models of turbine in the market favorable to the insertion in the platform. With an analysis, it generated a scheme of Energy Generating Ferry and set up its viability of implementation, highlighting its advantages and proposals of use. Becoming relevant to the presence of case, seen as an alternative not yet explored, an ability to successively generate subsidiaries and precarious electricity.*

**Keywords:** *Renewable Energy; Energy Conversion; Clean Energy; Innovation*

## 1. Introdução

Geração de energia sempre é um tema discutido por seus impactos positivos e negativos. Questões de custo, eficiência e passivos gerados dividem opiniões e auxiliam os interessados no investimento e implementação de diversos projetos. A necessidade energética se revela como uma constante nas sociedades modernas, porém o surgimento de tecnologias mais sustentáveis pode auxiliar na redução dos efeitos negativos da produção de eletricidade.

A energia hidráulica, que é proveniente da irradiação solar e da energia potencial gravitacional, representa um pouco mais de 20% de toda a energia gerada no mundo. Estima-se que a energia hidráulica efetivamente disponível da Terra, seu potencial tecnicamente aproveitável, varie de 10.000 TWh a 20.000 TWh por ano (UN, 1992). Com isso, o potencial hidrelétrico brasileiro é estimado em cerca de 260 GW, nos quais 40,5% fazem parte da Bacia Hidrográfica do Amazonas (ELETROBRÁS, 2000).

Através de turbinas hidráulicas que o aproveitamento de água na obtenção de energia acontece. A eficiência a ser obtida pode chegar a 90% e isso é consequente a cada modelo de turbina que possa vir a ser utilizado. Usinas hidrelétricas, por sua vez, fazem uso deste aparelho de conversão de energia mecânica em potencial elétrico, entretanto ainda necessitam de parâmetros como barragens e evacuação de seres vivos presentes no lugar, demandando muito espaço e custo, além de causar impactos negativos à fauna e flora como consequência das inundações (LO ZUPONE).

Em meio a tanto recurso e necessidade de se utilizar energias renováveis, hidroeletricidade é um campo de estudo muito favorável a ser investido, todavia, tem sido deixado um pouco de lado com o avanço da Energia Solar, crescendo cerca de 50% (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA). Alguns resultados não foram bons o suficiente no Norte do Brasil com a hidroeletricidade, visto que situações como o da Hidrelétrica de Balbina, considerada a pior do mundo, por não atender a demanda e gerar prejuízo, desmotivaram o investimento nesta área de produção, (ROSA).

Os malefícios provenientes do processo de obtenção de energia não chegam a ser inexistentes, a energia que se encontra livre na natureza, fazendo parte do meio e sendo principal fonte vital, é finita e preocupante. Contudo, existe a capacidade de minimizar ao máximo os maus efeitos, fazendo-se estudo aprofundado, avaliando soluções objetivas e efetivas voltadas a: como gerar energia, quanto se adquire e quanto chega ao local de destino. Essas estatísticas são exatamente fatores que têm causado polêmica quanto ao uso de Hidrelétricas na Bacia Amazônica, segundo (FIGUEIRA).

A Bacia Amazônica possui um potencial hidrelétrico baixo devido à pouca declividade dos seus rios, o que é um forte argumento contra o uso de hidrelétricas na região. Mas, a quantidade de água em vazão é acessível para a movimentação de turbinas de porte menor do que as utilizadas em hidrelétricas. Sua topografia é plana e a maioria dos rios são caudalosos, o que adequa a navegação e comunicação na região Norte do país.

A energia hidrocínética aparece então como uma alternativa tanto para o meio ambiente como também para povoados isolados, como exemplo, os ribeirinhos. Por meio da correnteza dos rios, é possível transformar a energia mecânica, com a velocidade da vazão da água, em energia elétrica. É uma proposta limpa e eficiente pouco mencionada ou explorada atualmente em publicações de artigos ou de difícil acesso para estudo no Amazonas. Com essa observação, há a necessidade de mais estudos voltados para essa área tão ampla e que sempre pode ser melhorada com os avanços tecnológicos.

Neste projeto, há a finalidade de explicar e dimensionar uma balsa geradora de energia em um rio de grande vazão assim como os rios da Bacia Amazônica, analisando também o trecho de um rio quanto a sua velocidade e potencial de uso do equipamento, contextualizando o esquema da balsa e os modelos de turbina, já existentes, acessíveis e de melhor desempenho, além de destacar rios que possuem grande vazão. Ao fim, levantar-se-á sua eficiência e possibilidade de aplicação na realidade de obtenção de energia limpa.

## 2. Metodologia

Este estudo se baseia em referenciais bibliográficos voltados à eficiência da geração de energia hidráulica, onde se preferiu esquematizar a ideia de uma balsa com uma turbina hidrocínética movida pela correnteza do rio. Com a contribuição de dados analisados pela CPRM, foi possível avaliar e aprofundar o conhecimento dos rios do Amazonas e seus potenciais de energia hidráulica. No Brasil e principalmente na região Norte existem rios e afluentes que às margens a velocidade da água é baixa, enquanto que a velocidade voltada para o centro é maior e pode chegar a 2 m/s. Desse modo, evidencia-se uma alternativa que possa atender populações isoladas ou com difícil acesso à eletricidade.

Num primeiro momento, utilizaram-se dados da medição de descarga líquida analisados e disponibilizados pela CPRM - Serviço Geológico do Brasil. A **Figura 1** mostra a medição de descarga líquida dos rios, onde a vazão média é de 205.000 m<sup>3</sup>/s e a cota no Porto de Manaus é de 29,77 m. Outros dados adquiridos pela CPRM de potencial hidrelétrico por vazão constam na **Tabela 1**. Na **Figura 4**, há um comparativo de hidrovias hidrelétricas (em azul) e os eixos de integração da América do Sul (em vermelho), observando-se assim quais os potenciais rios de geração de hidroeletricidade da Bacia do Amazonas por parâmetro geográfico, selecionados pela CPRM, com destaque de localização (**Tabela 2**).

Depois, selecionaram-se dois rios, com base nos dados da CPRM, para estudo de velocidade da correnteza. Escolhendo-se o Rio Negro (**Figura 2**) e o Rio Solimões (**Figura 3**).

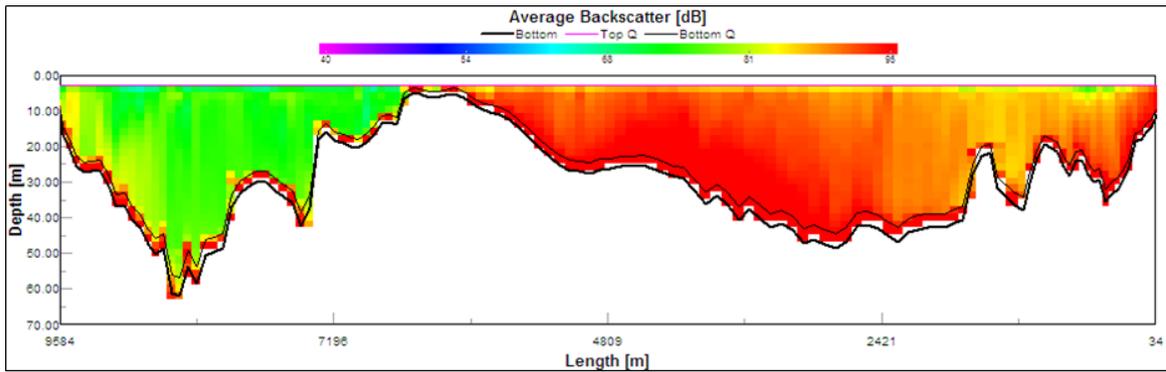


Figura 1: Perfil de intensidade acústica no Rio Amazonas (encontro das águas). Fonte: CPRM, 06/2009.

Tabela 1: Rios potenciais de hidroeletricidade selecionados por vazão. Fonte: CPRM.

Rio	Local	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
Amazonas	Itacoatira	160.000,00
Amazonas	Careiro	131.000,00
Solimões	Manacapuru	103.000,00
Solimões	S. P. de Olivença	46.000,00
Madeira	Humaitá	31.200,00
Japurá	Vila Bittencourt	18.600,00
Negro	Paricatuba	28.000,00

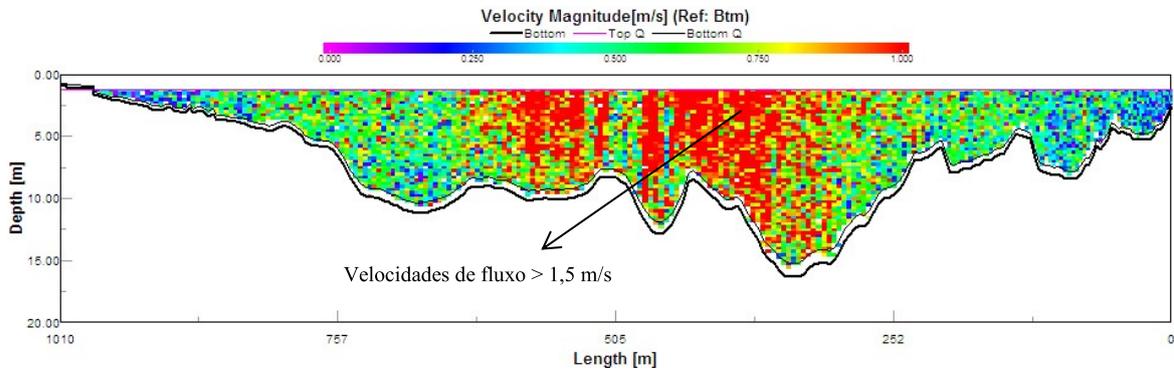


Figura 2: Rio Negro – São Gabriel da Cachoeira, estação de Curicuriari. Fonte: CPRM, 01/2007.

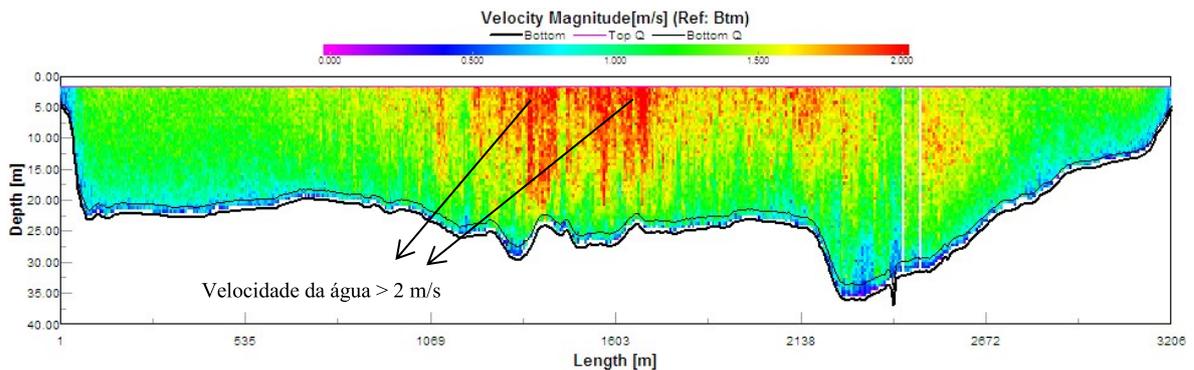


Figura 3: Rio Solimões, estação de Manacapuru. Fonte: CPRM, 01/2007.



Figura 4: Eixos de Integração e Desenvolvimento para IIRSA. Fonte: IGEO-UFRJ.

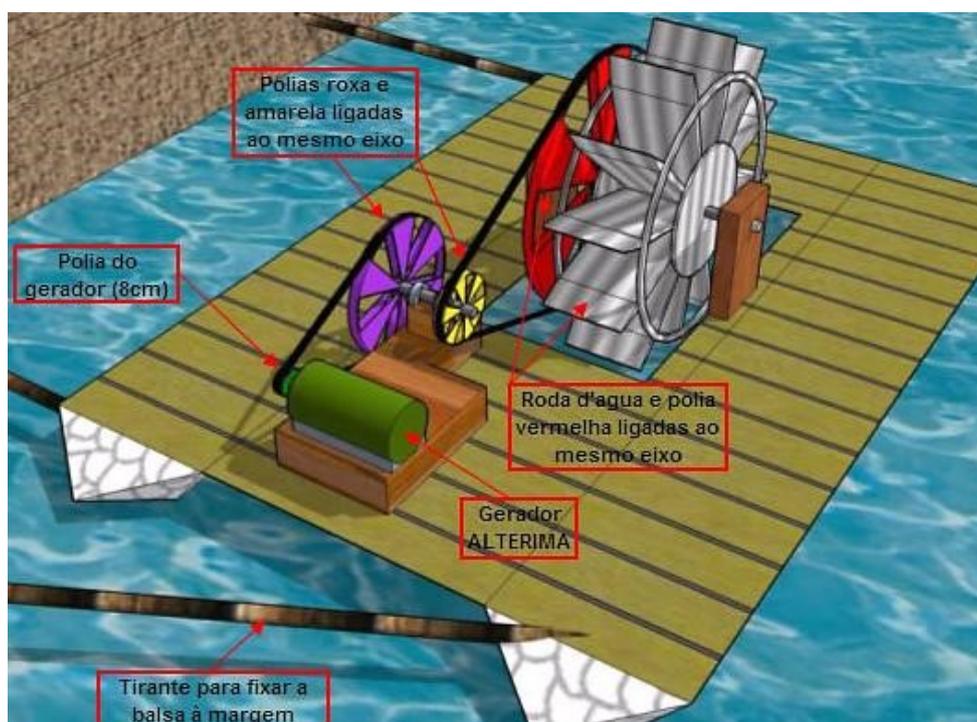
Tabela 2: Rios potenciais de hidroeletricidade, por localização, da Bacia Amazônica. Fonte: CPRM.

Localização	Rio/Especificação
Margem esquerda do Amazonas	Borda norte da bacia sedimentar do Amazonas (Trombetas-Mapuera)
Margem direita do Rio Negro	Embasamento cristalino (Província Rio Negro)
Borda Sul do Amazonas	Aripuanã – Roosevelt

Em terceiro momento, procurou-se conhecer o esquema de balsa e como ela funciona, de que forma pode ter maior desempenho. À medida que a água for passando pelo rotor da máquina haverá produção de força suficiente para girá-la. Com um sistema de polias e correias o gerador é acionado, produzindo-se energia. Partindo-se do princípio de se obter menos impactos negativos, uma balsa de grande porte não convém ao caso. Dentre os modelos de balsas médias há dois tipos em especial que foram analisados com base no rotor: modelo roda d'água, com turbina flutuante (**Figura 5**) e modelo turbina totalmente imersa na água (**Figura 6**) que ficam acoplados à balsa.

A roda d'água tem como características uma oscilação de energia muito grande, tem baixa rotação de 600/1200 RPM. A energia gerada varia até 190 V e com estabilizador chega a manter em 110 V. Em 220 V, o gerador pode oscilar até 300 V e com o estabilizador mantém em 220 V, o que resulta em 300W a 400W. Testada pela Alterima Geradores.

O modelo de turbina totalmente imerso na água requer uma velocidade acima de 1,5 m/s (5,4 km/h) e uma profundidade mínima de 1m. É possível obter 400 kWh por mês. Em melhores condições, pode-se atingir uma produção de energia da ordem de 3000 kWh por mês, equivalente ao consumo médio de 4 apartamentos de 3 quartos, em um bairro de classe média. Testada pelas empresas Iguazu Energia em parceria com a Hidrocinética Engenharia Ltda, pioneiras na construção de turbinas hidrocinéticas.



**Figura 5: Modelo de balsa com roda d'água. Fonte: Alterima Geradores.**



Figura 6: Modelo de balsa com turbina axial totalmente imersa na água. Fonte: Iguazu Energia.

Como o estudo é entorno de rios com grande vazão, turbinas de modelo axial inclinadas não atendem a necessidade, visto que são projetadas para pequenos rios. Existem ainda diversos modelos de turbinas hidrocinéticas, a **Figura 8** aborda o estudo de caso realizado para o coeficiente de potência de cada tipo disponível no mercado com relação a velocidade na ponta da pá.

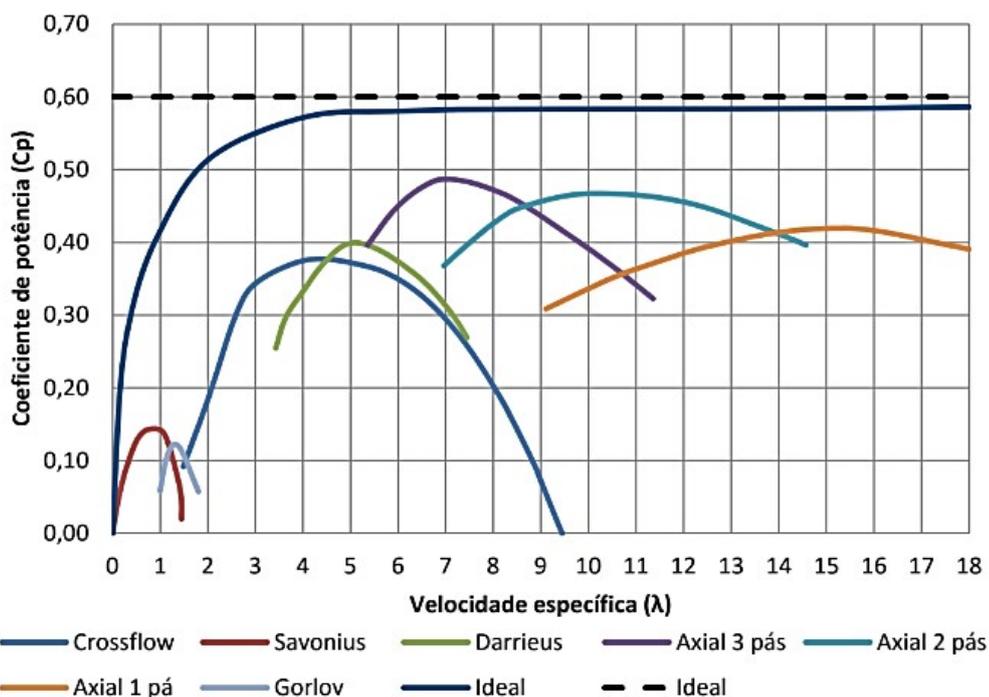
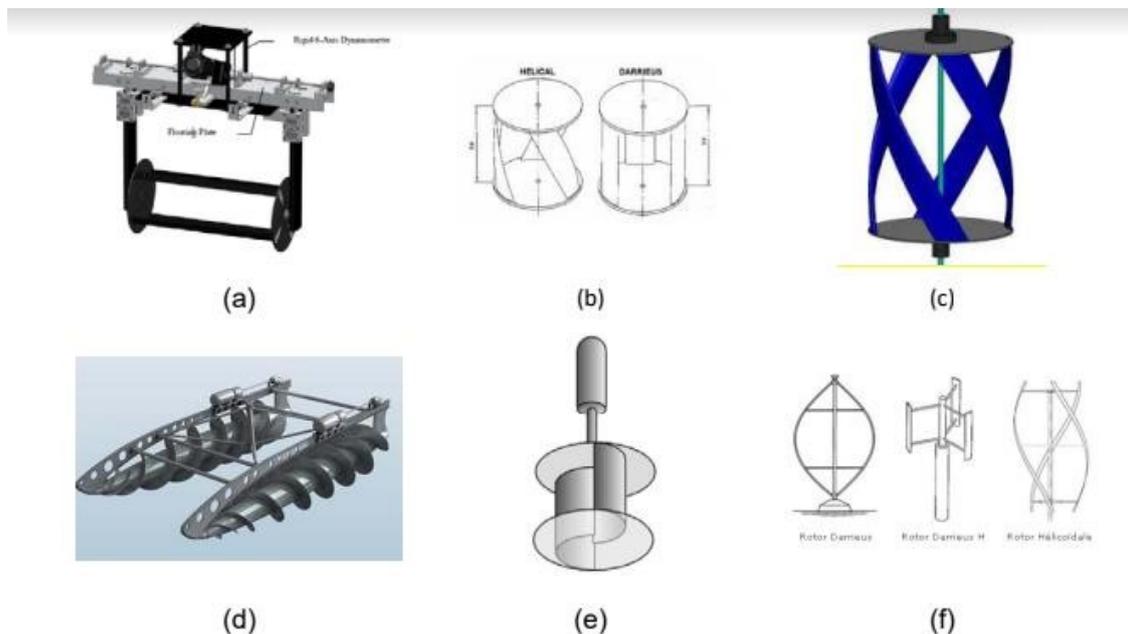


Figura 8: Curvas de desempenho do coeficiente de potência de turbinas hidrocinética. Fonte: HAU, 2006.



**Figura 9:** (a)Crossflow, (b)Eixo Vertical, (c)Gorlv, (d)Auger, (e)Savonius e (f)Darrieus. Fonte: BOTAN.

Em seguida, foi analisada a questão da transmissão da energia. Na **Figura 10**, é possível compreender que tal recurso não tem dificuldades para uma distância mínima entre a balsa e a margem do rio, em aproximados 20 m. No entanto, para este caso, a balsa que estará disposta a uma distância considerável, deve possuir uma passagem tranquila e acessível de transmissão de energia elétrica, já que o deslocamento vem a ultrapassar os 500 m, podendo ser realizada em um sistema balsa-leito-margem (sistema submerso) ou em um sistema apenas de balsa-margem por flutuação no rio através de isolamento dentro de boias, ductos rígidos, ou ainda um guincho especializado para um monitoramento remoto de navegação.



**Figura 10:** Esquema de localização da balsa (flutuante) com a margem do rio. Fonte: ECOIST.

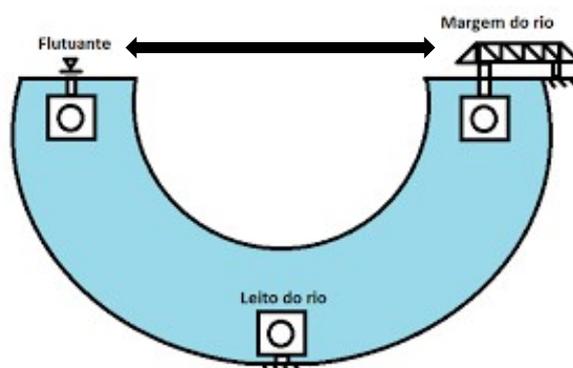


Figura 11: Esquema de localização da balsa (flutuante) com a margem do rio. Fonte: FGA, UNB.

Quadro 1: Fluxograma em quadro para a realização do projeto.

Ordem	Procedimento
1	Análise de descarga líquida dos rios de interesse
2	Seleção e localização geográfica dos rios com vazão considerável
3	Análise de fluxo da corrente da água dos rios selecionados
4	Abordagem de modelos de balsas a serem utilizados
5	Estudo da eficiência e potência de turbinas hidrocínética
6	Avaliação de distância entre balsa e a margem do rio
7	Levantamento de possibilidades de transmissão de energia entre a balsa e o local de destino a ser abastecido
8	Criar modelo original de balsa para hidroeletricidade

### 3. Projeto

Uma proposta para a aplicação da Hidroeletricidade em rios de grande vazão é fazer uso do trecho do Rio Negro na região de São Gabriel da Cachoeira, estação de Curicuriari, em pouco mais de 300 m da margem onde a correnteza apresenta maior velocidade, acima de 1,5 m/s. Sabendo-se do potencial de hidroeletricidade da região, a proposta é não só instalar uma turbina, como também mais outras três turbinas nas extremidades da balsa onde se encontram os pilares de indicação na **Figura 12**, com a capacidade de as emergir quando não estiver em trabalho de conversão de energia (**Figura 13**). E em volta destas turbinas possuir uma rede de ferro evitando acidentes com animais ou objetos nas pás assim como no modelo da Iguaçu Energia na **Figura 6**.

As turbinas a serem utilizadas são do tipo não flutuantes, axial vertical de 3 pás, perpendicular à superfície (**Figura 14**), pois como mostrado na **Figura 8**, é a que possui melhor desempenho em comparação aos coeficientes de potência das outras turbinas. O meio para o transporte de energia gerada é por cabos envoltos de proteção e isolamento de forma que sejam direcionados até a margem dos rios em ductos flutuantes e resistentes.

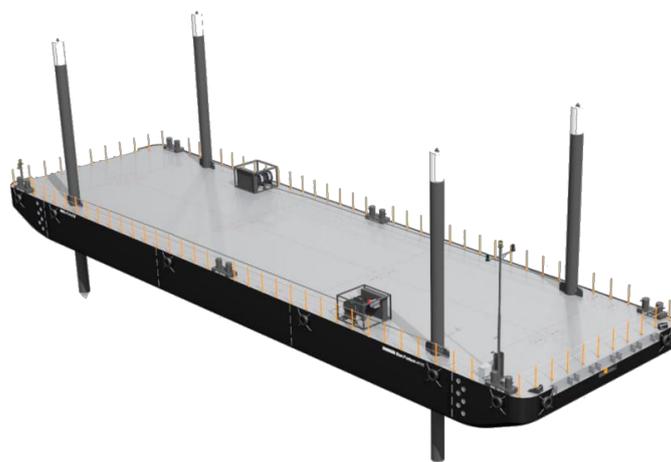


Figura 12: Localização das quatro turbinas na balsa geradora de energia. Fonte: DAMEN.

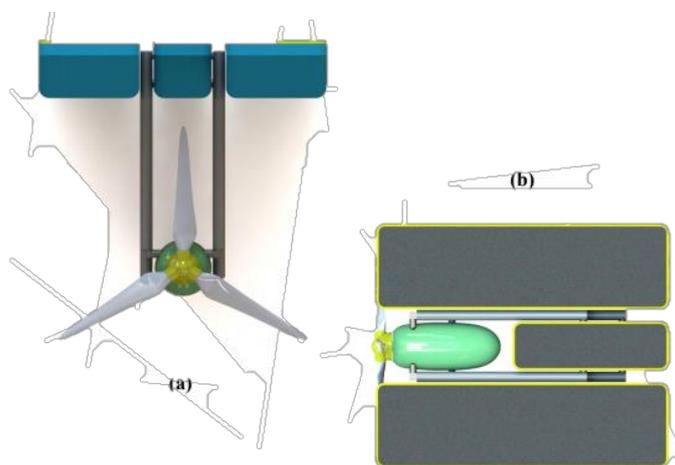


Figura 13: (a) Turbina hidrocínética submersa, (b) Turbina recolhida. Fonte: OLIVEREIRA & SILVA.

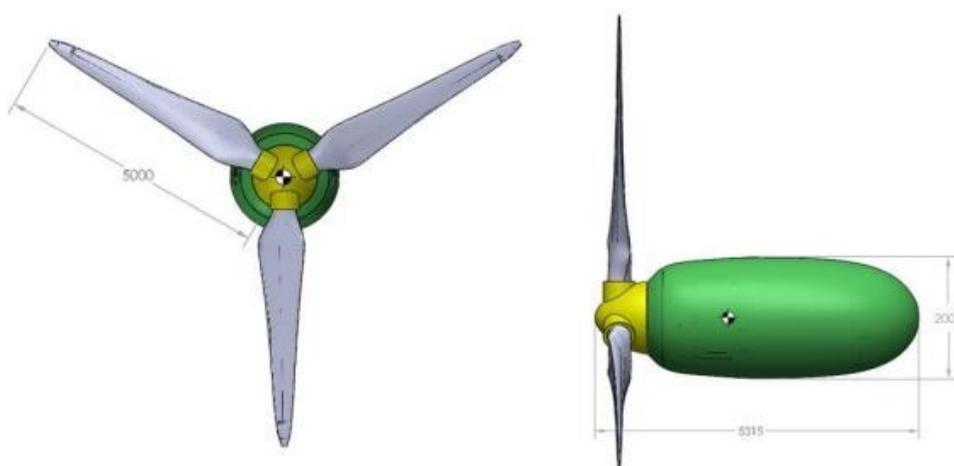


Figura 14: Turbina axial vertical de 3 pás. Fonte: OLIVEREIRA & SILVA.

O protótipo final para a Balsa Geradora de Energia através das correntes do rio é o modelo que consta na **Figura 15**, com uma área aproximada de  $24(3 \times 8) \text{ m}^2$ . Capaz de gerar 1200kWh por mês, com turbinas que necessitam de no mínimo 1,5 m/s da correnteza

da água. A balsa garante estabilidade em meio ao movimento da água e ainda pode se deslocar utilizando a própria energia desenvolvida na viabilidade de transporte de energia e navegação dos rios. Quanto a profundidade, necessita de no mínimo 2 m devido a espessura da balsa e do tamanho das turbinas. É um produto eficiente para regiões onde o rio já tem considerável profundidade e a correnteza é propícia à hidroeletricidade. Podendo abastecer umas ou duas famílias de 4 pessoas, ou uma comunidade ribeirinha inteira.



**Figura 15: Modelo de Balsa geradora de energia elétrica. Fonte: Klirssia Sahdo, 2018.**

#### **4. Conclusão**

A distribuição de energia ainda se apresenta muito desigual quando se relaciona os centros urbanos com povoados mais distantes. Com a realização deste projeto, pode-se tanto fornecer ou melhorar o sistema de distribuição elétrico como ajudar na situação econômica da sociedade, salientando-se que é um desenvolvimento de energia limpa e sem grandes impactos à fauna e à flora. A hidroeletricidade por meio de uma balsa é tanto uma inovação como uma melhoria dos projetos já pensados e avaliados, envolvendo turbinas hidrocinéticas que são ainda inovação no campo da engenharia naval e elétrica.

O custo do equipamento a ser utilizado é diretamente ligado à tecnologia envolvida e à quantidade de material necessário à sua fabricação. Tendo em vista que depois que efetuado o projeto só será necessária manutenção ou supervisão periódica, não havendo custos adicionais ou desperdício de algum material, a Balsa geradora de eletricidade preserva a eficiência e se ingressa nos modelos de obtenção de energia renovável.

A distância do Rio Negro pela região de São Gabriel da Cachoeira comparada ao Rio Solimões na estação de Manacapuru, facilita a possibilidade de introduzir a balsa no meio do rio, já que é necessário e de extrema importância a ligação do sistema da conversão de energia com o gerador na margem do rio. Além de não haver interligação do leito do rio com a balsa, a implementação de um sistema de fios para a comunicação de superfícies não se destaca como um problema.

Dessa forma, há muitas vantagens no uso desse projeto, sendo possível fazer uso da Balsa Geradora de energia em regiões de grande vazão como os rios da Bacia Amazônica, já que ideias como essa ainda não foram eficientemente exploradas na região do Norte do Brasil ao ponto de serem conhecidas e mais voltadas às necessidades da sociedade.

## Referências

- ARAÚJO, M. A. Prospecção de Parques Hidrocinéticos: Comparação entre projetos preliminares nos rios Iguaçu e Paraná. Trabalho de graduação do curso de Engenharia de Energia – Universidade Federal da Integração Latino-Americana. Foz do Iguaçu. 2016.
- BOTAN, A. C. B.; FILHO, G. L. T.; CAMACHO, R. G. R. C.; DUARTE, P. M.; SANTOS, I. F. S. Energia Hidrocinética: Aproveitamento em correntes de baixas velocidades. In: X Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 2016, Gramado, Rio Grande do Sul.
- CPRM, SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Apresentação Técnica sobre as possibilidades da Hidrologia na Amazônia: Cooperação Internacional sobre Água: Acesso, preservação e melhoria da qualidade de vida e bem-estar IN: 3º Congresso Amazônico de Iniciação Científica “Rios da Amazônia: caminhos de saber e de cultura”, 2018.
- CRUZ, R. W. A. Geração de eletricidade com turbina hidrocinética na Amazônia: o caso da comunidade de São Sebastião. Trabalho do curso de Engenharia Mecânica – Instituto de Tecnologia da Amazônia, UTAM. Manaus, AM.
- ENSUS “Encontro de Sustentabilidade em Projeto” (5.: 2017 : Florianópolis, Anais [do] ENSUS 2017 - V “Encontro de Sustentabilidade em Projeto”/ Universidade Federal de Santa Catarina, realizado em 03,04 e 05 de maio de 2016 - VIRTUHAB - Grupo de Pesquisa ; [organizado por Lisiane Ilha Librelotto, Paulo César Machado Ferroli]. -- Florianópolis: UFSC/VIRTUHAB.
- FARIA, A. R. O. Projeto de uma turbina hidrocinética de fluxo axial e eixo horizontal para geração de baixas potências. Trabalho de graduação do curso de Engenharia Mecânica – Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2017.
- FIGUEIRA, A. Hidrelétrica de Balbina: Herança maldita dos anos-de-chumbo. Disponível em: <<https://anovademocracia.com.br/no-48/1937-hidreletrica-de-balbina-heranca-maldita-dos-anos-de-chumbo#inline-auto338>>. Acesso em 26/12/2018 às 16h.
- FILHO, Prof. Dr. G. L. T.; DUARTE, E. R. B. C. Uso do Micro-crédito para financiamento de micros empreendimentos energéticos, Itajaúba, 1-11, 2006.
- GUERRA, J. B. S. O. A.; Youssef, A. Y.; Rebollar, P. B. M. Energias Renováveis: Energia Hídrica. Livro Digital. JELARE. 2011.
- IEA “International Energy Agency”. Energia Solar é a fonte energética que mais cresce no mundo. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/energia-solar-e-a-fonte-energetica-que-mais-cresce-no-mundo.html>>. Acesso em 26/12/2018.
- LO ZUPONE, G.; MASSARO, S.; BARBARELLI, S.; SULPIZIO, R. A Multi-parametric Criteria for Tidal Energy Converters Siting in Marine and Fluvial Environments. In: 9<sup>th</sup> International Conference on Applied Energy. 2017. Cardiff, UK. ELSEVIER.
- OLIVEIRA, A. G. F.; SILVA, P. F. A. Proposta de Sistema de fundeio e flutuação para Turbina Hidrocinética. Projeto de Graduação do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Brasília, 2015.

ROSA, L. P. Diretor da COPPE/UFRJ. Estudo da Usina de Balbina. Coordenação dos programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.