

ARTIGO

Eletrificação rural e desenvolvimento local: implantação de sistema híbrido solar hidrocínético numa comunidade na Resex Tapajós-Arapiuns

Rural electrification and local development: Implementing a hydrokinetic solar hybrid system in a community in Resex Tapajós-Arapiuns

Rudi Henri van Els^[1]

Lazaro João Santana da Silva^[2]

Rafael Castilho Faria Mendes^[3]

Manoel Roberval Pimentel Santos^[4]

Karina Ninni Ramos^[5]

[1] (Engenharia de Energia, Laboratório de Energia e Ambiente, Universidade de Brasília)

[2] Laboratório de Energias Renováveis, Universidade Federal do Oeste do Pará)

[3] Laboratório de Energia e Ambiente Universidade de Brasília

[4] Laboratório de Energias Renováveis, Universidade Federal do Oeste do Pará

[5] Center for Global Change and Earth Observations, Michigan State University

RESUMO: O projeto de extensão “Eletrificação rural e desenvolvimento local” da Universidade de Brasília tem entre os seus objetivos a divulgação e disponibilização de tecnologias de geração descentralizada de energia a partir de fontes renováveis para comunidades rurais e este artigo apresenta os resultados da instalação de um sistema híbrido solar hidrocínético numa comunidade da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns. A metodologia de implantação do sistema envolve o levantamento das demandas energéticas na comunidade, o levantamento do potencial de energia renovável e as ações já empreendidas pela comunidade para aproveitar essa energia, além do processo da escolha da tecnologia e o uso prioritário da eletricidade na comunidade. Como resultado foi instalado na comunidade de Cachoeirinha do Mentai um sistema solar fotovoltaico de 2000W e uma turbina hidrocínética flutuante de 300W, garantindo assim eletricidade para acesso à internet, iluminação e atendimento das cargas comunitárias na escola, e beneficiando toda a comunidade. O desafio agora é empoderar a comunidade para que eles consigam gerenciar e manter o sistema híbrido e usar a energia como vetor para o seu desenvolvimento.

PALAVRAS-CHAVE: energia renovável, Amazônia, turbina hidrocínética

ABSTRACT: The outreach project “Rural electrification and local development” of University of Brasilia has among its objectives the dissemination and promotion of technologies for decentralized energy generation from renewable sources for rural communities and this article presents the results of the installation of a hydrokinetic solar hybrid system in a community of the Tapajós-Arapiuns Extractive Reserve. The methodology to implementing the system involves the survey of the energy demands in the community, the estimation of the renewable energy potential and the actions already undertaken by the community to take advantage of this energy, as well as the selection process of the technology and the definition of the priority use of the electricity in the community. As a result, a 2000W photovoltaic solar system and a 300W floating hydrokinetic turbine were installed in the community of Cachoeirinha do Mentai, ensuring electricity for internet access, lighting and community loads in the school, and thus benefiting the entire community. The challenge now is to empower the community so that they can operate and maintain the hybrid energy system and use energy as a vector for their development.

KEYWORDS: renewable energy, Amazon, hydrokinetic turbine

INTRODUÇÃO

A Universidade de Brasília (UnB) tem uma longa experiência no desenvolvimento e na popularização de tecnologias apropriadas para geração alternativa de energia elétrica para comunidades rurais isoladas. As primeiras experiências começaram ainda na década de 1990 com o desenvolvimento e implantação de uma turbina hidrocínética por pesquisadores do departamento de Engenharia Mecânica, que foi instalada com sucesso para atender uma comunidade isolada no Oeste da Bahia, no município de Correntina (Els et al. 2003). A Figura 1 mostra essa primeira instalação que funcionou de 1996 a 2004 atendendo, na comunidade de Veredão, uma escola e um posto de saúde. Depois da desativação da escola e do posto de saúde, o sítio Veredão ainda foi utilizado como campo experimental de turbinas hidrocínéticas e de outras tecnologias alternativas de geração de energia elétrica com fontes renováveis (Rodrigues et al. 2009)

A tecnologia desenvolvida foi implementada em diversas comunidades principalmente na região do Oeste da Bahia e consolidou uma linha de pesquisa e desenvolvimento nessa área focada no melhoramento e “upscaling” da tecnologia (Els and Brasil Junior 2015) (Els et al. 2018).

Em 2006 a primeira instalação de uma turbina hidrocínética numa comunidade na Amazônia foi realizada no Estado do Amapá, no Assentamento Agroextrativista do Maracá - município de Mazagão. Esse projeto foi executado no contexto do Programa Luz para Todos por meio de um edital MME/CTenerg/CNPq para implementar sistemas demonstrativos de geração descentralizada de energia na Amazônia. A foto na Figura 2 mostra a turbina instalada.

A instalação dessa tecnologia na comunidade do Maracá, no Estado do Amapá, foi associada a um conjunto de ações de pesquisa e extensão para dar apoio ao desenvolvimento local da comunidade.

Figura–01

Primeira turbina hidrocínética em 1966 (autores)



Figura–02

Turbina instalada no Amapá em 2006 (autores)



A comunidade tem na exploração da Castanha-da-Amazônia (ou castanha-do-pará) sua principal atividade econômica e, por isso, fez-se o mapeamento dos principais atores e gargalos na cadeia produtiva da castanha. Além disso, foram implementadas ações e introdução de tecnologias para agregar valor à produção local da Castanha-da-Amazônia (Silva et al. 2010).

A turbina hidrocínética do Maracá funcionou até 2008, quando uma enchente de grandes proporções danificou a sua estrutura. A experiência com essas instalações em comunidades rurais mostrou que a falta de acesso à energia elétrica nas comunidades remotas e ribeirinhas na Amazônia é uma questão estrutural. A instalação de sistemas descentralizados de geração de energia elétrica nas comunidades só se sustenta se for inserida num contexto de ações para promover o desenvolvimento local (Els 2008). Ou seja, é necessária uma mudança de paradigma no tratamento dessas iniciativas. Elas devem ser implementadas como projetos de desenvolvimento local promovidos por meio de parcerias com novos atores no setor elétrico e no governo, incluindo a implementação de políticas no nível municipal (Els, Vianna, and Brasil Junior 2012).

Estima-se que existam quase 1 milhão de domicílios na Amazônia sem acesso a serviços de fornecimento de energia elétrica das empresas concessionárias de distribuição de eletricidade (Iema, 2021), e que boa parte desses domicílios vai precisar de soluções tecnológicas com geração de energia elétrica na própria comunidade para atender as suas demandas.

Entre as tecnologias disponíveis, a solução com sistemas fotovoltaicos off-grid como alternativa aos sistemas de geradores diesel/gasolina é a mais difundida e comercializada. Porém, grande parte desses sistemas é mal dimensionada e em pouco tempo eles deixam de funcionar, ou passam a funcionar de forma ineficiente, gerando nos usuários a sensação de que a tecnologia não é boa ou a relação custo-benefício não compensa. Infere-se que isso acontece em parte devido à falta de qualificação do pessoal que comercializa ou instala tais produtos.

Percebe-se que há uma enorme carência de soluções tecnológicas apropriadas para atender às demandas energéticas dessas comunidades, que na sua grande maioria está associada à falta de conhecimentos técnicos mais aprofundados sobre o processo de geração e distribuição de energia elétrica e o aproveitamento das fontes de energia disponíveis na zona rural.

Neste contexto, surge em 2020 na Universidade de Brasília a proposta do projeto de extensão “Eletrificação rural e desenvolvimento local”, com o objetivo divulgar e disponibilizar tecnologias de geração descentralizada de energia a partir de fontes renováveis para comunidades rurais, além de desenvolver soluções tecnológicas apropriadas para uso da energia em apoio ao desenvolvimento local dessas comunidades.

Para atingir os objetivos a metodologia seria trabalhar com estudantes extensionistas o acompanhamento de diversas instalações de geração alternativa de energia, por meio de estudos dirigidos,

capacitação dos estudantes e das comunidades envolvidas, além de prestação de serviços tecnológicos às comunidades.

Em 2022 o projeto é formalizado pela Faculdade de Engenharia da UnB campus Gama e o Laboratório de Energia e Ambiente da Faculdade de Tecnologia da UnB. O projeto também inclui uma parceria com o laboratório de Energias Renováveis da Universidade Federal do Oeste do Pará na cidade do Santarém-PA. A parceria da UnB com a UFOPA nessa área surgiu há tempos devido a uma pesquisa envolvendo a tecnologia de uma turbina hidráulica desenvolvida na cidade de Santarém (Sloot et al. 2015) (do Nascimento et al. 2020). Essa tecnologia foi utilizada em diversos projetos de eletrificação rural na região (Els et al. 2010).

O projeto de extensão iniciou ainda em 2021 uma parceria com a Michigan State University para implementar o projeto GCR: Convergence for Innovative Energy Solutions: Empowering Off-Grid Communities with Sustainable Energy Technologies. Este projeto tem como proposta instalar sistemas fotovoltaicos e sistemas hidrocínética em comunidades remotas da Amazônia. O projeto Convergence conta com uma equipe de pesquisadores das áreas de engenharia, energia renovável e sustentabilidade, ciências sociais, sociologia, geografia, comunicação e antropologia. A partir da parceria, escolheu-se instalar os sistemas fotovoltaicos e hidrocínicos em comunidades na Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, no município de Santarém, estado do Pará. O presente artigo apresentará os primeiros resultados do projeto de extensão.

METODOLOGIA DE IMPLEMENTAÇÃO

A energia elétrica é atualmente o vetor de energia mais utilizado no dia a dia das pessoas, sendo responsável pela iluminação, acionamento de motores para uma infinidade de usos e para garantir o funcionamento dos diversos sistemas de comunicação. Não se pode imaginar a vida na zona urbana e na zona rural sem o acesso aos serviços de energia elétrica.

Quando a comunidade rural não é atendida pelo serviço de fornecimento de energia elétrica das empresas concessionárias de distribuição de eletricidade, é necessário o uso de equipamentos próprios para gerar a eletricidade para serviços simples como iluminação, acionamento de máquinas e motores, bombeamento de água e comunicação.

Mesmo quando a eletricidade é gerada localmente na comunidade, a sua inserção nas comunidades tradicionais rurais ocorre como nas cidades. A lógica é de implementação de um sistema de geração centralizada que fornece um serviço de eletricidade que, de certa forma, esconde como a energia é gerada e as suas limitações. O usuário (cliente) recebe a energia numa tomada onde ele insere os seus eletrodomésticos. Isso, por si só, já define como a energia elétrica será usada na comunidade, pois depende do tipo de eletrodomésticos que conseguem adquirir. Ou seja, quem

define o uso é o tipo de eletrodoméstico ou equipamento ao qual os usuários da energia têm acesso, e não a real necessidade de executar uma ação ou atividade. Por exemplo, uma das grandes demandas nas comunidades ribeirinhas é uma força propulsora para ajudar na locomoção nas suas embarcações (canoas e bajaranas). Entretanto, não há ainda um equipamento eletrodoméstico no mercado capaz de fornecer este tipo de ação por meio da eletricidade.

O quadro a seguir mostra as necessidades típicas numa comunidade rural amazônica e qual a solução normalmente usada.

Quadro – 01: Necessidades e soluções

| Necessidades | Solução atual |
|---|---|
| Cocção de alimentos | 1. Lenha 2. GLP |
| Locomoção (na canoa) | Motor rabeta com gasolina |
| Iluminação nas casas | 1. Rede de distribuição em corrente alternada (CA) com motogerador diesel 2. Lanterna com pilha ou bateria (recarregável por meio de carregador em CA) 3. Lamparina com querosene ou óleo diesel |
| Iluminação pública | Rede de distribuição em CA com motogerador diesel |
| Carregar celular | 1. Sistema fotovoltaico convencional em CA com carregador de celular CA 2. Rede distribuição em CA com motogerador diesel |
| Comunicação internet | Sistema fotovoltaico convencional em CA |
| Distribuição de água | 1. Sistema de bombeamento fotovoltaico com painel solar e inversor dedicados 2. Motobomba elétrica alimentada pela rede em CA 3. Bomba mecânica alimentada por motor de combustão interna dedicado (diesel ou gasolina) |
| Conservação de alimentos pelo frio | 1. Geladeira por ciclo de absorção alimentada com GLP 2. Geladeira convencional alimentada pela rede de distribuição em CA |
| Triturar ou moer (bater) alimentos | 1. Batedeira (Moedor) acionada por motor elétrico alimentado pela rede de distribuição em CA 2. Batedeira (Moedor) acionada por motor combustão interna dedicado (diesel ou gasolina) |

Analisando as soluções disponíveis no mercado (eletrodomésticos), observa-se que a grande maioria trabalha com a rede elétrica em corrente alternada.

Os kits de fornecimento de energia por meio de painéis fotovoltaicos são vendidos no mercado repetindo essa lógica. O painel coletor de energia solar fotovoltaico ou *photovoltaic* (PV) recebe a energia solar e a transforma em energia elétrica cuja corrente de condução está na forma contínua (CC).

Essa energia, em geral, não pode ser utilizada no momento de sua conversão, então é necessário armazená-la em outra forma que pode ser na forma química, potencial ou térmica, ou seja, em baterias ou reservatórios elevados de água ou recipientes de armazenamento térmico. Assim, nos casos em que a necessidade do uso da energia é na forma elétrica para pôr em funcionamento os eletrodomésticos que são disponibilizados pelo mercado, é necessário introduzir equipamentos que transformam a energia elétrica em corrente contínua (CC), advinda das baterias ou diretamente dos painéis fotovoltaicos, para energia elétrica de corrente alternada (CA). Os drives para acionamento de motores elétricos e os inversores são os equipamentos que executam essa tarefa.

Entretanto, há diversos conversores (eletrodomésticos) que precisam de uma alimentação em corrente contínua (CC) para seu funcionamento. Na verdade, quase todos os equipamentos eletrônicos de iluminação, comunicação e entretenimento (rádio, televisão, computador) trabalham internamente com corrente contínua (CC) e precisam de um conversor CA/CC para sua ligação à rede de distribuição em CA. O público, em geral, não tem acesso a essa informação e nem sempre consegue fazer a escolha mais adequada do equipamento a ser adquirido.

Outra característica determinante que é escondida, quando se segue a lógica de implementação de um sistema de geração centralizada de energia, é o fato de o sistema ter capacidade finita de fornecimento de energia. As pessoas veem a tomada como uma saída infinita de energia e vão colocando novos equipamentos sem se dar conta de que a sobrecarga do sistema compromete o seu funcionamento e vida útil.

Neste sentido, é importante começar qualquer projeto de eletrificação rural com uma negociação com comunidade e todos os atores para definir, em primeiro lugar, os usos da energia (tabela de necessidade) e, dentre esses, as prioridades para o atendimento, escolhendo a solução tecnológica mais adequada.

Por exemplo, se a prioridade numa comunidade é ter iluminação na escola para possibilitar aulas noturnas, conservação da merenda escolar e uso do computador e da internet para preparar as aulas, então, pode-se dimensionar um sistema isolado somente para garantir isso. Por outro lado, se a necessidade é bombeamento de água para as casas da comunidade, então a solução apropriada é um sistema de bombeamento movido, por exemplo, a energia solar fotovoltaica, mas sem a necessidade de baterias, pois pode-se estocar a energia para a distribuição na forma de energia potencial numa caixa de água elevada.

Esse processo de negociação e priorização deve ser realizado com todos os principais atores na comunidade para garantir a participação e comprometimento de todos. Paralelamente, é fundamental envolver a comunidade na prospecção e avaliação das fontes de energia renováveis disponíveis na área que possam suprir a demanda. Normalmente, eles já têm uma noção do potencial de energia solar, hidroelétrica ou eólica presentes e a localização dessas fontes. Entretanto, falta-

-lhes a capacidade técnica para fazer a sua medição e avaliação do potencial. Outro fator que não pode ser subestimado é que as fontes renováveis (sol, água e vento) têm um comportamento sazonal e ninguém melhor que os moradores do local para indicar isso. Eles têm o histórico da enchente mais alta, ou a ventania mais forte ou o ano mais seco. Isso é fundamental para fazer o dimensionamento do potencial a ser instalado e suas limitações.

Por fim, há a escolha da tecnologia de geração para cada demanda levantada e que deve ter relação com a definição do eletrodoméstico ou do equipamento apropriado e, em função disso, a especificação da rede de distribuição CC ou AC. Mesmo quando há diversos subsistemas individuais para realizar cada tarefa, pode-se também estudar a possibilidade de interligar esses subsistemas para otimizar o seu uso. Isso pode dar origem a sistemas híbridos nos quais se pode, por exemplo, aproveitar a sazonalidade ou intermitência de cada fonte de energia.

A proposta dessa metodologia é de também empoderar a comunidade na manutenção e gestão do sistema. Afinal, a proposta é que eles se apropriem da tecnologia e façam a sua gestão comunitária. Isso não quer dizer que, uma vez instalado o sistema, toda a responsabilidade do seu funcionamento e manutenção ficará somente a cargo deles.

Há a necessidade de um quadro técnico qualificado para fazer diversas tarefas de manutenção e a comunidade por si só não tem acesso a esse quadro. Isso mostra a necessidade de criar com outras instituições públicas ou privadas um arranjo de instituições de apoio para que o sistema se sustente para além do período de instalação e, que haja acompanhamento técnico do projeto nos seus primeiros anos. A seção a seguir mostra a aplicação dessa metodologia numa comunidade ribeirinha na Amazônia.

RESULTADOS

A Reserva Extrativista (Resex) de Tapajós-Arapiuns é uma unidade de conservação de uso sustentável criada em 1998 para formalizar o uso da área por populações extrativistas tradicionais, cuja subsistência baseia-se no extrativismo e, complementarmente, na agricultura de subsistência e na criação de animais de pequeno porte, e tem como objetivos básicos proteger os meios de vida e a cultura dessas populações, assegurando o uso sustentável dos recursos naturais da unidade.

A área da Resex é de 647.611 hectares. Também é a mais populosa do país, com cerca de 4.853 famílias e 23 mil habitantes distribuídos em 72 comunidades (Saúde e Alegria, 2015). O acesso às comunidades da Resex dá-se pelos rios Tapajós e Arapiuns por meio de embarcações e não há acessos por rodovias.

VIAGEM EXPLORATÓRIA

Em março de 2022, as equipes do MSU e da UFOPA fizeram uma viagem exploratória de quatro dias pelos rios Arapiuns e Mentai visitando as comunidades mostradas no mapa na Figura 3. Essa viagem tinha por objetivo fazer contatos com as lideranças locais e levantar a situação das comunidades, especialmente no tocante ao acesso à energia. A viagem de Santarém até à vila de Mentai num barco regional dura em média 9 a 10 horas. O trajeto no Rio Mentai e o trecho entre Prainha do Maró e Porto Rico foram feitos com voadeiras, pois o nível da água não permitia a navegação com barco regional.

LEVANTAMENTO DE CAMPO

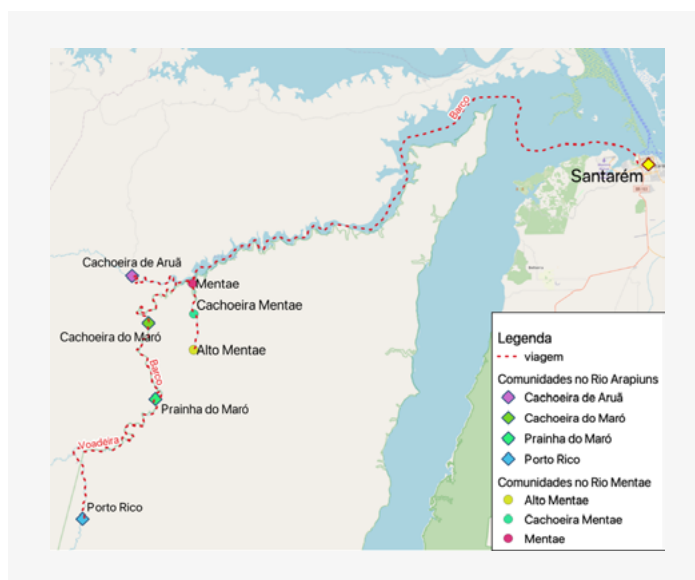
A partir dessa experiência foi planejada uma viagem de levantamento de campo com a equipe de pesquisadores da MSU, da UFOPA e da UnB para fazer medições de potencial hidroenergético em alguns sítios potenciais e apresentar o projeto a algumas comunidades. A viagem de levantamento de campo foi realizada entre os dias 25 e 29 de abril de 2022 com a participação de 5 pesquisadores e 4 estudantes do curso de engenharia da UFOPA, além de equipe de apoio e membros do ICMBio. A viagem também serviu para capacitar a equipe de pesquisadores e estudantes em técnicas de levantamento de velocidade e vazão da água dos rios e avaliação de sítios potenciais para energia solar e hidroenergética.

Nessa viagem foi feita a avaliação de vários locais onde a comunidade tinha indicado a possibilidade de instalação de micro usinas para aproveitar o potencial hidroenergético. O melhor sítio para a instalação de uma turbina hidrocinética foi na comunidade de Cachoeirinha do Mentai.

Entretanto, chamou a atenção a quantidade de sítios onde algumas comunidades já tinham experimentado a instalação de rodas de água e turbinas hidráulicas Indalma por conta própria

Figura-03

Mapa da viagem exploratória no Resex



ou com apoio de ONGs. A tabela a seguir mostra os sítios levantados e os estados dos equipamentos encontrados.

Quadro - 02. Sítios levantados

| Sítio | Tecnologia | Potencial | Situação |
|--------------------------|---|-----------------|--|
| Alto Mentai | Micro Usina Hidrelétrica com turbina Indalma (Figura 4, Figura 5). | 10.000W | Instalada em 2010, funcionou por 10 anos até que deu problemas na barragem de terra construída pela comunidade. |
| Alto Mentai | Roda de água no curso do rio sem construção de barragem (Figura 6) | 100W (estimada) | Não funcionou, pois não tem velocidade da água no lugar onde foi colocada a roda. |
| Cachoeira de Aruã | Micro Usina Hidrelétrica com turbina Indalma – sem barragem | 80.000W | Instalada em 2006 e funcionando até agora, gerenciada pela comunidade |
| Cachoeira do Maró | Construção de uma barragem de 2 m de altura num igarapé para colocar uma roda d'água ou turbina (Figura 7). | 500W (estimada) | A barragem não foi concluída. Falta um projeto técnico da barragem e da casa de máquina, além de escolha do equipamento conversor. |
| Prainha do Maró | Construção de uma barragem de 5 m de altura para colocação de uma roda d'água (Figura 8) | | Barragem de madeira e terra incompleta dimensionada de forma inadequada |
| Prainha do Maró | Construção de uma barragem de 3 m (Figura 9). | | Estrutura não concluída para apoiar roda d'água, em concreto e ponte de madeira sobre o rio |

Das 6 iniciativas levantadas, uma está funcionando há mais de 17 anos, gerenciada pela própria comunidade. Essa instalação foi implementada por uma equipe de engenheiros/pesquisadores da Universidade Federal do Itajubá com financiamento do governo federal por meio do edital de pesquisa CTenerg/MME/CNPq 2003, e contou com todo um arranjo de atores locais para garantir a mobilização e o empoderamento da comunidade, uma empresa local para fabricar os componentes da micro usina hidrelétrica e a interface com o setor elétrico, por meio de Ministério de Minas e Energia (MME).

A segunda iniciativa de sucesso foi a instalação de uma microcentral no Alto Mentai, pela própria comunidade, com apoio de um ONG local (Projeto Iara) financiada pelo governo alemão. A central funcionou durante 10 anos, mas foi desligada devido a problemas com a barragem. Infere-se que não houve um projeto adequado para a construção da barragem, tampouco o seu acompanhamento foi realizado por profissional qualificado. O sistema de captação de água, a casa de máquina e a rede de transmissão ainda se encontram em bom estado de preservação e foram construídos de forma apropriada.

Figura-04

Casa de máquina MCH Alto Mentai (autores)



Figura-05

Barragem de madeira e terra Alto Mentai (autores)



De alguma forma as comunidades não ficam sem energia elétrica e procuraram alternativas para garantir esse serviço tão necessário. As experiências com rodas de água nas comunidades do Alto Mentai, Cachoeira do Maró e Prainha do Maró mostram bem essas tentativas que podem ser denominadas de “desesperadas”. Sem um acompanhamento técnico adequado ou projetos técnicos apropriados, as comunidades fizeram um esforço empreendendo recursos financeiros, material e mão de obra para montar as estruturas sem as devidas garantias do seu funcionamento. As figuras 6 a 9 dão uma ideia do trabalho empreendido.

O levantamento de campo teve como resultado secundário o mapeamento das iniciativas malsucedidas, e isso pode ser usado como um ponto de partida para uma ação de capacitação para o redimensionamento dessas propostas de geração de energia.

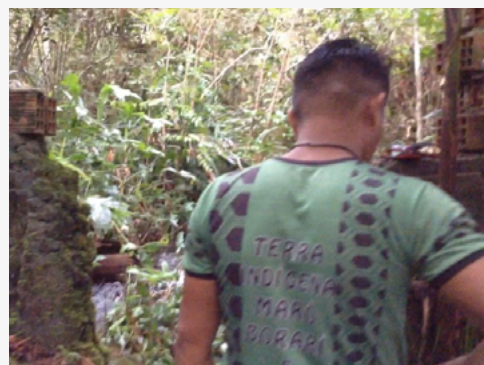
Figura-06

Figura 6: Roda d’água - Alto Mentai (acervo Convergence Igor Johansen)



Figura-07

Figura 7: Barragem não concluída - Cachoeira Maró (autores)



Figura–08

Figura 8: Barragem não concluída - Prainha do Maró (autores)



Figura–09

Figura 9: Sítio para instalar roda d'água -Prainha do Maro (autores)



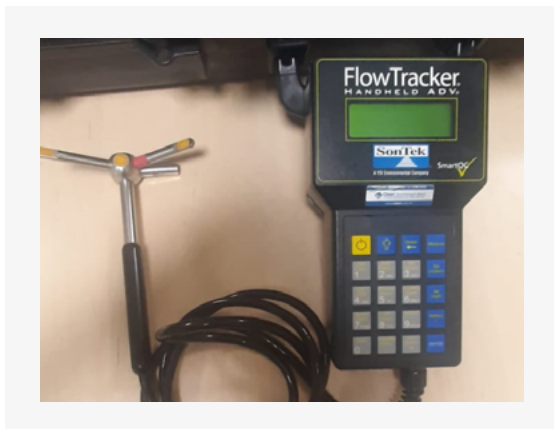
Por fim, foi escolhida a comunidade de Cachoeirinha do Mentai para sediar a instalação da turbina hidrocínética. O processo se iniciou com uma negociação com a comunidade para hospedar o projeto. Nessa negociação, a equipe deixou claro, para a comunidade, que se trata de um projeto demonstrativo, cuja principal meta é mostrar que a tecnologia hidrocínética pode ser uma opção para gerar energia elétrica. Também foi dito que a capacidade de geração de energia dessa proposta seria limitada e, portanto, suficiente para alimentar somente algumas cargas comunitárias como, por exemplo, o sistema de comunicação via internet ou alguns pontos de iluminação em poucos espaços comunitários. Também foi negociado que a comunidade receberia um sistema de geração de energia solar convencional por meio de painéis fotovoltaicos (PV) para o atendimento da escola e do espaço comunitário, incluindo o acesso à internet, visto que a comunidade já tinha um plano de conexão pago colaborativamente. O sistema da turbina hidrocínética seria interligado ao sistema PV.

Campanha de medição e ações de capacitação da comunidade

Com o objetivo de preparar a instalação da turbina hidrocínética no Rio Mentai foram realizadas algumas campanhas de medição da velocidade do rio em diversos pontos pela equipe da UFOPA. Nessas campanhas, os pesquisadores estiveram sempre acompanhados de membros da comunidade, pois também fazia parte da estratégia do grupo o envolvimento da comunidade em todas as etapas do projeto de instalação. As medições de velocidade do rio foram coletadas ao longo de um período de 01 ano, em 03 pontos indicados pelos comunitários como sendo os pontos mais adequados para a instalação da turbina. Esses levantamentos foram realizados pela equipe da UFOPA utilizando um equipamento de medição de vazão mostrado na foto da Figura 10. A participação

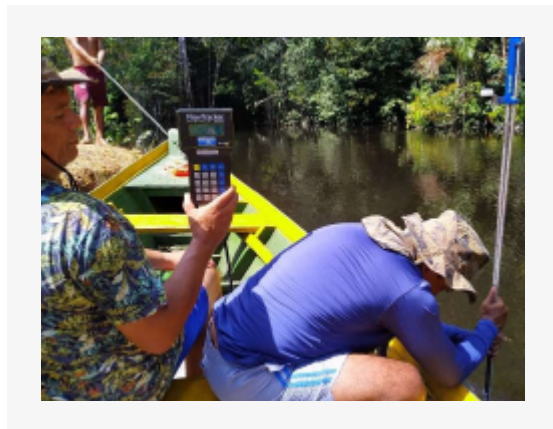
Figura–10

Instrumento utilizado para a medida de velocidade no Rio Mentai - Cachoeira Mentai. (LABER 2022).



Figura–11

Realização de medida de velocidade no rio Mentai – (LABER 2022).



da comunidade foi fundamental pois eles conhecem o comportamento do rio ao longo dos tempos. Um desses momentos é mostrado na Figura 11.

A equipe do Laboratório de Energias Renováveis (LABER) da UFOPA montou um curso de extensão para capacitar os membros da comunidade de Cachoeirinha do Mentai em noções básicas de eletricidade, energia solar fotovoltaica, energia hidrocínética e instalações elétricas. Essas capacitações foram realizadas no laboratório da UFOPA com aulas teóricas e práticas. A primeira capacitação foi no segundo semestre 2022, com ênfase em energia solar fotovoltaica. A segunda capacitação aconteceu em abril 2023 para treinar os membros da comunidade para o uso da tecnologia hidrocínética.

Figura–12

Curso de capacitação de membros das comunidades atendidas pelo projeto realizado no LABER (acervo *Convergence*).



Instalação sistema solar

O levantamento de campo na comunidade de Cachoeirinha do Mentai, fez um diagnóstico da demanda elétrica na escola e nas 10 casas da comunidade. O mapa na Figura 13 mostra a disposição das casas, a escola e a rede de distribuição elétrica alimentada por um grupo gerador à

Figura-13

Figura 13: Mapa comunidade Cachoeira Mentai

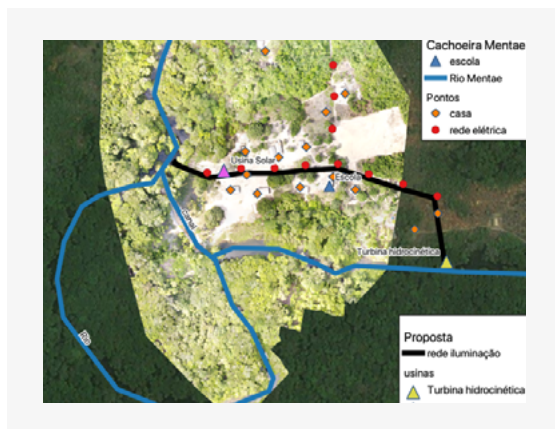


Figura-14

Figura 14: Sistema solar no Cachoeira Mentai (acervo Convergence Renato Chalu)



diesel que funciona durante algumas horas durante à noite. Vale ressaltar que o preço do litro do diesel comercializado a época, nessa região, chegou à casa dos R\$ 12,00, mais que o dobro do valor na cidade.

Há ainda na comunidade uma antena parabólica com modem para internet que foi contratada de forma coletiva. O sinal de internet é disponibilizado por meio de um roteador WiFi para todos na comunidade e seu alcance é de alguns metros do local (escola) onde o modem fica instalado. Aqui é importante comentar que a comunidade não tinha iluminação e a exposição de adultos e crianças a animais peçonhentos era real. Este sistema de comunicação era alimentado por uma placa solar PV de 100 W, contendo ainda um controlador de carga para baterias e um inversor, apoiados por duas baterias estacionárias. As baterias já não estavam mais funcionando de forma adequada e a instalação elétrica dos equipamentos eletrônicos (modem, roteador, carregador e inversor) era muito precária.

A comunidade paga um preço muito alto pelo serviço de internet (R\$ 650) que funcionava somente algumas horas à noite por causa da infraestrutura de energia precária. A equipe do projeto fez um novo projeto de um sistema PV de 1360 W para alimentar o sistema de comunicação da comunidade, iluminação de alguns pontos de concentração dos comunitários (barrações, dormitório e escola) à noite com LED de 30 W, mais um freezer na escola e a possibilidade de carga de telefones celulares. O sistema PV foi implantado em novembro 2022 por meio de mutirão na comunidade, com a colaboração dos estudantes do projeto sob a orientação dos professores da UFOPA. A Figura 14 mostra a usina PV instalada, a equipe do projeto e os membros da comunidade.

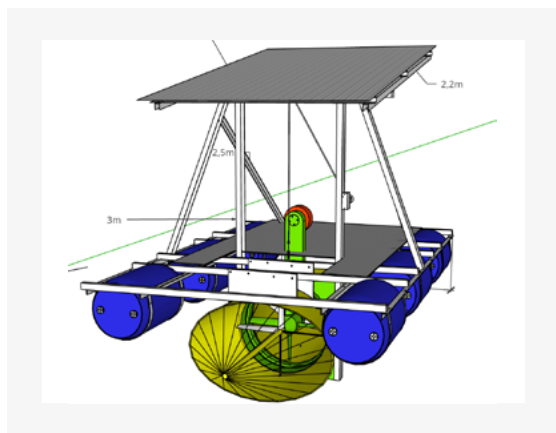
Instalação turbina hidrocínética

A partir dos dados de levantamento de campo e das campanhas de medição de velocidade foi dimensionada uma turbina hidrocínética para as características do rio Mentai. Diferente das instalações anteriores instaladas pela equipe da UnB, essa instalação tinha que levar em consideração a opção de deslocar a turbina para um lugar diferente conforme a estação do ano. No período da chuva a velocidade do rio muda de forma expressiva em comparação com o período da seca e, por isso, optou-se por desenvolver um modelo de turbina em cima de um flutuante. O desenho na Figura 15 mostra o projeto da turbina. A construção da turbina foi encomendada com uma empresa localizada na cidade de Santarém, fabricante de máquinas industriais com larga experiência com instalação de turbinas hidráulicas na Amazônia. E essa empresa também incorporou algumas inovações para facilitar o manuseio e a operação do equipamento. Em maio de 2023 a turbina foi instalada num mutirão com os moradores do Mentai, com a participação dos estudantes e dos pesquisadores da UnB, da UFOPA e da MSU num canal em frente à comunidade para os primeiros testes de campo, conforme mostrado na Figura 16. Nesse sítio a velocidade média do rio era de 0.9 m/s e a turbina conseguiu gerar uma potência de 300 Watts.

A instalação da turbina no canal não se mostrou factível por dois motivos: o canal é usado para navegação e, durante o período da seca do rio, o canal também seca. Como a estrutura que suporta a turbina é flutuante, foi proposto aos próprios moradores da comunidade que escolhessem o local nos arredores que fosse o mais apropriado para a instalação da turbina, observando os seguintes fatores: o local deve apresentar uma velocidade média do rio que se mantenha aproximadamente constante durante o ano inteiro; a colocação da turbina não deve atrapalhar a navegação no rio e

Figura–15

Figura 15: Projeto turbina hidrocínética (Inalma)



Figura–16

Figura 16: Turbina instalada no canal do Mentai (autores)



a profundidade deve ser suficiente para manter a instalação flutuando. Como a turbina está montada num flutuante, a mudança de lugar é bastante simples.

CONCLUSÃO

O projeto de extensão Eletrificação rural e desenvolvimento local, junto com o projeto Convergence da MSU instalou com sucesso uma proposta inovadora de geração de energia elétrica na comunidade de Cachoeirinha de Mentai na Reserva Extrativista do Tapajós-Arapiuns, no Estado do Pará. A proposta se baseou na expertise da UnB em tecnologia de geração de energia elétrica por meio de turbinas hidrocínéticas, no conhecimento dos pesquisadores do LABER – IEG - UFOPA em instalações de Sistemas Fotovoltaicos em comunidades isoladas, na proposta metodológica de implantação do projeto *GCR: Convergence for Innovative Energy Solutions: Empowering Off-Grid Communities with Sustainable Energy Technologies*, da MSU, e bem como na disponibilidade, conhecimento local e parceria o das comunidades rurais da região.

Quase um ano e meio depois do início das atividades, e após 6 missões de campo envolvendo ações de viagem exploratória, levantamento de campo, campanhas de medição e capacitação conseguiu-se, finalmente, instalar os equipamentos na comunidade.

A partir das demandas levantadas com os moradores locais foi instalado, inicialmente, um sistema PV off-grid de 1360 W para garantir o funcionamento da rede de internet comunitária, além de energia elétrica em CA na escola para iluminação de áreas comuns e alimentação de um freezer. A partir das características e condições do rio Mentai, na proximidade com a comunidade, foi dimensionada uma turbina hidrocínética e projetado um modelo de turbina sob uma plataforma flutuante. A construção da turbina por um fabricante local foi determinante para a produção de uma máquina robusta, adaptada às condições da Amazônia, além da garantia de assistência especializada local quando necessária.

Com a instalação da turbina e do Sistema PV se inicia agora um período de acompanhamento da operação dos equipamentos pela comunidade e pelos pesquisadores da UFOPA e UnB, além de prosseguir com as ações de capacitação para os comunitários em eletricidade e em eficiência energética, bem como o incentivo ao gerenciamento do uso da energia, de forma sustentável e responsável, pela comunidade. A proposta é que os dois sistemas (solar e hidrocínético) formem um sistema híbrido de geração de energia com estratégias do uso da energia que possam beneficiar toda a comunidade de forma coletiva. Isso ainda não está em prática, mas faz parte dos próximos passos.

O desafio agora é emponderar a comunidade para construir uma rede de apoio ao empreendimento, envolvendo atores governamentais e não governamentais locais, e usar a energia como vetor para

o seu desenvolvimento local. Da mesma forma que os moradores na zona urbana, que são atendidos por empresas do setor elétrico, por meio de concessões dadas pelo estado, há de se articular alguma política para que esse apoio também seja dado pelo setor elétrico localmente, por meio de alguma forma específica de atendimento.

Em muitas comunidades na Amazônia, a prefeitura local já fornece esse tipo de assistência. É a prefeitura que manda óleo diesel para que as comunidades tenham algumas horas de iluminação à noite. É a prefeitura que ajuda quando um equipamento de bombeamento de água precisa de uma manutenção mais técnica. A prefeitura presta este atendimento sem ter acesso aos recursos do setor elétrico, que também deveriam ser usados para este fim.

Uma possível solução seria criar mecanismos para que as prefeituras municipais tenham acesso aos recursos do setor elétrico para fazer essa assistência, pois a experiência tem mostrado que as empresas de distribuição de energia elétrica estaduais não têm se empenhado para a universalização dos serviços de energia para essas comunidades.

Pode-se criar uma empresa ou agência municipal de energia elétrica, mediante lei municipal, para poder fazer este papel de apoio. Isso não quer dizer que a gestão desses microssistemas, necessariamente, ficará a cargo da empresa municipal, mas que se tenha uma estrutura de governo capaz de acessar os recursos do setor elétrico, para dar assistência técnica especializada às comunidades. A gestão deve permanecer sob a responsabilidade das comunidades. Isso garante alguma forma de institucionalização desses microssistemas e a possibilidade de apoio estrutural.

Espera-se que essa metodologia e experiência possam ser adaptadas para atender às milhares de comunidades ribeirinhas na Amazônia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ELS, Rudi Henri van. **Sustentabilidade de Projetos de Implementação de Aproveitamentos Hidroenergéticos Em Comunidades Tradicionais Na Amazônia: Casos No Suriname e Amapá**. 2008. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – CDS, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

ELS, Rudi Henri van; BRASIL JUNIOR, Antonio Cesar Pinho. The Brazilian Experience with Hydrokinetic Turbines. **Energy Procedia**, 75:259–64, 2015

ELS, Rudi Henri van. et. al. Hydrokinetic Turbine for Isolated Villages, **PCH Notícias & SHP News** 19:24–25, 2003

ELS, Rudi Henri van. et.al. Eletrificação Rural Em Santarém : Contribuições das Microcentrais Hidrelétricas. **Revista Brasileira de Energia** 16, (No 2, 20 sem):35–46, 2010

ELS, Rudi Henri van. et.al. Hydrokinetic Energy Conversion - State of the Art and Perspectives in Brazil. Pp. 1–14 in **1st Latin American Conference on Sustainable Development of Water Energy and Environmental Systems Latin America SDEWES-LA**. Rio de Janeiro, 2018

ELS, Rudi Henri van; VIANNA, João Nildo de Souza; BRASIL JUNIOR, Antonio Cesar Pinho. 2012. “The Brazilian Experience of Rural Electrification in the Amazon with Decentralized Generation - The Need to Change the Paradigm from Electrification to Development.” **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 16(3):1450–61, 2012

IEMA, **exclusão elétrica na amazônia legal: quem ainda está sem acesso à energia elétrica?** 2020. <https://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2021/02/relatorio-amazonia-2021-bx.pdf>

LABER, **Relatório de atividade de campo**, Instituto de Engenharia e Geociências, Universidade Federal do Oeste do Pará, 2022

DO NASCIMENTO, Erick O. et.al. Performance Assessment of an Indalma Hydro-Turbine.” **SN Applied Sciences** 2(12):2156, 2020

SLOOT, Nigel. et.al. “Experimental and Numerical Study of the Performance Characteristics of a Pico Hydro Turbine Manufactured by Indalma Industries Inc.” P. 8 in **Anais 23rd ABCM International Congress of Mechanical Engineering**. Rio de Janeiro, 2015

RODRIGUES, Alexandre Caires. et.al. 2009. “SMALL SCALE ELECTRICITY GENERATION FROM SIMULTANEOUS BURNING OF STRAIGHT VEGETABLE OIL AND SYNGAS IN COMPRESSION IGNITION ENGINE.” in **22nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization Simulation and Environmental Impact of Energy Systems**. Foz do Iguaçu - PR Brazil, 2009

SAÚDE E ALEGRIA. Almanaque Da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, 2015

SILVA, Osias. et.al. Secador Solar Térmico Fotovoltaico de Castanha Da Amazônia Para Uso Em Comunidades Extrativistas. in **Anais do 8o Congresso Internacional sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural** - Agrener. Campinas, 2010