



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
17 a 19 de novembro de 2020

SUSTENTABILIDADE SOCIOAMBIENTAL E IMPACTOS NA GERAÇÃO HIDROELÉTRICA NOS PEQUENOS POTENCIAIS HÍDRICOS NO RIO MUATALA, NAMPULA – MOÇAMBIQUE

Alcido Alberto João, alcidodcarolina@gmail.com, UniRovuma-Nampula
António Gonçalves Fortes, antoniogoncalves.fortes@yahoo.com, UniRovuma-Nampula
Claudino Pita Richade, claudino.richadjr@gmail.com, UniRovuma-Nampula
Paulo Baptista Alface, paulobaptistaalface@gmail.com, UniRovuma-Nampula
Ernesto Taperero Fernando, ernestotapererofernando@gmail.com, UniRovuma-Nampula
Momade Jaime Chau, mchau@unirovuma.ac.mz, UniRovuma-Nampula

Resumo

A geração hidrelétrica por meio de turbinas hidráulicas constitui uma alternativa para diversos níveis de demanda nas zonas rurais e suburbanas não abrangidas pela energia da rede nacional, pela capacidade de reduzir a pobreza energética e minimizar parte dos problemas ambientais que o mundo enfrenta. A pesquisa teve como objetivo realizar uma investigação sobre a sustentabilidade socioambiental e possíveis impactos que podem advir da construção e geração hidroeétrica nos pequenos potenciais hídricos da cidade de Nampula, através de um sistema com turbina do tipo Kaplan. A metodologia baseou-se no estudo bibliográfico e experimental. Usando-se materiais alternativos, construiu-se um sistema hidroeétrico com turbina tipo Kaplan e instalou-se num trecho do rio Muatala – cidade de Nampula, Moçambique. A coleta de dados foi realizada no segundo quadrimestre de 2020. O estudo foi pertinente, uma vez que para além da geração da tensão de até 52 V e corrente de 44 mA, suficiente para uso doméstico das comunidades rurais, buscou trazer informações sobre o meio social, dos indicadores socioambientais utilizados na análise de usinas hidroeétricas e dos principais impactos causados sobre o meio ambiente, sobretudo para a flora e fauna local. O sistema construído é sustentável sob ponto de vista social, ambiental e económico, para além de gerar uma potência útil, nos rios de baixo declive, capaz de atender as necessidades domésticas das comunidades rurais.

Palavras-chave: sistema hidroeétrico; turbina Kaplan, sustentabilidade, impactos.

1. Introdução

O setor energético é muito importante para o desenvolvimento económico e social de um País. Assim sendo, torna-se importante planejar o desenvolvimento desse setor, pois serve de apoio na elaboração de políticas públicas e diretrizes, indicativas ou determinativas, para os agentes públicos e privados de oferta e consumo de energia e de regulação seja no gerenciamento de indicadores de eficiência, de qualidade e do meio ambiente (VILA, 2014).

A contribuição do setor da energia no contexto da globalização impõe a adoção de medidas que conduzam à estabilidade da procura e oferta dos bens e serviços energéticos para os diferentes estratos da sociedade. Este é o ponto de partida da Política de Desenvolvimento de Energias Novas e Renováveis, na qual se considera que as energias renováveis (ER) assumem um papel de destaque no mercado mundial das energias e por darem resposta a diversas imposições globais, como a segurança energética, mudanças climáticas, melhorias no acesso às energias modernas no meio rural e suburbano (MOÇAMBIQUE, 2009a).



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
17 a 19 de novembro de 2020

Diversos autores pesquisaram sobre o desenvolvimento sustentável, preservação do meio ambiente, geração de emprego e renda e o crescimento econômico. Todas essas questões divergem na geração e uso de ER. Porém, os desafios socioambientais e econômicos levam a sociedade a desenvolver técnicas e tecnologias de geração de eletricidade a partir de fontes de ER, que não comprometem o meio ambiente, sendo de baixo custo, eficiente e eficaz.

Em 2015, o Fundo de Energia (FUNAE) de Moçambique realizou estudos para apurar o potencial hídrico do País e foram identificados um total de 1.446 novos possíveis projetos hidroelétricos, com potencial total de 18,6 Giga Watt (*GW*), sendo Tete, Manica e Nampula as províncias que apresentam maiores potenciais. Destes projetos, apenas 351 locais foram priorizados economicamente, com potencial estimado de 5,6 *GW* (GUEIFÃO *et al.*, 2013).

Segundo Nhamire e Mosca (2014, p. 9), Moçambique é o segundo maior produtor da eletricidade da região austral de África, com geração média de 2,279 *GW*. Apesar disso, o País é o quarto da região, com menos acesso à eletricidade pelos cidadãos. Apenas 22 % da população moçambicana usa energia da rede nacional (ERN). Estes dados mostram a fraca mobilização de recursos e investimentos para produção de energia e a fraca disseminação das tecnologias acessíveis e sustentáveis aos mais necessitados.

É neste âmbito que surge a presente pesquisa, para responder questões relacionadas com práticas sustentáveis e a demanda da eletricidade nas zonas rurais e suburbanas não abrangidas pela ERN, com objetivo de realizar uma investigação sobre a sustentabilidade socioambiental e possíveis impactos que podem advir da construção e geração hidroelétrica nos pequenos potenciais hídricos da cidade de Nampula, através de um sistema com turbina do tipo Kaplan

Analisou-se a relevância da utilização deste sistema nos seguintes domínios: (i) segurança – uso de materiais atóxicos; (ii) economia – utilização de materiais alternativos, de fácil acesso, recicláveis e de baixo custo, para geração de eletricidade; (iii) reprodução – fácil manuseio do protótipo em diversos ambientes; (iv) didática – os resultados da presente pesquisa podem ser utilizados na abordagem de conteúdos de eletricidade e ER no ensino secundário geral, técnico profissional e superior; (v) tecnológica e ambiental – desenvolvimento de tecnologias locais de ER para geração de eletricidade com baixíssimos impactos ambientais.

2. Fundamentação teórica

2.1. Energia hidroelétrica e centrais hidroelétricas

A energia hidroelétrica é aquela que provém da condensação, precipitação e evaporação das águas, fatores estes causados pela irradiação solar e atração gravitacional. As usinas hidroelétricas têm a capacidade de transformar a energia cinética e potencial gravitacional das águas dos rios em energia mecânica e elétrica. Ela vem sendo utilizada a milhares de anos para o bombeamento de água, moagem de grãos, corte de madeiras e pedras para a construção e outras aplicações. A partir do século XVIII passou a ser utilizada para mover máquinas têxteis, e nesse período, foram desenvolvidos os princípios para geração hidroelétrica (GIELENA *et al.*, 2019).

Uma das formas de aproveitamento da massa de água para a geração de eletricidade é através das turbinas hidráulicas, que proporcionaram uma grande revolução no setor industrial, contribuindo no desenvolvido e aperfeiçoamento de diversos tipos de turbinas, porém, requerem um investimento elevado para a sua aquisição e operacionalização.



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
17 a 19 de novembro de 2020

As turbinas hidráulicas são máquinas primárias que transformam a energia potencial gravítica ou a energia cinética, armazenada na água que circula pelo circuito hidráulico, em energia mecânica, a qual faz acionar um gerador elétrico (GOMES; CAMIOTO, 2016).

As turbinas hidráulicas possuem um princípio comum de funcionamento. A água entra na turbina vinda de um reservatório e escapa para um canal de nível mais baixo. A água que entra é conduzida por um ducto fechado até um conjunto de palhetas ou injectores que transferem a energia mecânica (energia de pressão e cinética) do fluxo de água em potência de eixo. A pressão e a velocidade da água na saída são menores que na entrada. A água que sai da turbina é conduzida por um ducto até um canal inferior (JÚNIOR, 2013, p. 9).

A turbina Kaplan (Fig. 6) foi criada pelo engenheiro austríaco Victor Kaplan (1876-1934) que, por meio de estudos teóricos e experimentais, a partir das turbinas de Hélice com a possibilidade de variar o passo das pás (JÚNIOR, 2013). As turbinas Kaplan podem ter eixo vertical ou horizontal e são classificadas como turbinas de reação, geralmente adequadas às quedas fracas, caudais elevados e a potência unitária na turbina aumenta quando a configuração é vertical, pois permite diâmetros do rotor muito maiores.

2.2. Impactos na geração hidroelétrica em pequena escala

As microcentrais elétricas mostram-se uma alternativa interessante, visto que representam uma forma de geração de energia limpa e renovável, de baixo custo em comparação com outras formas, e com condições de atendimento a locais isolados. Além disso, Geller (2016) afirma que tais desenvolvimentos energéticos não produzem nenhuma emissão atmosférica durante a geração de eletricidade, sendo o principal benefício ambiental das pequenas centrais o deslocamento ou a vacância das emissões da geração de eletricidade convencional, repercutindo em um impacto positivo de proporção global.

Mesmo sendo uma fonte de energia limpa, alguns impactos ambientais podem surgir dos desenvolvimentos de microcentrais e tendem a afetar as comunidades e ecossistemas. Segundo a lei do ambiente moçambicana, considera-se “*impacto ambiental a qualquer mudança do ambiente, para melhor ou para pior, especialmente com efeitos no ar, na terra, na água e na saúde das pessoas, resultantes da atividade humana*” (MOÇAMBIQUE, 1997, art. 1 ponto 16).

Assim sendo, são considerados impactos ambientais na geração de energia hídrica, o alagamento de importantes áreas florestais, destruição de extensas áreas de vegetação natural, matas ciliares, o desmoronamento das margens, o assoreamento do leito dos rios, prejuízos à fauna e à flora locais, alterações no regime hidráulico dos rios, possibilidades da transmissão de doenças e a emissão dos gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, na sua maioria são ocasionados pelo represamento da água (GELLER, 2016).

As usinas com reservatório possuem uma contribuição significativa para as emissões de GEE, principalmente nos 10 primeiros anos da operação da usina. Usinas que estão localizadas em clima tropical devem ser avaliadas de forma particular, e poucos estudos existem considerando este contexto. O bioma que compõe a área inundada, também contribui para maior ou menor produção dos gases metano e carbônico. Em relação ao tamanho e profundidade, as emissões são maiores em reservatórios extensos e rasos. Em relação ao tempo de operação, há um consenso das pesquisas que afirmam que as emissões diminuem conforme o tempo (GELLER, 2016, p. 36).



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 17 a 19 de novembro de 2020

Para além dos impactos ambientais, há também os impactos sociais que não devem ser deixadas de lado, como é o caso de alagamento de propriedades, casas e áreas produtivas (GELLER, 2016). Ou seja, a inundação de áreas para a construção de barragens gera problemas de realocação das populações ribeirinhas, comunidades indígenas e pequenos agricultores.

De forma geral, segundo Barreto et al. (2008) os impactos são classificados em negativos ou positivos e podem afetar três dimensões: meio físico, meio biótico e o meio antrópico. Compreende-se como meio físico afetado o curso de água, o solo e a atmosfera, como meio biótico a fauna e a flora e como meio antrópico as comunidades locais.

Portanto, cada rio apresenta características únicas, por esse motivo, efeitos variam de acordo com cada rio e cada vez mais é importante que se faça a avaliação integrada do rio e da bacia, para que se tenha a noção dos efeitos cumulativos levando em conta a conservação ambiental e a manutenção da qualidade de vida da população.

2.3. Sustentabilidade e energias renováveis

A discussão mais concreta e prática sobre o “desenvolvimento sustentável”, emerge na Conferência sobre o Meio Ambiente de 1972, realizada em Estocolmo, na Suécia pela Organização das Nações Unidas (ONU). O debate central da conferência foi a questão do desenvolvimento econômico a partir da observância dos conceitos de sustentabilidade, como “*aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades*”. Em seguida, na Conferência Mundial da ONU sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento realizada no Rio de Janeiro em 1992, houve a criação da agenda 21, que estabelecia a obrigatoriedade da regulação ambiental “*proteção ambiental, desenvolvimento econômico e justiça social*” através da cooperação entre países e da transmissão de informação às populações. Desde então, vêm se propondo diversos indicadores e índices para avaliar o progresso dos países em direção ao desenvolvimento sustentável, estabelecendo relações de causalidade e medidas necessárias (DUTRA; MARQUES, 2014; ONU, 2015).

Uma sociedade moderna só opera com o uso de uma ou mais formas de energia. A racionalização do seu uso possibilita melhor qualidade de vida, gerando consequentemente, crescimento econômico, emprego, autoemprego e competitividade. Uma política de ação referente à eficiência energética tem como meta o emprego de técnicas e práticas capazes de promover o uso inteligente da energia, reduzindo custos e produzindo ganhos na perspectiva do desenvolvimento sustentável (EDENR, 2011, p: 27).

Dutra e Marques (2014, p. 4) consideram que “*o desafio do desenvolvimento sustentável não tem como ser enfrentado a partir da perspectiva teórica que desconsidera as dimensões culturais e éticas no processo de tomada de decisão*”. Heinberg (2007) identificou os axiomas (Tabela 1) que facultam a compreensão do conceito.

Tabela 1. Os cinco axiomas da sustentabilidade, segundo Heinberg (2007).

Axioma	Argumentos
1	Axioma de Tainter: qualquer sociedade que persista no uso insustentável de recurso crítico colapsará. Exceção: uma sociedade pode evitar o colapso se encontrar recursos de substituição. Limite à exceção: num mundo finito o número de substituições possíveis é finito.
2	Axioma de Barlett: o crescimento da população e/ou o crescimento nas taxas de consumo de recursos não podem ser sustentados.



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 17 a 19 de novembro de 2020

3	Para ser sustentável, o uso de recursos renováveis deve decorrer a uma taxa menor ou igual à taxa de reposição natural do recurso.
4	Para ser sustentável, o uso de recursos não renováveis deve decorrer a uma taxa decrescente, e a taxa de decréscimo deve ser maior ou igual à taxa de esgotamento dos recursos. A taxa de esgotamento consiste na quantidade que é extraída e usada durante um intervalo de tempo especificado expressa em percentagem do total que resta do recurso (para extração).
5	A sustentabilidade exige que as substâncias introduzidas no ambiente pelas atividades humanas sejam minimizadas e tornadas inofensivas para as funções da biosfera. Nos casos em que a poluição e o consumo de recursos não renováveis tenham ocorrido, a taxas crescentes e ponham em causa a viabilidade dos ecossistemas, a redução nas taxas de extração e consumo desses recursos pode ter de ocorrer a uma taxa maior do que a taxa de esgotamento.

No setor energético, o conceito de sustentabilidade foca-se na busca de ferramentas e desenvolvimento das chamadas “energias sustentáveis”, que visam minimizar os impactos ambientais e criação de mecanismos de produção de modelos alternativos baseados na sustentabilidade. O conceito de energias “sustentáveis”, “limpas” ou renováveis baseia-se na utilização direta ou indireta de energia solar na geração das fontes de energia hídrica, solar, eólica e biomassa, com exceção da energia das marés, nuclear e geotérmica (DUTRA; MARQUES, 2014).

O termo “energia sustentável” é usado para denotar sistemas, tecnologias e recursos energéticos que sejam capazes de não apenas suprir, no longo prazo, as necessidades humanas – econômicas e de desenvolvimento – mas também o façam de forma compatível com (i) a preservação da integridade subjacente dos sistemas naturais essenciais, evitando, inclusive, mudanças climáticas catastróficas; (2) a extensão de serviços básicos de energia a mais de 2 bilhões de pessoas no mundo todo que atualmente não têm acesso a formas modernas de energia; e (3) a redução de riscos para a segurança e do potencial para conflitos geopolíticos que poderiam advir da disputa crescente por reservas de petróleo e gás natural distribuídas desigualmente. O termo sustentável neste contexto abrange uma gama de objetivos programáticos que vai além da mera adequação de suprimentos (BORBA; GASPAR, 2010, p. 58).

O desenvolvimento tecnológico tem permitido que, aos poucos, elas possam ser aproveitadas quer como energia alternativa, quer na produção de calor e de eletricidade, como a energia eólica, solar, da biomassa, e de pequenas centrais hidrelétricas, constituindo-se em fonte convencional de geração de eletricidade (BIZAWU; AGUIAR, 2016). Por isso, a tecnologia, o planejamento e a gestão dos sistemas energéticos são ferramentas que permitem o uso eficiente das formas finitas e alternativas de energia pela atividade humana, de uma forma equitativa.

2.4. Políticas energéticas nacionais

A Lei de Eletricidade, Lei nº 21/97 de 1 de outubro, estabelece as regras relativas à produção, transporte, distribuição, comercialização, incluindo importação e exportação, de energia elétrica. Esta lei constitui a política geral da organização do setor e gestão do fornecimento de energia elétrica no território moçambicano (MOÇAMBIQUE, 2009b).

A Resolução nº 5/98 de 3 de março, que define as orientações estratégicas para o desenvolvimento do setor, segundo às convenções regionais e mundiais (MOÇAMBIQUE, 1998).

O Decreto nº 8/2000 de 20 de abril, estabelece as competências e os procedimentos relativos à atribuição de concessões de produção, transporte, distribuição e comercialização de energia elétrica. Este Decreto foi definido com vista a regulamentar a Lei de Eletricidade nº 21/97, de 1 de outubro (MOÇAMBIQUE, 2000).



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
17 a 19 de novembro de 2020

O Decreto nº 45/2004 de 29 de setembro, regula o processo de avaliação do impacto ambiental e revoga o Decreto nº 78/98 de 29 de dezembro (MOÇAMBIQUE, 2004),

O Decreto nº 42/2005 de 29 de Novembro, regula as normas referentes à planificação, financiamento, construção, posse, manutenção e operação de instalações de produção, transporte, distribuição e comercialização de eletricidade (MOÇAMBIQUE, 2005).

A Resolução 10/2009 aprova a estratégia de energia e revoga a Resolução n.º 24/2000, de 3 de Outubro (MOÇAMBIQUE, 2009c). Esta estratégia,

...visa preparar o país, para a transição para um futuro energético sustentável, ampliando a matriz de oferta energética, privilegiando as fontes energéticas endógenas e garantindo simultaneamente o crescimento do acesso por maiores camadas populacionais aos benefícios da energia moderna, em particular da eletricidade a qual pode ser produzida com fontes de energia primária diversificada, comprovada relação entre o acesso à eletricidade e o desenvolvimento humano (MOÇAMBIQUE, 2009c, p. 3-4).

O Decreto nº 58/2014, regulamento que define o regime tarifário para as energias novas e renováveis (REFIT), define as tarifas a serem praticadas para comercialização de eletricidade gerada pelas seguintes fontes: biomassa, eólica, hídrica e solar, em função da capacidade instalada (MOÇAMBIQUE, 2014a). “*A Eletricidade de Moçambique é autorizada a transferir os custos de ligação à rede de transporte, associada aos projetos devidamente licenciados pela autoridade competentes e elegíveis ao programa REFIT*” (MOÇAMBIQUE, 2014^a, art. 15).

O Código de ERN, aprovado pelo Diploma Ministerial n.º 184/2014 de 12 de novembro, estabelece as condições técnicas de ligação das instalações à ERN e as condições técnicas de planeamento e exploração da mesma, ficando abrangidos pela sua aplicação o gestor da rede nacional de transporte e de energia elétrica, os concessionários de transporte e de distribuição e os utilizadores ligados à ERN (MOÇAMBIQUE, 2014b).

Relativamente ao procedimento a adotar para o licenciamento dos projetos importa observar o Decreto n.º 48/2007, de 22 de outubro, alterado pelo Decreto n.º 10/2016, de 25 de abril, que estabelece o regulamento de licenças para instalações elétricas (RLIE), o qual “*tem por fim fixar as normas a seguir nas concessões de licenças para o estabelecimento e exploração de instalações destinadas à produção, transporte, transformação, distribuição e utilização de energia elétrica para qualquer fim ou serviço*”(MOÇAMBIQUE, 2016, art. 2).

O RLIE divide em dez categorias as instalações destinadas à produção, transporte, transformação, distribuição e utilização de energia elétrica para qualquer fim ou serviço, de forma a diferenciar o tratamento dado a cada tipo de instalação ao nível de procedimento de licenciamento. No que respeita à produção de energia elétrica com base nas fontes renováveis, o RLIE classifica as mesmas como instalações de 1.ª categoria (art. 3, alínea a). Deste modo a produção de energia elétrica de fontes renováveis carecem de licença e vistoria prévias para o seu estabelecimento e exploração (art. 4 e 5) e todas as instalações elétricas, ficam sujeitas à fiscalização técnica permanente do Ministério de Recursos Minerais e Energia (MOÇAMBIQUE, 2016).

Através da Lei nº 11/2017, de 8 de setembro, cria-se a autoridade reguladora de energia com vista a promover tecnologias e uso eficiente dos recursos energéticos e a segurança energética, visando o desenvolvimento equilibrado e sustentável do País (MOÇAMBIQUE, 2017).



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 17 a 19 de novembro de 2020

3. Metodologia

A pesquisa é classificada como aplicada e exploratória, de abordagem quantitativa, baseada na combinação dos métodos bibliográfico, experimental e o trabalho de campo.

Usou-se o método bibliográfico na coleta de dados existentes, sem delimitação espacial e temporal, em diversas obras literárias, manuais, artigos científicos, dissertações e teses. A pesquisa experimental foi usada na construção, testagem e coleta dos dados primários e os parâmetros técnicos da pesquisa. E o trabalho de campo utilizou-se para implantar o sistema hidroelétrico construído no curso do rio Muatala e na coleta/registo dos dados *in situ*.

Para a coleta de dados fez-se o uso da técnica de observação participante, que através de um protocolo de observação, verificou-se as características do local e análise dos impactos dele.

Para a construção do sistema e sua implantação, usou-se os seguintes materiais (tabela 2):

Tabela 2: Materiais usados para a construção do sistema hidroelétrico

1. Construção da Turbina	2. Construção do gerador
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Chapa metálica de 3 mm; ▪ 1 Rolamentos; ▪ 4 parafusos; ▪ 20 Parafusos com porca; ▪ 1 Eixo de 25 cm e 5 porcas; ▪ Uma caixa espiral de 25 cm de altura 45 cm de diâmetro; ▪ 2 anilhas e 10 cm de tubo ½. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uma base de madeira de forma circular; ▪ Bobinas e magneto extraído da motorizada; ▪ 1 rolamento; ▪ 1 eixo e 6 porcas; ▪ 2 parafusos com porca.
3. Construção de multiplicador de velocidade	5. Coleta de dados
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 2 cubos de bicicleta; ▪ Madeira 50x30 cm; ▪ 4 parafusos; ▪ 1 eixo de 25 cm e 5 porcas. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1 voltímetro; ▪ O sistema construído; ▪ Fita métrica; ▪ 1 balde de 20 litros; ▪ 1 cronómetro; ▪ Um celular e seu carregador; ▪ Duas lâmpadas Led, 7w e 20 W; ▪ Uma bactéria chumbo/ácido de 3 W e sistema de carregamento.
4. Represamento e montagem do sistema	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sacos; ▪ 1 base de ferro. 	

Os procedimentos experimentais foram divididos em seguintes fases:

Para a Construção da turbina, (i) fez-se os moldes de chapa de zinco e cortou-se as pás (fig. 1A); (ii) soldou-se as chapas na lateral do tubo de 5 cm e montou-se o eixo; (iii) pintou-se com tinta anticorrosiva para evitar corrosão durante a operação (fig. 1B); (iv) fixou-se o rolamento e o rotor no interior da caixa (fig. 1C); (v) com quatro pedaços de varão de 8 mm com 60 cm de comprimento e um varão de 6 mm e 125,6 cm de comprimento, fez-se uma base.

Para construção do gerador: (i) com a base de madeira de diâmetro 6 cm, fez-se um orifício no centro e fixou-se um rolamento; (ii) centralizou-se as bobinas e furou-se nas laterais do rolamento de modo a transpassar os parafusos (fig. 1D); (iii) montou-se o estator, fixou-se um eixo no magneto e conectou-se ao estator passando o eixo no centro do rolamento (fig. 1E).

Para construção do multiplicador de velocidade: (i) fez-se duas circunferências na madeira com raios de 12 e 4 cm; (ii) com a marcação de 1 cm para dentro, fez-se 16 dentes na engrenagem maior e 8 na menor (fig. 1F); (iii) fez-se furos de acordo com as dimensões do eixo; (iv) finalizada as engrenagens, montou-se no sistema.

Para represamento e montagem do sistema no rio: (i) fez-se a limpeza no local, encheu-se e montou-se os sacos de areia, de modo a barrar a água e canalizar diretamente para a turbina; (ii) instalou-se o sistema no rio, após terminar as fases de represamento (fig. 4G).

Para a coleta de dados: (i) através do ducto que sai da represa encheu-se o balde de 10 l e registou-se o tempo que levou a encher o balde; (ii) mediu-se a altura bruta do rio, o diâmetro e o comprimento do ducto; (iii) registou-se a rotação do eixo da turbina, a tensão e a intensidade da corrente; (iv) registou-se os impactos causados durante a instalação, operação e desinstalação do sistema.



Figura 1: Construção e instalação do sistema. A: Molde das pás; B: rotor pintado; C: turbina pronta; D: estator com as bobinas; E: gerador finalizado; F: engrenagem de madeira; G: sistema instalado no rio.

4. Resultados

4.1. Viabilidade técnica ou de eficiência

Inicialmente, instalou-se o sistema no trecho do rio, sem as engrenagens e permaneceu em funcionamento por cerca de 10 h/dia, com uma vazão média de 10 l/s e a altura de queda de 0,75 m. O sistema funcionou a 168 rotações por minuto, fornecendo uma tensão de 24,5 V e corrente de 31 mA (tabela 3). Com esses parâmetros e nas condições experimentais, testou-se o sistema, carregando uma bateria de chumbo/ácido de 3W.

Tabela 3: Dados colhidos com eixo do gerador ligado direto com eixo da Turbina.

Data	Vazão média (m ³ /s)	Altura (m)	Tensão média (V)			Corrente média (mA)			Velocidade de rotação (rpm)		
			Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med
1/07	0,01	0,75	21,6	24,8	23,20	27,4	31,5	29,45	161	165	163
3/07	0,01	0,75	24,4	24,7	24,55	28	29,8	28,90	166	168	167
6/07	0,01	0,75	23,3	24,1	23,7	27,6	31,3	29,45	162	168	165
Média	0,01	0,75	-		24	-		29,30	-		165

A seguir, adicionou-se ao sistema, multiplicadores de velocidade (tabela 4) e duas engrenagens (tabela 5), mantendo-se constante a vazão e a altura de queda. Conseguiu-se aumentar a produção, para uma tensão de 52 V e a corrente de 44 mA.



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 17 a 19 de novembro de 2020

Tabela 4: Dados colhidos com multiplicador de velocidade.

Data	Vazão média (m ³ /s)	Altura (m)	Tensão média engrenada (V)			Corrente média engrenada (mA)			Velocidade de rotação engrenada (rpm)			
			Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	
11/07	0,01	0,75	47,3	50,4	48,85	43,3	44,6	43,95	110	118	114	
12/07	0,01	0,75	45,1	51,3	48,20	42,4	43,16	42,75	109	120	114	
13/07	0,01	0,75	48	52,4	50,20	43,9	44,3	44,10	113	121	117	
Media	0,01	0,75	-			49	-		43,60	-		126

Tabela 5: Dados da turbina, tubo PVC e as engrenagens.

Grandezas	Engrenagens		Turbina			Tubo PVC
	Maior	Menor	Seção de entrada	Rotor	Seção de saída	
Diâmetro (cm)	24	8	11	32	40	11
Raio (cm)	12	4	5.5	16	20	5.5
Comprimento (cm)	-	-	-	-	-	700
Área (cm ²)	452,16	50,25	94,99	19,63	267,94	126

A potência bruta (P_b) contida no desnível topográfico do rio (H) é dado pelo produto da densidade da água, aceleração de gravidade local (g), a vazão (Q) e o desnível,

$$P_b = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H = 1000 \cdot 9,8 \cdot 0,01 \cdot 0,75 = 73,5 \text{ W}$$

Ou seja, a potência do rio no local testado foi de 73,5 W. Uma parte desta energia foi dissipada na tubulação até chegar na turbina. Enquanto, a potência hidráulica na entrada da turbina considerando as perdas na tubulação, em função do desnível topográfico (H_d),

$$P_d = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_d = 1000 \cdot 9,8 \cdot 0,01 \cdot 0,714 = 70,00 \text{ W}$$

Para determinação da potência mecânica da turbina (P_m), usou-se a área (A) do tubo (tabela 5). A velocidade (v) das pás (tabela 3) foi de 165 rpm ou 2,7632 m/s. A P_m foi de:

$$P_m = \rho g h \cdot A \cdot v = 1000 \cdot 9,8 \cdot 0,25 \cdot 0,0094985 \cdot 2,7632 = 64,3 \text{ W}$$

A P_m no eixo da turbina antes e depois de inserir as engrenagens foi de 64,3 W e 49,10 W, respectivamente. Isso se deve ao aumento das perdas mecânicas na engrenagem de madeira.

Para determinar a potência extraída pelo gerador, mediu-se a tensão e a corrente média nos terminais do gerador, obtendo-se 49 V e 43,60 mA respectivamente (tabela 4). Então:

$$P_G = U \cdot I = 49V \cdot 43,60 \text{ mA} = 2136,4 \text{ mW} = 2,14 \text{ W}$$

Antes e depois de inserir as engrenagens, as potências extraídas pelo gerador foram de 0,7 W e de 2,14 W respectivamente. Esse aumento mostra que a introdução das engrenagens tem impacto na potência extraída pelo gerador de energia. O rendimento da turbina (η_t) foi de:

$$\eta_t = \frac{P_m}{P_d} = \frac{64,30 \text{ W}}{70,00 \text{ W}} \cdot 100 = 92 \%$$

A turbina construída extraiu cerca de 92 % da energia disponível, considerando-se as perdas hidráulicas, volumétricas e mecânicas. O rendimento do sistema em geral (η_T) foi:



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 17 a 19 de novembro de 2020

$$\eta_T = \frac{P_G}{P_d} = \frac{2136,4 \text{ mW}}{70,00 \text{ W}} \cdot 100 = 3,05\%$$

Isso significa que, o sistema extraiu cerca de 3% da energia disponível, considerando as perdas na turbina hidráulica (por fricção, hidráulicas, volumétricas e mecânicas), as perdas por transmissão (ao adicionar as engrenagens) e as perdas no gerador (por atrito).

A tabela 6 apresenta o resumo da avaliação do sistema antes e depois de serem adicionadas as engrenagens, mantendo-se constante a vazão média e altura de queda.

Tabela 6: Parâmetros técnicos no sistema hidroelétrico estudado.

Grandezas	Rio	Turbina	Gerador	Engrenagem	Sistema
Tensão Média	-	-	24 V	49 V	49 V
Corrente Média	-	-	29,30 mA	43,60 mA	43,60 mA
Potência Média	73.50 W	64,30W	703,2 mW	49,10 W	2,14 W
Rendimento	100%	92%	1,1%	76,4%	3 %
Frequência linear	-	2,75 Hz	2,75 Hz	2,1 Hz	4,2 Hz
Velocidade de rotação Média	-	165 rpm	165 rpm	126 rpm	252 rpm

No geral, as perdas no sistema hidroelétrico são inevitáveis. Segundo Caus e Michels (2017, p. 3) “em turbinas hidráulicas, o rendimento representa as perdas verificadas nas diferentes condições de operação, considerando que uma parte da potência disponível nos eixos da turbina é dissipada em perdas internas e externas na própria turbina”. Assim sendo, a figura 6 apresenta a relação das perdas do sistema construído:

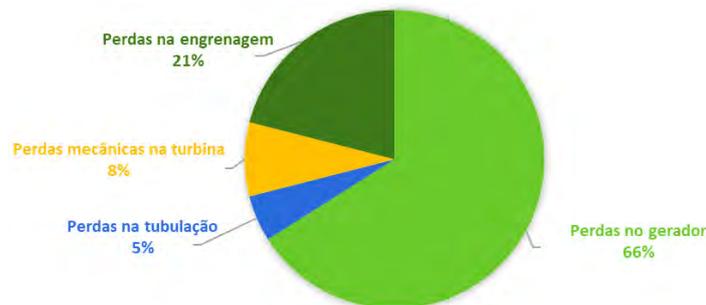


Figura 2: Perdas no sistema hidroelétrico construído.

As principais causas da baixa eficiência na turbina construída foram provenientes das perdas hidráulicas ou volumétricas da água dentro da turbina e das perdas mecânicas, causado pelo atrito nos rolamentos que converte parte da energia extraída da água em calor (efeito Joule). Além disso, Yamachita (2013) indica como principais causas da baixa eficiência nos geradores, as perdas por histerese magnética, por corrente de Foucault, por efeito Joule no estator e no rotor e por atrito nos rolamentos, que converte parte de energia mecânica em calor.

4.2. Viabilidade econômica do protótipo

O método usado na análise da viabilidade econômica foi o *Levelized Cost of Electricity*, que consiste na avaliação econômica do valor real do custo de produção de uma unidade geradora de energia. Na tabela 7, estão apresentados os gastos de materiais e serviços, realizados na projeção, construção, instalação e desinstalação do sistema.



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 17 a 19 de novembro de 2020

Tabela 7: Relação entre materiais e os gastos realizados durante a pesquisa.

Materiais	Quantidade	Preço/unidade (Meticais-MTn ¹)	Preço total (MTn)	Observação
Estator rotor Magnético, 6 bobinas	1	-	-	Reciclável
Chapa 3mm (aço)	1	-	-	Reciclável
Tubo cilíndrico 5mm	1	50	50	-
Chapa 1mm (Zinco)	1	-	-	Reciclável
Eixo	2	100	200	-
Tubo Pvc 110 mm	6 m	150	900	-
Madeira 40x30 cm	1	-	-	Reciclável
Porcas	11	10	110	-
Varrão	2	-	-	Reciclável
Rolamento	2	50	100	-
Parafuso de chapa	1 kg	100	100	-
Parafuso com porca	2	20	40	-
Pregos 2 polegadas	¼ kg	100	25	-
Fio de ligação 2x2.5mm	5 m	10	50	-
Lâmpada Led	2	-	-	Reutilizado
Interruptor	1	-	-	Reutilizado
Distribuidor	1	-	-	Reutilizado
Bocal	2	-	-	Reutilizado
Tomada	1	-	-	Reutilizado
Tinta anticorrosivo 1 L	1	300	300	-
Sacos	5	-	-	Recicláveis
Total material			1,875 MTn	
Serviços	Função	Pagamento	Observação	
Carpinteiro	Engrenagens e base do gerador	150 MTn	-	
Ratoneiro (bate chapa)	Tubo espiral	300 MTn	-	
Serralheiro	Cortar e soldar pás e fazer a base	300 MTn	-	
Diversos	Transporte, Material de limpeza	310 MTn	-	
Total Serviços			1 060	
Total gasto			2 935 MTn	

Pelas condições dos materiais usados, o sistema construído possui todas as condições técnicas para permanecer em operação num período acima de 10 anos. Foram utilizados ferros, chapas de aço e de zinco revestidas de tinta anticorrosiva que pode dificultar a corrosão, perda de resistência, e conseqüentemente, aumentar o tempo de vida do sistema.

Comparativamente as pilhas alcalinas (fonte mais usada pela população rural), o sistema é viável economicamente devido a vida útil das pilhas e a poluição que tem causado ao meio ambiente, principalmente quando descartado de forma incorreta, podem contaminar o solo, as águas superficiais e o lençol freático, visto que elas são altamente tóxicas por conterem altos teores de metais como zinco, chumbo e manganês.

¹ 1 dólar norte americano (USD) equivale a 73,1 meticais (MTn). Fonte: Banco de Moçambique “http://www.banco-moc.mz/fm_mercadosmmi.aspx?id=10” acesso em 31/10/2020



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
17 a 19 de novembro de 2020

4.3. Análise dos impactos causados na operação do sistema

Na implantação do sistema contruído não houve mudanças em termos paisagísticos e florísticos para dar lugar o sistema devido as dimensões do mesmo (fig. 3a). Não havendo necessidade de procurar grande espaço para a sua instalação.

Por não afetar de forma significativa nos parâmetros físico-químicos da água, como o cheiro, turbidez, pH, condutividade, temperatura e total de sólidos dissolvidos, a água pode ser reutilizada, para as mesmas aplicações de tempos antes do contacto com o sistema.

Quanto a morte dos seres vivos existentes no rio é inevitável. Notou-se que existem habitat no rio, então de certa forma pode haver uma atração pela pressão da água na tubulação acabando por serem esmagados pelas pás da turbina, constituindo o impacto ambiental mais significativo. Assim sendo, para sistemas permanentes ou de grande porte, a solução é colocar uma rede de cobertura para diminuição deste tipo de impacto.

Segundo as condições do sistema em termos de dimensões e a forma do rio não houve nenhum impacto negativo para a sociedade. Nenhuma *machamba* está próxima do local de instalação do sistema, por isso não houve necessidade de deslocar a população para dar espaço a instalação da minicentral (Fig. 3a e 3b).



Figura 3: características do local. A: o sistema instalado; B: após a desinstalação do sistema.

5. Conclusões

A construção de um sistema hidroelétrico com turbina Kaplan usando material alternativo e de baixo custo é sustentável, nas dimensões social, ambiental e económica, constituindo uma forma viável para eletrificação rural e em comunidades isoladas.

O sistema construído apresenta condições para a geração de eletricidade nos pequenos potenciais hídricos para acionar aparelhos de baixa potência, de uso comum e diário das populações, como rádio, televisão, carregadores de celular, lâmpadas e outros. O sistema pode ser ainda usado para bombeamento de água, para uso doméstico, para irrigação e para piscicultura.

As principais perdas do sistema hidroelétrico estudado foram no gerador e as engrenagens. Pode-se obter maior rendimento na potência do gerador se adequar as rotações da turbina e do eixo do gerador por meio do uso de engrenagens multiplicadoras de velocidade.

Não se verificou nenhum impacto negativo significativo durante a instalação, teste e desmonte do sistema. Porém, para sistemas permanentes deve-se realizar estudos de impacto ambiental detalhado para controle de possíveis desmoronamento das margens, prejuízos à fauna e à flora locais, e alterações no regime hidráulico do rio.



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
17 a 19 de novembro de 2020

6. Referências bibliográficas

- BARRETO, E. J. F. et al. **Pequenos Aproveitamentos Hidroelétricas: Soluções energéticas para a Amazônia**. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 2008.
- BIZAWU, K.; AGUIAR, P. L. M. DE. Energias renováveis e desenvolvimento sustentável: desafios e perspectivas para os Países emergentes. **CONPEDI Law Review**, v. 2, n. 4, p. 394–411, 2016.
- BORBA, M. C. V.; GASPAR, N. F. **Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho**. Rio de Janeiro, RJ: FAPESP, 2010.
- CAUS, T. R.; MICHELS, A. **Energia Hidroelétrica: Eficiência na Geração**. Tese de pós-graduação em eficiência energética aplicada. UFSM e UAB, Camargo, 2017.
- DUTRA, A. DA S.; MARQUES, F. V. M. DA S. **O uso de energias renováveis como mecanismo de sustentabilidade**. X Congresso Nacional de Excelência em Gestão. **Anais...Niterói – RJ: CNEG e INOVARSE**, 2014
- GELLER, M. T. B. **Análise do ciclo de vida da Usina Hidrelétrica de CURUA – UNA**. Tese de Doutorado em Sociedade Natureza e Desenvolvimento. Universidade Federal do Oeste do Para. Santarém, 2016.
- GIELENA, D. et al. The role of renewable energy in the global energy transformation. **Energy Strategy Reviews**, v. 24, p. 38–50, 2019.
- GOMES, V. P. R. G.; CAMIOTO, F. DE C. **Análise de viabilidade econômica da implementação de um sistema de energia fotovoltaica nas residências Uberabenses**. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais...João Pessoa/PB, Brasil: Associação Brasileira de Engenharia de Produção**, 2016
- GUEIFÃO, C. et al. **Atlas das energias renováveis de Moçambique: Recursos e projectos para produção de electricidade**. 1. ed. Maputo: Gesto-Energia, S.A., 2013.
- HEINBERG, R. **Five axioms of sustainability**. Disponível em: <<http://richardheinberg.com/178-five-axioms-of-sustainability>>. Acesso em: 30 abr. 2020.
- JÚNIOR, R. L. S. **Projecto conceitual de uma turbina a ser utilizada na usina hidrelétrica externa de Henry Borden**. Projecto de graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro - RJ, 2013.
- KEMERICH, P. D. DA C. et al. Avaliação de impactos ambientais na implantação e operação de Olaria. **Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, v. 8, p. 134–150, 2011.
- MOÇAMBIQUE. **Lei 20/1997, de 1 de Outubro. Lei do Ambiente**, Bolentim da República de Moçambique, Maputo, 1997.
- MOÇAMBIQUE. **Resolução nº 5/98 de 3 de março. Política energética**, Bolentim da República de Moçambique, Maputo, 1998.
- MOÇAMBIQUE. **Decreto nº 8/2000 de 20 de Abril. Regulamento que estabelece as competências e os procedimentos relativos à atribuição de concessões de produção**,



II *Sustentare* – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas
V WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
17 a 19 de novembro de 2020

transporte, distribuição e comercialização de energia eléctrica, bem como a sua importação e exportação, Bolentim da República de Moçambique, Maputo, 2000.

MOÇAMBIQUE. Decreto nº 45/2004 de 29 de Setembro: Regulamento sobre o processo de avaliação de impacto ambiental, Bolentim da República, Maputo, 2004.

MOÇAMBIQUE. Decreto nº 42/2005 de 29 de Novembro. Regulamento que estabelece normas referentes à rede nacional de energia eléctrica, Bolentim da República de Moçambique, Maputo, 2005.

MOÇAMBIQUE. Resolução 62/2009, de 14 de outubro. Política de Desenvolvimento de Energias Novas e Renováveis, Bolentim da República de Moçambique, Maputo, 2009a.

MOÇAMBIQUE. Lei de Electricidade, Lei nº 21/97 de 1 de outubro, Bolentim da República de Moçambique, Maputo, 2009b.

MOÇAMBIQUE. Resolução n.º 10/2009 de 4 de Junho, Estratégia do Sector de Energia, Bolentim da República de Moçambique, Maputo, 2009c.

MOÇAMBIQUE. Estratégia de desenvolvimento de energias novas e renováveis para o período 2011-2025. Maputo, Ministério de Energia. 2011. p 1-41.

MOÇAMBIQUE. Decreto nº 58/2014. Regulamento que estabelece o regime tarifário para as Energias Novas e Renováveis, Bolentim da República de Moçambique, Maputo, 2014a.

MOÇAMBIQUE. Diploma Ministerial n.º 184/2014 de 12 de Novembro. Código da Rede Eléctrica Nacional, Bolentim da República de Moçambique, Maputo, 2014b.

MOÇAMBIQUE. Decreto n.º 10/2016, de 25 de Abril. Regulamento de Licenças para Instalações Eléctricas (RLIE), Bolentim da República de Moçambique, Maputo, 2016.

MOÇAMBIQUE. Lei nº 11/2017 de 8 de setembro. Criação da Autoridade Reguladora de Energia (ARENE), Bolentim da República de Moçambique, Maputo, 2017.

NHAMIRE, B.; MOSCA, J. Electricidade de Moçambique: mau serviço, não transparente e politizada. Maputo - Moçambique: Centro de Integridade Pública, 2014. p. 54-60.

ONU. A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <<http://www.agenda2030.org.br/sobre/>>. Acesso em: 19 abr. 2019.

VILA, C. U. Planejamento Energético e as políticas públicas: Aspectos conceituais e metodológicos. In: PEREIRA, T. C. G. (Ed.). . **Energias Renováveis: Políticas Publicas e Planejamento Energético**. Curitiba - PR: COPEL, 2014. p. 24–45.

YAMACHITA, R. A. Determinação de perdas e rendimento em motores eléctricos empregando termografia infravermelha. Tese de doutorado em engenharia eléctrica. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá-MG, 2013.