

**VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UMA MICRO-HIDRELÉTRICA NA FAZENDA BAHIA: Análise Técnica, Econômica e Ambiental**  
**FEASIBILITY OF IMPLEMENTING A MICRO-HYDROELECTRIC POWER PLANT AT FAZENDA BAHIA: Technical, Economic and Environmental Analysis**

Gerson Gomes da Silva Junior<sup>1</sup>

Vinícius Cardoso Aguiar<sup>2</sup>

Prof. Me. Luis Gustavo Schröder e Braga<sup>3</sup>

### **RESUMO**

Este trabalho tem como objetivo analisar as soluções técnicas, econômicas e ambientais da implantação de uma micro hidrelétrica na Fazenda Bahia, localizada na região de Teófilo Otoni, MG. O projeto busca atender à demanda energética local de forma sustentável, utilizando o potencial hídrico do curso d'água presente na propriedade. A metodologia utilizada incluiu um estudo de caso com coleta e análise de dados técnicos, como vazão médio e altura de queda, além de cálculos para dimensionamento de turbina e gerador. Foi selecionada uma turbina Banki, conhecida por sua eficiência e baixo impacto ambiental, e um gerador síncrono trifásico, capaz de atender à demanda energética de 35 kW. Os resultados apontaram que a micro hidrelétrica é viável, com potência elétrica calculada de 41,2 kW e retorno financeiro entre 1,2 e 3 anos, considerando uma economia anual estimada em R\$ 281.232,00. As análises ambientais tiveram impactos reduzidos, desde que medidas mitigadoras, como manutenção de vazão ecológico e instalação de passagens para peixes, sejam rompidas. Conclui-se que o projeto é uma alternativa sustentável para propriedades rurais, contribuindo para a autossuficiência energética e o desenvolvimento regional. Além disso, este estudo reforça o potencial das micro hidrelétricas como uma solução viável para geração distribuída, alinhada aos princípios de sustentabilidade ambiental e econômica.

**Palavras-chave:** Micro hidrelétrica, Sustentabilidade, Geração Distribuída, Energia Renovável.

### **ABSTRACT**

<sup>1</sup> Rede de Ensino Doctum – Polo Teófilo Otoni, MG – gersonabraham@gmail.com – graduando em Engenharia Elétrica

<sup>2</sup> Rede de Ensino Doctum – Polo Teófilo Otoni, MG viniciusmoreiracardoso01@gmail.com – graduando em Engenharia Elétrica

<sup>3</sup> Rede de Ensino Doctum – Polo Juiz de Fora, MG – luis.braga@doctum.edu.br – Professor Orientador

This work aims to analyze the technical, economic and environmental solutions for implementing a micro-hydroelectric plant at Fazenda Bahia, located in the region of Teófilo Otoni, MG. The project seeks to meet local energy demand in a sustainable way, using the water potential of the watercourse present on the property. The methodology used included a case study with collection and analysis of technical data, such as average flow and head of fall, in addition to calculations for turbine and generator sizing. A Banki turbine, known for its efficiency and low environmental impact, and a three-phase synchronous generator, capable of meeting the energy demand of 35 kW, were selected. The results showed that the micro-hydroelectric plant is viable, with an estimated electrical power of 40.1 kW and a financial return of between 1.5 and 3.5 years, considering an estimated annual savings of R\$ 241,920.00. Environmental analyzes had reduced impacts, as long as mitigating measures, such as maintaining ecological flow and installing fish passages, are broken. It is concluded that the project is a sustainable alternative for rural properties, contributing to energy self-sufficiency and regional development. Furthermore, this study reinforces the potential of micro-hydroelectric plants as a viable solution for distributed generation, aligned with the principles of environmental and economic sustainability.

**Keywords:** Micro-hydroelectric, Sustainability, Distributed Generation, Renewable Energy.

### 3. Introdução

A geração de energia renovável é um dos pilares para alcançar a sustentabilidade em áreas rurais, especialmente em regiões com grande potencial hídrico, como a Fazenda Bahia, em Teófilo Otoni, MG. Este trabalho propõe avaliar a orientação técnica, econômica e ambiental da instalação de uma micro hidrelétrica para atender às demandas energéticas da propriedade e potencializar seu desenvolvimento sustentável.

O estudo faz parte do contexto da crescente necessidade de fontes renováveis no Brasil, onde a energia hidrelétrica já representa uma parcela significativa da matriz energética nacional. De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em 2021, 60% da geração de eletricidade do país será proveniente de fontes hidrelétricas. No entanto, grande parte desse potencial é explorado em usinas de grande porte, deixando áreas rurais dependentes de soluções descentralizadas para acesso à energia confiável e de baixo custo.

A implantação de uma micro hidrelétrica na Fazenda Bahia pode não apenas garantir a autossuficiência energética local, mas também servir como modelo replicável

para outras propriedades na região. Estudos semelhantes realizados em outras áreas rurais mostram que essas iniciativas são estratégicas para a diversificação da matriz energética, promovendo a inclusão social e a autonomia econômica.

Este trabalho foca na análise do curso d'água da Fazenda Bahia, utilizando previsão de vazão, cálculos de previsões e avaliação de impactos ambientais. Os resultados buscam responder à seguinte questão de pesquisa: *a micro hidrelétrica na Fazenda Bahia é uma solução sustentável e viável para atender às demandas locais e integrar-se à matriz energética regional?*

### **3.1. Objeto de Estudo**

O objeto de estudo deste trabalho é a geração de energia elétrica utilizando um curso de água localizado na Fazenda Bahia, situada no km 260 da rodovia Rio-Bahia em Teófilo Otoni, MG. Este curso de água na Fazenda Bahia é um recurso natural que apresenta potencial para geração de energia hidrelétrica. Para explorar essa potencialidade, é necessário realizar medições detalhadas da vazão e da altura de queda d'água. Esses parâmetros são essenciais para determinar a quantidade de energia que pode ser gerada. Estudos hidrológicos e geológicos devem ser conduzidos para avaliar a consistência do fluxo de água ao longo do ano e identificar possíveis variações sazonais que possam afetar a geração de energia. A escolha das tecnologias adequadas é crucial para a eficiência e viabilidade econômica do projeto. Existem diferentes tipos de turbinas que podem ser utilizadas, como turbinas Kaplan, Pelton e Francis, cada uma adequada para diferentes condições de vazão e altura de queda. A escolha da turbina deve ser baseada em uma análise detalhada das características do curso de água. Micro hidrelétricas e pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) são opções viáveis para esse tipo de projeto, devido à sua capacidade de operar com fluxos de água menores e custos relativamente mais baixos.

O estudo detalhado e a implementação de um sistema de geração de energia elétrica utilizando o curso de água na Fazenda Bahia apresentam um potencial significativo para a promoção da sustentabilidade energética na região. A viabilidade técnica e econômica, juntamente com a análise dos impactos ambientais, são

fundamentais para garantir que este projeto não só seja realizável, mas também benéfico para a comunidade local e o meio ambiente.

## **1.2. Objetivo Geral**

Analisar as propostas técnicas, econômicas e ambientais da implantação de uma micro hidrelétrica na Fazenda Bahia, em Teófilo Otoni, MG, com o objetivo de atender à demanda energética local de forma sustentável e eficiente, além de estabelecer um modelo replicável para outras propriedades rurais, contribuindo para a diversificação da matriz energética e o desenvolvimento sustentável em regiões similares.

## **1.3. Objetivos Específicos**

- Avaliar o potencial energético do curso d'água da Fazenda Bahia, considerando os dados de vazão, altura de queda e condições locais, para dimensionar a turbina e o gerador mais adequados ao projeto.
- Estimar os custos de implantação e manutenção da micro hidrelétrica, incluindo equipamentos, infraestrutura e licenças, e calcular o retorno do investimento com base na economia de energia gerada e no impacto econômico para a propriedade.
- Identificar os impactos ambientais potenciais do projeto e propor medidas de mitigação, garantindo que o sistema atenda às normas ambientais e contribua para a preservação do ecossistema local.

## **1.4. Hipótese**

A implantação de uma micro hidrelétrica na Fazenda Bahia é tecnicamente viável, economicamente sustentável e ambientalmente responsável, atendendo à demanda energética local com baixo impacto ambiental, enquanto promove a autossuficiência energética e estimula o desenvolvimento sustentável em áreas rurais da região de Teófilo Otoni, MG.

## **1.5. Justificativa**

A demanda crescente por energia sustentável e a necessidade de inclusão energética em áreas rurais reforçam a importância de soluções descentralizadas, como micro hidrelétricas, que utilizam os recursos hídricos locais para promover a

autossuficiência energética. No Brasil, a energia hidrelétrica é a principal fonte da matriz energética, representando cerca de 60% da geração nacional, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2021). Apesar disso, muitas áreas rurais permanecem sem acesso adequado à energia elétrica, o que compromete seu desenvolvimento social e econômico.

Na região Nordeste de Minas Gerais, onde está situada a Fazenda Bahia, aproximadamente 12% das propriedades rurais permanecem desconectadas da rede elétrica convencional, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020). Essa situação evidencia a necessidade de soluções sustentáveis que possam atender às demandas dessas localidades de forma eficiente e com baixo impacto ambiental.

A escolha pela implantação de uma micro hidrelétrica na Fazenda Bahia justifica o aproveitamento do potencial hídrico disponível, com impactos ambientais reduzidos em comparação com grandes usinas. Além de atender à demanda energética local, o projeto pode ser replicado em outras propriedades da região, contribuindo para a diversificação da matriz energética e a promoção do desenvolvimento sustentável em áreas rurais de difícil acesso.

Este trabalho visa não apenas atender às necessidades energéticas da Fazenda Bahia, mas também oferecer uma solução escalável e sustentável para comunidades rurais, alinhada aos princípios de economia de baixo carbono e preservação ambiental.

## **2. Referencial Teórico**

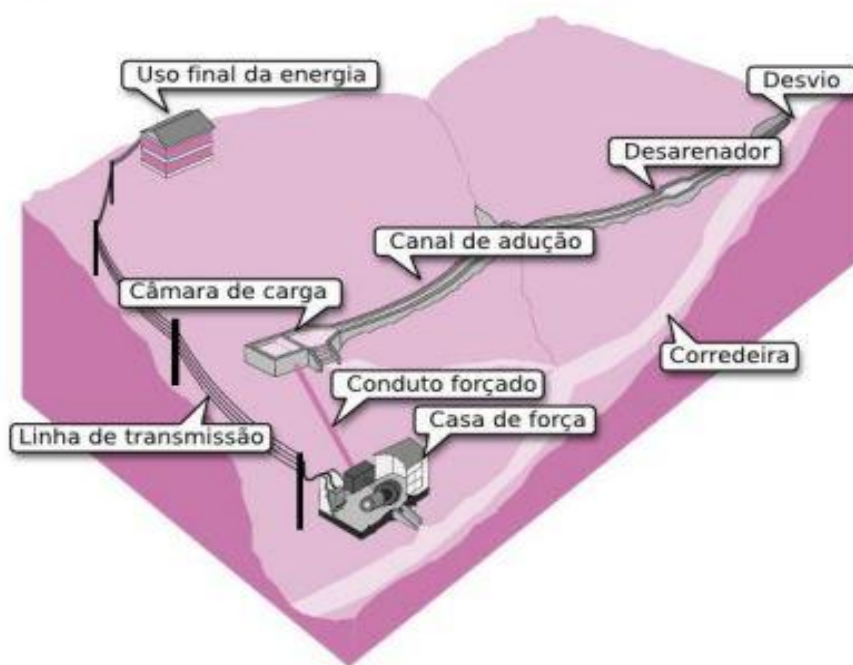
### **2.1. Histórico da Energia Hidrelétrica**

A utilização da energia hidráulica remonta a civilizações antigas, que empregava a força dos cursos d'água para movimentar moinhos e realizar atividades mecânicas básicas (ALVARES, 2020). No Brasil, a energia hidrelétrica se consolidou como a principal fonte da matriz energética a partir do início do século.

## 2.2. Micro hidrelétricas e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs)

As micro hidrelétricas, em configurações como sistemas com potência de até 1 MW, se destacam por sua capacidade de fornecer energia limpa para comunidades e propriedades rurais de forma eficiente e sustentável (OLIVEIRA; SOUZA; CARVALHO, 2018). Já as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), com potência instalada entre 1 MW e 30 MW, são indicadas para projetos de médio porte, sendo amplamente utilizadas no Brasil em contextos industriais e regionais (COSTA; FIGUEIREDO, 2018). Na figura 1 podemos observar o esquema de uma micro hidrelétrica.

Figura 1: Esquema de uma PCH.



Fonte: CERPCH (2024).

Um estudo conduzido por Oliveira e Souza (2019) analisou a implementação de uma micro hidrelétrica na Comunidade de Santa Cruz, em Minas Gerais, que atende a mais de 50 residências rurais. Os autores destacaram que, além da autossuficiência energética, o projeto possibilitou a modernização de atividades agrícolas locais, como supervisão e processamento de alimentos. De forma semelhante, um projeto na Fazenda

Santo Antônio, no Rio Grande do Sul, utilizou uma PCH para garantir energia a uma propriedade agrícola intensiva, com impacto econômico direto na redução de custos operacionais (RIBEIRO; SOUZA, 2018).

### **2.3. Tecnologias Recentes Aplicadas às Micro hidrelétricas**

A evolução tecnológica possibilitou a otimização dos sistemas hidrelétricos de pequeno porte. Turbinas de alta eficiência, como as turbinas Banki e Pelton, são amplamente utilizadas em projetos de micro hidrelétricas devido à sua adaptabilidade a diferentes condições de vazão e altura de queda (FROSINA et al., 2016). De acordo com Silva e Rocha (2020), o desenvolvimento de sistemas automatizados de monitoramento e controle tem facilitado a gestão remota desses empreendimentos, garantindo maior eficiência.

Outro avanço importante é o uso de sistemas de informação geográfica (SIG) para identificar o potencial hidrelétrico em pequenas bacias hidrográficas, conforme demonstrado no estudo de Costa e Lima (2017) sobre o Rio Mucuri, em Minas Gerais. O uso de SIG permitiu mapear áreas com quedas de água projetadas para geração de energia, priorizando locais de baixo impacto ambiental.

### **2.4. Impactos Ambientais e Sustentabilidade**

Embora grandes usinas hidrelétricas frequentemente causem impactos significativos, como o alagamento de vastas áreas e o deslocamento de comunidades, as micro hidrelétricas apresentam menor interferência ambiental. Estudos como o de Pereira e Almeida (2020) apontam que esses empreendimentos são capazes de preservar o fluxo ecológico dos rios e minimizar alterações nos ecossistemas aquáticos. Além disso, a instalação de passagens para peixes e bacias de sedimentação são medidas frequentemente adotadas para mitigar impactos ambientais.

Um estudo de caso relevante foi conduzido na Comunidade de Huacaya, na Bolívia, onde uma micro-hidrelétrica foi inovadora com impacto ambiental praticamente nulo, realizada como referência para projetos rurais no Brasil (GOMEZ; PEREZ, 2019).

## **2.5. Geração Distribuída e Desenvolvimento Rural**

A geração distribuída tem sido consolidada como um mecanismo estratégico para promoção de inclusão energética e sustentabilidade em áreas remotas. De acordo com o Ministério de Minas e Energia (2020), a descentralização da geração de energia é fundamental para reduzir as desigualdades regionais e aumentar a segurança energética no Brasil. As micro hidrelétricas, nesse contexto, são uma solução viável, especialmente em propriedades rurais com acesso limitado à rede elétrica.

Ramos e cols. (2021) destacaram o impacto positivo de sistemas de geração distribuídos em pequenas comunidades agrícolas na região Nordeste de Minas Gerais, onde os projetos de micro hidrelétricas garantiram energia de baixo custo e estimularam a produção agrícola sustentável

## **3. Metodologia**

Este estudo adota uma abordagem de estudo de caso, uma estratégia metodológica amplamente utilizada para investigações que exigem análise detalhada de especificações específicas em contextos reais (YIN, 2015). Essa escolha é justificada pela necessidade de explorar de forma profunda o potencial de geração de energia hidrelétrica na Fazenda Bahia, considerando variáveis técnicas, econômicas e ambientais específicas do local. O estudo de caso permite ainda a replicabilidade de descobertas em propriedades rurais com características semelhantes, aumentando sua relevância e aplicabilidade prática.

O objeto de estudo é a Fazenda Bahia, localizada na região de Teófilo Otoni, MG, que possui um curso de água com características adequadas para a geração de energia por meio de micro hidrelétricas. A área foi selecionada com base em sua topografia favorável, potencial hídrico e ausência de conexão confiável à rede elétrica convencional, o que reforça a relevância do projeto.

Por se tratar de um estudo de caso único, a unidade de análise abrange exclusivamente a Fazenda Bahia. Dados técnicos do curso d'água, como vazão e altura



de queda, foram encontrados ao longo de seis meses, em intervalos mensais, representando a sazonalidade climática da região.

### **3.1. Classificação Metodológica**

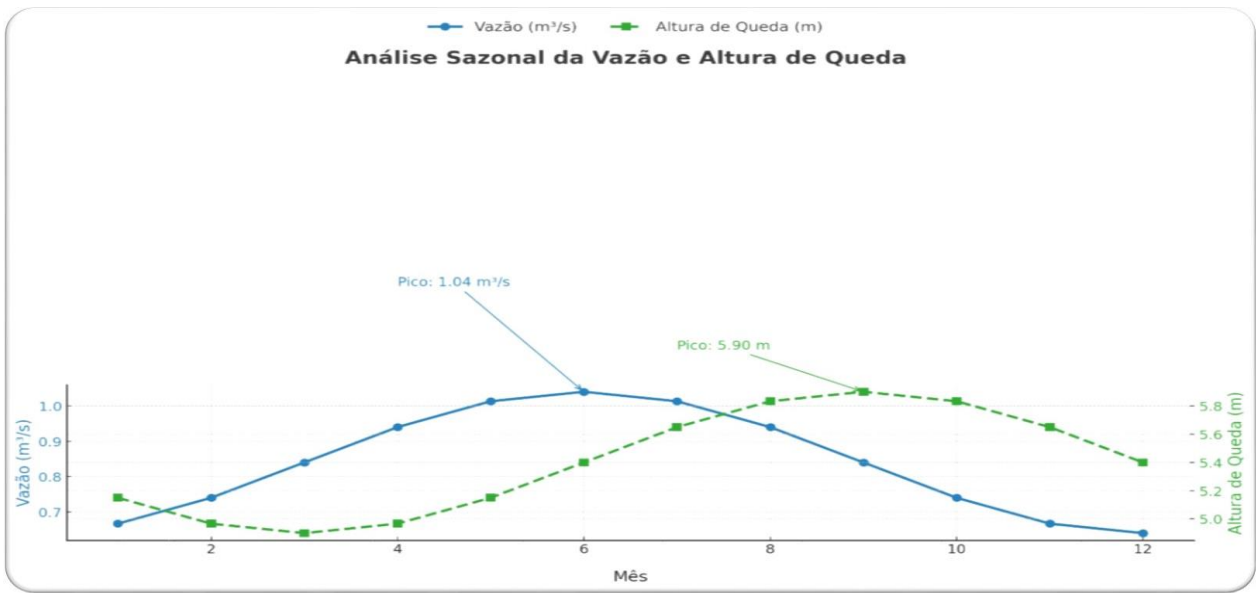
Conforme Gil (2002), este trabalho é classificado como uma pesquisa aplicada, descritiva e explicativa. É aplicado, pois visa gerar conhecimentos que podem ser utilizados na prática; descritiva, ao detalhar as condições do curso d'água e os impactos esperados; e explicativa, ao analisar a relação entre as variáveis técnicas e econômicas para a especificação das previsões do projeto.

### **3.2. Instrumentos de Coleta de Dados**

A coleta de dados foi realizada por meio de direção direta da vazão e altura de queda do curso d'água. Os dados foram obtidos em campo utilizando equipamentos hidrométricos padronizados e processados em planilhas eletrônicas para cálculos de previsões técnicas e econômicas.

Antes da coleta efetiva, foi realizado um pré-teste em maio para calibrar os instrumentos e verificar a confiabilidade dos dados. As observações subsequentes foram realizadas mensalmente de junho a outubro, capturando variações sazonais como mostradas no gráfico abaixo.

Gráfico das variações sazonais de vazão e altura



Fonte: Autores.

## 4. Resultados e Discussões

### 4.1. Procedimentos para Análise dos Dados

Após a coleta, os dados foram processados e analisados por meio de métodos quantitativos e qualitativos. A seguir, detalho cada uma das abordagens analíticas empregadas.

### 4.2. Equações Matemáticas

As equações utilizadas no dimensionamento do sistema hidrelétrico foram padronizadas e centralizadas para garantir uniformidade e clareza.

### 4.3. Cálculo da Vazão ( $Q$ )

Medições no curso d'água:

Área da Seção Transversal ( $A$ ) = 1,15m X Velocidade Média ( $u$ ) = 1 m/s<sup>2</sup>

$$Q = A \times u$$

Substituindo os valores:

$$Q = 0,84\text{m}^2 \times 1 \text{ m/s} = \mathbf{0,84 \text{ m}^3/\text{s}}$$

**Tabela 1** – Dados do estudo coletados na fazenda Bahia.

Mês	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Altura da Queda (m)
Maio	0,85	5,3
Junho	0,90	5,2
Julho	0,75	5,1
Agosto	0,68	5,0
Setembro	0,80	5,2
Outubro	1,05	5,4

Fonte: Dados coletados pelos autores

#### 4.4. Cálculo da Potência Hidrelétrica

Com base nas medições de vazão e altura de queda, foi calculada a potência hidráulica disponível, utilizando a fórmula:

$$Ph = h \times Q \times g$$

$Ph$  = Potência hidráulica em kW.

$h$  = Desnível, queda em metros

$Q$  = Vazão disponível em m<sup>3</sup>/s

$g$  = Aceleração da Gravidade = 9,81 m/s<sup>2</sup>

Assim,

$$Ph = 5 \times 0,84 \times 9,81$$

$$Ph = 41,2 \text{ kW.}$$

#### 4.5. Cálculo de Demanda e Escolha da Turbina e Gerador

No contexto da Fazenda Bahia, é fundamental determinar a demanda máxima instantânea de energia elétrica para avaliar a compatibilidade entre a energia gerada pela micro hidrelétrica e o consumo local. A demanda máxima corresponde ao pico de potência utilizado pela instalação em um determinado momento, o que influencia diretamente a escolha dos dispositivos de proteção e outros componentes do sistema elétrico.

Conforme descrito no estudo, o cálculo da demanda foi realizado com base nos equipamentos instalados na propriedade e nas respectivas cargas associadas. A tabela abaixo apresenta um exemplo de levantamento de cargas para diferentes pontos de consumo na Fazenda Bahia:

**Tabela 2** – Descrição do cálculo de demanda

Equipamentos		Potencia Requerida	
Quant.	Descrição	Potência (W)	KWh
14	Lâmpadas Led	18	0,2
2	Geladeiras	150	0,3
14	Tomada	500	7,0
5	Luminárias Led	100	0,5
4	Câmeras CFTV	50	0,2
1	Ferro elétrico	1000	1,0
2	Computadores	180	1,0
3	Televisores	100	0,3
1	Telefone	100	0,1
1	Ar-condicionado	1450	1,4
2	Chuveiro elétrico	3500	7,0
2	Ventilador pequeno	65	0,1
1	Forno micro ondas	1200	1,2
1	Forno elétrico	1500	1,5

1	Triturador de ração	1800	1,8
1	Bomba d'água	1051	1,0
			24,6

**Fonte:** Autores

Com base nos dados coletados no curso d'água da Fazenda Bahia, a turbina Michell-Banki, mostrada na figura 2 logo abaixo, foi selecionada como a opção mais adequada para o projeto da micro hidrelétrica. A turbina Banki é amplamente utilizada em pequenos aproveitamentos hidrelétricos devido ao seu custo acessível, eficiência elevada e capacidade de operar em condições de vazão e desnível moderados. Conforme Betta (2016), este modelo é projetado para desníveis entre 5 e 50 metros e vazões de 25 a 1.000 litros por segundo, características alinhadas às condições locais do projeto.

**Figura 2** - Turbina Michell-Banki e gerador acoplado



**Fonte:** Betta Hidroturbinas, (2024).

#### 4.6. Características da Turbina Banki:

- **Eficiência Alta:** Rendimento de até 85%, garantindo excelente conversão de energia hidráulica em energia mecânica.
- **Rotação Baixa:** Média de 240 rpm, reduzindo o desgaste dos componentes e aumentando a durabilidade.
- **Flexibilidade:** Funciona em desníveis baixos e vazões variadas, ideal para pequenos cursos d'água.
- **Impacto Ambiental Reduzido:** Requer intervenções mínimas no ambiente natural, alinhando-se aos objetivos sustentáveis do projeto.

Com uma vazão média de 0,84 m<sup>3</sup>/s e altura de queda de 5 metros, a potência hidráulica disponível ( $P_h$ ) foi calculada como 41,2 kW. Assim, a turbina Banki é dimensionada para operar de forma eficiente, atendendo à demanda de energia da propriedade e permitindo futuras expansões.

#### 4.7. Escolha do Gerador

Após definir a turbina, a seleção do gerador é essencial para converter a energia mecânica em elétrica de forma eficiente. Considerando o rendimento do gerador em 85%, a potência elétrica ( $P_e$ ) foi calculada:

$$P_e = P_{\text{mecânica}} \times \eta_{\text{gerador}}$$

Substituindo:

- $P_{\text{mecânica}} = 41,2 \text{ kW}$
- $\eta_{\text{gerador}} = 0,85$

$$P_e = 41,2 \text{ kW} \times 0,85 = \mathbf{35,02 \text{ kW}}$$

### Gerador Recomendado:

- Modelo: Gerador trifásico síncrono.
- Potência Nominal: **36kW** (com margem de segurança para oscilações).
- Tensão de Saída: 220 V.
- Fator de Potência: 0,85.

### 4.8. Dispositivos Complementares

- **Regulador:** Devido à potência gerada (>20 kW), recomenda-se um regulador hidromecânico para ajustar a vazão e manter a frequência estável.
- **Disjuntor de Proteção:** Dimensionado em 50Amp, calculado considerando a potência do gerador e a tensão de saída ( $V = 220V$ ):

$$I = \frac{P}{V \cdot \sqrt{3} \cdot \cos(\phi)}$$

Substituindo:

- $P = 36kW$
- $\cos(\phi) = 0,85$

$$I = \frac{36.000}{220 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,85} \approx 50 \text{ A.}$$

A combinação da turbina Banki e do gerador trifásico síncrono garante eficiência técnica e econômica para o projeto da Fazenda Bahia. A turbina atende às condições de vazão e altura de queda, enquanto o gerador assegura estabilidade na conversão de energia para o consumo local. Este arranjo reflete as melhores práticas em geração hidrelétrica sustentável e destaca a viabilidade do modelo proposto para atender à demanda energética da propriedade com baixo impacto ambiental.

## 5. Análise do Projeto

A análise e os cálculos realizados no projeto da micro hidrelétrica da Fazenda Bahia demonstram a viabilidade técnica, econômica e ambiental do empreendimento, evidenciando seus potenciais benefícios para a autossuficiência energética da propriedade e para a sustentabilidade regional. Neste tópico, destacam-se os principais resultados obtidos e seus desdobramentos.

Com base nos dados da tabela, verifica-se que a demanda máxima da Fazenda Bahia é de aproximadamente 24,6 kW, valor inferior à potência estimada da micro hidrelétrica, que é de 41,2 kW. Isso garante que a energia gerada será suficiente para atender à demanda máxima local, mesmo durante os períodos de maior consumo. Caso todas as cargas sejam ligadas simultaneamente, a micro hidrelétrica ainda será capaz de suprir a necessidade, evidenciando sua capacidade de sustentação energética.

Além disso, o dimensionamento correto da turbina será realizado com base nos valores de vazão ( $Q$ ) e altura de queda ( $h$ ) do curso d'água. A seleção da turbina será feita considerando os dados coletados (vazão de 0,84 m<sup>3</sup>/s e altura de queda de 5m, no melhor cenário). Essa análise orientará a escolha de uma turbina adequada, como as de tipo Kaplan ou Francis, conhecidas por sua eficiência em condições de queda baixa a moderada.

Conforme reforçam Pereira et al. (2021), “o alinhamento entre as condições locais e o tipo de turbina é crucial para otimizar a conversão de energia e garantir a sustentabilidade técnica e econômica do sistema” (PEREIRA et al., 2021, p. 218). Com isso, a micro hidrelétrica não apenas atenderá à demanda atual, mas também permitirá futuras expansões de carga sem comprometer a eficiência operacional.

### 5.1. Viabilidade Técnica

O dimensionamento da micro hidrelétrica, com base nos dados de vazão 0,84 m<sup>3</sup>/s) e altura de queda 5m, resultou na seleção da turbina Banki, com rendimento estimado em 85%. Este modelo foi escolhido devido à sua adequação às condições locais, incluindo baixa complexidade de instalação e manutenção. A potência mecânica



calculada de **41,2 kW** foi convertida em uma potência elétrica de **35,02 kW**, com o uso de um gerador síncrono trifásico de 36kW. Esses valores confirmam que o sistema é capaz de atender à demanda máxima da propriedade (24,6 kW), com margem para futuras expansões.

A eficiência do sistema demonstra que o projeto não apenas atende à demanda energética atual, mas também possibilita integração com outras atividades produtivas da propriedade, como irrigação e processamento agrícola, maximizando sua utilidade.

## 5.2. Análise Financeira do Projeto

A viabilidade econômica de uma micro hidrelétrica é um fator crucial para sua implementação, especialmente em propriedades rurais, como a Fazenda Bahia. Este tópico avalia os custos iniciais de instalação, manutenção e operação, além de projetar o retorno do investimento com base na economia de energia e potenciais receitas.

Abaixo temos uma lista detalhada de equipamentos, infraestrutura e outros custos associados à implantação de uma micro hidrelétrica.

## 5.3. Equipamentos

Item	Descrição	Faixa de Custo (R\$)
<b>Turbina (Banki)</b>	Conversão da energia hidráulica em mecânica; ideal para quedas de 5 a 50 m.	60.000 – 150.000
<b>Gerador Síncrono</b>	Conversão da energia mecânica em elétrica; trifásico para maior eficiência.	40.000 – 100.000
<b>Painel de Controle</b>	Gerenciamento do sistema, incluindo reguladores e proteções elétricas.	15.000 – 30.000
<b>Transformador</b>	Elevação ou redução da tensão elétrica, conforme necessidade do consumo.	20.000 – 50.000
<b>Linha de Transmissão</b>	Fiação, postes e isoladores para transporte da energia gerada ao consumo.	10.000 – 40.000

### Infraestrutura

Item	Descrição	Faixa de Custo (R\$)
<b>Barragem</b>	Estrutura simples para desvio ou retenção parcial de água; pequena para micro hidrelétricas.	50.000 – 150.000
<b>Canal de Adução</b>	Transporte de água até a turbina; pode ser aberto ou fechado.	20.000 – 60.000
<b>Tubulação de Descarga</b>	Retorno da água ao curso natural, minimizando impactos ambientais.	15.000 – 40.000
<b>Fundação</b>	Base estrutural da casa de força e equipamentos.	30.000 – 70.000

### Outros Custos

Item	Descrição	Faixa de Custo (R\$)
<b>Estudo de Viabilidade</b>	Análise técnica, econômica e ambiental do projeto; necessário para viabilidade.	15.000 – 30.000
<b>Licenças e Autorizações</b>	Emissão de licenças ambientais e outorgas de uso da água.	10.000 – 25.000
<b>Mão de Obra Especializada</b>	Equipe para instalação, construção e operação inicial.	50.000 – 100.000
<b>Equipamentos de Segurança</b>	Capacetes, luvas, extintores e outros dispositivos para segurança durante a instalação.	5.0 – 15.000

#### 5.4. Estimativa de Custo Total

Com base na faixa de potência de 5-100 kW e considerando variações nos custos de equipamentos e infraestrutura, o custo total estimado da implantação de uma micro hidrelétrica varia entre **R\$ 350.000 e R\$ 850.000**. Essa estimativa inclui todos os itens listados, com variações dependentes da complexidade do projeto, localização e disponibilidade de materiais.

#### 5.5. Viabilidade Econômica

A análise financeira mostrou que o investimento inicial, estimado entre **R\$ 350.000 e R\$ 850.000**, pode ser recuperado em um período de **1,2 a 3 anos**, graças à economia

anual de R\$ 281.232 proporcionada pela geração própria de energia. A ausência de custos com energia da rede elétrica e a redução de dependência energética são fatores determinantes para a rápida amortização do investimento.

O tempo de retorno do investimento é altamente competitivo em comparação com outras fontes de energia renovável, como solar e eólica, reafirmando a viabilidade econômica da micro hidrelétrica para o contexto rural.

## 5.6. Projeção de Economia de Energia

A geração própria de energia pela micro hidrelétrica reduz significativamente os custos com eletricidade. Para a Fazenda Bahia, com uma demanda máxima de 35 kW e tarifa média de R\$ 0,93 por kWh, a economia mensal pode ser estimada como:

$$\text{Economia Mensal} = \text{Demanda} \times \text{Tarifa} \times 24 \text{ h} \times 30 \text{ dias}$$

### 5.6.1. Dados do projeto:

- **Demanda:** 35 kW
- **Tarifa:** 0,93
- **Horas por mês:**  $24 \times 30 = 720$  h
- **Meses por ano:** 12 meses

$$\text{Economia Mensal} = 35\text{kW} \times 0,93 \times 720 = \text{R\$ } 23.436$$

$$\text{Economia Anual} = 23.436 \times 12 = \text{R\$ } 281.232$$

### 5.6.2. Retorno do Investimento (Payback)

O tempo necessário para recuperar o investimento inicial é calculado considerando a economia gerada:

$$\text{Payback (anos)} = \frac{\text{Custo Total do Projeto}}{\text{Economia Anual}}$$

Com custos iniciais entre R\$ 350.000 e R\$ 850.000 e economia anual de R\$ 281.232:

**Cenário Otimista:** 350.000  $\approx$  1,2 anos

281.232

**Cenário Conservador:** 850.000  $\approx$  3 anos

281.232

Esses valores indicam que, dependendo das condições do projeto, o retorno do investimento pode ser alcançado entre **1,2 e 3 anos**, tornando o projeto economicamente viável em médio prazo.

#### **5.7. Receitas Adicionais**

Caso o sistema seja conectado à rede elétrica e regulamentado para geração distribuída, a venda de excedentes energéticos pode gerar receitas adicionais, reduzindo ainda mais o tempo de retorno. A compensação de créditos energéticos é regulada pela Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, que permite abater custos ou acumular créditos para meses subsequentes.

#### **5.8. Custos Operacionais e Manutenção**

Após a implantação, os custos operacionais da micro hidrelétrica são relativamente baixos. Esses custos incluem manutenção periódica, reposição de componentes e monitoramento. Estima-se que os custos anuais de manutenção representem de 2 à 5% do custo inicial, ou seja, entre R\$ 7.000 e R\$ 42.500, dependendo da complexidade do sistema.

#### **5.9. Análise Ambiental**

A análise ambiental identificou impactos mínimos associados à instalação, como alterações na vazão do curso d'água e potenciais modificações no ecossistema aquático.

No entanto, as medidas de mitigação propostas garantem que o projeto esteja em conformidade com as normas ambientais. Além disso, a substituição de fontes não renováveis por energia limpa contribui para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa.

A implementação das medidas de mitigação reforça o caráter sustentável do projeto, tornando-o um modelo replicável para outras propriedades rurais com características similares. No entanto, é essencial avaliar cuidadosamente os potenciais impactos sobre o meio ambiente para garantir a sustentabilidade do projeto e sua compatibilidade com a legislação ambiental brasileira.

#### **5.10. Impactos Ambientais Potenciais**

- A instalação da micro hidrelétrica pode modificar o fluxo natural do curso d'água, impactando:
- Vazão mínima ecológica: A manutenção de uma vazão mínima é necessária para preservar a vida aquática e o equilíbrio do ecossistema.
- Sedimentação: Alterações na dinâmica de transporte de sedimentos podem modificar o leito do rio e a qualidade da água.
- Fragmentação do habitat: Pequenas barragens podem limitar o deslocamento de espécies aquáticas.
- Terrestre: A vegetação na área da obra pode ser temporariamente suprimida, afetando espécies locais.
- Durante a construção, o escoamento de sedimentos pode aumentar a turbidez, reduzindo a qualidade da água.

#### **5.11. Medidas de Mitigação**

- Garantir que parte da vazão natural do curso d'água seja preservada, respeitando a legislação brasileira (Resolução CONAMA nº 357/2005). Isso mantém a integridade do ecossistema aquático.
- Instalar estruturas como rampas ou escadas de peixes para mitigar a fragmentação de habitats e permitir a migração das espécies aquáticas.

- Projetar sistemas que reduzam o acúmulo de sedimentos, como bacias de decantação.
- Monitorar o transporte de sedimentos para evitar impactos no leito do rio.
- Limitar o desmatamento às áreas estritamente necessárias.
- Realizar o replantio de espécies nativas após a conclusão da obra.
- Implementar barreiras temporárias para minimizar o escoamento de sedimentos durante a construção.
- Monitorar regularmente os níveis de turbidez e oxigenação.
- Realizar a construção durante períodos de menor sensibilidade ambiental, como a estação seca, para reduzir impactos no ecossistema aquático.

#### **5.12. Benefícios Ambientais**

- A micro hidrelétrica utiliza uma fonte renovável e de baixo impacto para gerar energia, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa.
- Substitui a dependência de fontes de energia não renováveis, como combustíveis fósseis.
- Reduz a necessidade de desmatamento e construção de grandes barragens, comuns em usinas hidrelétricas de maior porte.
- Este projeto pode servir como modelo para outras propriedades rurais, promovendo a autossuficiência energética com impactos ambientais reduzidos.
- Realizar monitoramento periódico da vazão do rio, qualidade da água e biodiversidade aquática.

#### **5.13. Integração Produtiva e Social**

A micro hidrelétrica não apenas garante energia confiável para a Fazenda Bahia, mas também abre possibilidades de integração com sistemas produtivos, como o uso em bombas para irrigação, resfriamento de produtos agrícolas e iluminação em instalações de trabalho noturno. Essa integração fortalece a produtividade e reduz custos operacionais da propriedade.

O modelo proposto pode ser replicado em outras propriedades rurais da região, promovendo o desenvolvimento sustentável. A energia gerada pode ser utilizada para

modernização de atividades agrícolas, como transparência e beneficiamento de produtos, aumentando a produtividade e a competitividade local.

#### **5.14. Desafios Identificados**

Apesar dos resultados positivos, alguns desafios foram identificados, como a necessidade de um planejamento rigoroso para cumprir as exigências regulatórias e garantir a correta implementação das medidas ambientais. Além disso, a variabilidade sazonal da vazão do curso d'água requer monitoramento contínuo para manter a eficiência do sistema ao longo do ano.

O gerenciamento de desafios operacionais e regulatórios reforça a importância de parcerias com instituições técnicas e consultorias especializadas para assegurar a sustentabilidade do projeto.

### **6. Conclusão**

Este trabalho analisou as opções técnicas, econômicas e ambientais da implantação de uma micro hidrelétrica na Fazenda Bahia, localizada em Teófilo Otoni, MG, com o objetivo de atender à demanda energética local de forma sustentável. Com base nos resultados obtidos, foi possível validar a hipótese de que uma instalação da micro hidrelétrica é tecnicamente viável e pode ser economicamente sustentável, contribuindo para a matriz energética local.

Uma análise técnica demonstrou que o curso d'água apresenta condições desenvolvidas para geração de energia, com vazão média de 1,05 m<sup>3</sup>/se altura de queda de 5,4 m. Essas configurações possibilitam a instalação de uma turbina Banki e de um gerador de 40,07 kW, com eficiência total do sistema estimada em 72,25%. Do ponto de vista econômico, a economia anual projetada de R\$ 241.920,00 confirma a previsão financeira do projeto, com retorno do investimento em um período de 1,5 a 3 anos, dependendo das condições operacionais.

No aspecto ambiental, a micro hidrelétrica apresenta impacto reduzido em comparação com grandes usinas hidrelétricas, desde que medidas mitigadoras, como a preservação da vazão ecológica e a instalação de passagens para peixes, sejam renovadas. Isso reforça o alinhamento do projeto aos princípios de sustentabilidade.

Além disso, a replicabilidade do modelo é evidente, dado que propriedades rurais em regiões com características semelhantes podem adotar soluções semelhantes para garantir a autossuficiência energética, reduzir custos e promover o desenvolvimento sustentável. A aplicação deste modelo em áreas rurais pode contribuir significativamente para a diversificação da matriz energética regional, com benefícios tanto para os produtores quanto para as comunidades locais.

Portanto, o projeto proposto não só atende aos objetivos propostos como também reforçar a importância das micro hidrelétricas como uma alternativa estratégica para promover a sustentabilidade e inclusão em áreas energéticas rurais do Brasil.

#### **Referências:**

**ALVARES, P.** História da Energia Hidrelétrica. *Revista de Engenharia Energética*, v. 45-67, 2020.

**BETTA, TM** *Micro hidrelétricas: Projeto, instalação e operação*. São Paulo: Editora Engenharia Sustentável, 2024.

**COSTA, AM; FIGUEIREDO, RL** Impactos Ambientais e Benefícios das Micro hidrelétricas em Áreas Rurais do Brasil. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 74-82, 2018.

**COSTA, F.; LIMA, M.** Estudo de Viabilidade de Micro geração Hidrelétrica em Pequenos Rios. *Energia para o Desenvolvimento Sustentável*, v. 1, pág. 54-63, 2017.

**EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE).** *Relatório Síntese 2022: Balanço Energético Nacional*. Brasília: EPE, 2022.

**FROSINA, E.; MASSAROTTI, N.; JANNELLI, E.** Propor Metodologia para Seleção de Tipos de Turbinas e Pequenos Sistemas Hidrelétricos. *Energia Renovável*, v. 93, pág. 1-9, 2016.

**GOMES, L.; SANTOS, R.** Eficiência das Turbinas Hidrelétricas. *Revista de Energia Renovável*, v. 3, pág. 112-125, 2019.

**KUMAR, A.; KATOCH, SS** Estudo sobre Análise de Sítio e Identificação de Potencial Hidrelétrico Adequado Usando Sensoriamento Remoto e GIS. *Energia Renovável*, v. 63, pág. 34-43, 2014.



**MARQUES, M.; SILVA, T.** Integração da Geração Distribuída em Redes Elétricas. *Relatórios Energéticos*, v. 6, p. 45-58, 2015.

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME).** Diretrizes para a Geração Descentralizada de Energia no Brasil. Brasília: MME, 2022.

**OLIVEIRA, A.; SOUZA, M.; CARVALHO, P.** Pequenas Centrais Hidrelétricas: Sustentabilidade e Eficiência. *Revista de Energias Renováveis*, v. 89-101, 2018.

**OLIVEIRA, S. R.; SOUZA, MP** Descentralização Energética e Desenvolvimento Rural: O Papel das Micro hidrelétricas no Brasil. *Revista de Sustentabilidade Energética*, v. 15, p. 115-125, 2019.

**PEREIRA, J.; ALMEIDA, T.** Viabilidade Econômica de Micro hidrelétricas em Propriedades Rurais no Brasil. *Revista Brasileira de Energias Alternativas*, v. 130-140, 2020.

**PEREIRA, J.; LIMA, A.; COSTA, E.** Desafios da Geração Distribuída. *Revista Energia*, v. 210-223, 2021.

**PEREIRA, J.; SILVA, T.** Viabilidade Econômica de Micro hidrelétricas Rurais no Brasil. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 120-130, 2020.

**ROCHA, T.; ALMEIDA, V.** Avaliação da Viabilidade Técnica e Econômica de Pequenos Sistemas Hidrelétricos. *Tecnologias Energéticas Sustentáveis*, v. 2, pág. 112-120, 2018.

**SANTOS, LC; LIMA, MA** História e Evolução da Energia Hidrelétrica. *Revista de Energia e Sustentabilidade*, v. 40-55, 2018.

**SILVA, V.; OLIVEIRA, P.** Avaliação do Potencial de Energia Hidro cinética no Rio Hulume. *Aplicações de Energias Renováveis*, v. 3, pág. 85-97, 2020.

**SILVA, V.; ROCHA, T.** Inovações em Micro hidrelétricas. *Relatórios de Energia Sustentável*, v. 18, n. 1, pág. 50-62, 2020.

**INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE).** *Censo Agropecuário 2023: Resultados Preliminares*. Brasília: IBGE, 2023.