

ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO DO RIBEIRÃO LAVAPÉS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR MICRO CENTRAL HIDRELÉTRICA

Francienne Góis Oliveira¹; Odivaldo José Seraphim²; Marcelo Lucas¹; Leandro Aureliano da Silva¹

¹ Universidade de Uberaba - UNIUBE

² Universidade Estadual Paulista - UNESP

Autor Correspondente: francienne79@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.31496/retii.v3i1.2051>

RESUMO

A geração de energia elétrica por meio do aproveitamento hidráulico constitui uma alternativa relevante no contexto da transição energética e da utilização de fontes renováveis. As microcentrais hidrelétricas (MCH) destacam-se como soluções viáveis para geração descentralizada, especialmente em áreas rurais e sistemas isolados. Este estudo teve como objetivo avaliar o potencial energético aproveitável do Ribeirão Lavapés, localizado na Fazenda Experimental Lageado, no município de Botucatu (SP), visando à reativação de uma microcentral hidrelétrica existente. A metodologia baseou-se na análise hidrológica por meio de modelo chuva-vazão, utilizando dados de curva de permanência para os anos de 2009 a 2012. Foram consideradas as vazões de 50% ($Q_{50} = 1,26 \text{ m}^3/\text{s}$) e 95% ($Q_{95} = 0,18 \text{ m}^3/\text{s}$) de permanência. A partir desses dados, calcularam-se o potencial hidráulico, a potência útil e a energia firme do sistema, além da seleção do tipo de turbina por meio de ábaco técnico. Os resultados indicaram potencial energético de até aproximadamente 210 kW para condições de vazão mais favoráveis, evidenciando a viabilidade técnica do aproveitamento hidrelétrico na área estudada. Conclui-se que o Ribeirão Lavapés apresenta potencial significativo para geração de energia elétrica em pequena escala, sendo a reativação da microcentral condicionada à avaliação integrada de aspectos técnicos, econômicos e ambientais.

Palavras-chave: microcentral hidrelétrica; vazão; energia.

ABSTRACT

Hydropower generation represents an important alternative within the context of renewable energy and energy transition. Micro hydropower plants (MHP) stand out as viable solutions for decentralized energy production, particularly in rural areas and isolated systems. This study aimed to evaluate the energy potential of the Lavapés Stream, located at the Lageado Experimental Farm, in Botucatu (SP), Brazil, focusing on the reactivation of an existing micro hydropower plant. The methodology was based on hydrological analysis using a rainfall-runoff model, considering flow duration curve data from 2009 to 2012. Flow rates corresponding to 50% ($Q_{50} = 1.26 \text{ m}^3/\text{s}$) and 95% ($Q_{95} = 0.18 \text{ m}^3/\text{s}$) exceedance probabilities were adopted. Hydraulic potential, useful power, and firm energy were calculated, and turbine selection was performed using technical charts. The results indicated an energy potential of approximately 210 kW under favorable flow conditions, demonstrating the technical feasibility of hydropower generation in the study area. It is concluded that the Lavapés Stream presents significant potential for small-scale electricity generation, although the reactivation of the system depends on integrated technical, economic, and environmental assessments.

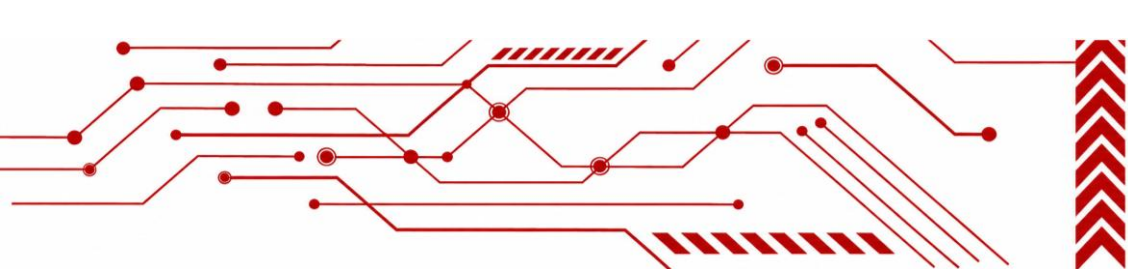
Keywords: micro hydropower plant; flow rate; energy.

1 INTRODUÇÃO

A energia sempre foi um elemento fundamental na vida e no desenvolvimento do ser humano. No contexto mundial, esse insumo tornou-se o centro das atenções e dos esforços governamentais. Ao mesmo tempo em que se torna necessária a expansão da oferta para garantir o crescimento econômico dos países diante do mercado globalizado, problemas ambientais como o aquecimento global, obrigam que essa expansão ocorra de forma sustentável, privilegiando as fontes renováveis.

Uma das alternativas para a geração de energia elétrica é através da transformação da energia hidráulica disponível. As hidrelétricas são a principal fonte de energia elétrica no Brasil, com 66,90% da potência instalada e as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH - empreendimentos com aproveitamento hidrelétrico entre 1 MW e 30 MW, com área de reservatório inferior a 3 km^2), 3,30% e as Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH - capacidade instalada de até 1MW) 0,18% (ANEEL, 2012).

As Microcentrais Hidrelétricas (MCH) ou Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH) representam uma importante alternativa de produção e uso localizado de energia renovável em relação aos sistemas energéticos centralizados, promovendo a ampliação da oferta de energia elétrica em áreas isoladas,



pequenos centros agrícolas e industriais, e também para ações nas áreas de saúde, educação, informações e segurança. Por serem menores, são mais baratas de construir, causam menor dano ambiental, podem ser construídas em rios com menor vazão e contribuem para a descentralização da geração de eletricidade. Para tanto, torna-se necessário o estudo hidrológico para avaliar o potencial hidrelétrico aproveitável de um rio que alimentará uma CGH.

No Brasil, de acordo com o Banco de Informações da Geração da ANEEL, em novembro de 2011, existiam em operação 377 CGHs, com potência total de 216,42 kW; 433 pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) – 3,8 mil MW de potência instalada e 181 usinas hidrelétricas (UHE) com uma capacidade total instalada de 78 mil MW. As usinas hidrelétricas, independentemente de seu porte, respondem por 70,5% da potência total instalada no país, de 114,135 mil MW (ANEEL, 2012).

O objetivo do estudo foi analisar a viabilidade técnica para reativação da Microcentral hidrelétrica situada na Fazenda Lageado (Botucatu/SP) analisando-se o potencial energético aproveitável do Ribeirão Lavapés – área contribuição.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Microcentrais Hidrelétricas: fundamentos e aplicabilidade

As microcentrais hidrelétricas (MCH) constituem sistemas de geração de energia elétrica baseados no aproveitamento do potencial hidráulico de cursos d'água. Segundo Simone (2000), esse tipo de geração ocorre por meio da conversão da energia hidráulica em energia mecânica, a partir do movimento de rotação de turbinas acionadas pela vazão e pelo desnível do curso d'água, sendo posteriormente transformada em energia elétrica por meio de um gerador.

O desempenho desses sistemas está diretamente associado às características hidráulicas do local, especialmente à altura de queda e à vazão disponível, fatores que determinam a potência gerada (Eletrobrás, 2000). No contexto brasileiro, empreendimentos com potência reduzida apresentam regime regulatório simplificado, conforme estabelecido pela Constituição Federal (Brasil, 1988) e regulamentado pelo Decreto nº 2.003/1996 (Brasil, 1996), o que favorece sua implantação em sistemas descentralizados de geração.

Além disso, as MCHs apresentam menor impacto ambiental quando comparadas a grandes usinas hidrelétricas, sendo consideradas alternativas viáveis para geração sustentável de energia, especialmente em regiões rurais e de difícil acesso (Eletrobrás, 1999).



2.2 Classificação dos aproveitamentos hidrelétricos

Os aproveitamentos hidrelétricos podem ser classificados de acordo com sua potência instalada e características hidráulicas. Conforme critérios estabelecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), as centrais podem ser divididas em microcentrais hidrelétricas (MCH), centrais geradoras hidrelétricas (CGH) e pequenas centrais hidrelétricas (PCH) (ANEEL, 2003).

As CGHs correspondem a empreendimentos com potência igual ou inferior a 1.000 kW, enquanto as PCHs abrangem usinas com potência superior a 1.000 kW e inferior ou igual a 30.000 kW, com restrições quanto à área do reservatório (ANEEL, 2003). Essa classificação influencia diretamente os requisitos de licenciamento, os custos de implantação e a complexidade operacional dos sistemas (Eletrobrás, 2000).

2.3 Componentes e funcionamento de uma microcentral hidrelétrica

Uma microcentral hidrelétrica é composta por um conjunto integrado de estruturas hidráulicas e eletromecânicas. A barragem, por exemplo, tem como função elevar o nível d'água do rio, possibilitando a captação do fluxo necessário à geração de energia (Eletrobrás, 1999).

A tomada de água é responsável por direcionar e controlar o fluxo hídrico até o sistema de adução, sendo composta por dispositivos como grades de proteção e comportas, que garantem a segurança e a eficiência do sistema (Simone, 2000).

Estruturas auxiliares, como o desarenador, têm a função de remover partículas sólidas transportadas pela água, evitando o desgaste prematuro das turbinas (Eletrobrás, 1985). O sistema de adução pode ser realizado por canais abertos ou tubulações de baixa pressão, dependendo das condições topográficas e econômicas do projeto (Balarim, 1999).

A câmara de carga atua na estabilização do fluxo e na redução dos efeitos do golpe de aríete, fenômeno hidráulico que pode comprometer a integridade das estruturas (Simone, 2000). Já a tubulação forçada conduz a água sob alta pressão até a turbina, sendo um dos elementos críticos para o desempenho do sistema (Eletrobrás, 1985).

Na casa de máquinas encontram-se a turbina hidráulica e o gerador, responsáveis pela conversão da energia hidráulica em energia elétrica. A escolha da turbina deve considerar parâmetros como vazão, altura de queda e condições operacionais, sendo determinante para a eficiência do sistema (Eletrobrás, 1999).

2.4 Eficiência e inovação em sistemas de microgeração

hidrelétrica

A eficiência de uma microcentral hidrelétrica está diretamente relacionada ao adequado dimensionamento de seus componentes e à integração entre os sistemas hidráulico e eletromecânico. Segundo Eletrobrás (1999), a escolha correta da turbina e o controle das perdas hidráulicas são fatores determinantes para o desempenho global da usina.

Nos últimos anos, a incorporação de tecnologias de automação e monitoramento remoto tem contribuído para o aumento da eficiência operacional dessas unidades, reduzindo custos de manutenção e ampliando a confiabilidade dos sistemas (Eletrobrás, 2000).

Além disso, a adoção de soluções simplificadas e de baixo custo construtivo tem favorecido a expansão das MCHs como alternativa para geração distribuída de energia, especialmente em áreas rurais (Balarim, 1999).

2.5 Contextualização histórica: a microcentral do Lageado

A microcentral hidrelétrica da Fazenda Experimental Lageado, em Botucatu (SP), constitui um exemplo relevante da aplicação de sistemas de geração descentralizada no Brasil. De acordo com Hasegawa (1999) e Piza (2002), o projeto da usina foi desenvolvido na década de 1930, com o objetivo de suprir demandas energéticas locais associadas à produção agrícola.

O sistema integrava diferentes usos da energia gerada, incluindo beneficiamento de produtos agrícolas e acionamento de equipamentos mecânicos, demonstrando a versatilidade das MCHs em contextos produtivos.

Esse caso evidencia a viabilidade técnica e econômica da geração hidrelétrica em pequena escala, além de antecipar conceitos atualmente associados à sustentabilidade e à geração distribuída de energia (Hasegawa, 1999; Piza, 2002).

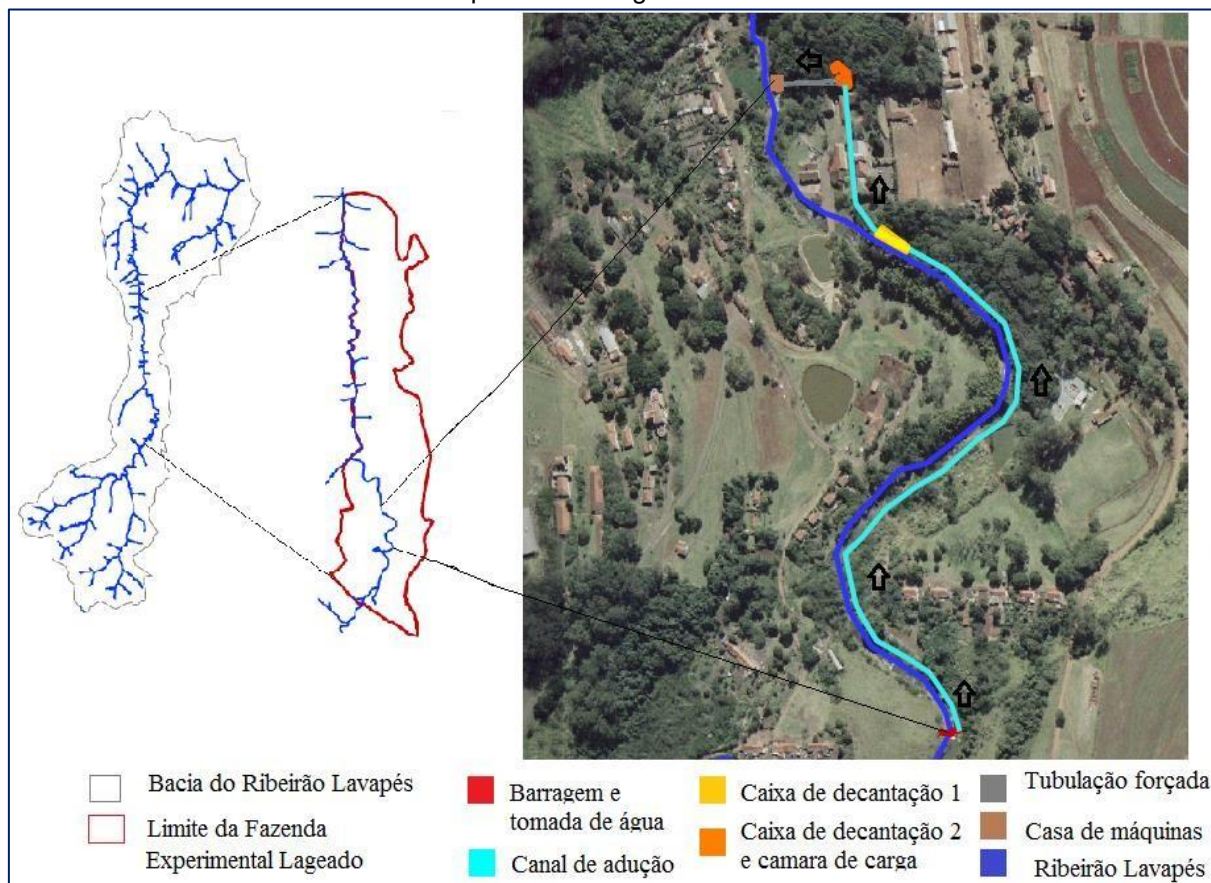
3 METODOLOGIA

3.1 Área de Estudo

A área de estudo localiza-se na Bacia do Ribeirão Lavapés, situada na Fazenda Experimental Lageado, no município de Botucatu (SP). A região apresenta características favoráveis ao aproveitamento hidrelétrico de pequeno porte, em função da disponibilidade hídrica e do desnível natural do terreno.

A Figura 1 apresenta a localização da área e as principais estruturas que compõem a microcentral hidrelétrica (MCH) analisada.

Figura 1 – Localização da área de estudos e estruturas que compõem a MCH da Fazenda Experimental Lageado



Fonte: Autora, 2025.

As principais características hidráulicas e operacionais do sistema são apresentadas na Tabela 1, incluindo vazões características, dimensões estruturais e parâmetros de operação, conforme levantamento realizado por Piza (2002).

Tabela 1 – Elementos que caracterizam a MCH da Fazenda Lageado

Parâmetro/Característica	Parâmetro/Característica
Vazão do rio Lavapés (Q95)	0,70 m ³ s ⁻¹
Vazão total Desviada	0,35 m ³ s ⁻¹
Vazão desviada para a PCH	0,25 m ³ s ⁻¹
Vazão desviada extra disponível	0,10 m ³ s ⁻¹

Parâmetro/Característica	Parâmetro/Característica
Vazão a jusante da Barragem	0,25 m ³ s ⁻¹
Altura da Barragem	1,80 m
Extensão da Barragem	23,10m
Comprimento do Canal escavado no solo	960 m
Desnível no canal escavado no solo	1,48 m
Velocidade da água no desarenador	0,044 m.s ⁻¹
Comprimento da Galeria de adução	115 m
Comprimento da Tubulação Forçada	80,70 m
Diâmetro da Tubulação Forçada	45 cm
Queda útil	20 m
Vazão Turbinada	0,20 a 0,23 m ³ s ⁻¹
Turbina tipo Francis com caixa espiral	Marca STOLTZ – 30kW
Área construída da casa de máquinas	21,45m ²
Capacidade mensal média do sistema	23,5 MWh.mês ⁻¹

Fonte: PIZA, 2002.

3.2 Procedimentos Metodológicos

A metodologia adotada neste estudo baseou-se na avaliação do potencial hidráulico e energético da microcentral, bem como na análise dos parâmetros operacionais do sistema existente.

Inicialmente, foram coletados dados secundários referentes às características hidráulicas do Ribeirão Lavapés e às condições operacionais da MCH, incluindo vazão, altura de queda e dimensões das estruturas.

Em seguida, foi realizado o cálculo do potencial hidráulico teórico, utilizando a relação entre vazão e desnível, conforme proposto por Nogueira e Thiago Filho (2007). Posteriormente, foi estimada a potência útil do sistema, considerando o rendimento global do conjunto turbina-gerador.

3.2.1 Cálculo do potencial hidráulico

O potencial hidráulico disponível foi determinado a partir da Equação (1):

$$P_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

Onde:

P_h = potência hidráulica (W);

ρ = massa específica da água (kg/m^3);

g = aceleração da gravidade (m/s^2);

Q = vazão (m^3/s);

H = altura de queda (m).

De acordo com Nogueira e Thiago Filho (2007), essa equação representa a energia disponível no escoamento de um curso d'água submetido a um desnível.

Considerando as perdas inerentes ao sistema, a potência útil foi obtida pela Equação (2):

$$P_u = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

Onde:

P_u = potência útil (kW);

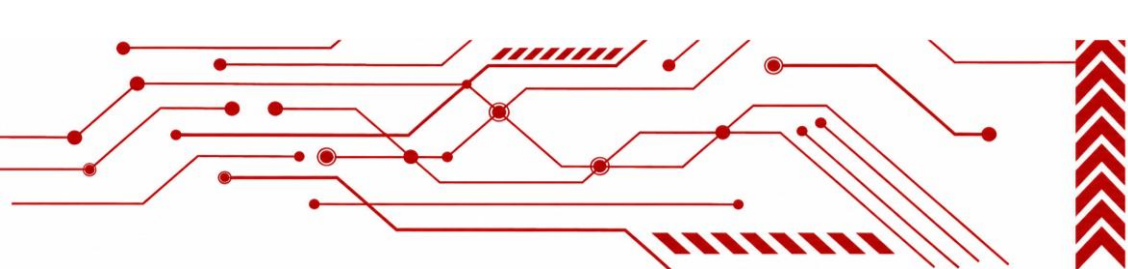
η = rendimento global do sistema.

Adotou-se rendimento médio de 85%, conforme recomendado para microcentrais hidrelétricas (Eletrobrás, 2000).

3.2.2 Estimativa da energia firme

A avaliação do potencial energético do sistema foi complementada pela estimativa da energia firme, definida como a produção contínua máxima considerando o período crítico de vazões (ANEEL, 2005).

A energia firme foi estimada conforme a Equação (3):



$$E_{fe} = 0,0083 \cdot Q \cdot H_{liq} \cdot \eta$$

Onde:

E_{fe} = energia firme (MW médios);

Q = vazão característica (m^3/s);

H_{liq} = queda líquida (m);

η = rendimento do sistema.

3.2.3 Seleção do tipo de turbina

A definição do tipo de turbina mais adequado foi realizada com base na relação entre vazão e altura de queda, utilizando como referência os diagramas de seleção propostos pela Eletrobrás (1985).

Esse procedimento permite identificar a faixa de aplicação das turbinas hidráulicas, sendo a escolha preliminar realizada a partir da posição do ponto de operação no ábaco característico.

Para o caso em estudo, os parâmetros hidráulicos indicam a aplicação de turbina do tipo Francis, adequada para condições intermediárias de vazão e queda.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A vazão do Ribeirão Lavapés, referente à área de contribuição da microcentral hidrelétrica (MCH), foi estimada por meio de simulação hidrológica utilizando modelo chuva-vazão. Foram consideradas vazões obtidas a partir da curva de permanência para os anos de 2009 a 2012, adotando-se os percentis de 50% ($Q_{50} = 1,26 m^3/s$) e 95% ($Q_{95} = 0,18 m^3/s$), conforme recomendado por Eletrobrás (1985) para dimensionamento de sistemas hidrelétricos de pequeno porte.

A partir desses valores e considerando uma queda útil de 20 m, foram determinados os parâmetros energéticos apresentados na Tabela 2. Observa-se que o potencial hidráulico varia de 35,32 kW (Q_{95}) a 247,21 kW (Q_{50}), resultando em potência útil entre 30,02 kW e 210,13 kW, respectivamente. A energia firme estimada apresentou valores de 26,89 kW (Q_{95}) e 188,24 kW (Q_{50}), evidenciando a dependência direta da geração energética em relação à disponibilidade hídrica.



Tabela 2 - Dados obtidos na determinação do potencial energético do Ribeirão Lavapés a 50% e 95% de permanência

Dados do Ribeirão Lavapés				
Vazão - Curva de Permanência		Q50%	Q95%	m^3s^{-1} m^3s^{-1}
		1,26	0,18	
Altura - queda	H	20	20	m
Altitude local	HL	750	750	m

Dados Hidráulicos				
Potencial hidráulico	Ph	247,21	35,32	kW
Potência útil	Pu	210,13	30,02	kW
Energia firme	Efe	188,24	26,89	kW

Fonte: a autora, 2026.

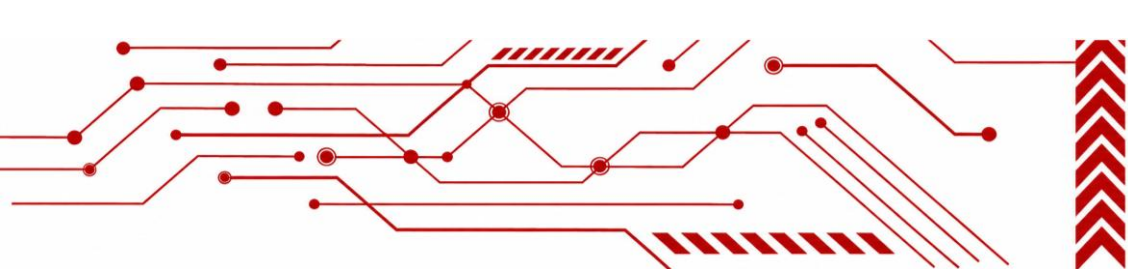
A análise dos resultados indica que a adoção da vazão de 95% de permanência resulta em maior segurança operacional, sendo recomendada para sistemas isolados, conforme destacado por Eletrobrás (1985). Entretanto, para sistemas interligados à rede elétrica, a utilização da vazão de 50% de permanência pode ser mais vantajosa, uma vez que maximiza a produção energética ao longo do tempo, ainda que com maior variabilidade.

Com base nos parâmetros hidráulicos obtidos, a seleção da turbina foi realizada utilizando o ábaco proposto por Eletrobrás (1985), indicando a aplicação de turbinas do tipo Francis para ambas as condições analisadas. Para a vazão de 1,26 m^3/s , a potência estimada é da ordem de 100 kW, enquanto para a vazão de 0,18 m^3/s a potência reduz-se para aproximadamente 20 kW.

A MCH existente apresenta turbina do tipo Francis com potência nominal de 30 kW, operando com vazão de aproximadamente 0,35 m^3/s . Esse valor intermediário sugere que o sistema foi originalmente dimensionado considerando condições médias de operação, possivelmente buscando equilíbrio entre segurança hídrica e geração energética.

Do ponto de vista da engenharia, os resultados evidenciam que o potencial energético da área é significativo para aplicações em microgeração distribuída. No entanto, a diferença entre os cenários de vazão demonstra a necessidade de estratégias operacionais que considerem a variabilidade hidrológica, especialmente em contextos de mudanças climáticas e sazonalidade.

Além disso, a modernização do sistema, com a incorporação de tecnologias de controle e automação, pode contribuir para otimizar a eficiência



energética e a confiabilidade operacional da microcentral, ampliando sua viabilidade no cenário atual de transição energética.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos indicam que o Ribeirão Lavapés apresenta potencial hidráulico tecnicamente viável para geração de energia elétrica por meio de microcentral hidrelétrica, com capacidade estimada de até aproximadamente 210 kW em condições favoráveis de vazão.

A análise comparativa entre os cenários de vazão (Q50 e Q95) evidenciou que a escolha da vazão de projeto exerce influência direta sobre a eficiência e a estabilidade da geração, sendo necessária a adequação do sistema ao contexto de operação, seja isolado ou interligado à rede elétrica.

A presença de uma estrutura preexistente com turbina do tipo Francis reforça a adequação técnica do aproveitamento hidráulico local, embora a capacidade instalada atual seja inferior ao potencial estimado, indicando possibilidade de ampliação ou modernização do sistema.

Entretanto, a viabilidade de reativação da MCH está condicionada à realização de estudos atualizados de ordem econômica, ambiental e regulatória. Destaca-se que a área em estudo apresenta restrições associadas ao patrimônio histórico, sob proteção do Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Arqueológico, Artístico e Turístico (Condephaat), o que pode limitar intervenções estruturais.

Adicionalmente, a necessidade de reconstrução de estruturas e adequação do sistema de adução, incluindo possíveis exigências de natureza arqueológica, representa um fator crítico para a tomada de decisão.

Dessa forma, conclui-se que, embora o potencial energético seja significativo, a viabilidade do empreendimento depende da integração entre aspectos técnicos, econômicos, ambientais e patrimoniais, sendo recomendada a realização de estudos complementares para subsidiar a reativação da microcentral no contexto atual.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Guia do empreendedor de pequenas centrais hidrelétricas**. Brasília: ANEEL, 2003. 704 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução ANEEL N° 652, de 9 de dezembro de 2003**. Brasília: ANEEL, 2003. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2003652.pdf>



AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Energia Assegurada**. (Cadernos Temáticos ANEEL; 3). Brasília: ANEEL, 2005. 18 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Relatório ANEEL 2011**. Brasília: ANEEL, 2012. 108 p. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/Relatorio_Aneel_2011.pdf. Acesso em: maio 2026.

BALARIM, C. R. **Estimativa de custo das estruturas e equipamentos de microcentrais hidrelétricas**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. 1999. 158p.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988.

BRASIL. **Decreto nº 2.003, de 10 de setembro de 1996**. Regulamenta a produção de energia elétrica por produtor independente e por autoprodutor. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 11 set. 1996.

BRASIL. **Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995**. Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 8 jul. 1995.

ELETROBRÁS. Ministério das Minas e Energia. **Diretrizes para estudos e projetos de pequenas centrais hidrelétricas**. Rio de Janeiro. 2000. 458p.

ELETROBRÁS. Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica. **Diretrizes para projetos de PCH**. Rio de Janeiro, 1999. 350p.

ELETROBRAS. Ministério das Minas e Energia. **Manual de microcentrais hidrelétricas**. Rio de Janeiro. 1985. 354p.

HASEGAWA, M. M. **Avaliação técnica para a reativação de uma PCH na Fazenda Experimental Lageado**, Botucatu-SP. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu/SP. 1999. 94p.

NOGUEIRA, F. J. H. TIAGO FILHO, G. L. **Microcentrais hidrelétricas**. CERPCH - Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas. Itajubá, MG, 2007. 32p.

PIZA, F. J. T. **Avaliação para Recuperação das obras civis da micro central hidrelétrica Instalada na Fazenda Lageado Unesp - Botucatu**. 2002. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, Botucatu, 2002.

SIMONE, G. A. **Centrais e aproveitamentos hidrelétricos**. São Paulo: Érica, 2000. 246p.