

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS**

**PAULO EDUARDO MENDONÇA**

**USO DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO PARA A MICROGERAÇÃO DE ENERGIA  
ELÉTRICA PREDIAL E RESIDENCIAL**

**ALFENAS/MG  
2025**

**PAULO EDUARDO MENDONÇA**

**USO DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO PARA A MICROGERAÇÃO DE ENERGIA  
ELÉTRICA PREDIAL E RESIDENCIAL**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Programa de pós-graduação em Ciências Ambientais (PPGCA).

Orientador: Prof. Dr. Tales Alexandre Aversi Ferreira.

**ALFENAS/MG**

**2025**

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas  
Biblioteca Central

Mendonça, Paulo Eduardo .

Uso da água de abastecimento para a microgeração de energia elétrica predial e residencial / Paulo Eduardo Mendonça. - Alfenas, MG, 2025.

40 f. : il. -

Orientador(a): Tales Alexandre Aversi Ferreira.

Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2025.

Bibliografia.

1. Construção civil sustentável. 2. Geração de eletricidade. 3. Microturbina hidráulica. I. Aversi Ferreira, Tales Alexandre , orient. II. Título.

**PAULO EDUARDO MENDONÇA**

**USO DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO PARA A MICROGERAÇÃO DE ENERGIA  
ELÉTRICA PREDIAL E RESIDENCIAL**

A Banca examinadora abaixo-assinada aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Ciências Ambientais.

Aprovada em: 31 de março de 2025.

Prof. Dr. Tales Alexandre Aversi Ferreira  
Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Prof. Dr. Breno Régis Santos  
Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Prof. Dr. Ihosvany Camps Rodriguez  
Instituição: Universidade Federal de Alfenas



Documento assinado eletronicamente por **Tales Alexandre Aversi Ferreira, Professor do Magistério Superior**, em 31/03/2025, às 18:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#)



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1485957** e o código CRC **D683D60F**.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus por me guiar e dar forças em cada passo dessa jornada.

Agradeço ao meu orientador professor Dr. Tales Aversi pela orientação, ensinamentos e apoio. Sua sabedoria, conselhos e dedicação são essenciais e motivadores.

Agradeço a minha esposa, Kaynara Trevisan, por seu amor, presença, apoio e auxílio indispensáveis que tornaram possível a realização deste projeto.

Muito obrigado a todos que participaram direta e indiretamente do desenvolvimento e aprimoramento deste trabalho e à Universidade Federal de Alfenas.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

## RESUMO

A microgeração de energia elétrica através do uso de fontes renováveis tem se estabelecido como uma alternativa viável na redução do custo de energia e promoção da sustentabilidade, sobretudo em ambientes residenciais e prediais. A geração de energia a partir da água de abastecimento, particularmente em locais com sistemas de pressão adequados, parece ser promissora. A microgeração hidrelétrica pode ser implementada em uma pequena escala, aproveitando-se a pressão da água utilizada no abastecimento de edifícios ou residências. A água de abastecimento fornecida pelas companhias de saneamento apresenta uma pressão constante gerada pelas bombas de distribuição que pode ser convertida em energia elétrica, e essa pressão pode ser aproveitada para movimentar turbinas hidráulicas de pequeno porte. O uso da água de abastecimento para geração de energia elétrica apresenta-se como uma alternativa ecológica, já que não exige grandes reservatórios e transformações ambientais, consistindo numa forma de aproveitamento mais eficiente da infraestrutura proposta construção civil sustentável. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi avaliar a possibilidade e a viabilidade de se produzir energia elétrica suficiente utilizando-se da energia proveniente da água de abastecimento em prédios e residências. A implantação do sistema proposto neste trabalho mostra ser possível e exequível em alguns casos, sobretudo quando é realizado o correto dimensionamento do sistema em locais cuja pressão dinâmica mínima ofertada é aproximadamente 50 mca, pois assim é observada a geração de uma quantidade significativa de potência que varia de 18,10 kWh a 87,60 kWh.

**Palavras-chave:** Construção civil sustentável; geração de eletricidade; microturbina hidráulica.

## ABSTRACT

Microgeneration of electricity through the use of renewable sources has established itself as a viable alternative for reducing energy costs and promoting sustainability, especially in residential and building environments. The generation of energy from water supplies, particularly in places with adequate pressure systems, appears to be promising. Microgeneration of hydroelectric power can be implemented on a small scale, taking advantage of the pressure of the water used to supply buildings or residences. The water supply provided by sanitation companies has a constant pressure generated by distribution pumps that can be converted into electrical energy, and this pressure can be used to drive small hydraulic turbines. The use of water supplies to generate electricity is an ecological alternative, since it does not require large reservoirs or environmental transformations, and consists of a more efficient way of using the infrastructure proposed by sustainable civil construction. In this sense, the objective of this study was to evaluate the possibility and viability of producing sufficient electrical energy using energy from the water supply in buildings and residences. The implementation of the system proposed in this work proves to be possible and feasible in some cases, especially when the system is correctly dimensioned in locations where the minimum dynamic pressure offered is approximately 50 mca, as this is how a significant amount of power is generated.

**Keywords:** Sustainable civil construction; generation of electrical energy; small hydraulic turbines.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico da matriz energética mundial (2022) .....	18
Figura 2 - Gráfico da matriz energética brasileira (2023) .....	18
Figura 3 - Corte longitudinal da turbina Michell-Banki com entrada vertical .....	22
Figura 4 - Esquema de implementação da microturbina hidráulica .....	23
Figura 5 - Tabela gráfica para seleção de turbinas .....	24
Figura 6 - Gráfico da variação da potência (kWh) em função do diâmetro da tubulação (m) considerando a vazão mínima fixa $Q=0,025\text{m}^3/\text{s}$ .....	27
Figura 7 - Gráfico da variação da potência (kWh) em função da altura (m) considerando a vazão mínima fixa $Q=0,025\text{m}^3/\text{s}$ .....	27
Figura 8 - Gráfico da variação da potência (kWh) em função do diâmetro da tubulação considerando a altura fixa $h=10\text{m}$ .....	30
Figura 9 - Gráfico da variação da potência (kWh) em função da vazão considerando a altura fixa $h=10\text{m}$ .....	31
Figura 10 - Gráfico da variação da potência (kWh) em função do diâmetro da tubulação considerando a altura fixa $h=50\text{m}$ .....	32
Figura 11 - Gráfico da variação da potência (kWh) em função da vazão considerando a altura fixa $h=50\text{m}$ .....	33



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cálculo da altura (h) considerando a vazão mínima ( $Q=0,025\text{m}^3/\text{s}$ ) para o funcionamento da turbina Michell-Banki .....	26
Tabela 2 – Cálculo da altura (h) considerando a vazão máxima ( $Q=13,0\text{ m}^3/\text{s}$ ) para o funcionamento da turbina Michell-Banki .....	28
Tabela 3 – Cálculo da vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) considerando a altura mínima ( $h=10\text{m}$ ) para o funcionamento da turbina Michell-Banki .....	29
Tabela 4 – Cálculo da vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) considerando a altura máxima ( $h=50\text{m}$ ) para o funcionamento da turbina Michell-Banki .....	31

## **LISTA DE SIGLAS**

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR Norma Brasileira Regulamentadora

mca Metros de coluna de água

PCH Pequena Central Hidrelétrica

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>12</b>
2.1	SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	12
2.2	USO ALTERNATIVO DE FONTES GERADORAS DE ENERGIA ELÉTRICA	13
2.3	MICROGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA .....	18
2.4	TURBINASS HIDRÁULICAS .....	20
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>23</b>
3.1	USO DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO RESIDENCIAL .....	23
3.2	USO DA TURBINA ADEQUADA .....	23
3.3	CÁLCULO PARA VERIFICAÇÃO DA VIABILIDADE DO USO DA TURBINA NA MICROGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA .....	24
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>26</b>
4.1	RESULTADOS DOS CÁLCULOS .....	26
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>34</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>35</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Uma das principais demandas associadas à Engenharia Civil na atualidade é a busca por soluções sustentáveis para diminuir danos à natureza e a sociedade, através de menores custos e o reaproveitamento de materiais que são excessivamente desperdiçados (Silva *et al.*, 2017). A construção civil sustentável deve aproveitar-se de fontes como luz solar, água da chuva e direção dos ventos para diminuir o desperdício de água através do reaproveitamento; e a racionalização do uso de energia, a fim da garantia do conforto com menor custo e maior preservação dos recursos naturais e, para tal, a inovação é imprescindível (Givoni, 1994; Maciel *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2017).

Uma das possibilidades de auxílio à construção sustentável associa-se à economia de energia elétrica (Maciel *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2017). Nesse sentido, diversos modelos são oferecidos para a diminuição do gasto financeiro e dos recursos naturais com energia nas residências, indústrias e empresas, através do uso de células fotovoltaicas (Maciel *et al.*, 2006; Silva, *et al.* 2017), material piezelétrico (Antunes; Souza; Schertel, 2014), uso de gás natural em sistema de cogeração de energia (Martins; Yamane, 2006), energia eólica (Mello-Júnior, 2016) e o uso da coluna d'água e esgoto prediais e residenciais (Bonow; Ibanez; Pinto-Neto, 2014).

Devido ao aumento da população e a diminuição dos recursos naturais, será necessária uma matriz energética mais eficiente que forneça recursos para a manutenção da energia que demanda a população num futuro próximo (Souza *et al.*, 2013). De acordo com a Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE) a demanda por energia elétrica cresce acima do Produto Interno Bruto (PIB) no país. Nota-se, portanto, que há tendência de uma maior necessidade de geração de energia com o passar do tempo (Iorra, 2013).

Sabe-se, pela lei da escassez, que existe uma quantidade finita de recursos naturais. Entretanto, a tendência é de um crescente consumo energético, fomentando a necessidade da geração de energia. Para que esta equação se torne equilibrada, é possível atuar tanto em diminuir o consumo quanto em aumentar a produção e disponibilidade energética (Iorra, 2013).

Como a produção de energia elétrica é centralizada em função das usinas hidrelétricas em muitos países, as quais em última instância são dependentes da chuva, uma variável não controlada pelo homem, uma das possíveis soluções é descentralizar a produção com a conversão elétrica em menor escala no meio urbano (Bonow; Ibanez; Pinto-Neto, 2014).

Dada a complexidade da previsão futura acerca dos usos de energia elétrica, torna-se árdua também a tarefa de prever a demanda de eletricidade a longo prazo, além, ainda, de as

ações voltadas à diminuição do consumo serem um tanto onerosas. Ao mesmo tempo, é possível propor novas formas de geração de energia elétrica a partir dos conhecimentos disponíveis, além de aprimorar as fontes geradoras atuais, buscando o equilíbrio na relação entre demanda e produção (Iorra, 2013). Não necessariamente as proposições se tornarão soluções, e nem se espera que uma proposição solucione definitivamente o problema, todavia, os trabalhos realizados para esse fim podem melhorar a produção isolada de eletricidade.

A geração de energia elétrica através da água de abastecimento de casas e prédios é pouco explorada, sobretudo em relação ao uso da produção de energia fotovoltaica (Mello-Júnior, 2016), no entanto, projetos acerca de outros modelos precisam ser utilizados conforme as características regionais, ou até mesmo associar modelos para melhorar a produção isolada de energia (Bonow; Ibanez; Pinto-Neto, 2014).

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi verificar a possibilidade e a viabilidade de se produzir energia elétrica suficiente utilizando-se da energia proveniente da água de abastecimento predial e residencial.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A nova consciência ambiental, oriunda no contexto das transformações culturais ocorridas entre os anos 1960 e 1970, foi fortalecida e colocou o meio ambiente como um dos princípios fundamentais da educação e da economia. Já a partir dos anos 1980, os custos despendidos com a gestão ambiental começaram a ser vistos pelas empresas não especificamente como ‘gastos para atender a legislação’, mas como ‘investimento e vantagem competitiva’ (Silva *et al.*, 2017).

A incorporação de questões ambientais entre os objetivos da organização moderna ampliou substancialmente o conceito de gestão empresarial. Atualmente, os gestores introduzem em suas empresas programas preventivos e de reciclagem de resíduos, medidas para reduzir o consumo energia e de água no processo de construção e manutenção dos empreendimentos, e para apoiar a implementação destas práticas diariamente inovações tecnológicas são aprimoradas e criadas (Souza *et al.*, 2013).

A sustentabilidade no âmbito da construção civil busca por ações que façam com que o processo das construções tenha reduções nos impactos ambientais gerados, potencializem a viabilidade econômica e proporcionem uma boa qualidade de vida para as gerações atuais e futuras (Souza *et al.*, 2013).

A Construção Sustentável é um sistema que promove intervenções sobre o meio ambiente, sem esgotar os recursos naturais, a fim de preservá-los para as futuras gerações. Esse modelo de construção utiliza eco materiais e soluções tecnológicas que auxiliam na redução da poluição, na economia de água e de energia, e o conforto de seus usuários (Silva *et al.*, 2017).

Uma obra sustentável deve aproveitar os passivos dos recursos naturais, como a iluminação natural, racionalizar o uso de energia, prover sistemas que possibilitem a redução no consumo de água (reutilização / aproveitamento da água de chuva) e contemplar áreas para coleta seletiva de lixo (Silva *et al.*, 2017).

A reutilização de materiais, a definição de alternativas para a exploração dos recursos naturais e a busca por novas formas de gerar e economizar energia são algumas ações que diminuem os impactos das construções sobre o meio ambiente (França; Quelhas, 2004). A grande quantidade de resíduos gerados nos canteiros de obras, as nocivas atividades de extração de matéria-prima, o uso elevado de energia elétrica e o desperdício de materiais consistem em

características marcantes indicadoras de elevação dos custos e de não-qualidade dentro do setor da construção civil (SEBRAE, 2001).

A qualidade de uma obra, todavia, é resultante do seu planejamento e gerenciamento, da organização do canteiro de obras, das condições de higiene e segurança do trabalho, da correta operacionalização dos processos administrativos, no controle do recebimento e armazenamento de materiais e equipamentos e da qualidade na execução de cada serviço específico do processo de produção (SEBRAE, 2001).

No entanto, as melhorias voltadas para a gestão dos processos construtivos ainda são incipientes. Ao analisar a construção civil, percebem-se divergências em relação à indústria de transformação, a partir das quais se desenvolveram os conceitos e metodologias relativas à qualidade (SEBRAE, 2001).

Nos últimos anos, ações foram propostas para introduzir a ‘Qualidade Total’ na construção civil, a destacar a utilização de materiais com maior eficiência e eficácia e aperfeiçoamento de projetos para maximizar a eficiência e a eficácia energética e demais utilidades; utilização de energia limpa e renovável e instalação de equipamentos e acessórios inteligentes; o aperfeiçoamento do projeto de captura, armazenagem, distribuição e consumo de água, envolvendo tubulações, equipamentos e acessórios e a otimização da iluminação natural no maior espaço possível (França; Quelhas, 2004).

Nenhuma sociedade poderá atingir o desenvolvimento sustentável sem que a construção civil, que lhe dá suporte, passe por profundas transformações. Entre elas, a otimização produtiva, a melhoria na qualidade dos materiais empregados e a melhoria na qualificação da mão de obra são fundamentais (Oliveira-Filho, 2001; França; Quelhas, 2004).

Para a implementação da construção sustentável, o profissional de arquitetura, o *design*, o engenheiro civil e toda a equipe devem estar comprometidos com os princípios do desenvolvimento sustentável, que aplicado na compreensão do ciclo da construção civil, visa minimizar o consumo dos recursos naturais, sobretudo os não-renováveis, através de planejamento, *design* e construção, e isso consiste num processo holístico que busca reestruturar e promover o equilíbrio entre o meio ambiente e o desenvolvimento da construção civil (França; Quelhas, 2004).

## 2.2 USO ALTERNATIVO DE FONTES GERADORAS DE ENERGIA ELÉTRICA

A energia elétrica é um tipo de energia proveniente das correntes elétricas, que são fluxos de cargas derivados da diferença de potencial (ddp) ou tensão elétrica em um condutor.

Sua geração pode ser feita a partir de diversas fontes, classificadas entre fontes renováveis e fontes não renováveis de energia. Até que a energia elétrica gerada nas usinas chegue aos consumidores finais, que são, principalmente, as residências e as indústrias, ela passa por etapas de transmissão e de distribuição (Antunes; Souza; Schertel, 2014).

A energia elétrica é um dos principais tipos de energia utilizados mundialmente, e é vantajosa por ser flexível e ter alta cobertura espacial. No entanto, a construção de unidades geradoras e distribuidoras pode provocar sérios impactos ambientais, sendo essa uma de suas desvantagens (GWEC, 2023).

As fontes renováveis são aquelas formas de produção de energia em que suas fontes geradoras se mantêm disponíveis durante um longo período de tempo, contando com recursos que se regeneram ou que se mantêm ativos permanentemente. São exemplos de fontes renováveis a energia solar, energia eólica, energia hídrica, energia das marés e energia da biomassa (Pastor; Macêdo, 2020).

Diferentemente, as fontes não renováveis são aquelas que possuem reservas finitas, ou seja, são elementos utilizados para a geração de energia cujas reservas naturais são esgotáveis, já que não são repostas naturalmente no tempo cronológico considerando-se que sua formação pode levar milhares ou até milhões de anos. Algumas fontes não renováveis geradoras de energia são o petróleo, gás natural, carvão mineral, urânio e o plutônio (Pastor; Macêdo, 2020).

As fontes alternativas geradoras de energia são as opções energéticas que provocam menos impactos ambientais negativos, o que remonta ao uso das fontes renováveis de energia (IEA, 2022). O modelo socioeconômico atual é baseado na dependência em relação aos combustíveis fósseis, sendo a base energética da sociedade fundamentada no uso das ‘energias convencionais’, como carvão, petróleo, gás natural e hidroeletricidade (Pastor, Macêdo, 2020).

As fontes de energia convencionais têm contribuído com a degradação ambiental, considerando que os modelos energéticos baseados no uso de combustíveis fósseis e seu processo de queima para obtenção de energia lançam à atmosfera gases poluentes que agravam o efeito estufa, aumentam o aquecimento global e alteram as condições climáticas de diversas regiões. Ainda, tais modelos são problemáticos, pois são obtidos a partir de recursos naturais não renováveis e seu esgotamento faz parte de debates acerca da necessidade de se ampliar a matriz energética através do uso de fontes alternativas de energia (IEA, 2022).

As fontes alternativas de energia, que consistem em opções de substituição do modelo energético atual apresentam algumas vantagens, como a menor geração de impactos ambientais negativos em amplo aspecto, redução na dependência dos combustíveis fósseis, e serem consideradas energias limpas com recursos que se renovam mais rapidamente (REN21, 2023).



Entretanto, tais alternativas podem, também, possuir algumas desvantagens, como a energia solar e a eólica, por exemplo, que produzem energia a preços relativamente baixos, porém os custos para a sua construção estrutural ainda são elevados. Todavia, com avanços tecnológicos, esses custos tendem a diminuir, viabilizando o acesso a essas fontes à maior parte da população (REN21, 2023). Apesar de ser considerada limpa, a energia eólica é dependente da instalação de aerogeradores, o que pode provocar alterações paisagísticas nos locais em que forem instalados, ruído acústico e impactos sobre a fauna (BERC, 2022). A utilização de biocombustíveis pode intensificar os problemas relacionados ao desflorestamento, já que uso da biomassa para a obtenção de energia, através da queima de plantas, madeiras e materiais vegetais e animais, requer a ampliação de áreas para agricultura ou desflorestamentos para obtenção de madeira (FAO, 2022).

As fontes alternativas de energia apresentam maior disponibilidade de recursos e causam menos impactos ambientais, no entanto ainda não são muito exploradas, pois carecem de mais investimentos tecnológicos que viabilizem economicamente seu uso (GWEC, 2023). O Brasil, entretanto, é um destaque mundial no quesito geração de energia limpa, contando com 85% de sua matriz elétrica proveniente de fontes renováveis de energia (ANEEL, 2019).

Entre as fontes alternativas de energia utilizadas destaca-se a energia solar, que pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, no aquecimento de fluidos e ambientes, e para a geração de potência mecânica ou elétrica. Pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica, através dos efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico (ANEEL, 2019).

A conversão de energia solar em energia elétrica ocorre pelos efeitos da radiação solar sobre materiais semicondutores, com destaque ao efeito fotovoltaico, o qual é caracterizado pelos fótons contidos na luz solar serem convertidos em energia elétrica, através do uso de células solares (Pastor; Macêdo, 2020). Entre os vários processos de aproveitamento da energia solar, os mais usados atualmente são no aquecimento da água e na geração fotovoltaica de energia elétrica (ANEEL, 2019).

Outra fonte alternativa é a energia eólica, a qual consiste numa das formas mais antigas de energia renovável e nos últimos anos tem sido amplamente adotada como uma alternativa viável à geração de eletricidade. Esta fonte de energia utiliza a força dos ventos para gerar eletricidade através de turbinas eólicas (GWEC, 2023).

O desenvolvimento tecnológico das turbinas eólicas tem permitido o aumento da eficiência na conversão da energia cinética dos ventos em energia elétrica. Turbinas modernas,

tanto *onshore* (em terra) quanto *offshore* (no mar), têm se tornado maiores e mais potentes, permitindo a geração de quantidades significativas de energia (IRENA, 2022).

A eficiência das turbinas eólicas depende de fatores como a velocidade do vento, o *design* das pás e a altura das torres. As turbinas *offshore*, instaladas em alto mar, tendem a ser mais eficientes devido à constância e à maior velocidade dos ventos nessas regiões (IRENA, 2022). Estudos indicam que a eficiência das turbinas eólicas modernas pode alcançar mais de 50% na conversão da energia dos ventos em eletricidade (GWEC, 2023).

Os principais desafios para a expansão da energia eólica incluem a intermitência dos ventos, que pode causar variações na geração de eletricidade e a necessidade de infraestrutura robusta para transmitir a energia das áreas de geração (geralmente remotas) para os centros de consumo. Além disso, a instalação de parques eólicos *offshore* é mais cara devido aos custos de construção e manutenção em ambientes marinhos (IRENA, 2022).

A biomassa é uma fonte de energia renovável que utiliza matéria orgânica como fonte de combustível, incluindo resíduos agrícolas, florestais, resíduos sólidos urbanos, e culturas energéticas especialmente cultivadas. A biomassa pode ser convertida em energia elétrica através de processos de combustão direta, digestão anaeróbia, ou gaseificação (IEA, 2022).

Existem diversas tecnologias para converter a biomassa em eletricidade. A combustão direta é o método mais comum, no qual a biomassa é queimada para gerar o vapor que aciona turbinas geradoras de eletricidade. Outros métodos incluem a digestão anaeróbia, o qual transforma resíduos orgânicos em biogás e a gaseificação, a qual converte a biomassa em um gás combustível que também pode ser utilizado para gerar eletricidade (BERC, 2022).

O potencial da biomassa é significativo, sobretudo em regiões com grande produção agrícola e florestal (BERC, 2022). Países como o Brasil têm explorado a biomassa para a produção de energia elétrica em larga escala, utilizando resíduos da cana-de-açúcar, como o bagaço, para gerar eletricidade em usinas termelétricas (ANEEL, 2019).

Os desafios para a biomassa incluem a logística de coleta e transporte dos materiais, a variabilidade na qualidade da matéria-prima e as emissões de poluentes durante a combustão, embora estas sejam significativamente menores do que as emissões por combustíveis fósseis. A implementação de tecnologias de controle de emissões, como filtros e sistemas de captura de carbono é essencial para mitigar os impactos ambientais gerados (FAO, 2022).

A energia de biomassa também é utilizada em pequenas plantas de cogeração para fornecer calor e eletricidade para indústrias e comunidades locais, e em grandes usinas de energia que contribuem para a rede elétrica nacional (ANEEL, 2019). A integração da energia

de biomassa com outras fontes renováveis, como a solar e a eólica, está sendo explorada para aumentar a eficiência e a estabilidade da geração de energia (IEA, 2022).

A energia hidrelétrica de pequeno porte, também conhecida como pequena central hidrelétrica (PCH), remonta à utilização de rios ou quedas d'água de menor escala para gerar eletricidade. Diferentemente das grandes hidrelétricas, as PCHs têm um impacto ambiental menor e podem ser construídas em diversas localidades, incluindo áreas rurais (IHA, 2023).

As PCHs são consideradas mais sustentáveis em relação às grandes hidrelétricas devido ao seu menor impacto gerado sobre os ecossistemas aquáticos. Ao invés de criar grandes reservatórios, as PCHs frequentemente aproveitam o fluxo natural dos rios, evitando o deslocamento de populações e a submersão de grandes áreas de terra (IHA, 2023).

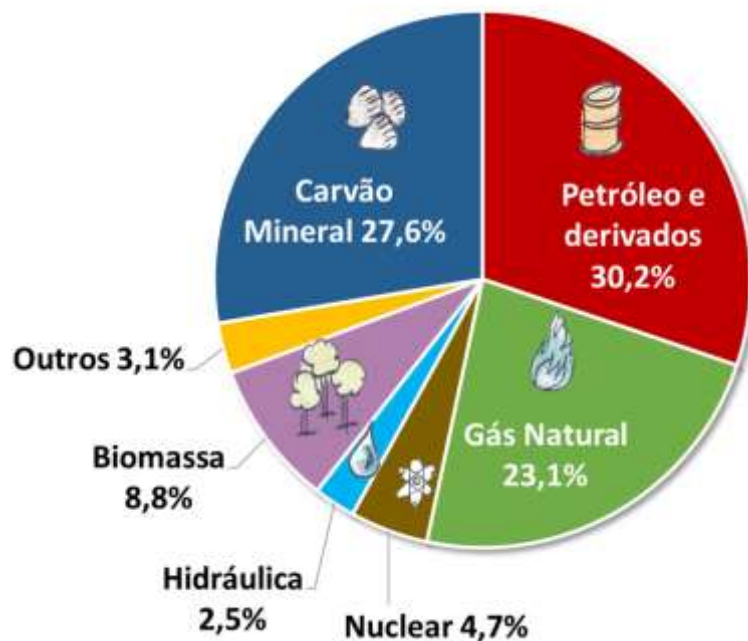
Existem diferentes tecnologias para geração de eletricidade em pequenas hidrelétricas que podem variar de turbinas Kaplan para rios com maior vazão, até turbinas Pelton e Francis, mais adequadas para quedas d'água com maior altura. As PCHs podem ser integradas em redes locais ou servir para eletrificação de comunidades isoladas (IEA, 2022).

O potencial para PCHs é significativo, sobretudo em regiões montanhosas e em áreas com rios perenes. Países como o Brasil, China e Índia têm investido em pequenas hidrelétricas como parte de suas estratégias de diversificação energética. Além disso, as PCHs podem ser construídas em áreas de difícil acesso, fornecendo eletricidade a regiões que estão fora das redes tradicionais (IHA, 2023).

Entre os desafios enfrentados pelas PCHs estão os custos iniciais de construção e manutenção, sobretudo em áreas remotas. Além disso, a variabilidade do fluxo de água em certas épocas do ano pode reduzir a geração de energia em algumas regiões, exigindo uma integração com outras fontes energéticas (IHA, 2023).

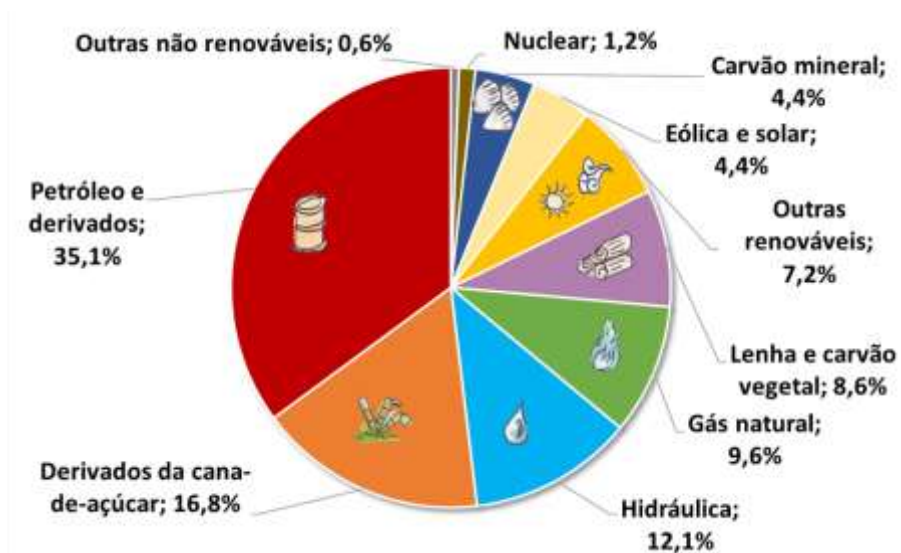
A transição para fontes alternativas de energia é essencial para mitigar as mudanças climáticas e reduzir a dependência de combustíveis fósseis. Embora cada fonte tenha seus desafios, os avanços tecnológicos e as políticas públicas estão criando condições para uma adoção mais ampla. O desenvolvimento contínuo de tecnologias mais eficientes e acessíveis, juntamente à implementação de políticas de incentivo são fatores essenciais na garantia de um futuro energético mais sustentável (ANEEL, 2019). As figuras 1 e 2 abaixo representam a matriz energética mundial e brasileira respectivamente.

Figura 1 – Gráfico da matriz energética mundial (2022).



Fonte: IEA, 2023. – [Total em 2022: 622 milhões de terajoule].

Figura 2 – Gráfico da matriz energética brasileira (2023).



Fonte: BEN, 2024. [Total em 2023: 314 milhões de tep - tonelada-equivalente de petróleo].

### 2.3 MICROGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A busca por fontes alternativas de geração de energia elétrica tem impulsionado a inovação em diversas áreas, incluindo o uso da água de abastecimento em sistemas residenciais

e prediais. A energia hidrelétrica é amplamente utilizada em grandes usinas, mas seu potencial em pequena escala, sobretudo em sistemas de abastecimento de água urbanos, ainda é subexplorado (Li; Zhang, 2020).

A microgeração de energia elétrica a partir da água de abastecimento é baseada nos princípios da energia cinética e potencial da água em movimento, e pequenas turbinas hidrelétricas, instaladas em sistemas de tubulação ou em pontos estratégicos da queda d'água, podendo converter a energia do fluxo da água em eletricidade. Este conceito é conhecido como micro-hidrelétrica ou pico-hidrelétrica quando se trata de instalações ainda menores (Li; Zhang, 2020).

Uma micro-hidrelétrica funciona de modo semelhante às grandes usinas, mas com estruturas de menor porte, de modo que a água captada em um nível superior da construção ou do terreno é levada a um nível inferior através de tubos simples onde está a micro-hidrelétrica (ESHA, 2021). A força com que a água corre pelos tubos faz girar a turbina, e o seu movimento de rotação ativa um gerador que transforma a energia cinética em energia elétrica. Na saída do gerador existe uma conexão elétrica em que os cabos são conectados a um controlador de carga e ligados a um sistema de baterias chumbo-ácido. Com esse mecanismo, a microgeração pode gerar energia elétrica de forma ininterrupta (Rosa, 2022).

As micro-hidrelétricas são instalações que geram até 100 kW de potência, enquanto as pico-hidrelétricas geralmente produzem menos de 5 kW. Essas tecnologias são adequadas para locais em que existe um fluxo de água, como em sistemas de abastecimento de água potável que utilizam gravidade e em residências ou edifícios com caixas d'água elevadas (ESHA, 2021).

A aplicação de micro-hidrelétricas em sistemas de abastecimento de água é viável em diversos setores, desde residências unifamiliares até grandes complexos comerciais e industriais (DOE, 2019; Bourgeau-Chavez; McCaughey, 2020).

Em áreas rurais ou suburbanas, em que as casas podem estar localizadas em terrenos inclinados ou em regiões com acesso a fontes de água por gravidade, as micro-hidrelétricas podem ser instaladas para atender as necessidades energéticas da residência. Tais instalações podem ser ainda mais eficazes em regiões montanhosas, nas quais a queda d'água pode ser aproveitada mais eficientemente (Bourgeau-Chavez; McCaughey, 2020). Edifícios comerciais e industriais que possuem sistemas de abastecimento de água próprios, como torres de resfriamento ou grandes sistemas de irrigação, podem se beneficiar da instalação de turbinas hidrelétricas. A energia gerada pode ser utilizada para alimentar alguns equipamentos ou reduzir o consumo de energia elétrica da rede (ESHA, 2021).

A instalação de sistemas de microgeração em residências e edifícios pode reduzir os custos com energia elétrica ao longo do tempo, mesmo demandando um investimento inicial devido à necessidade de instalação de turbinas e sistemas de controle, e, ainda assim, a economia gerada pode compensar esse custo em poucos anos. Em regiões onde a energia elétrica é cara ou a rede de abastecimento é instável, a economia pode ser ainda mais significativa (DOE, 2019).

A água utilizada na microgeração de eletricidade em sistemas residenciais e prediais continua disponível para consumo e outros usos após a passagem pelas turbinas. Não existe um consumo adicional de água, e o impacto sobre os recursos hídricos é praticamente inexistente (DOE, 2019).

O impacto ambiental da microgeração de energia a partir da água de abastecimento é mínimo quando comparado a outras fontes geradoras de energia. Ao contrário das grandes barragens hidrelétricas, que podem causar sérios impactos ambientais e sociais, as micro-hidrelétricas utilizam infraestruturas já existentes e não requerem intervenções significativas no ambiente natural (ESHA, 2021).

Em áreas urbanas, onde o espaço é limitado e a demanda por eletricidade é alta, a instalação de microgeradores de energia em sistemas de abastecimento de água pode ser uma solução eficiente e sustentável (CEC, 2019). Com o aumento da densidade populacional, a utilização de fontes de energia descentralizadas, como os sistemas de microgeração, pode ser uma das estratégias de desenvolvimento urbano sustentável (IEA, 2021).

A microgeração de energia elétrica através da água de abastecimento residencial e predial utilizando-se da instalação de microturbinas hidráulicas consiste numa significativa contribuição com a eficiência energética e a sustentabilidade, e embora existam, ainda, desafios técnicos e de custeio a serem superados, as vantagens ambientais e econômicas a médio e longo prazos tornam essa tecnologia uma opção atraente para o futuro da geração de energia descentralizada (CEC, 2019).

## 2.4 MICROTURBINAS HIDRÁULICAS

As microturbinas hidráulicas são dispositivos projetados para converter a energia da água em energia mecânica, posteriormente transformada em eletricidade através de um gerador (Jemal, 2019). Elas se destacam como uma alternativa eficiente e sustentável para a geração de energia em pequena escala, especialmente em regiões mais afastadas ou de difícil acesso à rede elétrica convencional (Couto; Olden, 2018).

De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA, 2022), as microturbinas hidráulicas são turbinas que geram potências inferiores a 100 kW e fazem parte da categoria de pequenas centrais hidrelétricas, podendo ser classificadas em dois tipos de acordo com o princípio de funcionamento, sendo as turbinas de ação, que aproveitam a energia cinética da água, como a turbina Pelton ideal para quedas d'água altas e vazões baixas (Paish, 2002); e as turbinas de reação, que usam tanto a energia cinética quanto a pressão da água, como as turbinas Kaplan, Francis e Michell-Banki mais comuns em quedas menores e vazões variáveis de água (Kaunda *et al.*, 2012).

Dentre os tipos de turbinas hidráulicas disponíveis no mercado, estão:

a. Turbinas Pelton, projetada para operar com altas pressões e baixas vazões, características que, em geral, não encontradas nos sistemas de abastecimento residencial (Paish, 2019). Desta forma, tem aplicação mais restrita a locais cuja possibilidade de criar um desnível artificial para aumentar a pressão da água exista (Paish, 2019; Bansal, 2020);

b. Turbinas Kaplan, adequada para baixas quedas, altas vazões, e amplamente utilizada em usinas hidrelétricas, todavia, seu tamanho e complexidade tornam o uso impraticável em sistemas de abastecimento residencial (Albertson, 2018; Paish, 2019);

c. Turbinas Francis, operam sob condições de médias pressões e vazões, sendo uma opção viável em alguns casos (Paish, 2019), no entanto, necessitam de sistemas bem projetados cujo fluxo de água é controlado, o que pode ser inviável economicamente em instalações residenciais (Richter, 2021);

d. Turbinas de fluxo cruzado ou Michell-Banki, adequadas para operar sob condições de baixas pressões e vazões variáveis, apresentando eficiência razoável para aplicações residenciais (Paish, 2019; Richter, 2021). Sua simplicidade de construção, manutenção e baixo custo as torna uma alternativa viável (Kirke, 2019; Rantererung *et al.*, 2020; Mehr *et al.*, 2021).

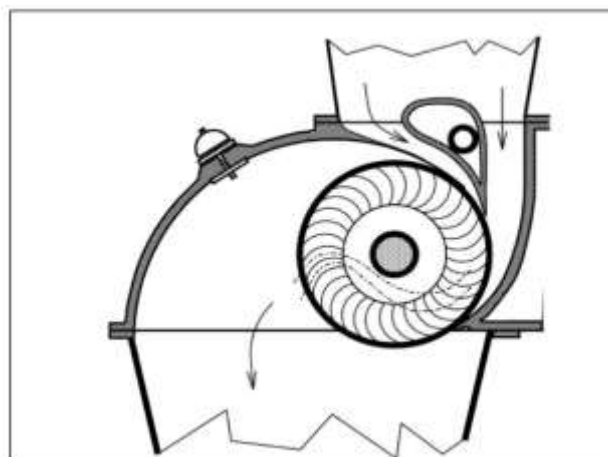
As turbinas Michell-Banki possuem um rotor em forma de tambor consistindo de dois discos paralelos conectados próximos às suas bordas através de uma série de lâminas curvas (Sammartano *et al.*, 2017).

Essas microturbinas possuem uma seção constante ao longo de qualquer plano normal ao eixo do impulsor (Sammartano *et al.*, 2016), sendo compostas por quatro partes principais: o tubo convergente, o bocal, o impulsor rotativo e o difusor. O fluxo de água atravessa duas vezes os canais das pás antes de deixar o impulsor para entrar no difusor, conectados entre si perto de suas bordas por uma série de pás curvas. A rotação do eixo da turbina é convertida, por um gerador, em energia elétrica (Galvis-Holguin; Del Rio; Hincapié-Zuluaga, 2022; Mehr *et al.*, 2021; Purwanto *et al.*, 2019; Polagye *et al.*, 2019).

O melhor desempenho das turbinas Michell-Banki é influenciado diretamente pela posição correta do ângulo das pás da turbina, que produz maior potência e maior eficiência da mesma (Rantererung *et al.*, 2020).

Outra utilização atribuída às bombas hidráulicas é que ainda podem ser operadas em modo reverso para gerar hidroeletricidade. O uso de turbinas em linha permitiria a seleção de locais onde uma redução de pressão não afetaria a regulação da descarga, mas, ao contrário, limitaria a pressão da turbina e reduziria as perdas de água (Kan-Kan *et al.*, 2022a; Kan-Kan *et al.*, 2022b; Jemal, 2019; Sammartano *et al.*, 2016; Sinagra *et al.*, 2015).

Figura 3 - Corte longitudinal da turbina Michell-Banki com entrada vertical.



Fonte: Farret; Simões (2006).

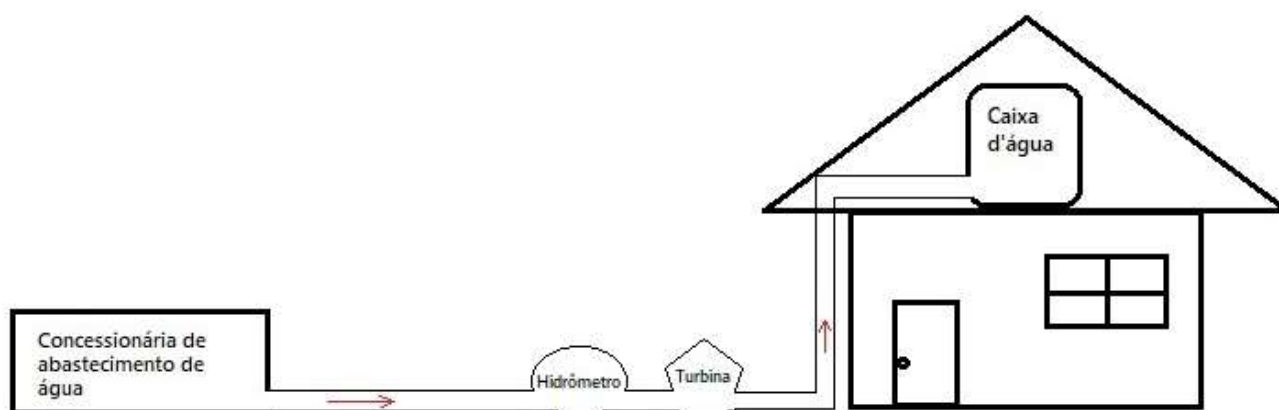


### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. USO DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO RESIDENCIAL

O presente trabalho propõe a utilização da água de abastecimento residencial para movimentar microturbinas que transformam a energia cinética e potencial da água em energia elétrica. O aproveitamento da água residencial consiste em uma alternativa viável e eficiente para a gestão sustentável dos recursos hídricos (ABNT, 2007). A figura 4 representa esquematicamente a implementação de uma microturbina hidráulica que utiliza a água de abastecimento residencial para gerar eletricidade.

Figura 4 – Esquema de implementação da microturbina hidráulica.

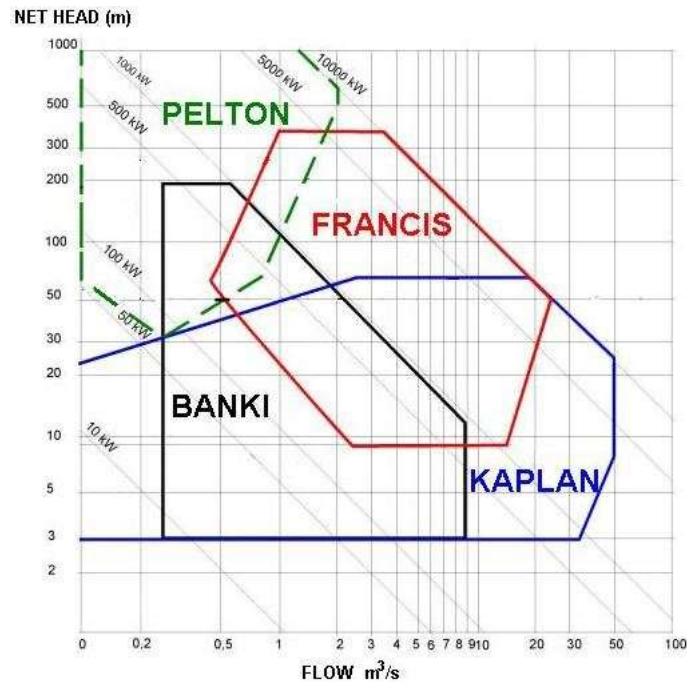


Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

#### 3.2 USO DA TURBINA ADEQUADA

Dentre as opções analisadas, a turbina Michell-Banki se destaca como a mais adequada para a microgeração de energia elétrica a partir da água de abastecimento residencial por ser o único tipo que não demanda um fluxo contínuo de água, de modo que essa escolha considerou essa característica do sistema hidráulico residencial e predial. Assim, para escolher uma turbina deve-se considerar a interação entre três fatores principais: a altura de queda, o fluxo de água e a potência gerada.

Figura 5 – Tabela gráfica para a seleção de turbinas.



Fonte: Castro (2002).

### 3.3 CÁLCULO PARA A VERIFICAÇÃO DA VIABILIDADE DO USO DA TURBINA NA MICROGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Para avaliar a viabilidade do uso da Michell-Banki na microgeração de energia elétrica, foram considerados parâmetros específicos, como o intervalo de queda de 1 a 200 metros e vazões de 0,025 a 13 m<sup>3</sup>/s para o funcionamento adequado da turbina. Além disso, observou-se as recomendações da NBR 12.218 (2017), a qual estabelece que as redes de distribuição de água devem trabalhar com a pressão mínima de 10 mca (metros de coluna de água) e pressão máxima de 50 mca. Esses limites garantem a integridade das instalações e a eficiência no fornecimento de água.

Assim, para os cálculos, utilizaram-se as recomendações das normas ABNT NBR 5626:1998, NBR 10071:1994, NBR 15704-1:2011, e as orientações de Netto (2015), em que a vazão é expressa pela equação:

$$Q = Cd \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (i)$$

Onde:

- Cd é o coeficiente de descarga (aproximadamente 0,6);
- A é a área da tubulação (em m<sup>2</sup>);

- $g$  é a aceleração da gravidade (9,81 m/s<sup>2</sup>);
- $h$  é o desnível hidráulico.

Esta equação foi aplicada considerando diâmetros comerciais de tubulações, os quais variam entre 0,02 e 0,11 metros, conforme especificado nas normas ABNT NBR 5626:1998, NBR 10071:1994 e NBR 15704-1:2011. Esses diâmetros foram selecionados para assegurar compatibilidade com as pressões recomendadas pela NBR 12.218 (2017) e para atender às vazões necessárias ao funcionamento eficiente da turbina Michell-Banki. Além disso, realizou-se o cálculo da potência hidráulica disponível da turbina, o qual é dado pela relação:

$$P = h \cdot Q \cdot g \quad (ii)$$

Onde:

$P$  é potência hidráulica em kW;

$h$  é o desnível hidráulico em m;

$Q$  é a vazão em m<sup>3</sup>/s;

$g$  é a aceleração da gravidade [9,81 m/s<sup>2</sup>].

Logo, tem-se o seguinte:

O cálculo da potência hidráulica permitiu determinar a energia disponível para a conversão em energia elétrica, pois a eficiência da turbina Michell-Banki pode variar conforme o projeto e as condições operacionais. Estudos indicam que com um projeto otimizado, é possível alcançar eficiências hidráulicas de até 91% e eficiências globais de até 82%, mantendo-se um desempenho satisfatório, mesmo com variações significativas na vazão e na altura de queda (Mehr *et al.*, 2021).

As equações foram implementadas em planilhas do *Microsoft Excel* para a realização dos cálculos, o que permitiu variar os valores de altura de queda e os de vazão, para uma avaliação de diversas combinações viáveis dentro dos parâmetros operacionais da turbina. Isso facilitou a identificação das condições otimizadas de operação e garantiu que o sistema proposto fosse adequado ao contexto residencial, considerando as limitações de espaço e disponibilidade hídrica típicas desse tipo de edificação. É importante ressaltar que nos cálculos não foram considerados os parâmetros após a passagem de água pela turbina.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 RESULTADOS DOS CÁLCULOS

Diversas fontes geradoras de energia transformadas em eletricidade são hoje um recurso indispensável para o desenvolvimento socioeconômico de muitas regiões e países (Souza *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2017). Nesse sentido, a microgeração de energia elétrica passou ser mais uma alternativa sustentável quando se busca diversificar as fontes energéticas e promover a descentralização da produção de eletricidade (Silva-Pereira; Neto, 2021).

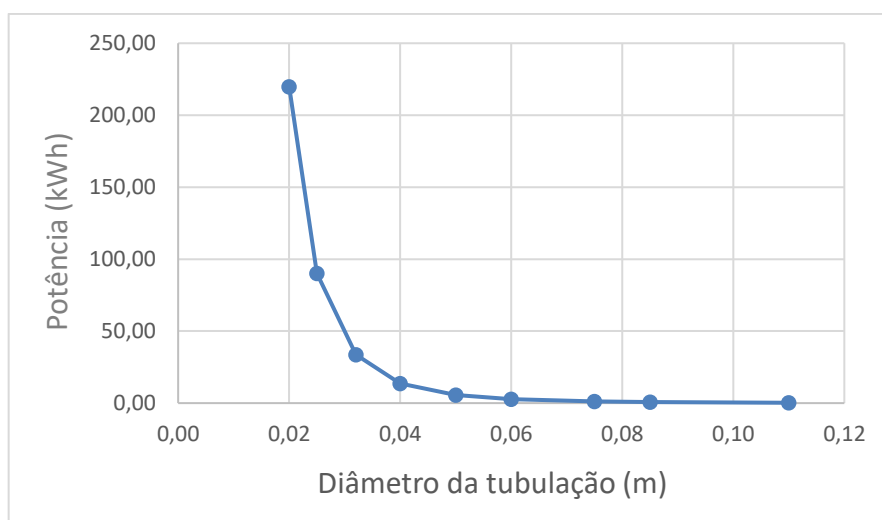
A turbina Michell-Banki destaca-se nesse contexto por sua simplicidade construtiva, adaptabilidade a diferentes condições de vazão e altura de queda e a não necessidade de fluxo contínuo de água para operar (Marliansyah *et al.*, 2018). A tabela 1 representa os resultados da viabilidade da turbina Michell-Banki na produção de eletricidade, sendo que para sua aplicação e necessário de uma vazão mínima  $Q=0,025\text{m}^3/\text{s}$ , e as figuras 6 e 7 representam as variações de potência gerada em função do diâmetro da tubulação e da altura respectivamente.

Tabela 1 – Cálculo da altura (h) considerando a vazão mínima ( $Q=0,025\text{m}^3/\text{s}$ ) para o funcionamento da turbina Michell-Banki.

Diâmetro da tubulação (m) / polegadas	Área da tubulação ( $\text{m}^2$ )	Altura (m)	Vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Potência (kWh)
$2,0 \cdot 10^{-2}$ (3/4")	$3,1 \cdot 10^{-4}$	896,555	$2,5 \cdot 10^{-2}$	219,80
$2,5 \cdot 10^{-2}$ (1")	$4,9 \cdot 10^{-4}$	367,229	$2,5 \cdot 10^{-2}$	90,063
$3,2 \cdot 10^{-2}$ (1 1/4")	$8,0 \cdot 10^{-4}$	136,803	$2,5 \cdot 10^{-2}$	33,551
$4,0 \cdot 10^{-2}$ (1 1/2")	$1,26 \cdot 10^{-3}$	56,035	$2,5 \cdot 10^{-2}$	13,743
$5,0 \cdot 10^{-2}$ (2")	$1,96 \cdot 10^{-3}$	22,952	$2,5 \cdot 10^{-2}$	5,629
$6,0 \cdot 10^{-2}$ (2 1/2")	$2,83 \cdot 10^{-3}$	11,069	$2,5 \cdot 10^{-2}$	2,715
$7,5 \cdot 10^{-2}$ (3")	$4,42 \cdot 10^{-3}$	4,534	$2,5 \cdot 10^{-2}$	1,112
$8,5 \cdot 10^{-2}$ (3 1/4")	$5,67 \cdot 10^{-3}$	2,748	$2,5 \cdot 10^{-2}$	0,674
$1,1 \cdot 10^{-1}$ (4")	$9,5 \cdot 10^{-3}$	0,980	$2,5 \cdot 10^{-2}$	0,240

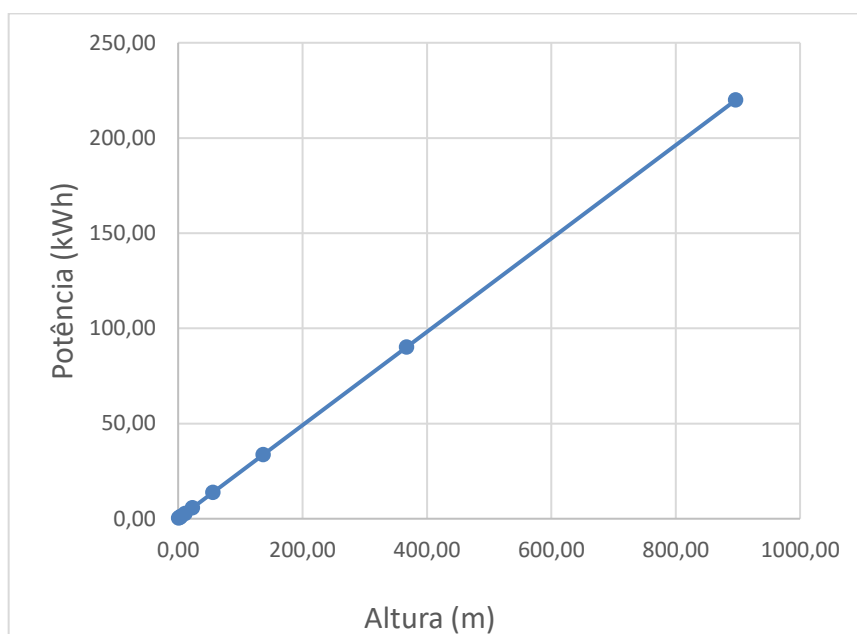
Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

Figura 6 – Gráfico da variação da potência (kWh) em função do diâmetro da tubulação (m) considerando a vazão mínima fixa  $Q=0,025\text{m}^3/\text{s}$ .



Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

Figura 7 – Gráfico da variação da potência (kWh) em função da altura (m) considerando a vazão mínima fixa  $Q=0,025\text{m}^3/\text{s}$ .



Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

Conforme descrito por Cechinel e colaboradores (2018), a turbina Michell-Banki é adequada para aproveitamentos hidrelétricos de pequeno porte, pois opera eficientemente em quedas d'água que variam de 1 a 200 metros de altura e vazões a partir de 25 litros por segundo. Assim, essa capacidade de operar com até um terço de sua vazão nominal e sem grandes perdas

na eficiência torna-a ideal para aplicações em microgeração (Farret, 1999; Bonow; Ibanez; Pinto Neto, 2014). Os cálculos para a obtenção da vazão têm como a base a vazão mínima de  $0,025 \text{ m}^3/\text{s}$  e máxima de  $13 \text{ m}^3/\text{s}$  que a turbina pode operar e isso pode ser ajustado pelo diâmetro da tubulação utilizada (Mello-Júnior, 2016).

Neste contexto, observando-se os resultados da tabela 1 acima, quando se tem a vazão mínima ( $Q=0,025 \text{ m}^3/\text{s}$ ) para as tubulações com os diâmetros comerciais de  $0,020 \text{ m}$  ( $3/4''$ ) a  $0,060 \text{ m}$  ( $2 \text{ 1/2}''$ ), não é viável a utilização da Michell-Banki, pois conforme a NBR 12218 (2017), a pressão dinâmica mínima que deve ser garantida pela concessionária nas tubulações distribuidoras de água é de 10 mca, de modo que o mínimo de pressão não é suficiente para garantir que a água chegue aos pavimentos superiores conforme as alturas encontradas na tabela 2, que foram acima de 11,069 metros para os diâmetros  $0,020 \text{ m}$  ( $3/4''$ ) a  $0,060 \text{ m}$  ( $2 \text{ 1/2}''$ ), tornando necessário o uso de um sistema indireto de distribuição com bombeamento. Para os diâmetros de tubulação de  $0,075 \text{ m}$  a  $0,085 \text{ m}$ , obtiveram-se alturas compatíveis com uma edificação residencial clássica, no entanto, embora cada concessionária estabeleça a faixa de vazão para residências e pequenos edifícios, o diâmetro mínimo do ramal predial geralmente é de  $0,020 \text{ m}$  ( $3/4''$ ) a  $0,040 \text{ m}$  ( $1 \text{ 1/2}''$ ) (Netto, 2015).

Ao analisar uma situação em que a instalação da turbina no sistema de água de abastecimento para a microgeração de energia elétrica considera sua vazão máxima de operação ( $Q=13 \text{ m}^3/\text{s}$ ), nota-se que não é viável instalar a Michell-Banki sob nenhuma das condições apresentadas pois, nesse caso, tem-se alturas superiores à altura máxima de 200 metros indicada para funcionamento adequado da turbina e incompatíveis com edificações clássicas. Por outro lado, o sistema de abastecimento indireto com bombeamento deveria ser adotado em uma edificação com esse porte. Os resultados observados da tabela 2 abaixo consideram a vazão máxima de trabalho da turbina Michell-Banki. Os gráficos referentes à tabela 2 não foram elaborados, pois os valores de altura e potência obtidos para a vazão máxima de  $13 \text{ m}^3/\text{s}$  são irreais.

Tabela 2 – Cálculo da altura (h) considerando a vazão máxima ( $Q=13,0 \text{ m}^3/\text{s}$ ) para o funcionamento da turbina Michell-Banki.

Diâmetro da tubulação (m) / polegadas	Área da tubulação ( $\text{m}^2$ )	Altura (m)	Vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Potência (kWh)
$2,0 \cdot 10^{-2}$ ( $3/4''$ )	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$242,428 \cdot 10^6$	13	$30,917 \cdot 10^9$
$2,5 \cdot 10^{-2}$ ( $1''$ )	$4,9 \cdot 10^{-4}$	$99,299 \cdot 10^6$	13	$12,664 \cdot 10^9$

Tabela 2 – Cálculo da altura (h) considerando a vazão máxima ( $Q=13,0 \text{ m}^3/\text{s}$ ) para o funcionamento da turbina Michell-Banki.

Diâmetro da tubulação (m) / polegadas	Área da tubulação ( $\text{m}^2$ )	Altura (m)	Vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Potência (kWh)
$3,2 \cdot 10^{-2}$ (1 1/4")	$8,0 \cdot 10^{-4}$	$36,992 \cdot 10^6$	13	$4,7175428 \cdot 10^9$
$4,0 \cdot 10^{-2}$ (1 1/2")	$1,26 \cdot 10^{-3}$	$15,152 \cdot 10^6$	13	$1,9323055 \cdot 10^9$
$5,0 \cdot 10^{-2}$ (2")	$1,96 \cdot 10^{-3}$	$6,20616 \cdot 10^6$	13	$791,472 \cdot 10^6$
$6,0 \cdot 10^{-2}$ (2 1/2")	$2,83 \cdot 10^{-3}$	$2,99294 \cdot 10^6$	13	$381,69 \cdot 10^6$
$7,5 \cdot 10^{-2}$ (3")	$4,42 \cdot 10^{-3}$	$1,22590 \cdot 10^6$	13	$156,34 \cdot 10^6$
$8,5 \cdot 10^{-2}$ (3 1/4")	$5,67 \cdot 10^{-3}$	$743,067 \cdot 10^3$	13	$94,763 \cdot 10^6$
$1,1 \cdot 10^{-1}$ (4")	$9,5 \cdot 10^{-3}$	$264,931 \cdot 10^3$	13	$33,787 \cdot 10^6$

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

Em seu estudo, Torres (2020) afirmou que os melhores resultados para a microgeração de energia estão entre  $1,6\text{E}-04\text{m}^3/\text{s}$  e  $1,72\text{E}-04\text{m}^3/\text{s}$ , os quais se situam nas faixas de 10,5 mca a 11,5 mca, e demonstraram uma proximidade com as faixas de pressões que obtiveram melhores gerações. Já Thiago-Filho (2004), cita o valor de  $0,025\text{m}^3/\text{s}$  como o mínimo para obter uma potência de 1kW. Nesse contexto, Farret (1999) afirmou que a variação de vazão não é um fator negativo para atingir resultados expressivos na geração de potência utilizando a microturbina tipo Michell-Banki em casos que exista a possibilidade de utilização de reservatórios (não a fio d'água).

Na tabela 3 é considerada uma altura fixa ( $h=10\text{m}$ ), uma vez que 10 mca é a pressão mínima obrigatória que deve ser fornecida pela concessionária, conforme estabelecido na NBR 12.218 (2017), enquanto as figuras 8 e 9 representam as variações da potência em função do diâmetro da tubulação e da vazão respectivamente, quando a altura fixa é 10 metros. Assim, é possível observar que as vazões não atingem o valor mínimo de operação da turbina Michell-Banki para as tubulações com diâmetros comerciais de  $0,020\text{m}$  (3/4") a  $0,060\text{m}$  (2 1/2").

Tabela 3 – Cálculo da vazão considerando a altura mínima ( $h=10\text{m}$ ) para o funcionamento da turbina Michell-Banki.

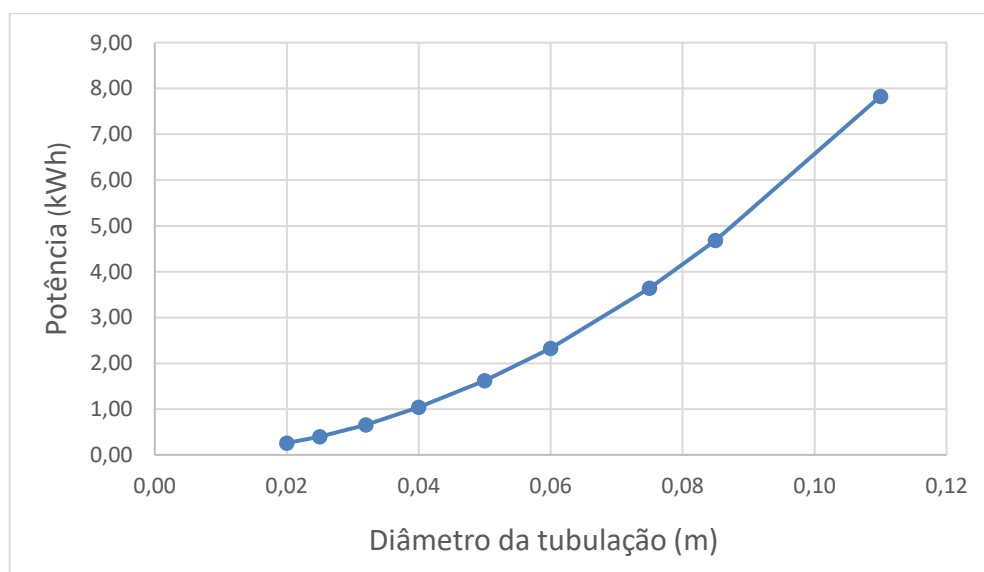
Diâmetro da tubulação (m) / polegadas	Área da tubulação ( $\text{m}^2$ )	Altura (m)	Vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Potência (kWh)
$2,0 \cdot 10^{-2}$ (3/4")	$3,1 \cdot 10^{-4}$	10	$2,64 \cdot 10^{-3}$	0,25901
$2,5 \cdot 10^{-2}$ (1")	$4,9 \cdot 10^{-4}$	10	$4,13 \cdot 10^{-3}$	0,40471

Tabela 3 – Cálculo da vazão considerando a altura mínima ( $h=10\text{m}$ ) para o funcionamento da turbina Michell-Banki.

Diâmetro da tubulação (m) / polegadas	Área da tubulação ( $\text{m}^2$ )	Altura (m)	Vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Potência (kWh)
$3,2 \cdot 10^{-2}$ (1 1/4")	$8,0 \cdot 10^{-4}$	10	$6,76 \cdot 10^{-3}$	0,66307
$4,0 \cdot 10^{-2}$ (1 1/2")	$1,26 \cdot 10^{-3}$	10	$1,06 \cdot 10^{-2}$	1,03605
$5,0 \cdot 10^{-2}$ (2")	$1,96 \cdot 10^{-3}$	10	$1,65 \cdot 10^{-2}$	1,61883
$6,0 \cdot 10^{-2}$ (2 1/2")	$2,83 \cdot 10^{-3}$	10	$2,38 \cdot 10^{-2}$	2,33111
$7,5 \cdot 10^{-2}$ (3")	$4,42 \cdot 10^{-3}$	10	$3,71 \cdot 10^{-2}$	3,64236
$8,5 \cdot 10^{-2}$ (3 1/4")	$5,67 \cdot 10^{-3}$	10	$4,77 \cdot 10^{-2}$	4,67841
$1,1 \cdot 10^{-1}$ (4")	$9,5 \cdot 10^{-3}$	10	$7,99 \cdot 10^{-2}$	7,83513

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

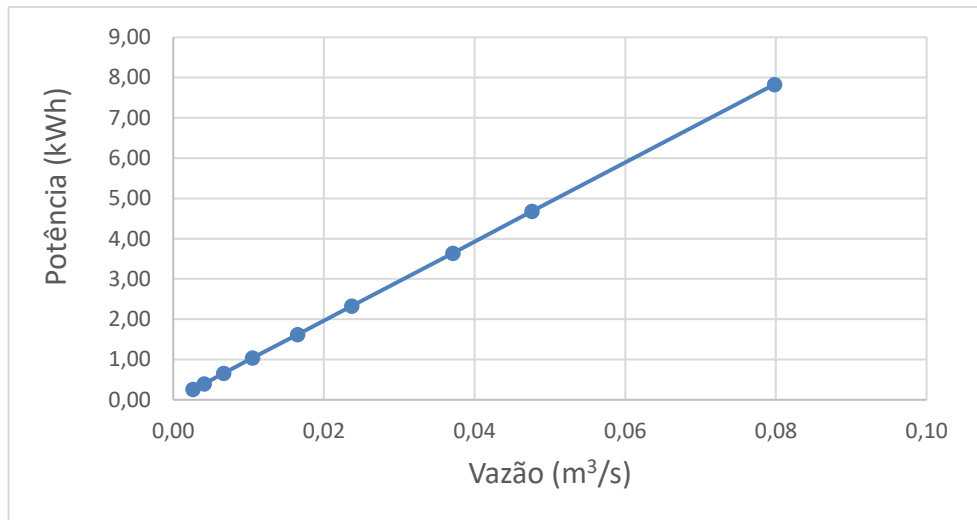
Figura 8 - Gráfico da variação da potência (kWh) em função do diâmetro da tubulação (m) considerando a altura fixa  $h=10\text{m}$ .



Fonte: Elaborada pelos autores (2025).



Figura 9 - Gráfico da variação da potência (kWh) em função da vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) considerando a altura fixa  $h=10\text{m}$ .



Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

Com base nos resultados apresentados na tabela 4 abaixo e nos critérios estabelecidos na NBR 12.218 (2017), em que 50 mca é a pressão máxima a ser fornecida pela concessionária, observa-se que para os diâmetros das tubulações de 0,020m (3/4") a 0,040m (1 1/2"), a vazão obtida é insuficiente para alcançar uma potência significativa, o que inviabiliza o uso da turbina Michell-Banki.

Tabela 4 – Cálculo da vazão considerando a altura máxima ( $h=50\text{m}$ ) para o funcionamento da turbina Michell-Banki.

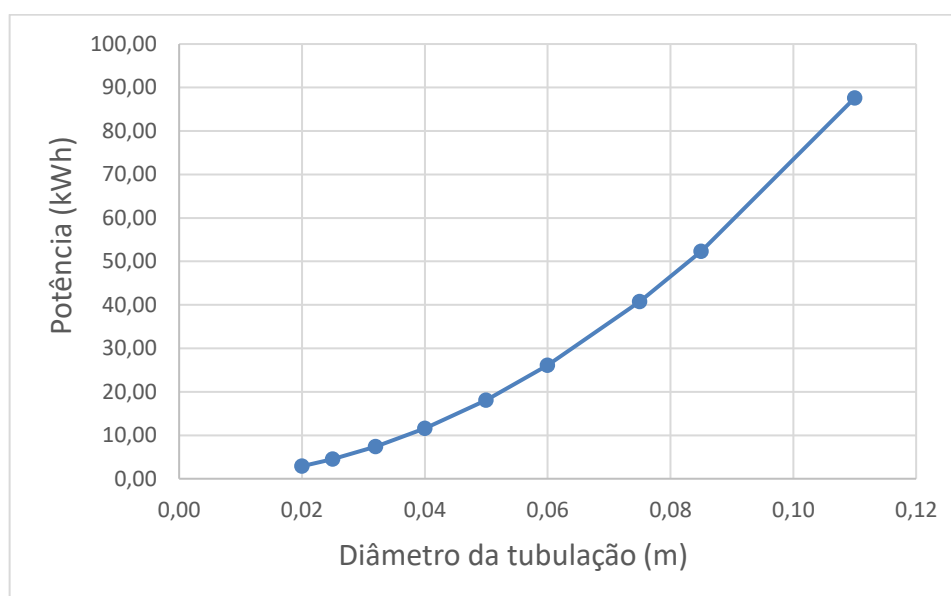
Diâmetro da tubulação (m) / polegadas	Área da tubulação ( $\text{m}^2$ )	Altura (m)	Vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Potência (kWh)
$2,0 \cdot 10^{-2}$ (3/4")	$3,1 \cdot 10^{-4}$	50	$5,90 \cdot 10^{-3}$	2,90
$2,5 \cdot 10^{-2}$ (1")	$4,9 \cdot 10^{-4}$	50	$9,22 \cdot 10^{-3}$	4,52
$3,2 \cdot 10^{-2}$ (1 1/4")	$8,0 \cdot 10^{-4}$	50	$1,51 \cdot 10^{-2}$	7,41
$4,0 \cdot 10^{-2}$ (1 1/2")	$1,26 \cdot 10^{-3}$	50	$2,36 \cdot 10^{-2}$	11,58
$5,0 \cdot 10^{-2}$ (2")	$1,96 \cdot 10^{-3}$	50	$3,69 \cdot 10^{-2}$	18,10
$6,0 \cdot 10^{-2}$ (2 1/2")	$2,83 \cdot 10^{-3}$	50	$5,31 \cdot 10^{-2}$	26,06
$7,5 \cdot 10^{-2}$ (3")	$4,42 \cdot 10^{-3}$	50	$8,3 \cdot 10^{-2}$	40,72
$8,5 \cdot 10^{-2}$ (3 1/4")	$5,67 \cdot 10^{-3}$	50	$1,07 \cdot 10^{-1}$	52,31
$1,1 \cdot 10^{-1}$ (4")	$9,5 \cdot 10^{-3}$	50	$1,786 \cdot 10^{-1}$	87,60

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

Ainda, é possível observar na tabela 4 que conforme o diâmetro da tubulação aumenta

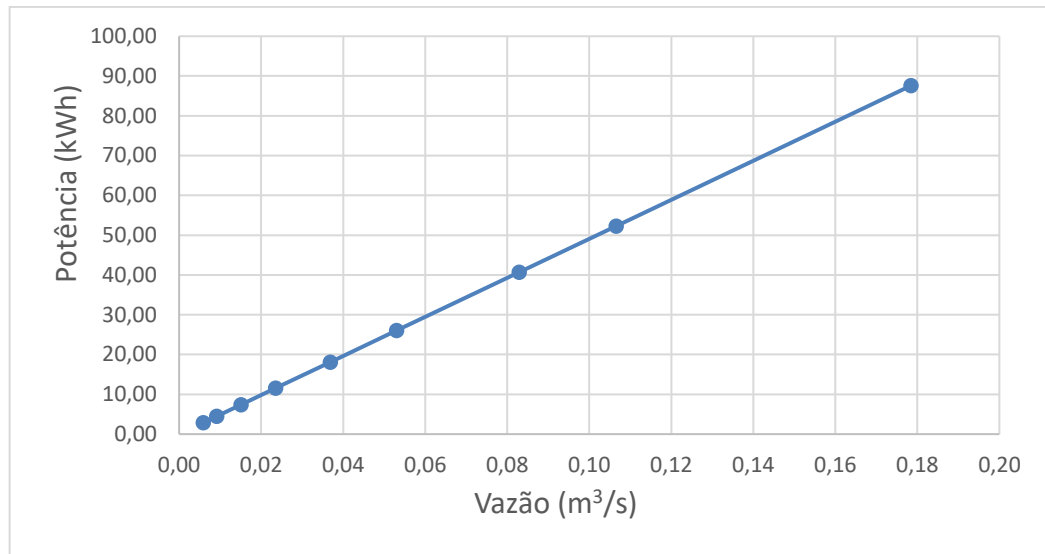
tem-se alteração nos valores da vazão, o que resulta em maior geração de potência. Para um diâmetro de 0,050 metros, a vazão de 0,03690 m<sup>3</sup>/s é suficiente para produzir 18,10 kWh, sendo viável do ponto de vista técnico. No entanto, geralmente não se utiliza esse diâmetro no dimensionamento para edificações residenciais de pequeno porte. Este padrão se mantém para os diâmetros de 0,085m (3 1/4") e 0,110m (4") e produz potências de 52,31 kWh e 87,60 kWh respectivamente, indicando que existe viabilidade técnica caso a turbina seja instalada antes do cavalete residencial, isto é, diretamente na tubulação da concessionária, sendo possível, assim, aproveitar a energia (pressão) para o funcionamento da turbina. Nesse sentido, a viabilidade do uso da turbina Michell-Banki está condicionada a um correto dimensionamento do sistema de abastecimento e ao fornecimento de 50 mca estabelecidos pela norma NBR 12.218 (2017). As figuras 10 e 11 representam o graficamente a relação entre a potência gerada em função do diâmetro da tubulação e da vazão respectivamente, quando uma altura de 50 metros é fixada.

Figura 10 - Gráfico da variação da potência (kWh) em função do diâmetro da tubulação (m) considerando a altura fixa h=50m.



Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

Figura 11 - Gráfico da variação da potência (kWh) em função da vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) considerando a altura fixa  $h=50\text{m}$ .



Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

A implantação do sistema estudado aqui possui custos menos elevados em relação ao sistema fotovoltaico, mas também é menos eficiente. Por outro lado, o uso de ambos associados não é impeditivo e, de fato, é mais eficiente, pois a energia elétrica será produzida em tempos de precipitação e de estiagem, além de que o sistema elétrico de um pode ser usado pelo outro, i.e., economizar-se-á um sistema elétrico na implantação de ambos.

Considerando os fatores ecológicos, de sustentabilidade e inovação, de economia de energia elétrica dos sistemas de hidrelétricas de grande porte em acordo com as perspectivas sociais (Givoni, 1994; Maciel *et al.*, 2006; Souza *et al.*, 2013; Silva, *et al.* 2017), a implantação do sistema proposto mostra ser possível e exequível em alguns casos e atende as perspectivas citadas.

Por ser pouco usada no Brasil, esse tipo de tecnologia precisa, como as outras, de inovações na Engenharia Civil, de ser implementada e estudada em cursos de graduação e pós-graduação a fim de ser compreendida e testada, e os estudos serem aprofundados acerca de sua utilização nos sistemas habitacionais a fim de promover de fato a geração de energia e fazer parte do sistema de trabalho sustentável na construção civil.

## 5 CONCLUSÃO

É possível utilizar a Michell-Banki para a microgeração elétrica residencial, sobretudo quando é realizado o correto dimensionamento do sistema em locais cuja pressão dinâmica mínima ofertada é aproximadamente 50 mca, pois assim é observada a geração de uma quantidade significativa de potência que varia de 18,10 kWh a 87,60 kWh.

A microgeração de energia elétrica através da instalação de microturbinas em sistemas de abastecimento de água tem sido objeto de estudos devido ao seu potencial para aproveitar a energia cinética e potencial da água em movimento. A turbina Michell-Banki destaca-se nesse contexto pela simplicidade construtiva, adaptabilidade a diferentes condições de vazão, já que não demanda um fluxo contínuo de água e a altura de queda que atende.

## REFERENCIAS

ALBERTSON, Maurice Lee. **Hydraulic Turbines and Hydroelectric Power Plants**. Nova York: McGraw-Hill, 2018.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Banco de Informação de Geração**. Brasília, 2019. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acessado em: 02 de set. 2024.

ANTUNES, Evelise Godoy; SOUSA, Maíra Nunes de; SCHERTEL, Marina Neubauer. **Piso que transforma energia mecânica em eletricidade**. 2014. 24f. Trabalho de conclusão de curso (Escola de Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, RS, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15527. **Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15704-1. **Registro – Requisitos e métodos de ensaio – Parte 1: Registros de pressão**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5626. **Instalação predial de água fria**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12218. **Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público – procedimento**. Associação Brasileira de Normas técnicas, Rio de Janeiro, 2017.

Balanço Energético Nacional (BEN) 2024. **BEN interativo**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/ben-interativo>. Acessado em: 12 mar. 2025

BANSAL, Ramesh. **Small Hydropower Systems: Fundamentals and Applications**. Cambridge, Cambridge University Press, 2020.

Biomass Energy Resource Center (BERC). **Biomass Energy: Key Challenges and Opportunities**. Vermont, 2022.

BONOW, Alberto; IBANEZ, Gutierre; PINTO-NETO, Tiago. **O uso do potencial hidráulico predial para micro geração de energia elétrica**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, 2014.

BOURGEAU-CHAVEZ, Laura; MCCAUGHEY, Jessica. *Hydropower in Urban Environment: Opportunities and Challenges*. Springer, Austrália, 2020.

California Energy Commission (CEC). **Micro-Hydropower: Statewide Potential and Benefits**, California, 2019. Disponível em: [www.energy.ca.gov](http://www.energy.ca.gov). Acessado em: 05 set. 2024.

CASTRO, Rui. **Introdução a Energia Mini Hídrica**. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2002.

CECHINEL, Karina Maliska *et al.* Estudo da viabilidade de microgeração de energia nas instalações hidráulicas prediais – Estudo de caso. *In: 6º CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE*, Bento Gonçalves, RS, 2018. **Anais [...]**. Bento Gonçalves: [s.n.], 2018.

DOE (U.S. Department of Energy). **Small Hydropower Technology: Analysis and Market Assessment**, USA, 2019. Disponível em [www.energy.gov](http://www.energy.gov). Acessado em: 05 set. 2024.

ESHA (European Small Hydropower Association). **Guidelines on the Development of Small Hydropower Plants**, Bruxelas, 2021. Disponível em: [www.esha.org](http://www.esha.org). Acessado em: 05 set. 2024.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). **The Role of Small Hydropower in Rural Electrification**, Roma, Itália, 2022.

FARRET, Félix Alberto. **Aproveitamento de Pequenas Fontes de Energia Elétrica**. Editora da UFSM, Santa Maria, Brasil, 245p, 1999.

FARRET, Félix Alberto; SIMÕES, Marcelo Godoy. **Integration of Alternative Sources of Energy**. Hoboken, Nova Jersey, Willey-IEEE Press, 2006.

FRANÇA, Sérgio Luiz Braga; QUELHAS, Osvaldo Luiz Gonçalves. Produção Mais Limpa: Sustentabilidade para a Construção civil. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL*. Florianópolis, Santa Catarina, 2004. **Anais [...]**. Florianópolis: UFSC, 2004.

GALVIS-HOLGUIN, Steven; DEL RIO, Jorge Sierra; HINCAPIÉ-ZULUAGA, Diego. Enhancement efficiency of Michell-Banki turbine using NACA 6512 modified blade profile via CFD. *EUREKA. Physics and Engineering*, Pequim, China, n. 2, p. 55-67, 2022.

GIVONI, Baruch. **Passive and low energy cooling of buildings**. Van Nostrand Reinhold Publishing Company, California, 1994.

Global Wind Energy Council (GWEC). **Global Wind Report**. Bruxelas, 2023.

International Energy Agency (IEA). **Hydropower Status Report 2021: Focus on Small and Micro Hydropower**, Paris, 2021. Disponível em: [www.iea.org](http://www.iea.org). Acessado em: 05 set. 2024.

International Energy Agency (IEA). **Bioenergy and Biofuels Technology Roadmap**. Paris, 2022. Disponível em: [www.iea.org](http://www.iea.org). Acessado em: 05 set. 2024.

International Energy Agency (IEA). **Bioenergy and Biofuels Technology Roadmap**. Paris, 2023. Disponível em: [www.iea.org](http://www.iea.org). Acessado em: 12 mar. 2025.

International Hydropower Association (IHA). **Small Hydropower Report 2023**. Londres: IHA, 2023.

International Renewable Energy Agency (IRENA). **Wind Energy Technology Brief**. Abu Dhabi: IRENA, 2022.

IORRA, Paulo Roberto de Quadros. **Análise do Potencial de Microgeração Hidrelétrica Predial**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia – Departamento de Engenharia Elétrica, Porto Alegre, p. 1-57, 2013.

JEMAL, Abdulbasit Nasir. Comprehensive review of pump as turbine (PAT). **Renewable Energy & Sustainable Development**, Alexandria, Egito, v. 5, n. 2, p. 68, 2019.

KAN, Kan *et al.* Renewable and Sustainable. **Energy Reviews**, Guangdong, China, v. 168, n. 112786, 2022a.

KAN, Kan *et al.* Energy loss mechanism due to tip leakage flow of axial flow pump as turbine under various operating conditions, **Energy**, Elsevier, Xangai, China, v. 255(c), 2022b.

KAUNDA, Chiyembekezo *et al.* A technical discussion on Micro-Hydropower technology and its turbines. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Chipre, v. 20, p. 396-404, 2012.

KIRKE, Brian. Hydrokinetic and ultra-low head turbines in rivers: A reality check. **Energy for Sustainable Development**, Reino Unido, v. 52, p. 1-10, 2019.

LI, Hu; ZHANG, Jiajing. **Small-Scale Hydropower: Design, Implementation and Case Studies**. **Energy**, Elsevier, Xangai, China, 2020.

MACIEL, Alexandra *et al.* **Projeto casa eficiente: demonstração de eficiência energética em habitação unifamiliar**. In: XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído – ENTAC. Florianópolis-SC, 2006.

MARLIANSYAH, Romy *et al.* Optimization potential analysis of micro-hydro power plant (MHPP) from river with low head. **Energy Procedia**, Barcelona, v. 153, p. 74-79, 2018.

MARTINS, Arthur Cristófani; YAMANE, Eitaro. **Projeto de um sistema para produção de energia elétrica e aquecimento/resfriamento residencial utilizando turbina a gás**. Trabalho de conclusão de curso, 2006. Disponível: [http://paineira.usp.br/pme/wp-content/uploads/2014/02/Art\\_TCC\\_007\\_2006.pdf](http://paineira.usp.br/pme/wp-content/uploads/2014/02/Art_TCC_007_2006.pdf). Acessado em: 14 dez. 2024.

MEHR, Goodarz *et al.* A novel design and performance optimization methodology for hydraulic Cross-Flow turbines using successive numerical simulations. **Renewable Energy**, Porto, Portugal, v. 169, p. 1402-1421, 2021.

MELLO-JÚNIOR, Marco Antônio. **Viabilidade da energia hídrica, eólica e solar nas zonas urbanas. Potencial para o quase zero da energia.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Lisboa, 2016.

NETO, Fernando Puell. **Banco de ensaios para pequenas bombas utilizando a turbina Michell-Banki como máquina motora.** 1999. 205 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, 1999.

NETTO, José Martiniano de Azevedo. **Manual de hidráulica.** 9ª ed., São Paulo - Edgard Blücher Ltda, 2015.

OLIVEIRA-FILHO, Francisco Adones de. **Aplicação do conceito de produção limpa: estudo em uma empresa metalúrgica do setor de transformação do alumínio.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

PAISH, Oliver. Small hydro power: technology and current status. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Chipre, v. 6, n. 6, p. 537-556, 2002.

PAISH, Oliver. Micro-Hydropower: Status and Prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Chipre, v. 11, n. 5, p. 1292-1305, 2019.

PASTOR, João César Silva; MACÊDO, Ana Vitória de Almeida. **Panorama Atual e Perspectivas Futuras das Fontes de Energia Renováveis Intermitentes do Nordeste Brasileiro.** *In:* VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar. Fortaleza, Ceará, 2020.

POLAGYE, Brian *et al.* Comparison of cross-flow turbine performance under torque-regulated and speed-regulated control Scilight featured. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, San Diego, California, v. 11, n. 4, 2019.

PURWANTO, Adi Pireno. The modeling of 80mm diameter cross flow turbine runner for mini/micro hydro environmentally friendly power plant. **Journal of Physics**, Bristol, Inglaterra, v. 1217, n. 012013, 2019.

RANTERERUNG, Corvis *et al.* A double nozzle cross flow turbine fluid flow dynamic. **Journal of Southwest Jiaotong University**, Xangai, China, v. 55, n. 4, 2020.

REN21. **Renewables 2023 Global Status Report.** Paris, França: REN21, 2023.

RICHTER, Carl. Advances in Pico and Micro Hydropower Systems. **Energy Reports**, Texas, v. 7, p. 245-259, 2021.



ROSA, Mayra. Brasileiros criam mini usina hidrelétrica capaz de abastecer residência. **Ciclo Vivo**, 2022. Disponível em: <https://ciclovivo.com.br/inovação/tecnologia/mini-usina-hidreletrica-criada-por-brasileiros-e-capaz-de-abastecer-residencia/>. Acessado em: 05 set. 2024.

SAMMARTANO, Vincenzo *et al.* Banki-Michell micro-turbines for energy production in water distribution networks. *In: PROCEEDINGS OF THE 4TH EUROPEAN IAHR CONFERENCE*. Liedge, Belgica, p. 27–29, 2016.

SAMMARTANO, Vincenzo *et al.* Coupled Hydraulic and Electronic Regulation of Cross-Flow Turbines in Hydraulic Plants. **Journal of Hydraulic Engineering**, Reston, Virginia, EUA, v. 143, n. 04016071, 2017.

SEBRAE. **A melhoria da produtividade e da qualidade ambiental são desafios da micro e pequena empresa**. Brasília: SEBRAE, 2001.

SINAGRA, Marco *et al.* Experimental and Numerical Analysis of a Cross-Flow Turbine. **Journal of Hydraulic Engineering**, Reston, Virginia, EUA, v. 142, n. 04015040, 2015.

SILVA, Daniel Pereira da *et al.* Construção sustentável na Engenharia Civil. **Cadernos de Graduação: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Sergipe, v. 4, n. 2, p. 89-100. 2017.

SILVA, João Ribeiro da; MARTINS, Pedro Andrade. Viabilidade econômica da microgeração hidráulica residencial. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Paraná, v. 9, n. 2, p. 45-60, 2020.

SILVA, Priscila Carvajal da *et al.* Tratamento e reuso de águas residuais em edificações. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Santa Catarina, v. 25, n. 1, p. 101-110, 2020.

SILVA-PEREIRA, Donizete da; NETO, Romeu e Silva. Diversificação de fontes geradoras da matriz elétrica brasileira: uma revisão sistemática. **Meio Ambiente (Brasil)**, Ceará, v. 3, n. 1, 2021.

SOUZA, Eduardo Martins de *et al.* Arquitetura futurística e energia sustentável – parte II. **Revista de Ciências Exatas e da Terra UNIGRAN**, Dourados-MS, v. 2, n. 2, p. 1-13. 2013.

SOUZA, Carla Crislan de *et al.* Estudo de turbinas hidráulicas para microgeração de energia em redes de abastecimento. **Engenharia e Tecnologia Sustentável**, Ponta Grossa-PR, v. 15, n. 1, p. 22-38, 2021.

THIAGO-FILHO, Geraldo Lúcio. **Eficiência dos equipamentos de PCH's no Brasil**. Itajubá-MG: EFEI, 2004.

TORRES, Willian. **Avaliação da geração de energia elétrica de uma microturbina instalada em tubulações de água em sistemas agroindustriais**. 2020. 55 f. Dissertação

(Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel – PR.