

**NOTA TÉCNICA**

# **ENERGIA HIDROCINÉTICA: PERSPECTIVAS NO CONTEXTO BRASILEIRO**

**07 DE MAIO DE 2026**



**MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA**



■ **Colaboradores**

**Coordenação Geral**

Carla Achão

**Coordenação Executiva**

Arnaldo dos Santos

**Coordenação Técnica**

Gabriel Konzen

**Equipe Técnica**

André Makishi

Bruno Faria Cunha

Charles Vieira de Mello

Diego Pinheiro de Almeida

Erick Oliveira

Gustavo Schmidt

Helena da Motta

Luciano Basto

Marcos Fonseca

Mauro Rezende



## VALOR PÚBLICO

A EPE ESTIMA O POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR MEIO DE DIFERENTES ROTAS TECNOLÓGICAS DE GERAÇÃO, DE ACORDO COM OS CENÁRIOS ESTABELECIDOS NOS PLANOS DE ENERGIA – PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA (PDE) E PLANO NACIONAL DE ENERGIA (PNE).

COM ESTA NOTA TÉCNICA A EPE TRAZ TRANSPARÊNCIA E CONTRIBUI PARA A REDUÇÃO DA ASSIMETRIA DE INFORMAÇÕES SOBRE O APROVEITAMENTO DE FONTES RENOVÁVEIS NÃO CONVENCIONAIS, COMO A GERAÇÃO HIDROcinÉTICA, OS DESAFIOS DE SUA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA, AS POSSIBILIDADES DE INTEGRAÇÃO COM POLÍTICAS PÚBLICAS DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL E OS DIFERENTES CONTEXTOS PARA ABORDAGEM DE ESTRATÉGIAS DE DESCARBONIZAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE PROJETOS DE GERAÇÃO DE MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA.

MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA



**Ministro de Estado**

Alexandre Silveira de Oliveira

**Secretário-Executivo**

Gustavo Cerqueira Ataíde

**Secretário de Energia Elétrica**

João Daniel de Andrade Cascalho

**Secretária de Geologia, Mineração e Transformação Mineral**

Ana Paula Lima Vieira Bittencourt

**Secretária de Transição Energética e Planejamento Substituta**

Lorena Melo Silva Perim

**Secretário de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**

Renato Cabral Dias Dutra

**Presidente**

Thiago Guilherme Ferreira Prado

**Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais**

Thiago Ivanoski Teixeira

**Diretor de Estudos de Energia Elétrica**

Reinaldo da Cruz Garcia

**Diretor de Estudos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis**

Heloísa Borges Bastos Esteves

**Diretor de Gestão Corporativa**

Carlos Eduardo Cabral Carvalho

<http://www.epe.gov.br>



## ■ Sumário

<b>1. Introdução.....</b>	<b>6</b>
<b>2. Definição, histórico e nível de maturidade tecnológica .....</b>	<b>9</b>
2.1. Nível de maturidade das turbinas hidrocínéticas.....	9
<b>3. Descrição da tecnologia e turbinas selecionadas pelos estudos.....</b>	<b>12</b>
<b>4. Estudos de casos internacionais .....</b>	<b>16</b>
4.1. Caso 1: Marisol, Peru .....	16
4.2. Caso 2: Bellavista, Peru.....	16
4.3. Caso 3: Nova Escócia, Canadá .....	17
<b>5. Estudos de viabilidade e potencial hidrocínético no Brasil .....</b>	<b>19</b>
5.1. Principais parâmetros a se considerar na análise de viabilidade técnica .....	20
5.2. Estudo 1: Sul do RJ até Chuí (RS) .....	21
5.3. Estudo 2: UHEs Samuel (RO) e Curuá-Una (PA).....	22
5.4. Estudo 3: Óbidos (PA) .....	23
5.5. Estudo 4: Bacia Amazônica .....	24
5.6. Estudo 5: Entre Óbidos (PA) e Macapá (AP); Manaus e Jatuarana (AM) .....	24
5.7. Estudo 6: Calama (RO).....	25
5.8. Conclusão dos trabalhos.....	26
<b>6. Estudo de caso EPE para os Sistemas Isolados.....</b>	<b>27</b>
<b>7. Benefícios e desafios das tecnologias hidrocínéticas e sua geração hidráulica .....</b>	<b>32</b>
<b>8. Conclusões .....</b>	<b>34</b>
<b>Referências Bibliográficas.....</b>	<b>35</b>

## ■ Lista de Ilustrações

Figura 1 - Estrutura de um sistema hidrocínético. Fonte: Adaptado de Ferraz et al., 2024. ....	9
Figura 2 - Linha do tempo de desenvolvimento e progresso de sistemas hidrocínéticos. Fonte: Adaptado de Ibrahim et al., 2021. ....	9
Figura 3 - Curva $C_p$ x TSR para diferentes tipos de turbinas. Fonte: Rupp, 2018. ....	13
Figura 4 - Turbinas de eixo horizontal. Fonte: CERPCH, 2020. ....	14
Figura 5 - Modelos de turbinas de eixo vertical. Fonte: EMEC, 2018. ....	14
Figura 6 - Modelos de turbinas com difusores. Fonte: EMEC, 2018. ....	15
Figura 8 - Instalação de uma turbina hidrocínética em Marisol, Peru. Fonte: Smart Hydro, 2025. ....	16
Figura 9 - Instalação de turbina hidrocínética em Bellavista, Peru. Fonte: Smart Hydro, 2025. ....	17
Figura 10 - Diagrama do sistema híbrido em Bellavista, Peru. Fonte: Smart Hydro, 2025. ....	17
Figura 11 - Plataforma PLAT-I 6.40 instalada na Baía de Fundy, Canadá. Fonte: Kaufman et al. (2023) ..	18
Figura 12 - Possíveis impactos ambientais por turbinas hidrocínéticas. Fonte: Echeverry, 2021. ....	21
Figura 13 - Área de estudo. Em destaque as duas regiões de interesse, a Ilha de Florianópolis em Santa Catarina, e a Ilhabela em São Paulo. ....	22
Figura 14 - Posições de interesse Rio Curuá-Una. Fonte: Filho, 2016. ....	23
Figura 15 - Foco na seção do rio objetivo do estudo. Fonte: Rupp, 2018. ....	23
Figura 16 - Índices de adequação para turbinas em fluxo na Amazônia brasileira. Fonte: Chaudhari et al., 2021. ....	24
Figura 17 - Regiões prospectadas no Rio Amazonas. Fonte: Oliveira, 2021. ....	25
Figura 18 - Localização da área de estudo. Fonte: Adaptado de Silva, 2024. ....	26

## ■ Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Curva de carga e média anual do consumidor típico dos Sistemas Isolados. ....	27
Gráfico 2 - Redução do LCOE x aumento de capacidade instalada para projetos de até 5 kW. ....	31
Gráfico 3 - Redução do LCOE x aumento de capacidade instalada para projetos de até 1 MW. ....	31

## ■ Lista de Tabelas

Tabela 1 - Classificação de TRL do Departamento de Energia dos EUA ....	10
Tabela 2 - Comparação entre hidrelétricas e hidrocínéticas. ....	15
Tabela 3 - Resumo dos principais trabalhos de viabilidade de sistemas de hidrocínética no Brasil. ....	19
Tabela 4 - Preços de turbinas hidrocínéticas típicas. ....	28
Tabela 5 - Comparação entre tarifas de diversas fontes na região norte x LCOE hidrocínética. ....	30

# 1. Introdução

---

No Brasil, a expansão da geração de energia elétrica esteve historicamente associada ao desenvolvimento de usinas térmicas e hidrelétricas. As primeiras iniciativas datam da década de 1880, com a implantação de usinas térmicas a vapor para atendimento à iluminação pública em Campos dos Goytacazes (RJ) e a atividades industriais, seguidas pela construção das primeiras centrais hidrelétricas de pequeno porte em Minas Gerais. No ano de 1889, entrou em operação a Usina de Marmelos, em Juiz de Fora (MG), considerada a primeira hidrelétrica do país e da América Latina a fornecer energia elétrica para iluminação pública e privada. A partir do início do século XX, a geração hidrelétrica consolidou-se como a principal fonte da matriz elétrica brasileira, impulsionada ao longo das décadas seguintes pela construção de grandes usinas com reservatórios.

Entre os projetos desse período, destacam-se três empreendimentos da Light, sendo as usinas de Fontes (1908), Fontes Nova (1940) e Nilo Peçanha (1954), que acrescentaram potência significativa ao Sistema Elétrico Brasileiro (SEB) e marcaram a expansão da energia elétrica no eixo Rio – São Paulo. A expansão hidrelétrica intensificou-se sobretudo a partir da década de 1950, com a criação de empresas estatais como Furnas, Cemig e Chesf, e a posterior implantação de empreendimentos estruturantes, como Itaipu e Tucuruí.

No entanto, a partir do século XXI, a expansão de usinas hidrelétricas com grandes reservatórios tornou-se mais complexa devido a restrições socioambientais, especialmente nas regiões remanescentes com elevado potencial hidrelétrico, como a Amazônia. Diante dessa nova realidade, o aproveitamento hidráulico passou a se dar principalmente por usinas sem reservatório, ou a fio d'água, tais com Jirau, Santo Antônio e Belo Monte, e empreendimentos de menor porte, como as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e as Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGHs)<sup>1</sup>.

Paralelamente, nas últimas duas décadas, o Brasil promoveu a diversificação de sua matriz elétrica por meio da inserção de fontes renováveis complementares, como a eólica, a solar fotovoltaica e a biomassa, além da ampliação do uso do gás natural. Ainda assim, a geração hidrelétrica mantém papel central no SEB, respondendo por parcela significativa da geração nacional de energia e desempenhando funções relevantes de flexibilidade e capacidade. Por isso, o país continua buscando formas de aproveitamento de seu potencial hidráulico remanescente, como, por exemplo, por meio do leilão A-5 de 2025, no qual houve a contratação de 816 MW em novos projetos hidrelétricos, principalmente de PCHs.

No entanto, ainda há pouca informação consolidada sobre a aplicação de tecnologias hidrocínéticas (THCs) no Brasil para o aproveitamento hidrelétrico. As turbinas hidrocínéticas convertem a energia cinética da água em energia elétrica por meio de rotores ou hélices instalados em rios de baixa velocidade, canais fluviais ou regiões costeiras, dispensando a construção de barragens e reservatórios. Desse modo, são sistemas modulares, tipicamente de pequeno a médio porte, com potencial de aplicação em contextos específicos onde a disponibilidade de vazão e velocidade de corrente permitam sua operação.

Em função de suas características, as turbinas hidrocínéticas podem ser utilizadas em diferentes modelos de negócios de suprimento de energia, sendo os principais:

- Suprimento aos Sistemas Isolados com, ou sem, associação a outras fontes de geração de energia e baterias;
- Conectadas à rede, através da modalidade de Microgeração e Minigeração Distribuída (MMGD).

---

<sup>1</sup> Segundo a REN nº 875/2020 da ANEEL, os aproveitamentos hidrelétricos enquadrados como Central Geradora Hidrelétrica (CGH) são aqueles cuja potência seja igual ou inferior a 5.000 kW. Aproveitamentos hidrelétricos com potência instalada superior a 5.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW são enquadrados como Pequena Central Hidrelétrica (PCH).

- Suprimento, seja exclusivamente a uma unidade consumidora na modalidade do Sistema Individual de Geração de energia elétrica com Fonte Intermitente (SIGFI), ou a um conjunto de unidades na modalidade de Microssistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica (MIGDI);

Atualmente, o atendimento energético dos Sistemas Isolados no Brasil é predominantemente realizado por usinas termelétricas a óleo diesel. Essa fonte é caracterizada por altos custos operacionais, impactos ambientais relevantes, como fumaça, gases poluentes e metais pesados, e desafios logísticos, especial na região amazônica, pela necessidade de ser transportado por longas distâncias por barcos. Esses custos são subsidiados por meio da Conta de Consumo de Combustíveis (CCC), totalizando o valor de R\$ 11,1 bilhões de reais em 2024 (ANEEL, 2025). Nesse contexto, as THCs se apresentam como uma alternativa potencial para a substituição da geração termelétrica a diesel nos Sistemas Isolados, contribuindo para a redução de custos e emissões.

Adicionalmente, políticas recentes do planejamento energético têm estimulado a ampliação da participação de fontes renováveis no atendimento aos Sistemas Isolados. Por exemplo, a Portaria MME 92/2024, que estabeleceu as diretrizes para o Leilão de Contratação de Soluções de Suprimento aos Sistemas Isolados (SISOL) de 2025, definiu uma participação mínima de 22% para as fontes renováveis no total da energia contratada no certame. Diante deste cenário, torna-se cada vez mais necessário que os estudos de planejamento verifiquem as novas tecnologias e fontes que ampliem o acesso à energia elétrica nas comunidades remotas e nos Sistemas Isolados da Amazônia, ainda não interligados ao SIN.

No âmbito dos sistemas conectados à rede, a Lei nº 14.300/2022 permite que projetos hidrelétricos de até 5 MW sejam caracterizados como MMGD. Assim, os consumidores podem fazer uso desta fonte para o atendimento próprio de energia elétrica através do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE). Como mostram os dados do Painel de Dados de Micro e Minigeração Distribuída (EPE, 2025), ao final de 2024, verificou-se que havia 66 projetos hidrelétricos operando como MMGD, somando uma potência de 59 MW. Assim, vislumbra-se a possibilidade de aproveitamento das turbinas hidrocinéticas para o desenvolvimento de projetos hidrelétricos na modalidade de MMGD.

No caso dos modelos de atendimento individual, o SIGFI é hoje amplamente baseado em sistemas fotovoltaicos, mas pode se beneficiar de soluções hidrocinéticas em moradias ribeirinhas com fluxo de água estável. Nesses casos, a geração contínua da hidrocinética reduziria a necessidade de baterias e ofereceria maior previsibilidade de suprimento para consumidores com demanda entre 45 e 180 kWh/mês. Como alternativa ou complemento à solar, ela ampliaria as possibilidades de fornecimento renovável para famílias em regiões isoladas.

Por sua vez, para arranjos coletivos, o MIGDI permite que a hidrocinética desempenhe um papel ainda mais relevante ao atender comunidades com demandas de até 100 kW. Nessas microrredes, a tecnologia pode complementar ou substituir parte da geração fotovoltaica, diminuindo a dependência de bancos de baterias e de geradores a diesel, graças à sua operação contínua ao longo das 24 horas (quando a vazão é adequada). Além disso, a modularidade das turbinas facilita a instalação de múltiplas unidades, aumentando a confiabilidade e a eficiência no atendimento da comunidade.

Nesse contexto, este trabalho busca caracterizar as tecnologias hidrocinéticas e o seu potencial de aplicação no Brasil por meio de uma revisão da análise de experiências internacionais e nacionais, bem como a modelagem técnica e econômica de um estudo de caso aplicado aos Sistemas Isolados. Assim, o capítulo 2 apresenta a definição, o histórico e o nível de maturidade tecnológica (TRL) das turbinas hidrocinéticas. No capítulo 3, descreve a tecnologia e os principais modelos de turbinas analisados. O capítulo 4 é dedicado a apresentação dos casos internacionais. O capítulo 5 consolida estudos de viabilidade e estimativas de potencial no Brasil. O capítulo 6 apresenta um estudo de caso realizado pela EPE para avaliar a viabilidade da aplicação das THCs nos Sistemas Isolados. O capítulo 7 discorre sobre os

benefícios e desafios para a aplicação dessa tecnologia. Por fim, no capítulo 8 são apresentadas as principais conclusões.

## 2. Definição, histórico e nível de maturidade tecnológica

Por definição, um sistema hidrocinético é um dispositivo eletromecânico que converte a energia cinética do fluxo de água em energia elétrica por meio de um gerador e um sistema de conversão eletromecânico de potência (FERRAZ et al., 2024), conforme figura abaixo.

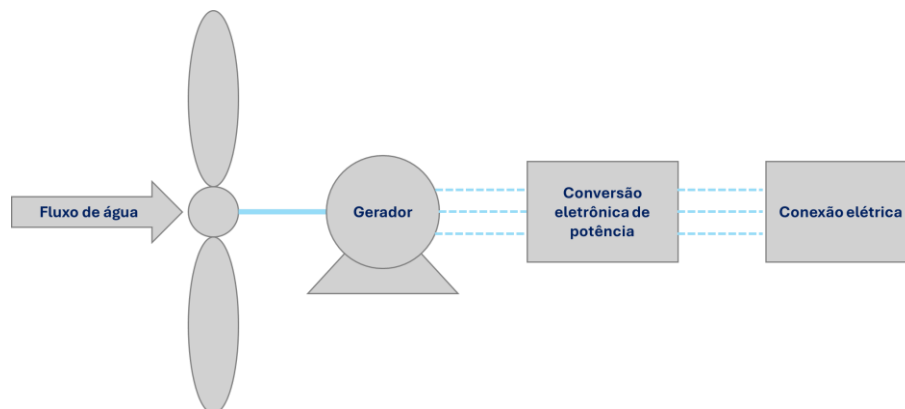


Figura 1 - Estrutura de um sistema hidrocinético. Fonte: Adaptado de Ferraz et al., 2024.

Cabe ressaltar, no entanto, que por se tratar de uma fonte de produção de energia dependente da vazão do fluido, a geração hidrocinética é variável. Logo, do ponto de vista de sua aplicação, pode ser necessária a associação a outras fontes ou sistemas de baterias.

Com os avanços na tecnologia nas últimas décadas e a natureza intermitente de outras tecnologias renováveis como a solar e a eólica, o interesse em aproveitar a energia desses sistemas baseados no fluxo de água teve um avanço considerável a partir da década de 1980. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** abaixo indica os nomes dos projetos e/ou o nome do equipamento, recebendo a denominação dos pesquisadores, projetistas e empresas, de Tecnologias Hidrocinéticas (THCs).

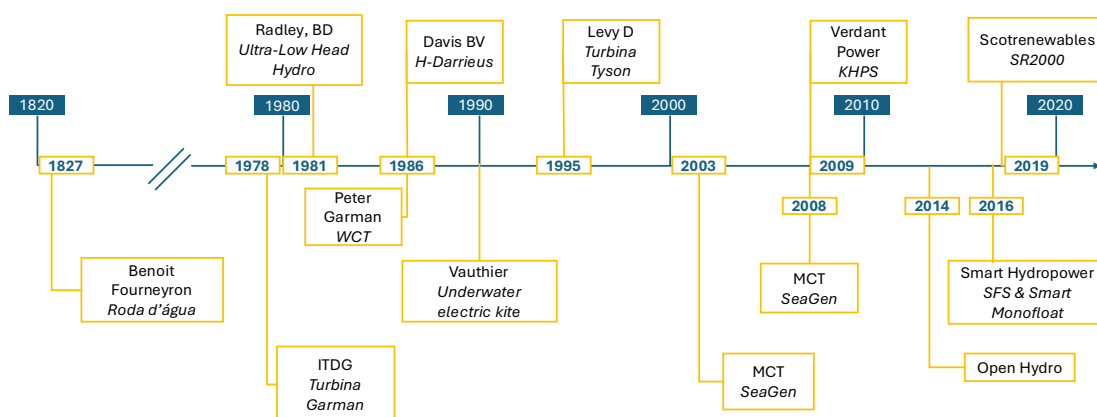


Figura 2 - Linha do tempo de desenvolvimento e progresso de sistemas hidrocinéticos. Fonte: Adaptado de Ibrahim et al., 2021.


### 2.1. Nível de maturidade das turbinas hidrocinéticas

Do ponto de vista da prontidão funcional e maturidade técnica, as turbinas hidrocinéticas (THCs) se encontram atualmente em desenvolvimento, com diversos modelos existentes, sem uma consolidação

comercial. O levantamento de Malali et al. (2025) identificou 14 (catorze) projetos de THCs que se encontram atualmente em desenvolvimento. Desses, 8 (oito) estão dentro dos níveis de maturidade tecnológicos (TRLs) de 7 a 9 (conforme Tabela 1), passando por demonstração em escala real do sistema em ambientes relevantes para correntes fluviais, de maré e oceânicas. Em geral, as THCs para correntes de maré e oceânicas utilizam a tecnologia de turbina de eixo horizontal.

**Tabela 1 - Classificação de TRL do Departamento de Energia dos EUA. Fonte: MALALI et al., 2025.**

Nível (level)	Classificação IEA	Detalhamento
1	Princípios básicos observados	Princípios científicos fundamentais são observados e relatados; início da pesquisa básica.
2	Conceito da tecnologia formulado	O conceito tecnológico e/ou possíveis aplicações são definidos; início da pesquisa aplicada.
3	Prova de conceito analítica e experimental	Funções e características críticas são validadas por meio de análises e experimentos laboratoriais iniciais.
4	Validação de componentes em laboratório	Componentes e/ou subsistemas individuais são testados e validados em ambiente controlado de laboratório.
5	Validação de sistema similar em ambiente relevante	Montagem de um sistema ou subsistema em escala de laboratório e validação em ambiente relevante (condições simuladas).
6	Validação piloto/protótipo em ambiente relevante	Protótipo em escala de engenharia/piloto é construído e testado em ambiente relevante, aproximando condições reais.
7	Demonstração de sistema prototípico em ambiente real	Protótipo em escala real é demonstrado em ambiente real, comprovando desempenho previsto e integração do sistema.
8	Sistema real completo e qualificado	Sistema finalizado é testado, qualificado e aprovado em ambiente real; demonstrado com sucesso conforme requisitos.
9	Sistema real operando	Sistema encontra-se em operação comercial/industrial, atingindo



	performance comprovada em condições reais.
--	--

Em países como Canadá, Escócia, Holanda, Noruega, Suécia, França, Japão e EUA, esse TRL evoluiu do nível 5 para nível 9, nos últimos 6 anos, com projetos em operação e conectados à rede, em diversos rios, estuários e baías. No Instituto Nacional de Energias Oceânicas e Fluviais (INEOF) da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), estão sendo desenvolvidos diversos estudos e protótipos de turbinas hidrocínéticas, com destaque para a turbina Yarama (com difusor), de 15 kW, de TRL 5, cuja patente está sendo solicitada no INPI<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Fala do Prof. Ramiro Camacho da UNIFEI durante palestra no VI Workshop de Energias Oceânicas e Fluviais realizado no RJ em 05/09/24.

### 3. Descrição da tecnologia e turbinas selecionadas pelos estudos

---

A tecnologia das turbinas hidrocinéticas é projetada para capturar a energia cinética das correntes de água e convertê-la em energia elétrica, sendo estes alguns aspectos importantes dessa tecnologia:

Componentes Principais:

- Rotor: Composto por pás que capturam a energia da água em movimento.
- Gerador: Converte a energia mecânica do rotor em energia elétrica.
- Sistema de Ancoragem: Mantém a turbina estável no local de instalação, podendo ser fixo ou flutuante.
- Sistema de Conversão: Transforma a energia elétrica gerada em uma forma utilizável para a rede elétrica ou armazenamento.
- Sistema de Controle: Monitora e ajusta o funcionamento da turbina para otimizar a produção de energia.

A eficiência da turbina depende da velocidade da água, do design das pás e da densidade do fluido e, como será apresentado a seguir, varia consideravelmente conforme esses parâmetros são alterados. Portanto, o processo de seleção do tipo de turbina desempenha papel importante na eficiência de conversão do potencial hidrocinético em energia elétrica.

Dessa forma, para se determinar a potência a ser extraída de uma turbina deve ser utilizada a equação abaixo, a qual leva em consideração os três elementos supracitados (velocidade, design das pás e densidade do fluido), e o coeficiente de Betz ( $C_p$ ), o qual consiste no limite teórico de energia cinética que pode ser extraída de um fluido em movimento (ECHEVERRY, 2021):

$$P = C_p \times \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \quad (1)$$

Sendo:

$P$  = potência total produzida pela turbina.

$C_p$  = coeficiente de Betz. O valor máximo teórico é de aproximadamente 0,59.

$\rho$  = densidade do fluido.

$A$  = área varrida pelo fluido.

$v$  = velocidade do fluido.

Além da equação acima, também é necessária a determinação da razão de velocidade da ponta da pá (*tip-speed ratio* em inglês ou simplesmente "TSR") no processo de seleção da turbina para garantir que ela opere em seu ponto de máxima eficiência (FARIA, 2017).

$$\lambda = \frac{\omega \times R}{v} \quad (2)$$

Sendo:

$\lambda$  = *Tip-speed ratio* ou TSR.

$\omega$  = velocidade angular.

$R$  = raio da turbina, ou comprimento da pá.

$v$  = velocidade do fluido.

Dessa forma, a TSR mede a velocidade tangencial na ponta da pá da turbina, medida extremamente útil porque, para cada tipo de turbina, existe uma faixa ótima de operação. Isto é, se a TSR é baixa a turbina gira muito devagar e as pás não aproveitam bem a energia do fluxo, resultando em baixa potência. Por outro lado, uma TSR alta implica na turbina girando mais rapidamente, o que significa um arrasto excessivo, aumentando as perdas e diminuindo a eficiência da geração de energia (SANTOS, 2021). Portanto, sua determinação é necessária a fim de se dimensionar o número e o perfil das pás, ao relacionar a velocidade da corrente de água com a velocidade de rotação da turbina.

A partir das combinações das equações (1) e (2) apresentadas anteriormente, são geradas as curvas abaixo, explicitando como a eficiência de conversão de energia cinética em elétrica, a partir da água ou do vento, pode variar em função do tipo de turbina selecionada para o projeto. Ou seja, as curvas indicam que, para turbinas de eixo horizontal, quanto menor o número de pás, maior o TSR ótimo. Contudo, essa condição também apresenta menores valores de coeficiente de Betz.

Por isso, uma turbina de 3 (três) pás apresenta a melhor combinação para eólicas, por exemplo, com coeficiente de Betz mais próximo do limite teórico e uma faixa de operação possível com TSR ótimo entre 6 e 8. Por outro lado, para as hidrocínéticas, como a densidade da água é muito maior que a do ar, cerca de 800 vezes, as turbinas podem ser menores e operar com velocidades mais baixas para gerar uma mesma potência que a de uma turbina eólica, conforme a equação 1.

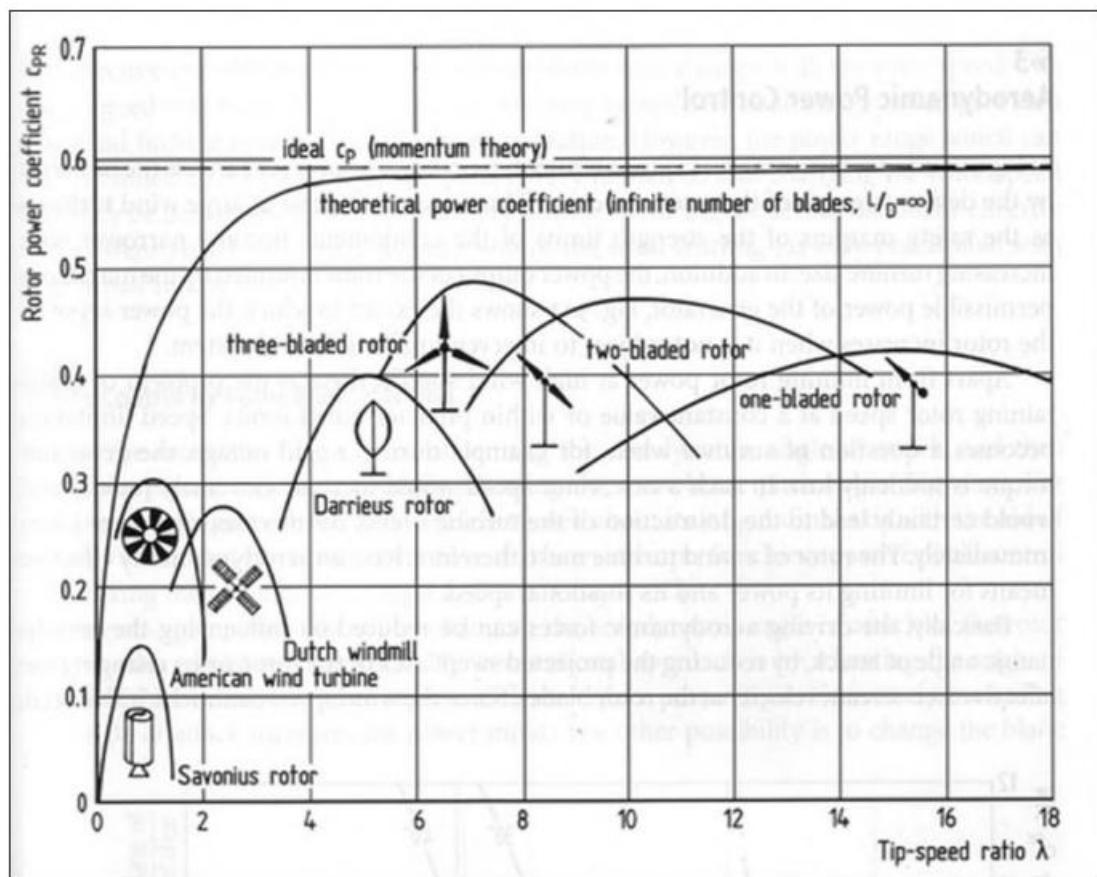


Figura 3 - Curva  $C_p$  x TSR para diferentes tipos de turbinas. Fonte: Rupp, 2018.

Desse modo, considerando que as THCs possuem maior versatilidade em termos construtivos, elas se classificam em 3 (três) tipos, conforme as figuras 4, 5 e 6 abaixo:

- A) Turbinas de eixo horizontal: extraem energia da água da mesma forma que as turbinas eólicas extraem energia do ar. A corrente faz com que os rotores girem em torno do eixo horizontal e produzem energia.

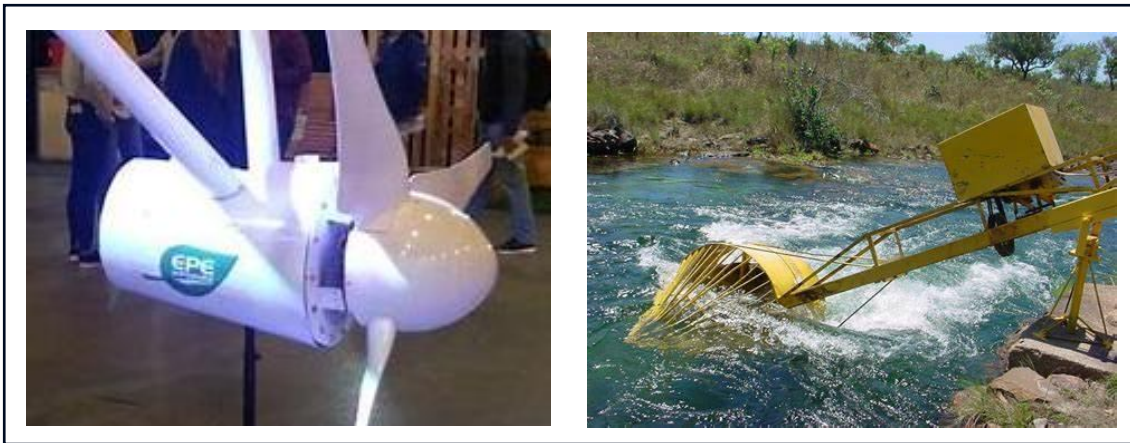


Figura 4 - Turbinas de eixo horizontal. Fonte: CERPCH, 2020.

- B) Turbinas de eixo vertical: extraem energia das correntes de maneira semelhante à anterior, porém a turbina é montada em um eixo vertical, o qual aciona o gerador.

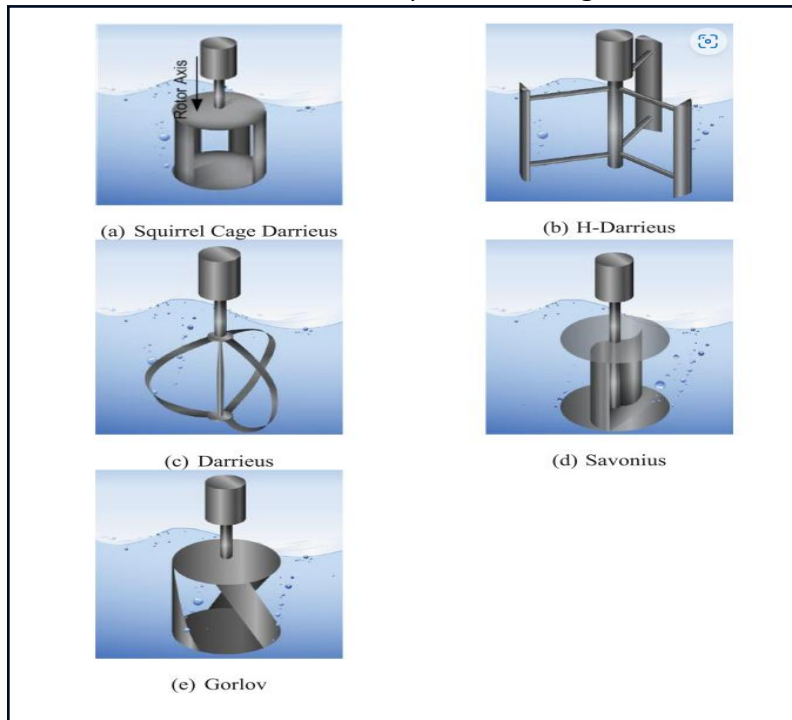


Figura 5 - Modelos de turbinas de eixo vertical. Fonte: EMEC, 2018.

- C) Turbinas de eixo horizontal com difusores (dispositivos de efeito Venturi): abrigam o rotor em um duto que concentra o fluxo de água que passa através da turbina, aumentando sua eficiência.



Figura 6 - Modelos de turbinas com difusores. Fonte: EMEC, 2018.

A partir da descrição anterior, verifica-se que a utilização de turbinas hidrocínéticas permite a geração de energia elétrica a partir da fonte hidráulica sem construção de barragens, dispositivos eletromecânicos complexos e subestações de grande porte como nas hidrelétricas convencionais. Nesse contexto, as THCs apresentam-se como uma alternativa de geração de energia mais simples para atendimento de pequenas cargas quando comparadas às hidrelétricas convencionais. Na Tabela 2 encontram-se as principais características desses projetos em comparação com as hidrelétricas.

Tabela 2 - Comparação entre usinas hidrelétricas e hidrocínéticas. Fonte: Elaboração própria.

Características	Hidrelétricas	Hidrocínéticas
<b>Funcionamento</b>	Convertem energia potencial da água armazenada, ou não, em reservatórios, que através das turbinas, geram energia elétrica.	Utilizam a energia cinética das correntes de rios, marés ou oceânicas, gerando energia elétrica.
<b>Estrutura</b>	Necessitam de grandes barragens e estruturas civis, formando reservatórios para armazenamento de água.	Podem ser instaladas diretamente nos cursos de água, evitando a construção de barragens e necessitando apenas do sistema de ancoragem.
<b>Capacidade de Geração</b>	Alta capacidade de geração de energia (30 a 20.000 MW).	Baixa capacidade de geração de energia (30 a 500 kW), sendo modular e atendendo aos requisitos de MMGD.
<b>Custo de Capital (CAPEX)</b>	Potencialmente com menor custo por MW instalado, mas elevados custos de construção, devido a existências de grandes estruturas civis e eletromecânicas.	Baixos custos de instalação, com poucas obras civis ou estruturas para sua operação, apenas ancoragem para os flutuantes ou o fundeio no leito dos rios.
<b>Custo de Operação e Manutenção (OPEX)</b>	Baixos custos de operação e manutenção, com equipamentos de alta confiabilidade projetados para durar por 50 anos ou mais.	Os custos de operação e manutenção podem variar, por conta das inspeções, limpeza de equipamentos e manutenções subaquáticas.

## 4. Estudos de casos internacionais

Em alguns países a tecnologia hidrocínética já é aplicada, com equipamentos e projetos em teste de performance. A seguir são apresentadas três aplicações, 2 em comunidades isoladas da América do Sul e uma no Canadá.

### 4.1. Caso 1: Marisol, Peru



Figura 7 - Instalação de uma turbina hidrocínética em Marisol, Peru. Fonte: Smart Hydro, 2025.

O primeiro caso de destaque é o projeto realizado com o governo local de San Martin (Peru), Comitê de Eletrificação Marisol e GIZ (Peru). Marisol é uma vila localizada na Amazônia peruana, no estado federal de St. Martin, às margens do rio Alto Huayabamba, e é uma típica comunidade rural. A aldeia tem aproximadamente 60 famílias, com a maioria das pessoas trabalhando na plantação de cacau. Há também uma escola, igrejas e uma oficina básica usada principalmente para carpintaria. Antes da instalação do sistema da fabricante Smart Hydro, a comunidade tinha acesso à eletricidade por algumas horas por dia, usando um gerador a diesel. Este projeto desenvolvido pelo governo regional com a cooperação técnica da GIZ garantiu uma produção constante de eletricidade de 24 horas por dia, 7 dias por semana.

#### Características do projeto:

- Sistema Híbrido SMART (1 turbina fluvial de 5 kW + sistema fotovoltaico de 1,2 kW + gerador de reserva).
- 24 baterias de 2 V conectadas em série e tensão de 48 V, conectadas ao sistema de Gerenciamento SMART.
- Custo (LCOE) = US\$ 0,30/kWh.
- Um destaque do sistema SMART é o uso de um inversor único para as turbinas hidrocínéticas e para os módulos fotovoltaicos (ver Figura 15), otimizando o investimento da planta.

### 4.2. Caso 2: Bellavista, Peru

O segundo caso de destaque é o projeto da Smart Hydro para serviços comunitários com um sistema híbrido SMART em Bellavista, Peru. Foi desenvolvido em conjunto com o parceiro local (ECI) e por meio de um programa chamado Innóvate, do governo peruano. A localidade Bellavista, no departamento de Loreto, só pode ser acessada de barco a partir do rio Napo. Esta comunidade tem cerca de 200 membros, com acesso muito restrito ao saneamento e à alfabetização. Antes desse projeto, a maioria das famílias e

a escola não tinha eletricidade. Além disso, as águas do rio Napo descem a partir de um local de mineração, o que afeta diretamente a qualidade da água utilizada nessa região. Atualmente, este sistema fornece energia para esta localidade 24 horas por dia.



Figura 8 - Instalação de turbina hidrocínética em Bellavista, Peru. Fonte: Smart Hydro, 2025.

Descrição do projeto:

- Sistema Híbrido SMART (2 turbinas fluviais de 5 kW + 4 k Wp de sistema fotovoltaico + gerador de reserva).
- Baterias de 20 kWh conectadas ao sistema de gerenciamento de energia inteligente com gerenciamento de carga.
- Este sistema abastece não só as residências, mas também os serviços comunitários, como iluminação pública, água potável, refrigeração e fabricação de gelo.

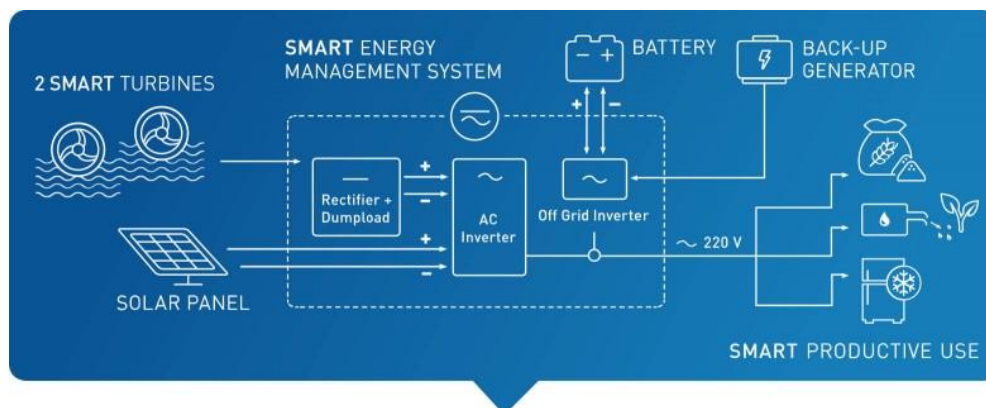


Figura 9 - Diagrama do sistema híbrido em Bellavista, Peru. Fonte: Smart Hydro, 2025.

### 4.3. Caso 3: Nova Escócia, Canadá

O terceiro caso utiliza turbinas hidrocínéticas de fabricação da empresa Schotell GmbH (Alemanha). As turbinas foram instaladas na Baía de Fundy, no Canadá (Figura 10). Esse modelo, PLAT-I 6.40, consiste em arranjo de 6 turbinas de 70 kW e diâmetro de 4 m e foi instalada em uma plataforma de superfície, projetada e construída pela Sustainable Marine Energy Ltd. (UK). O projeto tramarã de 34 m x 26 m tem como objetivo minimizar a resistência, proporcionando a estabilidade necessária para o bom desempenho do conjunto turbina-gerador.



**Figura 10 – Plataforma PLAT-I 6.40 instalada na Baía de Fundy, Canadá. Fonte: Kaufman et al. (2023)**

Este projeto de turbina foi desenvolvido por um dos maiores e mais antigos fabricantes de hélices e sistemas de propulsão naval, a Schotell, que equipa os grandes navios cargueiros, petroleiros e transatlânticos de cruzeiros marítimos. Essa divisão de equipamentos é especializada no desenvolvimento de turbinas *instream* (turbinas de correntes marítimas e fluviais).

Algumas das características dessas turbinas são descritas a seguir:

- Diâmetro do rotor de 4m.
- Projetadas para operar com correntezas de 2 a 3m/s.
- Potência elétrica = 70 kW.

Esses casos internacionais evidenciam que as tecnologias hidrocinéticas vêm apresentando avanços relevantes em termos de maturidade tecnológica, especialmente em países com disponibilidade de recursos hídricos adequados. Observa-se que sua aplicação tem se concentrado em projetos de pequena e média escala, voltados ao atendimento de localidades isoladas, comunidades ribeirinhas e costeiras ou arranjos híbridos com outras fontes renováveis, com alguns casos já alcançando níveis elevados de prontidão tecnológica (TRLs 7 a 9). Esses resultados indicam que, embora ainda haja desafios técnicos e econômicos, a geração hidrocinética pode representar uma alternativa viável para contextos específicos.

No contexto brasileiro, aplicações com características semelhantes às observadas nos casos internacionais analisados tenderiam a se enquadrar, do ponto de vista regulatório, nos modelos de atendimento SIGFI e MIGDI, destinados, respectivamente, ao suprimento individual e comunitário em Sistemas Isolados. Diante disso, o capítulo seguinte avalia em que medida essas condições se reproduzem no Brasil, apresentando estudos nacionais, iniciativas de pesquisa e estimativas de potencial aplicáveis à realidade brasileira.

## 5. Estudos de viabilidade e potencial hidrocinético no Brasil

Com relação ao Brasil, embora ainda não haja uma avaliação do potencial hidrocinético para todo o território nacional, algumas iniciativas já foram feitas, ou estão sendo desenvolvidas neste sentido. Dentre elas, cita-se alguns estudos que já foram conduzidos para regiões de maior interesse, como no Norte do país, conforme a tabela abaixo, e detalhados a seguir.

**Tabela 3 - Resumo dos principais trabalhos de viabilidade de sistemas de hidrocinética no Brasil. Fonte: Elaboração própria.**

Referência	Região	Localização	Rio	Potencial (MWh/ano)	Velocidade média (m/s)
KIRINUS; MARQUES, 2015	Sul-Sudeste	Florianópolis (SC) e Ilhabela (SP)	N/A	SC:143.883 SP: 19.184	SC: 0,45 SP: 0,25
FILHO; BOTAN; SOUZA, 2016	Norte	UHEs Samuel (RO) e Curuá-Una (PA)	Jamari (UHE Samuel) Curuá-Una (UHE Curuá-Una)	1.887	2,5
RUPP, 2018	Norte	Óbidos (PA)	Amazonas	6.965	2,5
CHAUDHARI <i>et al.</i> , 2021	Norte	Bacia Amazônica	N/A	-	Variável
OLIVEIRA, 2021	Norte	Entre Óbidos (PA) e Macapá (AP); Manaus e Jatuarana (AM)	Amazonas	Trecho 1: 996.138 Trecho 2: 42.290	>1,5
SILVA, 2024	Norte	Calama (RO)	Madeira	2.759	2,5

Entretanto, antes de ser analisada a viabilidade da implementação dessas usinas em diferentes regiões do Brasil, é preciso que se definam os principais parâmetros a ser considerar na análise de viabilidade dessas usinas.

## 5.1. Principais parâmetros a se considerar na análise de viabilidade técnica

Para a primeira etapa de análise de viabilidade de uma usina de geração hidrocínética, é preciso que sejam definidos os principais parâmetros técnicos que impactam o projeto, os quais são apresentados abaixo (SILVA, 2024):

- O tipo de turbina (diâmetro, tipo de eixo, montagem, fator de capacidade, etc.);
- A vazão do rio;
- A batimetria e a largura do rio – ou a velocidade diretamente;
- O perfil hidrológico do rio (i.e., sazonalidade da corrente);
- Demanda de geração de energia elétrica;
- A logística de instalação e as condições de operação e manutenção (O&M).

Assim sendo, é necessário definir as condições básicas de viabilidade para esses parâmetros, o que foi feito de acordo com uma análise de trabalhos acadêmicos elaborados nos últimos 10 (dez) anos sobre as THCs. Para grandes rios, como na Região Amazônica, no Norte do Brasil, as turbinas podem ter diâmetros que vão de 1,5 a 2,8 m para compensar a baixa velocidade da água, que pode variar de 1,0 a 1,5 m/s, e atingir potências de 300 a 3.000 W. Em rios com maior velocidade, a partir de 2 m/s, os diâmetros podem ter apenas 1,2 m e suas turbinas podem gerar até 1,8 kW.

Com o avanço recente das tecnologias, já temos turbinas com capacidade de 3,5 m/s de fluxo máximo e potência da ordem de 80 kW (SILVA, 2024). De maneira geral, a velocidade mínima de viabilidade é de 1,5 m/s (OLIVEIRA, 2021). Adicionalmente, tem-se que a eficiência aumenta de acordo com o diâmetro da turbina, sendo o seu tamanho limitado pela profundidade e largura do rio.

Além disso, a batimetria e a largura do rio influenciam a distribuição da velocidade média em cada seção transversal. Assim, considerando uma topografia regular do rio, temos que quanto mais distante de suas margens, da superfície e do fundo, menores serão as interferências e gradientes de velocidade, resultando em um perfil de velocidades mais uniforme e desenvolvido (SILVA, 2024). Por isso, a posição central da seção transversal do rio é geralmente a mais favorável, do ponto de vista energético, para a instalação deste sistema. No entanto, a posição ótima pode depender de outros fatores como acesso, facilidade de instalação, distância da unidade de consumo, dentre outros.

Por fim, a depender das condições de instalação no rio e tipo de turbina, o fator de capacidade (FC) pode apresentar uma elevada variabilidade, de 20 a 80% (OLIVEIRA, 2021), 56% (SILVA, 2024) ou entre 65 e 95% (SANTOS, 2019).

Com relação ao perfil hidrológico, quanto mais estável e previsível for a vazão do rio, melhor será para o projeto. Considerando a região de interesse, sabemos que os rios da Região Norte apresentam uma sazonalidade considerável, com menor vazão nos períodos de secas (junho a novembro) e maior durante as chuvas (dezembro a maio), o que pode impactar significativamente a geração, dependendo do porte do sistema em relação ao rio e da localização escolhida para a instalação.

Dessa forma, para aplicações isoladas, a viabilidade de uma THC está relacionada à demanda de energia elétrica que deve ser atendida e a sazonalidade desse consumo. Se considerarmos um consumo estável ao longo de todos os meses do ano, podemos dimensionar uma THC que irá operar sobre ou subdimensionada, e ter sua geração associada a um sistema de baterias ou, até mesmo, a uma Central Geradora Hidrelétrica (CGH), a depender das condições do local. Por outro lado, para sistemas de MMDG conectados à rede, esta dependência com a curva de consumo não é relevante.

Por fim, a logística de acesso desempenha um papel importante na análise de viabilidade também. Embora mais simples que as hidrelétricas, as etapas de instalação e O&M do projeto hidrocínético podem apresentar custos relevantes e, a depender da localização pretendida, inviabilizar o empreendimento.

Além desses parâmetros, é necessário que se avalie os potenciais impactos socioambientais dessa solução, como as alterações nas correntes, interferência na navegação, deslocamento de animais aquáticos e efeitos nos sistemas sensoriais. Alguns possíveis impactos ambientais e suas causas são apresentados pelo diagrama de espinha de peixe abaixo (ECHEVERRY, 2021).

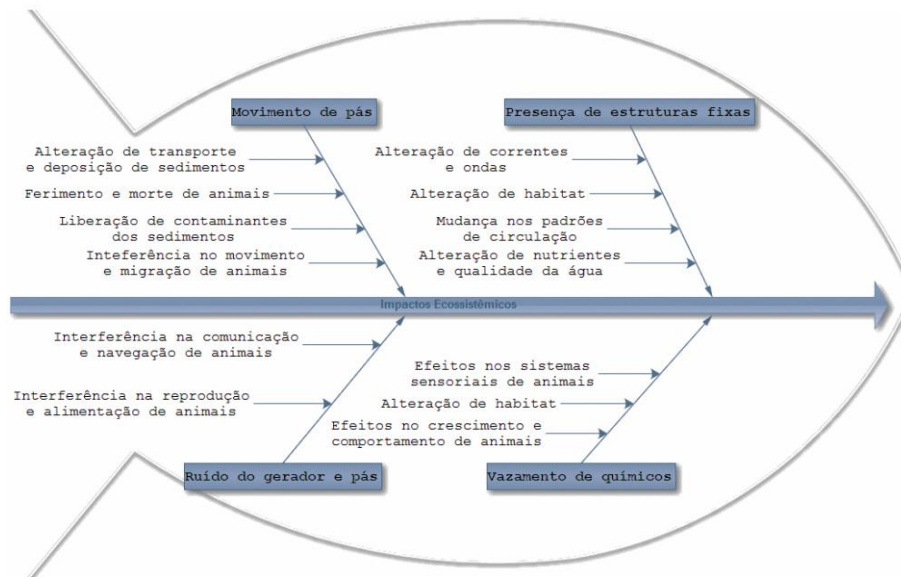
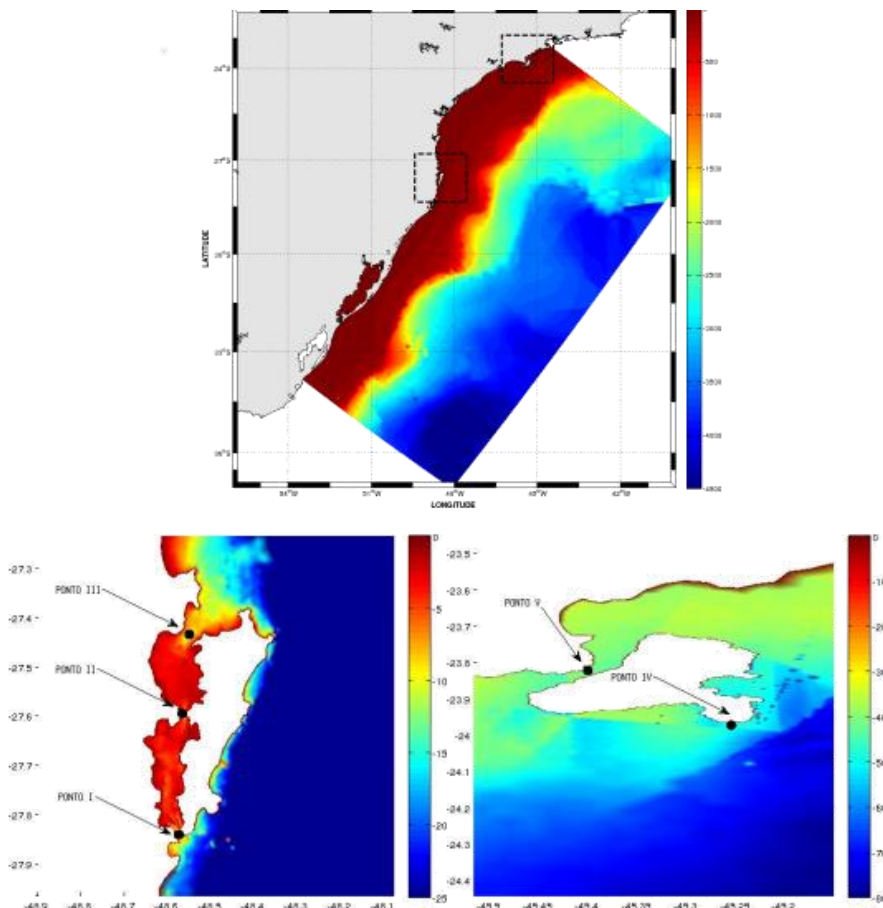


Figura 11 - Possíveis impactos ambientais por turbinas hidrocinéticas. Fonte: Echeverry, 2021.

## 5.2. Estudo 1: Sul do RJ até Chuí (RS)

O trabalho de Kirinus e Marques (2015), diferentemente dos demais, mapeou o potencial de geração hidrocinética a partir das correntes oceânicas. Assim, utilizando um software de simulações hidrodinâmicas, foram analisadas 2 (duas) localidades de interesse entre o sul do estado do Rio de Janeiro e o Chuí, no estado do Rio Grande do Sul. As áreas de interesse estudadas foram a região central do litoral de Santa Catarina, próxima à Ponte da Luz em Florianópolis, e de São Paulo, próximo a Ilhabela, onde demonstraram bons potenciais de geração de energia por hidrocinética.

No caso de Santa Catarina, foi observado o maior potencial, com capacidade média de produção de energia anual de 143.883 MWh, devido às velocidades próximas a 0,45 m/s. Por outro lado, para São Paulo, o potencial ficou apenas na faixa de 15.987 a 22.382 MWh/ano, ocasionado por uma velocidade média próxima de 0,25 m/s.



**Figura 12 - Área de estudo. Em destaque as duas regiões de interesse, a Ilha de Florianópolis em Santa Catarina, e a Ilhabela em São Paulo.**

Nota: A batimetria da área de estudo se estende até aproximadamente 4.500 m. Os pontos demonstram os locais de interesse. Fonte: Kirinus e Marques, 2015.

### 5.3. Estudo 2: UHEs Samuel (RO) e Curuá-Una (PA)

O trabalho de Filho, Botan e Souza (2016) analisou a região das hidrelétricas da Eletronorte, Samuel (Rondônia) e Curuá-Una (Pará). Foi feito um levantamento de campo em trechos de 5 km à jusante das barragens e, a partir de um modelo em *Computational Fluid Dynamics* (CFD), foi definido o cálculo do potencial teórico hidrocínético para esses rios. Como resultados, foram medidas velocidades médias de 2,5 m/s. Em termos de potencial, as capacidades instaladas variaram entre 100 e 630 kW, gerando de 527,67 a 3.755,80 MWh por ano, com fatores de capacidade de 43 a 69%, a depender do trecho do rio em análise.



Figura 13 - Posições de interesse Rio Curuá-Una. Fonte: Filho, 2016.

#### 5.4. Estudo 3: Óbidos (PA)

O trabalho de Rupp (2018) trouxe um estudo de caso para implantação de uma usina hidrocínética de 1 MW no rio Amazonas, na altura de Óbidos (PA) (Figura 14). A partir de medições ADCP e simulações em Computational Fluid Dynamics (CFD), definiu-se o layout de 5 plataformas flutuantes Plat-I, cada uma equipada com turbinas SCHOTTEL SIT-250 de 6,30 m de diâmetro, posicionadas para reduzir perdas de esteira. Foram registradas velocidades médias de corrente de aproximadamente 2,5 m/s na camada útil. Em termos de geração, estimou-se uma produção anual de 6.965 MWh, com fator de capacidade de 79,5%.

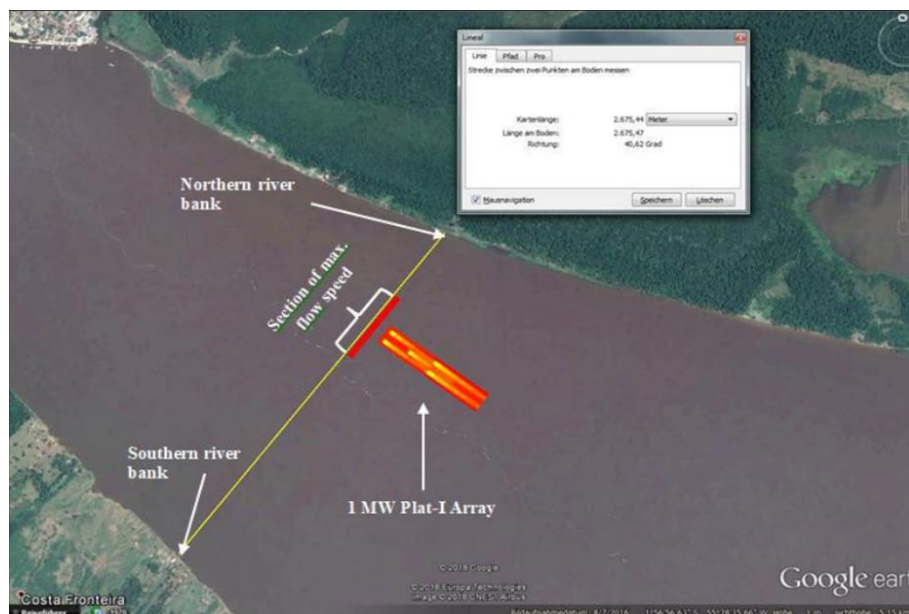


Figura 14 - Foco na seção do rio objetivo do estudo. Fonte: Rupp, 2018.

## 5.5. Estudo 4: Bacia Amazônica

O trabalho de Chaudhari et al. (2021) investiga a viabilidade técnica de turbinas hidrocinéticas in-stream (de fluxo) como alternativa às grandes usinas com reservatório na bacia amazônica. A abordagem envolve modelagem hidrológica em alta resolução (~2 km) para estimar o Potencial Técnico de fluxo (TIP, em inglês) em toda a bacia, considerando vazões, larguras, profundidades e velocidades dos rios. Foram definidos três índices para análise em nível municipal: **IPI** (*In-stream Potential Index*), que mede o potencial energético disponível; **PAI** (*Protected Areas Index*), que quantifica a proporção de áreas protegidas ou restrições ambientais; e **EDI** (*Energy Demand Index*), que avalia a demanda elétrica local. A combinação desses índices permitiu identificar áreas mais adequadas, caracterizadas por alto potencial energético, baixa sobreposição com áreas protegidas e alta demanda.

Como resultado, concluiu-se que aproximadamente 63% da energia total planejada por hidrelétricas convencionais no Amazonas poderia ser captada por turbinas de fluxo, sem necessidade de construção de reservatórios. Adicionalmente, em cinco dos nove locais selecionados para novas barragens, identificou-se que o mesmo montante energético poderia ser gerado utilizando apenas uma fração do trecho de rio que seria impactado por projetos convencionais.

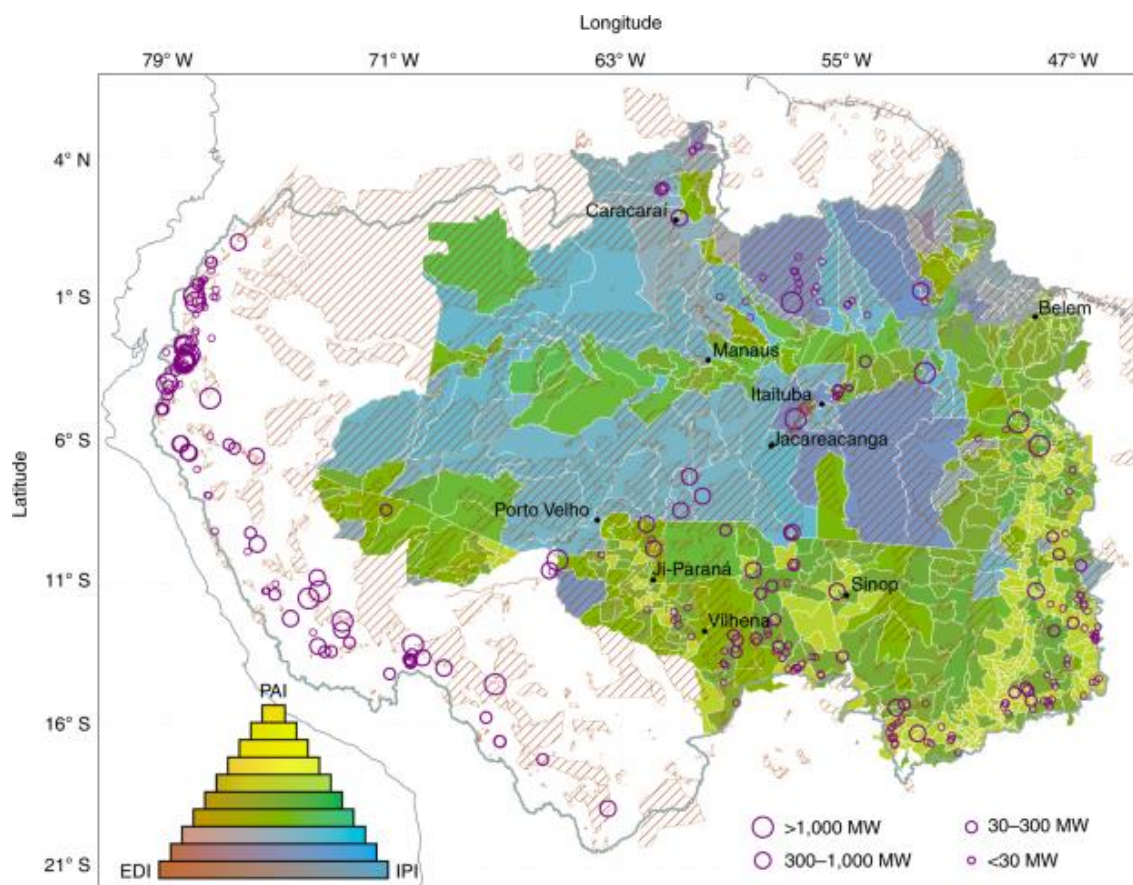


Figura 15 - Índices de adequação para turbinas em fluxo na Amazônia brasileira. Fonte: Chaudhari et al., 2021.

## 5.6. Estudo 5: Entre Óbidos (PA) e Macapá (AP); Manaus e Jatuarana (AM)

O estudo de Oliveira (2021), diferentemente dos anteriores, mapeou o potencial de geração hidrocinética em trechos específicos do rio Amazonas, com foco no atendimento às comunidades ribeirinhas em sistemas isolados. Utilizando dados hidrológicos e simulações hidrodinâmicas, foram analisados 2 (dois) trechos diferentes, sendo o primeiro entre Óbidos (PA) e Macapá (AP) e o segundo entre Manaus (AM) e Jatuarana (AM) (Figura 16).

Nos 58 locais analisados no primeiro trecho, foi observada uma persistência média de velocidade superior a 1,5 m/s. Além disso, o FC médio foi de 57,32%, com valores variando entre 20% e 80%

dependendo do ponto neste trecho. Este FC pode ser considerado elevado para fontes renováveis, e superior ao observado em alguns estudos internacionais. O potencial de geração de energia foi calculado entre 399.080 e 2.122.170 MWh/ano, com uma média de 996.138 MWh. Por sua vez, para o segundo trecho, o potencial de geração estimado variou entre 11.620 e 90.560 MWh/ano, com uma média da ordem de 42.290 MWh/ano.



Figura 16 - Regiões prospectadas no Rio Amazonas. Fonte: Oliveira, 2021.

## 5.7. Estudo 6: Calama (RO)

Por sua vez, o trabalho de Silva (2024) propôs analisar a implantação de um sistema integrado de geração de energia hidrocinética com armazenamento bombeado (PHS) para atender comunidades isoladas na região amazônica, com estudo de caso na localidade de Calama, em Rondônia. Como resultado, foram dimensionadas 7 sete turbinas hidrocinéticas RivGen®, com potência útil de 45 kW cada, totalizando uma geração anual de 2.759,4 MWh.

Cabe ressaltar que foram determinadas velocidades de até 3,2 m/s para as seções transversais analisadas, sendo o valor de 2,5 m/s utilizado como base para a região. Além disso, o rio apresentava profundidades entre 20 e 35 m, acima do valor mínimo de viabilidade de 15 metros. Por fim, para complementar a oferta nos horários de pico, foi projetada uma CGH, operando com vazão de 0,71 m<sup>3</sup>/s e altura de queda de 20 metros.



Figura 17 - Localização da área de estudo. Fonte: Adaptado de Silva, 2024.

## 5.8. Conclusão dos trabalhos

Como resultado dos estudos analisados, verifica-se que pode haver viabilidade técnica para a implementação de sistemas hidrocínéticos em diferentes regiões do Brasil, com destaque para a região amazônica, ainda que apresente desafios associados à intermitência da fonte e à sazonalidade dos rios. Essa conclusão é corroborada por estudos realizados pelo Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas (CERPCH) que, em 2021, apontaram as regiões mais elevadas dos rios amazônicos, com altitudes superiores a 100 metros, como as mais propícias para o aproveitamento hidrocínético, considerando suas velocidades médias da água, da ordem de 1,5 m/s durante o período de cheias.

Essa expressiva disponibilidade hídrica representa uma oportunidade estratégica para suprir a demanda energética de milhares de pequenas comunidades ribeirinhas dispersas ao longo das margens de rios e igarapés, que enfrentam desafios estruturais de acesso à eletricidade e permanecem dependentes de geração termelétrica a diesel. Nesse contexto, as aplicações das tecnologias hidrocínéticas analisadas tendem a apresentar maior aderência aos Sistemas Isolados e ao atendimento de localidades remotas, seja no atendimento individual por meio do modelo SIGFI, seja em arranjos comunitários enquadráveis como MIGDI. Esses modelos permitem explorar a modularidade da geração hidrocínética e sua complementariedade com outras fontes renováveis, em especial a solar fotovoltaica, reforçando a relevância de soluções descentralizadas e sustentáveis.

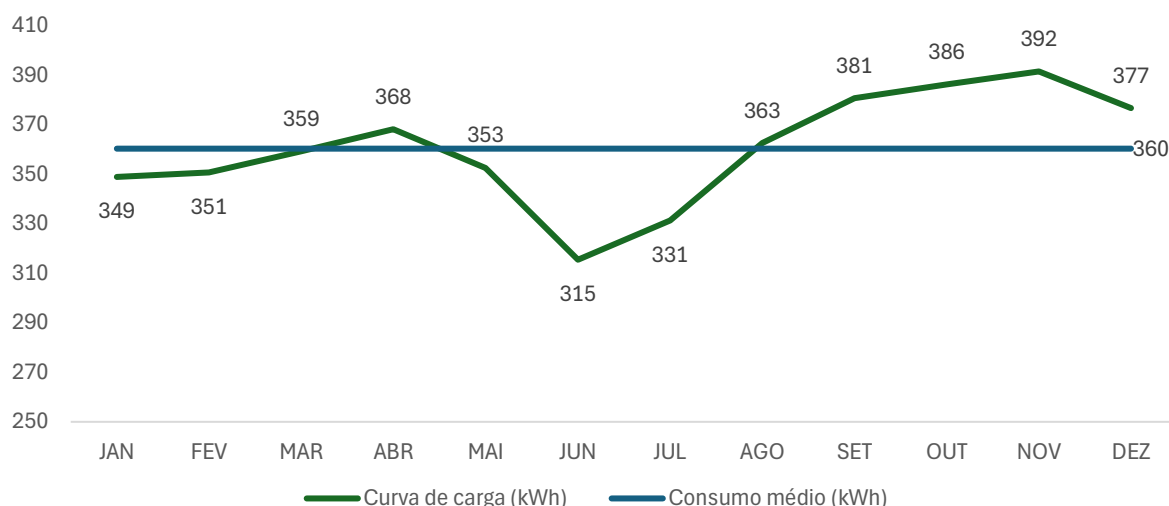
A partir desse conjunto de evidências, o capítulo seguinte apresenta um estudo de caso desenvolvido pela EPE, com o objetivo de avaliar de forma integrada a viabilidade técnica e econômica da geração hidrocínética em um contexto representativo da realidade brasileira.

## 6. Estudo de caso EPE para os Sistemas Isolados

Considerando o potencial desta solução tecnológica para atendimento aos Sistemas Isolados e como MMGD, esta seção endereçará um estudo de caso de dimensionamento e avaliação da viabilidade técnica e econômica de uma THC. O intuito deste estudo de caso é explorar a viabilidade de aplicação desta solução como substituta, ou fonte complementar, a outras fontes de geração em pequena escala no Brasil, em especial na região norte do país. No entanto, ressalta-se que projetos específicos podem ter características distintas das simuladas no estudo de caso, que podem levar a resultados diferentes. Nesse sentido, sugere-se estudos complementares para demais casos de modo a verificar as conclusões aqui encontradas.

Como principal aplicação, entende que as THCs poderiam ser utilizadas nos Sistemas Isolados, que são comunidades que não estão eletricamente interconectadas ao SIN, por razões técnicas ou econômicas. Esses sistemas estão majoritariamente localizados na região amazônica próximos aos rios e a principal fonte de suprimento de energia ainda são usinas a óleo diesel. Atualmente, existem no país 175 localidades isoladas (EPE, 2024).

Assim, definindo-se um consumidor típico dos Sistemas Isolados com a curva de carga característica dada pelo gráfico abaixo (EPE, 2025), poderemos dimensionar a THC a partir dos parâmetros técnicos citados anteriormente.



**Gráfico 1 - Curva de carga e média anual do consumidor típico dos Sistemas Isolados. Fonte: Elaboração própria.**

Com base na curva acima, é necessária uma THC com capacidade de gerar entre 315 e 392 kWh/mês por consumidor dos Sistemas Isolados (SISOL). A fim de simplificar o estudo de caso, adotou-se a premissa de atendimento de 0,05% do número de consumidores do SISOL, ou seja, 331 unidades consumidoras, e o caso mais extremo de consumo mensal (392 kWh/mês), é necessária uma geração de 129.600 kWh por mês, ou 178 kWmédio<sup>3</sup> por ano por parte da THC, considerando a necessidade de geração em todas as horas do ano (8760 horas). Adotando um FC típico de 65%, seria necessária uma capacidade instalada total de 273 kW.

Considerando o modelo Schottel SIT-250 da fabricante Schottel como base, com capacidade instalada de 70 kW, seriam necessárias 4 unidades geradoras para suprir a demanda. Cabe ressaltar que esta é uma análise energética inicial e não considera custos adicionais de arranjos híbridos para suprir a intermitência da geração hidrocínética. Nesse sentido, a análise econômica a seguir considera a inserção

<sup>3</sup> O "kWmédio" é definido como a potência, em kW, dividida pela quantidade de horas do ano, neste caso 8.760.

das turbinas hidrocinéticas em um sistema existente atendido a diesel, auxiliando no atendimento energético e ajudando a economizar custos de combustível.

Com relação à análise de viabilidade econômica da solução, é possível ser feita simplificadamente pela determinação do custo nivelado da energia (LCOE) a partir do somatório de todos os investimentos e custos de O&M e da energia elétrica efetivamente gerada, descontado durante o período de implementação e operação por uma taxa de desconto adequada, conforme a equação abaixo.

$$LCOE = \frac{CAPEX + \sum_{t=1}^T \frac{OPEX,t}{(1+R)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{S,t}{(1+R)^t}}$$

Onde:

- *CAPEX: Custo de capital da solução*
- *OPEX,t: Custo operacional no período t*
- *S,t: Suprimento de energia no período t*
- *R: Taxa de desconto*
- *T: Horizonte de análise (em anos)*

Com relação ao CAPEX, temos poucos dados na literatura, apresentada na Tabela 4 abaixo, com os custos de investimento de algumas turbinas existentes no mercado internacional representados, respectivamente, pelos modelos indicados de A a G:

**Tabela 4 - Preços de turbinas hidrocinética típicas. Fonte: Funatsu, 2022.**

Modelo de Turbina	Potência nominal (kW)	Vel. de corrente nominal (m/s)	Profundidade mínima (m)	Preço (USD)	Custo unitário (USD mil/kW)
<b>A</b>	5,0	3,0	1,0	50.000	10,00
<b>B</b>	5,0	3,1	1,1	14.000	2,80
<b>C</b>	0,5	3,0	0,6	9.875	19,75
<b>D</b>	0,183	1,0	-	16.600	90,71
<b>E</b>	1,0	1,8	1,15	5.000	5,00
<b>F</b>	2,0	3,0	0,9	4.900	2,45
<b>G</b>	0,25	2,0	-	12.000	48,00

Nesses casos acima temos que o custo da tecnologia, em US\$ mil/kW instalado, varia bastante, de 2.450 a 90.710, sendo inconclusivo qual é o seu real custo para sistemas dessa magnitude. Por outro lado, para sistemas maiores, este custo pode variar de US\$ 3.000 a 17.000/kW (OLIVEIRA, 2021; SILVA, 2024). Assim, para fins deste estudo de caso, será adotado o valor médio de US\$ 10.000/kW.

### BOX 1 – Por que o CAPEX pode variar tanto?

Fator relevante em todo projeto, o custo de investimento, ou CAPEX em inglês, pode apresentar variação considerável a depender do nível de maturidade do projeto, ou da tecnologia, da cadeia de suprimento e do local de instalação. Até mesmo para tecnologias já

consolidadas, como as hidrelétricas, esta variação pode ser relevante considerando-se as particularidades de cada local de instalação, por impactar nas obras civis e infraestruturas elétricas necessárias.

Para uma tecnologia ainda não madura, como é o caso das hidrocínéticas, os desafios com a cadeia de suprimento e a escala dos projetos têm um peso ainda maior. Os custos de aquisição somente das turbinas podem variar muito por conta de fatores como: a escassez de fabricantes no mercado, a falta de escala na produção desses fabricantes e a eventual necessidade de importação dos componentes e sobressalentes.

Adicionalmente, a capacidade instalada também possui impacto relevante no custo total, sendo considerado mais eficiente a implementação de um projeto de maior escala do que um equivalente menor, por conta dos custos fixos que são independentes dessa escala.

Por fim, quanto mais desenvolvido e próximo da etapa de construção, mais preciso serão os custos de investimentos e menores variações teremos entre projetos similares. Da mesma forma, quanto mais incipiente, maior a incerteza e, por isso, maiores variações são esperadas nas estimativas de CAPEX. Dessa forma, durante uma etapa de análise de viabilidade de um projeto (EVTE), admite-se variações entre -50 e +100% sob o valor de referência, comumente classificado como “Capex Classe V” de acordo com a norma da Associação para o Avanço da Engenharia de Custos, ou *Association for the Advancement of Cost Engineering* (AACE), em inglês.

Dessa forma, considerando a potência instalada e o custo por MW instalado apresentados anteriormente, podemos estimar o valor total do investimento dessa solução como sendo de USD 2.731.305,58 para este caso. Adotando uma taxa de câmbio R\$/US\$ de 5,50, este investimento seria de aproximadamente R\$ 15,0 milhões.

Com relação ao OPEX, a literatura consultada sugere utilizar entre 3 e 5% do CAPEX anualmente e, portanto, será utilizado o valor médio de 4% neste estudo de caso (OLIVEIRA, 2021; SILVA, 2024). Por sua vez, o horizonte de análise (T) será de 20 anos de operação. Por fim, a taxa de desconto (R), ou taxa mínima de atratividade (TMA), adotada será de 10% a.a. em termos reais (OLIVEIRA, 2021).

Como resultado, o LCOE desta solução seria de R\$ 1.540,27/MWh, ou US\$ 280,05/MWh. Como comparação, é um valor menor do que o custo das usinas térmicas à óleo diesel nos Sistemas Isolados, que no ano de 2024 tiveram o valor médio ao redor de R\$ 2.000,00/MWh (CCEE, 2025) – indicando potencial viabilidade econômica neste caso. Por outro lado, os Sistemas Isolados passam por um momento de transição da utilização do diesel para fontes renováveis com a hibridização dos sistemas de geração. Por exemplo, no Leilão para Suprimento aos Sistemas Isolados de 2025 (EPE, 2025), foram contratadas usinas híbridas (térmica, solar e baterias). Com isso, o custo de atendimento dos Sistemas Isolados pode diminuir, dificultando a viabilidade de projetos hidrocínéticos.

Contudo, a diretriz de aumento da renovabilidade dos Sistemas Isolados pode ser vista também como uma oportunidade para projetos de THC. O desenvolvimento dessa tecnologia pode tornar a hibridização de projetos com THCs, inclusive com sistemas híbridos 100% renováveis, mais competitiva que outras soluções de suprimento com diesel, como visto nos exemplos de projetos no Peru na seção 4.

Em relação à aplicação em MMGD, verifica-se que o LCOE encontrado é superior às tarifas de eletricidade para consumidores atendidos em baixa tensão. Logo, o resultado dessa simulação indica que, pelo menos no curto prazo, não seria viável o desenvolvimento de projetos hidrocínéticos para aplicações conectadas à rede na modalidade de MMGD.

O resultado do estudo de caso, embora divergente do estimado em outros projetos da literatura (como em OLIVEIRA, 2021 e em SILVA, 2024) encontra-se dentro do intervalo esperado, considerando a incipiência da tecnologia e a falta de dados de mercado e aplicações em larga escala no setor elétrico. Adicionalmente, devido à variabilidade dos tipos de turbinas e localizações analisadas no Brasil, o LCOE da literatura também apresenta uma ampla gama de resultados, com valores médios de US\$ 38,31/MWh, para premissas mais otimistas, ou US\$ 371,11/MWh para cenários mais conservadores (OLIVEIRA, 2021).

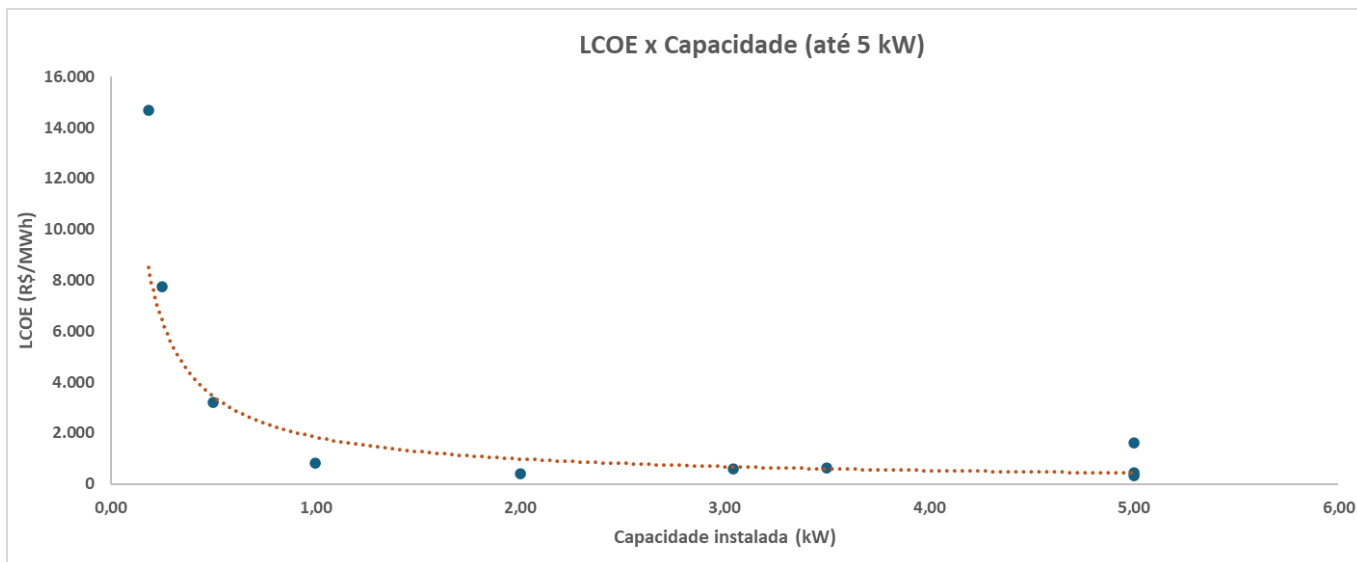
Em contraste com os resultados observados para aplicações na modalidade de MMGD, verifica-se que a viabilidade da geração hidrocínética tende a ser mais favorável em contextos de Sistemas Isolados, nos quais os custos evitados da geração termelétrica a óleo diesel são mais elevados. Do ponto de vista regulatório, esse tipo de aplicação se alinha, principalmente, aos modelos de atendimento SIGFI e MIGDI. Em arranjos enquadráveis como MIGDI, o compartilhamento da infraestrutura e o melhor aproveitamento da geração podem contribuir para resultados econômicos mais favoráveis, enquanto aplicações individuais compatíveis com o SIGFI tendem a apresentar maior sensibilidade aos custos de capital e à necessidade de armazenamento de energia.

Em outros trabalhos, também se encontra resultados mais elevados, da ordem de US\$ 580/MWh (SILVA, 2024). Ainda assim, conforme apresentado em (FUNATSU, 2022), o LCOE das turbinas hidrocínéticas pode apresentar resultados competitivos quando comparado com as tarifas praticadas nos Sistemas Isolados e com outras soluções renováveis na região norte do país, a depender da potência instalada, conforme tabela abaixo para casos de usinas entre 31,5 e 109,5 kW.

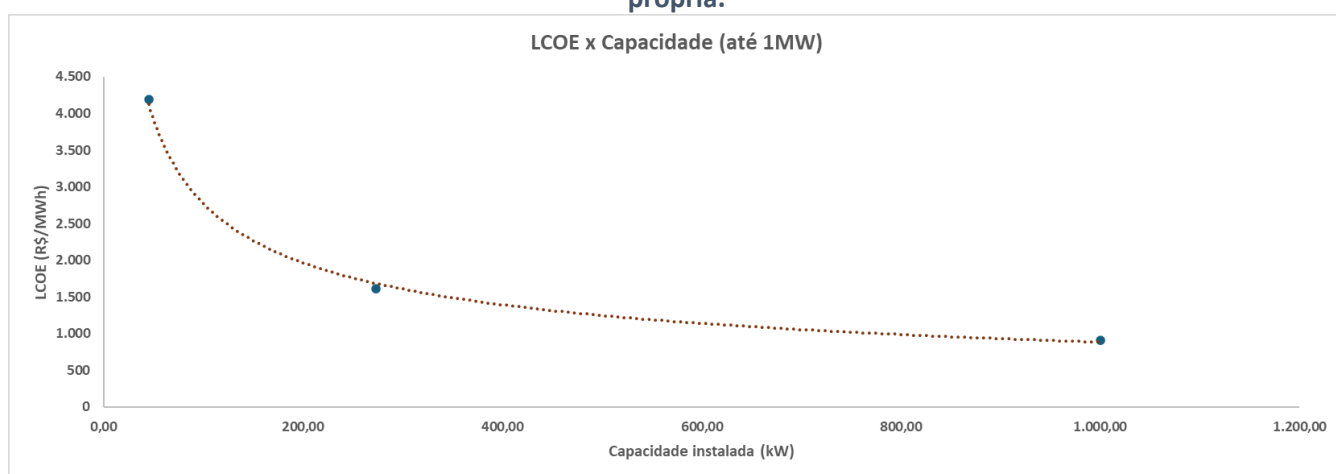
**Tabela 5 - Comparação entre tarifas de diversas fontes na região norte x LCOE hidrocínética. Fonte: Funatsu, 2022.**

<b>Tipos de tarifas/fontes</b>	<b>Tarifa (USD)/MWh</b>
Tarifa residencial média na Região Norte do Brasil	165,80
Gás Natural (GNL)	73,95
Biomassa	67,63
Sistema Isolados da CELPA (Pará)	351,96
Sistema Isolados da AMEN (Amazonas)	330,25
Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH'S)	65,07
Centrais Eólicas (EOL)	70,79
Centrais Fotovoltaicas (UFV)	91,72
Turbinas Hidrocínéticas	<b>88,49 a 116,44</b>

A fim de se analisar essas discrepâncias de LCOE com relação à capacidade dos projetos, foi feita uma análise a partir dos custos apresentados na Tabela 4 e de algumas das bibliografias consultadas. Essa análise resultou nas figuras a seguir. Pelos gráficos, notamos uma clara redução no LCOE com o aumento da capacidade instalada, de acordo com o esperado, dado que a capacidade de geração adicional apresenta maior benefício do que o investimento marginal necessário.



**Gráfico 2 - Redução do LCOE x aumento de capacidade instalada para projetos de até 5 kW. Fonte: Elaboração própria.**



**Gráfico 3 - Redução do LCOE x aumento de capacidade instalada para projetos de até 1 MW. Fonte: Elaboração própria.**

De forma geral, este estudo de caso indica que a viabilidade técnica e econômica de um empreendimento de geração hidrocínética é fortemente dependente da escala do projeto, das condições hidrológicas locais e do contexto regulatório de aplicação. Os resultados reforçam que essa tecnologia tende a apresentar maior aderência ao atendimento descentralizado de Sistemas Isolados, especialmente quando integrada a arranjos híbridos e aplicada em projetos de maior capacidade instalada, nos quais se observam ganhos de escala e redução do LCOE. Nesse sentido, a hidrocínética se posiciona como uma alternativa potencialmente complementar às fontes renováveis já utilizadas nesses sistemas, devendo sua adoção considerar de forma integrada os aspectos técnicos, econômicos, regulatórios e ambientais.

## 7. Benefícios e desafios das tecnologias hidrocinéticas e sua geração hidráulica

---

A partir das características apresentadas nas seções anteriores, percebe-se que a energia hidrocinética demonstra características interessantes para a geração de energia. O potencial e a viabilidade também já foram avaliados em alguns estudos nacionais, indicando a possibilidade de aproveitamento de forma competitiva em partes do Brasil. Por outro lado, há alguns desafios que precisam ser endereçados para que essa tecnologia passe a ser desenvolvida em território brasileiro. Na sequência, são elencados os principais benefícios e desafios para esta tecnologia no país.

### Benefícios da Geração Elétrica com Turbinas Hidrocinéticas

1. **Sustentabilidade Ambiental:** As turbinas hidrocinéticas aproveitam a energia cinética dos fluxos de água, como rios e correntes marítimas, sem a necessidade de grandes barragens. Isso reduz significativamente os impactos ambientais associados à construção de infraestruturas;
2. **Energia Renovável:** Utilizam uma fonte de energia renovável e abundante, contribuindo para a redução da dependência de combustíveis fósseis e a emissão de gases de efeito estufa;
3. **Aplicações em Áreas Remotas:** São ideais para fornecer eletricidade, a depender da demanda, de forma independente ou complementar a outras fontes, a comunidades remotas e pequenas vilas que estão longe da rede elétrica convencional e com fácil acesso a rios;
4. **Baixo Impacto Visual:** Por serem instaladas submersas, as turbinas hidrocinéticas têm um impacto visual mínimo, preservando a paisagem natural;
5. **Complementação de Usinas Hidrelétricas:** Podem ser usadas para aproveitar a energia remanescente de usinas hidrelétricas, aumentando a eficiência geral do sistema, bem como compartilhamento de estruturas existentes;
6. **Poucas obras civis e modularidade:** Poucas obras civis ou estruturas necessárias para sua operação, necessitando somente de ancoragem para os flutuantes ou o fundeio no leito e possibilidade de instalação diversas máquinas em paralelo.

### Desafios da Geração Elétrica com Turbinas Hidrocinéticas

1. **Viabilidade Técnica e Econômica:** A instalação e manutenção das turbinas hidrocinéticas podem ser complexas e custosas. A viabilidade econômica depende de fatores como a localização e a intensidade do fluxo de água, necessitando de batimetria e medição de velocidade de corrente;
2. **Impacto Ambiental Local:** Embora tenham um impacto ambiental menor que as barragens, ainda podem afetar a fauna aquática e os ecossistemas locais;
3. **Variabilidade:** A eficiência das turbinas hidrocinéticas pode ser limitada pela variabilidade dos fluxos de água. Fluxos instáveis ou períodos de seca podem reduzir a produção de energia;
4. **Desafios de Ancoragem e Fixação:** A fixação segura das turbinas no leito do rio ou no fundo do mar é um desafio técnico significativo, especialmente em áreas com fortes correntes ou condições adversas;
5. **Manutenção e Operação:** A operação e manutenção das turbinas hidrocinéticas requerem monitoramento constante e podem ser complicadas devido ao ambiente subaquático.

6. **Eventos Climáticos Extremos:** A vazão dos rios pode ser impactada pelos eventos climáticos extremos, como grandes cheias ou secas severas, que podem comprometer a resiliência da hidrocínética.
7. **Cadeia de suprimento:** A indisponibilidade de turbinas no mercado com o TRL 9 (produção em escala) e mais casos de sucesso em operação com histórico satisfatório de desempenho e durabilidade.

## 8. Conclusões

---

Ao longo de mais de um século, a expansão da matriz elétrica brasileira esteve fortemente ancorada no desenvolvimento hidrelétrico, inicialmente por meio de grandes usinas com reservatórios e, mais recentemente, com usinas de menor porte e pela diversificação com fontes renováveis complementares. Nesse contexto, as tecnologias hidrocinéticas surgem como uma alternativa adicional para o aproveitamento do potencial hidráulico brasileiro, especialmente onde há necessidade de soluções modulares e de menor impacto, como nos Sistemas Isolados.

A geração de energia elétrica por meio de turbinas hidrocinéticas apresenta, entretanto, barreiras relevantes para sua consolidação, sendo ainda objeto de programas de Pesquisa e Desenvolvimento no Brasil. A maturidade tecnológica permanece em evolução, com equipamentos situados entre níveis intermediários e avançados de prontidão tecnológica em mercados internacionais, como visto nos projetos em operação no Peru e na Escócia. A escassez de fabricantes e modelos comerciais disponíveis limita a adoção em larga escala, enquanto os desafios de instalação, como a ancoragem segura em ambientes fluviais e marítimos com fortes correntes, exigem soluções de engenharia específicas.

Além disso, a eficiência e confiabilidade dessa tecnologia é impactada pelas condições hidrológicas, demandando estudos detalhados de potencial hidráulico e viabilidade técnica regional. A variabilidade sazonal das vazões e da velocidade das correntes, característica marcante dos rios brasileiros, em especial na Região Norte, reforçam a necessidade de mais estudos. Eventos climáticos extremos, como secas severas e cheias intensas, reforçam a importância de análises robustas que considerem o comportamento hidrológico de longo prazo e seus impactos sobre a disponibilidade de energia e a integridade dos equipamentos. Além disso, reforça-se a necessidade de realização de estudos de impacto e de licenciamento ambiental, os quais são etapas imprescindíveis para o desenvolvimento destes projetos e não foram detalhados neste trabalho. Para isso, é imprescindível a realização de estudos ambientais e técnico-econômicos robustos, que considerem a sazonalidade das vazões e os aspectos operacionais e financeiros da implantação

Apesar dessas limitações, os estudos analisados indicam que há potencial técnico para a aplicação de turbinas hidrocinéticas em determinadas regiões do país, com destaque para áreas da Amazônia com elevada disponibilidade hídrica, como visto nas seções 5 e 6. Esse potencial representa uma oportunidade estratégica para o atendimento energético de comunidades ribeirinhas e localidades isoladas, que atualmente dependem majoritariamente da geração termelétrica a óleo diesel, caracterizada por elevados custos econômicos e ambientais. Nesse contexto, a hidrocinética pode atuar como alternativa complementar ou substituta às fontes fósseis, contribuindo para a redução de custos operacionais e emissões de gases de efeito estufa.

Os resultados do estudo de caso apresentado nesta Nota Técnica indicam que, nas condições analisadas, a aplicação de turbinas hidrocinéticas em Sistemas Isolados pode apresentar potencial viabilidade econômica quando comparada à geração a diesel, especialmente em arranjos híbridos. Por outro lado, no caso de aplicações conectadas à rede por meio da modalidade de MMGD, os resultados sugerem que o custo nivelado desta tecnologia tende a ser superior às tarifas convencionais, o que limita sua atratividade econômica no curto prazo. No entanto, projetos específicos podem ter características distintas das simuladas no estudo de caso, que podem levar a resultados diferentes.

Diante desse panorama, o avanço tecnológico, o estímulo às fontes renováveis e os compromissos com a descarbonização reforçam a relevância estratégica de ampliar o conhecimento e o desenvolvimento das tecnologias hidrocinéticas no Brasil. Inseridas no processo mais amplo da transição energética, essas soluções têm potencial para complementar a matriz elétrica nacional, ampliar a geração distribuída renovável e contribuir para a universalização do acesso à energia nas próximas décadas. O aprofundamento de estudos técnicos, econômicos e ambientais, bem como a realização de projetos piloto e demonstrações em escala real, serão fundamentais para consolidar o papel dessas soluções no planejamento energético nacional.

## Referências Bibliográficas

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA (IEA). **Guia de Tecnologia de Energia Limpa ETP – Ferramentas de Dados - IEA** (última atualização em 02/04/25).

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Relatório técnico**. Brasília: ANEEL, 2024.

BITTENCOURT, M. de P.; NUNES, M. A. **Avaliação de potencial hidrocínético remanescente a jusante de UHEs na bacia hidrográfica do Rio Tietê**. In: ÁVILA, S. M. (Ed.). *Revista Interdisciplinar de Pesquisa e Estudos*. Disponível em: <http://www.periodicos.unb.br/index.php/ripe/article/viewFile/23294/16719>.

AACE International. **Guide to Cost Estimate Classification Systems**. Disponível em: [Professional Guidance Document No. 01 - Guide to Cost Estimate Classification Systems](#). Acesso em: 13 de jan. 2026.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CCEE). **InfoCCC**. Disponível em: <https://www.ccee.org.br>. Acesso em: 07 ago. 2025.

CHAUDHARI, S.; BROWN, E.; QUISPE-ABAD, R. et al. **In-stream turbines for rethinking hydropower development in the Amazon basin**. *Nature Sustainability*, v. 4, p. 680–687, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00712-8>.

DI LASCIO, M. A.; BARRETO, E. J. F. **Energia e desenvolvimento sustentável para a Amazônia rural brasileira: eletrificação de comunidades isoladas**. 1. ed. [S.l.: s.n.].

ECHVERRY, S. M. V. et al. **Modelagem energética para a Amazônia Ocidental e estudo de caso na vila indígena de Cabari, no município de S. Gabriel da Cachoeira**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável. Universidade de Brasília. 2021.

ELETRONORTE. **Projeto Ribeirinhas**. Disponível em: [http://www.eletronorte.gov.br/EM\\_Programas\\_Ribeirinhas/objetivo.asp](http://www.eletronorte.gov.br/EM_Programas_Ribeirinhas/objetivo.asp).

EMEC – Centro Europeu de Energia Marinha. **Relatórios técnicos**. [S.l.: s.n.].

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2023**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>. Acessado em: 13 de agosto de 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Energia renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica**. Rio de Janeiro, 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Consumo mensal de energia elétrica por classe (regiões e subsistemas)**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica>. Acesso em: 06 ago. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Planejamento do Atendimento aos Sistemas Isolados – Ciclo 2024**. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-863/Caderno\\_Planejamento%20SISOL\\_Ciclo%202024.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-863/Caderno_Planejamento%20SISOL_Ciclo%202024.pdf). Acesso em: 17 out. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Leilão dos Sistemas Isolados – Habilitação Técnica e Resultado do Leilão**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/leiloes-de-energia/leiloes/leilao-dos-sistemas-isolados-2025>. Acesso em: 17 out. 2025.

ELS, R. H. van; CAMPOS, C. de O.; SALOMON, L. R. **Turbinas hidrocínéticas no Brasil**. Ministério de Minas e Energia, 2008. Disponível em: [https://www.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/Solucoes\\_Energeticas\\_para\\_a\\_Amazonia\\_Hidro\\_eletrico.pdf](https://www.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/Solucoes_Energeticas_para_a_Amazonia_Hidro_eletrico.pdf).

FARIA, A. R. de O. **Projeto de uma turbina hidrocínética de fluxo axial e eixo horizontal para geração de baixas potências**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) em Engenharia Mecânica – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica.

FERRAZ, A. C. P. et al. **Uma revisão sobre o uso de sistemas hidrocínéticos para geração de energia elétrica.** *Revista Brasileira de Energia*, v. 30, n. 4, 2024. DOI: <10.47168/rbe.v30i4.890>.

FILHO, G. L. T.; BOTAN, A. C. B.; SOUZA, J. C. S. de. **Energia hidrocínética no Norte do Brasil.** Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) e Centro Nacional de Referências em Pequenas Centrais Hidrelétricas (CERPCH). Workshop, 2016. Disponível em: <[cerpch - Unifei](#)>.

FUNATSU, G. Y. S. **Projeto hidrodinâmico de uma turbina hidrocínética de eixo horizontal voltada para comunidades amazônicas.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) em Engenharia Mecânica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento de Engenharia Mecânica.

GONZÁLEZ-EGUINO, M. **Energy poverty: an overview.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 47, p. 377–385, 2015.

HOLANDA, P. da S. et al. **Assessment of hydrokinetic energy resources downstream of hydropower plants.** *Renewable Energy*, v. 101, p. 1203–1214, 2017. DOI: <10.1016/j.renene.2016.10.011>.

Instituto Nacional de Energias Oceânicas e Fluviais – INEOF. WORKSHOP de Energias Oceânicas e Fluviais (6ª edição). Realizado no Rio de Janeiro, RJ, entre os dias 04 e 05 de setembro de 2024.

JOHANSSON, T. B. et al. **Global Energy Assessment: Toward a Sustainable Future.** Cambridge: Cambridge University Press, [s.d.].

KAUFMANN, N. et al. **Performance Assessment of a Multi-Rotor Floating Tidal Energy System.** *Proc. EWTEC*, vol. 15, Set. 2023, doi: [10.36688/ewtec-2023-365](#).

KIRINUS, E. P.; MARQUES, W. C. **Viabilidade do uso de turbinas hidrocínéticas na plataforma continental Sul-Sudeste brasileira.** *Scientia Plena*, v. 11, p. 1–10, 2015.

MALALI, Praveen; DING, Zihao; AYALA VILLAVICENCIO, Martin. **Technology Readiness Level assessment of hydrokinetic energy converters.** *Energy Reports*, v. 14, p. 1240-1250, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2025.06.055>.

MATIELLO, S. et al. **Energia e desenvolvimento: alternativas energéticas para áreas isoladas da Amazônia.** *Revista Presença Geográfica*, v. 5, n. 1, p. 11, 2018.

OLIVEIRA, C. H. C. et al. **Evaluation of the hydraulic potential with hydrokinetic turbines for isolate systems in locations of the Amazon region.** *Sustainable Energy Technologies and Assessment*, v. 45, p. 101079, jun. 2021.

OLIVEIRA, C. H. C. **Avaliação do potencial hidráulico com turbinas hidrocínéticas e sua atratividade para sistemas isolados e GD em localidades da região amazônica.** 2021. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Planejamento Energético (PPE).

REZEK, T. J. **Metodologia de projeto hidrodinâmico de turbinas hidrocínéticas carenadas baseada na otimização e simulação em dinâmica dos fluidos computacional.** 2019. 107 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

RUPP, M. E. et al. **Adaption of Schottel in-stream turbines for river-applications.** COPPE/UFRJ, 2018.

SANTOS, B. et al. **Potencial hídrico e geração distribuída: um estudo sobre o uso de turbinas hidrocínéticas no Rio Tocantins e Itacaiúnas localizadas em Marabá.** In: *Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE)*, 2023.

SANTOS, I. F. S. dos. **Análise técnica e econômica de parques hidrocínéticos com base em previsões numéricas (CFD) e dados experimentais.** 2019. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Itajubá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

SANTOS, L.B. dos. **Otimização do dimensionamento hidrodinâmico da turbina hidrocínética Geração 1 desenvolvida pela Universidade de Brasília.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama 0 FGA, da Universidade de Brasília.

SILVA, L. P. **Viabilidade técnica e econômica da geração de energia hidrocínética com armazenamento bombeado: aplicação na região amazônica do Brasil.** 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) em Engenharia Naval e Oceânica – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica.

Smart-Hydro Power. **SMART Village Hybrid Electrification in Marisol, Peru.** Disponível em: <[Rural Electrification in Peru – SMART HYDRO POWER](#)>. Acessado em: 13 de agosto de 2025.

Smart-Hydro Power. **Community Services with a SMART Hybrid System at Bellavista, Peru.** Disponível em: <<https://www.smart-hydro.de/decentralized-rural-electrification-projects-worldwide/community-services-with-smart-hybrid-system-peru/>>. Acessado em: 13 de agosto de 2025.

TAN, K. W.; KIRKE, B.; ANYI, A. **Small-scale hydrokinetic turbine for remote community electrification.** *Renewable Energy*, v. 63, p. 41–50, ago. 2021.

TEIXEIRA, R. A. G. **Montagem e Instalação de Turbinas Hidrocínéticas.** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) em Engenharia Mecânica – Universidade de Brasília, Faculdade de tecnologia, departamento de engenharia mecânica.