

## Procedimentos para Estudo da Viabilidade de Implantação de Pequenas Centrais Hidrelétricas no Estado do Amazonas

TORNÉ, ISRAEL GONDRES

*Doctor, Professor of Electrical Engineering at Amazonas State University, Brazil*

SÁ, TIAGO RAMOS

SALES, EDUARDO ARCE

COELHO, VINICIUS TAVARES

COSTA, ISAQUE V. BATISTA

*Student of Electrical Engineering at Amazonas State University, Brazil*

GOMES, RAIMUNDO CLÁUDIO SOUZA

*Doctor, Professor of Electrical Engineering at Amazonas State University, Brazil*

PRINTES, ANDRÉ LUIZ

*Master, Professor of Electronic Engineering at Amazonas State University, Brazil*

CARDOSO, FÁBIO DE SOUSA

FERREIRA, ANGILBERTO MUNIZ SOBRINHO

*Doctor, Professor of Electronic Engineering at Amazonas State University, Brazil*

### Abstract

*Amazonas is considered one of the states with the largest number of isolated points in the National Interconnected System (SIN), being very dependent on thermal generation. In this context, the Amazonas energy matrix diversification, through Small Hydroelectric Power Plants (SHPs) implementation, is presented as a potential alternative as it reduces consumers' electricity bills, especially for those who live in distant communities and municipalities from the capital. We propose preliminary technical procedures, which make use of data available in institutional technical-scientific studies, in order to verify the possibility of implementing SHPs in the state of Amazonas. By applying the proposed procedures in hydrographic regions of interest, it was possible to estimate the installed power, propose types of SHPs, as well as present the most suitable turbines considering hydrographic, topographical and geological aspects of the region.*

**Keywords:** Clean Sources, Energy Matrix, Electric Energy, Hydroelectric Power Plants.

## 1. INTRODUÇÃO

As Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), no contexto da matriz energética brasileira, estão situadas no quinto lugar entre as fontes de energia do país com um pouco mais sete milhões de kW gerados; contudo, no que tange o estado do Amazonas, não há registrado nenhum empreendimento em operação atualmente [1]. Com a finalidade de compreender as razões que fundamentam esse panorama no estado do Amazonas, dois essenciais aspectos serão observados do ponto de vista de implantação de PCHs: aspectos técnicos de construção e aspectos geográficos.

No que tange às PCHs, diferentemente das Usinas Hidrelétricas de Energia (UHEs), as PCHs apresentam certas vantagens tanto no cenário socioeconômico quanto ambiental [3], tais como: a maior adaptabilidade a pequenos cursos d'água, já que possuem características menores, o que propiciam projetos mais simples; menor prazo de implantação; impactos ambientais reduzidos [12][2][5]; sua construção e operação dependem apenas da autorização da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), conforme o documento exemplificado em [10].

Os aspectos técnicos de construção de uma PCH em uma região específica são devidamente projetados conforme elementos caracterizados como: a topografia, geomorfologia, avaliação dos recursos de água e seu potencial de geração, seleção da área geográfica e layout básico, turbinas hidráulicas e geradores, impactos ambientais e medidas de mitigação [7][9]. Nesse sentido, exemplificando, o projeto técnico de uma PCH pode ser implementado a partir da classificação da queda de água: alta queda, média queda ou baixa queda [6]. Para cada um desses cenários, uma turbina de modelo específico é mais apropriada com fins ao aproveitamento máximo da vazão de projeto [13][8].

O princípio de funcionamento das PCHs é semelhante ao de uma grande usina hidroelétrica, que são compostas por 4 partes: barragem, sistema de adução e captação de água, casa de força e sistema de restituição de água ao leito do rio e de acordo com a Resolução da ANEEL de 04/12/1998, as PCHs são caracterizadas por terem uma potência entre 1 a 30 MW e área inundada de até 3 km<sup>2</sup>.

**Figura 1. Elementos básicos pertencentes a uma PCH genérica.**



Fonte: [3].

Além disso, esses empreendimentos estão localizados, de maneira geral, em afluentes de pequeno e médio porte, que apresentem desníveis ao longo de seu leito capazes de produzir a potência hidráulica necessária para movimentar turbinas e viabilizam a geração descentralizada [3].

Existem muitas referências sobre os pontos levantados acima, porém há uma escassez de estudos disponíveis que tratam sobre a construção de PCHs no estado do Amazonas. Assim, o presente trabalho tem como objetivo estabelecer procedimentos práticos para caracterização geológica, topográfica e hidrológica de regiões hidrográficas do Estado do Amazonas a fim de verificar, preliminarmente, a viabilidade de construção Pequenas Centrais Hidrelétricas em distintas regiões de interesse localizadas no Estado do Amazonas.

O presente estudo visa o desenvolvimento de uma plataforma de análise das condições elétricas e mecânicas de um motor de indução trifásico com a implementação de conceitos de *Internet das Coisas* (IoT). O sistema é subdividido em duas vertentes, um dispositivo de hardware responsável pela captura do sensoriamento e transmissão dos dados coletados do motor, e uma aplicação em software para o monitoramento da condição do motor.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A metodologia adotada para esse trabalho é caracterizada por uma pesquisa aplicada, e tem como objetivo a realização de pesquisa exploratória sobre o material bibliográfico adquirido sobre o assunto. É utilizado o procedimento técnico de pesquisa bibliográfica e o método de abordagem hipotético-dedutivo. Para a coleta de dados, é utilizado documentação indireta, com auxílio de documentos primários, e análise e interpretação de seus dados será quantitativa. A seguir são apresentados os procedimentos adotados para compor a metodologia deste trabalho.

### **2.1. Planejamento e Condições para Implantação PCHs**

A viabilidade de implantação de PCHs baseia-se não apenas no potencial hidrelétrico do empreendimento, mas no relacionamento entre si de atividades multidisciplinares (questões legais institucionais, ambientais e comercial). Nesse sentido, a ANEEL recomenda o desenvolvimento de Estudos de Inventário Hidrelétrico, caso este não esteja disponível para o local de interesse.

A definição do local para ser implantada a PCH deve ser iniciado com o estudo de inventário de toda a bacia hidrográfica da área, porque segundo as recomendações do setor Elétrico, esse estudo deve ser realizado em caráter obrigatório.

No Amazonas, existem centenas de afluentes, mas ainda deve ser feitos muitos estudos para esta região, além disso, ainda há muito o que ser avaliado em relação aos estudos de inventário para aproveitamento de potenciais hidrelétricos nas microrregiões do estado.

De maneira geral, existem itens a serem analisados para levantamento de inventário, são eles: mapas da região, fotografias da área e imagens de satélite, perfil dos rios e dados diversos (hidrométrico, hidrológico, geológico, geotécnico e ambiental).

Por fim, em conjunto com a etapa de observação e análise dos aspectos que visam o melhor aproveitamento possível do potencial energético do curso d'água, são realizadas verificações analíticas da atratividade energético-econômico do local selecionado.

### **2.2. Avaliação de Atratividade Energético-Econômico**

Em princípio, calcula-se a energia firme através da seguinte fórmula: [6]

$$EF_e = 0,0083 \times Q_m \times H_{liq} \quad (1)$$

Onde:

$E_{Fe}$ : energia firme (unidade: MW);

$Q_m$ : vazão líquida média do período crítico (unidade: m<sup>3</sup>/s);

$H_{liq}$ : queda líquida (unidade: m);

### **2.3. Levantamento Geológico e Topográfico**

O levantamento geológico e topográfico é feito por meio do estudo dos parâmetros de rocha e solo da região, e seus principais objetivos são as verificações das condições das fundações e ombreiras das estruturas, e são realizadas também pesquisas a fim de identificar áreas para empréstimo de solo e jazidas de areia [6].

## 2.4. Levantamento Hidrológico

Há uma variedade de aspectos fisiológicos na bacia, são eles: área e densidade de drenagem, perímetro (comprimento linear do contorno do limite da bacia), declividade do rio e avaliação da sedimentologia, e a definição de cada um desses termos será exibida a seguir. Esses estudos foram obtidos a partir do relatório técnico Diretrizes para estudos e projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas [6].

A área de drenagem de uma bacia é a projeção em um plano horizontal da superfície contida entre seus divisores topográficos e é obtida através de uma planimetria clássica ou processos computacionais, em plantas de localização. A área de drenagem pode ser expressa em Km<sup>2</sup> ou ha (hectare). A densidade de drenagem é a relação entre o comprimento total dos cursos d'água de uma bacia e a área total. Este índice fornece uma indicação da eficiência da drenagem, ou seja, da maior e da menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica.

O cálculo é obtido a partir da seguinte fórmula [6]:

$$D_d = \frac{L_t}{A} \quad (2)$$

Onde:

Dd: densidade de drenagem [unidade: km/km<sup>2</sup>];

Lt: comprimento total dos cursos d'água [unidade: km];

A: área de drenagem da bacia [unidade: km<sup>2</sup>];

Por meio da obtenção do índice, afirma-se que:

Bacia com drenagem pobre:  $D_d < 0,5$  km/km<sup>2</sup>

Bacia com drenagem regular:  $0,5 < D_d < 1,5$  km/km<sup>2</sup>

Bacia com drenagem boa:  $1,5 < D_d < 2,5$  km/km<sup>2</sup>

Bacia com drenagem muito boa:  $2,5 < D_d < 3,5$  km/km<sup>2</sup>

Bacia excepcionalmente bem drenada:  $D_d < 3,5$  km/km<sup>2</sup>

A velocidade de escoamento de um rio depende da declividade dos canais fluviais, quanto maior a declividade, maior será a velocidade de escoamento e mais pronunciados e estreitos serão os hidrogramas das enchentes. Neste artigo, foi adotada a declividade média. Obtida dividindo o desnível entre nascente e a foz pela extensão total do curso d'água principal. O cálculo é feito por meio da seguinte relação [6]:

$$S = \frac{H}{L} \quad (3)$$

Onde:

S: declividade média (unidade: m/km);

H: diferença entre as cotas do ponto mais afastado e o considerado (unidade: m);

L: comprimento total do curso (unidade: km)

Além dos aspectos mencionados acima, diversos outros parâmetros devem ser estimados para verificação de adequação das variáveis hidrológicas, tais como: tempo de concentração (tempo necessário para que toda bacia contribua para o escoamento superficial), curva-chave (gráfico da descarga medida x leitura simultânea da régua), série de vazões médias mensais (derivada de uma série histórica de um posto localizado no mesmo curso d'água), curvas de duração (relaciona o nível d'água de um rio com a probabilidade de ocorrerem valores iguais ou superiores), hidrograma sintético triangular (caso não existam dados sobre as séries históricas, os eventos extremos podem ser calculados a partir do hidrograma sintético) e estudos de vazões mínimas e extremas (estudos probabilísticos para verificar a ocorrência deste evento) [6].

## **2.5. PCHS no Contexto do Estado do Amazonas**

Apesar de um volume de água muito grande, bem como vazões consideráveis, como o próprio rio Amazonas e Solimões, quando se trata dos pequenos rios (afluentes), obstáculos para a implantação de PCHs são encontrados devido ao baixo gradiente. Por exemplo, a declividade do rio Amazonas fica na faixa de 2 a 3 cm a cada 1 km, sendo caracterizado como um rio de planície. Da mesma forma, vários outros rios possuem a mesma declividade [15].

Nesse sentido a geologia é extremamente relevante, pois temos um leito de sedimento e um leito rochoso. Com os leitos rochosos existe a tendência maior de formação de corredeiras ao decorrer do perfil longitudinal do rio, favorecendo a construção de pequenas centrais hidrelétricas.

Na geografia física do Amazonas, predomina vasto domínio de cotas baixas, inferiores a 200 metros, com porções restritas ao norte do estado, com cotas que chegam a alcançar cerca de 3.000 metros de altitude. Ressalva-se que, na maior parte, as superfícies estão embasadas por rochas sedimentares de diversas idades, pertencentes à bacia sedimentar nos rios Amazonas e Solimões. Entretanto, tanto a norte quanto a sudeste, um conjunto de baixas superfícies de aplainamento e elevações isoladas, modeladas sobre o embasamento ígneo-metamórfico e coberturas sedimentares plataformais de idade arqueana e mesoproterozica [15].

## **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1. Procedimentos adotados para análise de viabilidade**

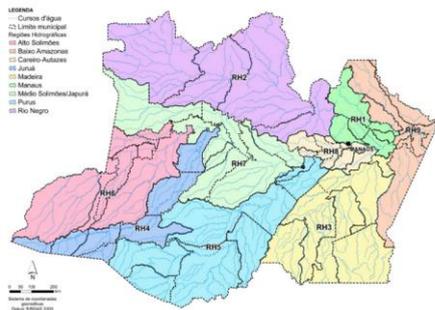
Os procedimentos adotados para analisar a viabilidade de implantação de PCH no Estado do Amazonas seguiu em conformidade com os procedimentos e diretrizes recomendados pela ANEEL, conforme descrito na Seção 2.1. Dessa forma, essa análise foi, inicialmente, conduzida tomando como base 5

principais tópicos: (i) definição da região hidrográfica de interesse para a pesquisa, (ii) levantamento de campo, (iii) estudos básicos, (iv) estimação final da queda líquida e da potência instalada, (v) definição de equipamentos eletromecânicos e (vi) avaliação final do estudo de viabilidade.

### 3.1.1. Definição da região hidrográfica do Estado do Amazonas

Com o intuito de não estender o trabalho, foi selecionado apenas a região hidrográfica do Rio Negro (RH2, destacado na Figura 2) do Estado do Amazonas como estudo de caso para a composição deste trabalho. Ressalta-se que o método adotado poderia ser aplicado para quaisquer regiões hidrográficas ilustradas na Figura 2.

**Figura 2. Regiões hidrográficas do Estado do Amazonas.**



Fonte: [11]

### 3.1.2. Levantamento de campo

Após a definição da região de interesse para a pesquisa, foi realizado o levantamento de campo, isto é, caracterização geológica, geotécnica, topográfica, hidrográfica e hidrológica da região de interesse localizada no Estado do Amazonas. De maneira geral, o levantamento consistiu na utilização de dados disponibilizados em documentos oficiais de instituições governamentais com caráter técnico-científico, conforme será visto a seguir.

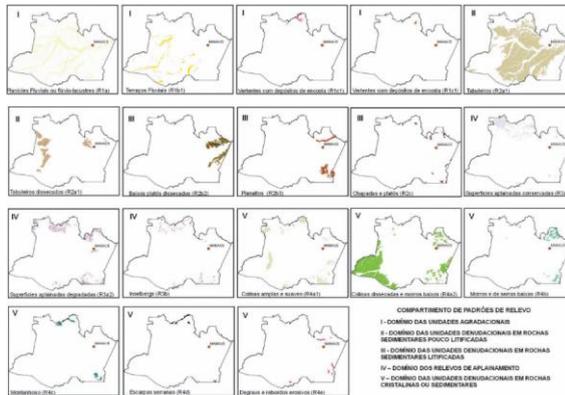
#### a) Dados utilizados para caracterização geológica da região de interesse

Dados que caracterizam a geologia da região de interesse foram obtidos a partir dos dados disponibilizados no relatório em [10], pois este fornece informações técnicas a respeito da constituição litológica da supraestrutura e da infraestrutura geológica de todos os compartimentos geológico-ambientais do território amazonense.

TORNÉ, Israel Gondres; SÁ, Tiago Ramos; SALES, Eduardo Arce; COELHO, Vinicius Tavares; COSTA, Isaque V. Batista, GOMES, Raimundo Cláudio Souza; PRINTES, André Luiz; CARDOSO, Fábio de Sousa; FERREIRA, Angilberto Muniz Sobrinho–**Procedimentos para Estudo da Viabilidade de Implantação de Pequenas Centrais Hidrelétricas no Estado do Amazonas**

A Figura 3 ilustra os padrões de relevos encontrados no território do Estado do Amazonas.

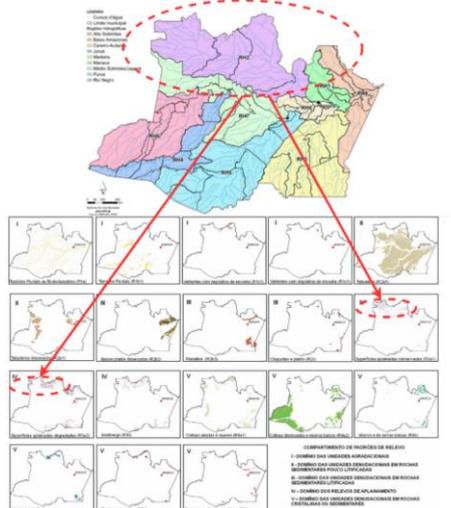
**Figura 3. Padrões de relevo para diferentes localidades das regiões hidrográficas do Estado do Amazonas.**



Fonte: [10].

Dessa forma, a caracterização geológica da região hidrográfica escolhida, RH2, é levantada identificando os padrões de relevo localizados na região de interesse. Considerando a região hidrográfica escolhida, RH2, exemplos de padrões de relevos encontrados nela são ilustrados na Figura 4.

**Figura 4. Especificações geológicas da região RH2.**



Fonte: Autores.

TORNÉ, Israel Gondres; SÁ, Tiago Ramos; SALES, Eduardo Arce; COELHO, Vinicius Tavares; COSTA, Isaque V. Batista, GOMES, Raimundo Cláudio Souza; PRINTES, André Luiz; CARDOSO, Fábio de Sousa; FERREIRA, Angilberto Muniz Sobrinho–  
**Procedimentos para Estudo da Viabilidade de Implantação de Pequenas Centrais Hidrelétricas no Estado do Amazonas**

**b) Dados utilizados para caracterização topográfica da região de interesse**

Com base na identificação dos padrões de relevo para a região hidrográfica de interesse, é possível extrair os dados de declividade e amplitude topográfica (metros) disponibilizados na Tabela 1. Ressalta-se que esses dados foram obtidos a partir do mesmo relatório mencionado na subseção anterior.

**Tabela 1 – Especificações topográficas da região RH2.**

<b>Tipo de Relevo</b>	<b>Declividade (graus)</b>	<b>Amplitude Topográfica (m)</b>
Planícies Fluviais ou Fluvio-lacustres (R1a)	0 a 3	zero
Terraços Fluviais (R1b1)	0 a 3	2 a 20
Vertentes Recobertas por Depósitos de Encosta (R1c1)	5 a 45	Variável
Campos de Dunas (R1f1)	3 a 30	2 a 40
Tabuleiros (R2a1)	0 a 3	20 a 50
Tabuleiros Dissecados (R2a2)	0 a 3	20 a 50
Baixos Platôs Dissecados (R2b2)	0 a 5	20 a 50
Planaltos (R2b3)	0 a 5	20 a 50
Chapadas e Platôs (R2c)	0 a 5	0 a 20
Superfícies Aplainadas Conservadas (R3a1)	0 a 5	0 a 10
Superfícies Aplainadas Degradadas (R3a2)	0 a 5	10 a 30
<i>Inselbergs</i> (R3b)	25 a 60	50 a 500
Colinas Amplas e Suaves (R4a1)	3 a 10	20 a 50
Colinas Dissecadas e Morros Baixos (R4a2)	5 a 20	30 a 80
Morros e Serras Baixas (R4b)	15 a 35	80 a 200
Montanhoso (R4c)	25 a 60	300 a 2000
Escarpas Serranas (R4d)	25 a 60	300 a 2000
Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos (R4e)	10 a 45	50 a 200

Fonte: [10].

**c) Dados utilizados para caracterização hidrológica e hidrográfica da região de interesse**

Dados que caracterizam a hidrografia e hidrologia da região de interesse foram obtidos a partir dos dados disponibilizados no relatório técnico em [10], pois este fornece dados atualizados e relevantes sobre diversos aspectos hídricos do território amazense. Considerando a região hidrográfica escolhida para a pesquisa, RH2, a Tabela 2 fornece dados para a caracterização volumétrica das vazões comuns à região hidrográfica do Rio Negro.

TORNÉ, Israel Gondres; SÁ, Tiago Ramos; SALES, Eduardo Arce; COELHO, Vinicius Tavares; COSTA, Isaque V. Batista, GOMES, Raimundo Cláudio Souza; PRINTES, André Luiz; CARDOSO, Fábio de Sousa; FERREIRA, Angilberto Muniz Sobrinho–  
**Procedimentos para Estudo da Viabilidade de Implantação de Pequenas Centrais Hidrelétricas no Estado do Amazonas**

**Tabela 2 – Especificações hidrológicas da região RH2.**

Região Hidrográfica	Unidade de Planejamento Hídrico (UPH)	Vazões características específicas		
		qm <sub>lt</sub> (l/s/km <sup>2</sup> )	q <sub>90</sub> (l/s/km <sup>2</sup> )	q <sub>95</sub> (l/s/km <sup>2</sup> )
Manaus	Uatumã-Negro	31,2	16,7	14,3
Manaus	Alto Uatumã	29,8	14,6	12,9
Manaus	Baixo Madeira-Sucunduri	21,9	6,9	6,4
Manaus	Baixo Negro	40,0	23,6	20,9
Rio Negro	Jauaperi	26,7	10,4	8,2
Rio Negro	Médio Negro	41,0	23,4	21,3
Rio Negro	Demini	33,0	8,3	6,0
Rio Negro	Alto Negro	60,6	34,7	29,4

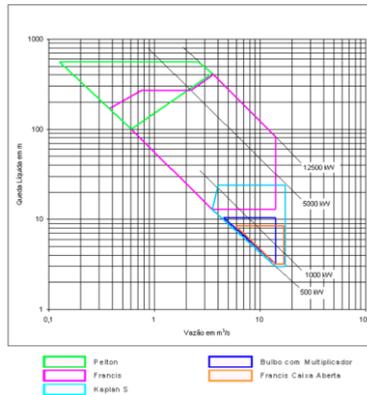
Fonte: [10].

### 3.1.3. Estimação final da queda líquida e da potência instalada

Por meio dos dados obtidos nas subseções anteriores, é possível obter a queda líquida estimada para a região hidrográfica de interesse, RH2, conforme explanado na Seção 2.2.

A potência instalada estimada, por sua vez, pode ser extraída a partir da Figura 5. Ela é oriunda do relatório técnico em [10].

**Figura 5. Determinação da potência estimada.**



Fonte: [6].

### 3.1.4. Definição de equipamentos eletromecânicos

Por último, por meio dos dados levantados e estimados, ainda com base na Figura 5, é possível inferir turbinas recomendadas para a implantação de PCH na região hidrográfica de interesse. Outras alternativas de possíveis turbinas com base nas características levantadas nas subseções anteriores são disponibilizadas na Tabela 2 que também condiciona a escolha de uma turbina em função das variáveis de queda líquida e vazões volumétricas.

TORNÉ, Israel Gondres; SÁ, Tiago Ramos; SALES, Eduardo Arce; COELHO, Vinicius Tavares; COSTA, Isaque V. Batista, GOMES, Raimundo Cláudio Souza; PRINTES, André Luiz; CARDOSO, Fábio de Sousa; FERREIRA, Angilberto Muniz Sobrinho–  
**Procedimentos para Estudo da Viabilidade de Implantação de Pequenas Centrais Hidrelétricas no Estado do Amazonas**

**Tabela 3 – Especificações de turbinas para a região RH2.**

<b>Tipo de turbina hidrelétrica</b>	<b>Características típicas do local</b>
Parafuso de Arquimedes	Baixa queda (1.5 - 5 metros); Vazões médias ou altas (1 - 20 m <sup>3</sup> /s).
Turbinas crossflow	Quedas baixas e médias (2 - 40 metros); Vazões baixas e médias (0.1 - 5 m <sup>3</sup> /s).
Turbinas Kaplan	Quedas baixas e médias (1.5 - 20 metros); Vazões médias e altas (3 - 30 m <sup>3</sup> /s).
Turbinas Pelton	Quedas altas (superiores a 25 metros); Vazões baixas (0.01 - 0.5 m <sup>3</sup> /s).
Turbinas Waterwheels	Quedas baixas (1 - 5 metros); Vazões médias (0.3 - 1.5 m <sup>3</sup> /s).

Fonte: [9].

Enfim, considerando os procedimentos que foram definidos para verificar a possibilidade de implantação de PCH em uma determinada região hidrográfica de interesse, a seção seguinte disponibiliza os resultados desses procedimentos acima aplicados na região hidrográfica do Rio Negro, RH2. Além disso, discussões serão consideradas a partir desses resultados.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os procedimentos adotados na seção anterior viabilizaram um estudo preliminar sobre as condições mínimas para que uma PCH seja construída em uma determinada região hidrográfica do Estado do Amazonas, sem que haja a necessidade imediata de ida em locais de difícil acesso para levantamento de campo.

Conforme mencionado anteriormente, a região hidrográfica do Rio Negro (em destaque na Figura 2) foi selecionada como estudo de caso para esse trabalho. Em seguida, por meio dos procedimentos descritos, foi possível obter os dados para caracterização geológica, topográfica e hidrológica da região de interesse. Em sequência, por meio desses, tornou-se possível estimar possíveis turbinas para verificar a viabilidade de implantação de PCH.

Aplicando então o levantamento realizado para a região de interesse, observa-se que a região hidrográfica do Rio Negro se caracteriza, geologicamente, por apresentar Superfícies Aplainadas Conservadas (R3a1) e Degradadas (R3a2), conforme a Figura 4. Devido a essas características, essa região apresenta declividade variando entre 0 a 5, e amplitude topográfica entre 0 a 30 metros, conforme a Tabela 1. Em seguida, conforme a Tabela 2, a região de pesquisa caracteriza-se por apresentar vazões médias entre 6 a 29,4 m<sup>3</sup>/s. Dessa forma, considerando essas especificações e com base na Tabela 3, recomenda-se o uso da turbina do tipo Kaplan em PCH do tipo *run-off-driver*, fazendo uso de múltiplas turbinas operando simultaneamente. De acordo com

a Figura 5, o uso dessas turbinas proveria uma potência instalada entre 500 kW até 4500 kW.

Por fim, ressalta-se a inferência realizada por meio dos procedimentos adotados tem a finalidade apenas de delinear as condições gerais (ou seja, um estudo preliminar) de parâmetros que permitam verificar a viabilidade de implantação de PCHs na região de interesse, sem que haja uma imediata necessidade de ida ao campo presencialmente. Assim, os procedimentos adotados poderiam ser aplicados para as regiões hidrográficas de interesse do Estado do Amazonas, condicionado a disponibilidade de dados obtidos por meio dos documentos oficiais e fidedignos, conforme apresentado na seção anterior.

## 5. CONCLUSÃO

As PCHs desempenham um papel importante no contexto das fontes alternativas de energia e desenvolvimento sustentável. Além do aspecto ambiental, as questões burocráticas simplificadas e os incentivos tarifários para sua implementação tornam essa modalidade muito atrativa como possível solução para os problemas relacionados ao fornecimento de energia no estado do Amazonas.

Tendo em vista tal objetivo, o presente trabalho descreveu procedimentos práticos para caracterização geológica, topográfica e hidrológica de regiões hidrográficas do Estado do Amazonas a fim de constatar a viabilidade da implementação da modalidade, de forma preliminar, nas diferentes regiões do estado, sem a necessidade de um estudo de campo.

Com isso, para a região hidrográfica do Rio Negro, escolhida neste trabalho para estudo caso, obteve-se, através da metodologia proposta, as seguintes condições gerais para implementação de PCHs na região: turbinas tipo Kaplan, em usinas do tipo *run-off-driver*, com múltiplas turbinas operando simultaneamente.

## REFERÊNCIAS

- [1] ABRAPCH. Cenário de PCHs e CGHs no Brasil. Disponível em: (<https://abrapch.org.br/sector/cenario-de-pchs-e-cghs-no-brasil/>). Acesso em fevereiro de 2022.
- [2] Almeida, R.M., Shi, Q., Gomes-Selman, J.M. et al. **Reducing greenhouse gas emissions of Amazon hydropower with strategic dam planning**. Nat Commun 10, 4281 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12179-5>.
- [3] ALBARELLO, L. **GUIA PARA A IMPLANTAÇÃO DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS - PCHs**. Trabalho de Conclusão de Curso de Pós-Graduação. Universidade

TORNÉ, Israel Gondres; SÁ, Tiago Ramos; SALES, Eduardo Arce; COELHO, Vinicius Tavares; COSTA, Isaque V. Batista, GOMES, Raimundo Cláudio Souza; PRINTES, André Luiz; CARDOSO, Fábio de Sousa; FERREIRA, Angilberto Muniz Sobrinho–  
**Procedimentos para Estudo da Viabilidade de Implantação de Pequenas Centrais Hidrelétricas no Estado do Amazonas**

---

Federal de Santa Maria. Panambi, RS, 2014. Disponível em: [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/1366/Albarelo\\_Leonardo.pdf?sequence=1](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/1366/Albarelo_Leonardo.pdf?sequence=1). Acesso em fevereiro de 2022.

[4] ATHAYDE, S. et al. **Improving policies and instruments to address cumulative impacts of small hydropower in the amazon**. Energy Policy, v. 132, p. 265–271, 2019. ISSN 0301-4215. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030142151930299X>. Acesso em março de 2022.

[5] FRIEDRICH, P. G. **Benefícios Econômicos e Sociais das Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs)**. 2010, 51 f. Trabalho de conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

[6] ELETROBÁS. **Diretrizes para estudos e projetos de pequenas centrais hidrelétricas**. 2000. Relatório Técnico. Disponível em: <https://eletrobras.com/pt/Paginas/Manuais-e-Diretrizes-para-Estudos-e-Projetos.aspx>. Acessado em fevereiro de 2022.

[7] ESHA. **Guide On How to Develop a Small Hydropower Plant**. 2004. Disponível em: [https://www.canyonhydro.com/images/Part\\_1\\_ESHA\\_Guide\\_on\\_how\\_to\\_develop\\_a\\_small\\_hydropower\\_plant.pdf](https://www.canyonhydro.com/images/Part_1_ESHA_Guide_on_how_to_develop_a_small_hydropower_plant.pdf). Acesso em janeiro de 2022.

[8] FARIA, F. A. M. D. **Metodologia de Prospecção de Pequenas Centrais Hidrelétricas**. 2011, 212f. Dissertação. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

[9] FIRST, R. **Guide On How to Develop a Small Hydropower Plant**. 2015. Disponível em: <https://www.renewablesfirst.co.uk/hydropower/hydropower-turbines/>. Acesso em fevereiro de 2022.

[10] MAIA, M. A. M, MARMOS, L. J. **GEODIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS**. Programa Geologia do Brasil, Levantamento da Geodiversidade. 2010. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/16624>. Acesso em março de 2022.

[11] GUERRA, H. N. **Despacho N° 2.473, DE 14 DE AGOSTO DE 2017**. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Documento oficial, 2017.

[12] SEMA (Secretaria de Estado do Meio Ambiente). **PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HIDRÍCOS DO AMAZONAS**. RT 03 - Diagnóstico, prognóstico e cenários futuros dos recursos hídricos do estado. TOMO II. Relatório preliminar. 2019. Disponível em: <http://meioambiente.am.gov.br/wp-content/uploads/2016/04/Produto-II-Diagn%C3%B3stico-Progn%C3%B3stico-e-Cen%C3%A1rios-volume-II.pdf>. Acesso em fevereiro de 2022.

[13] SIMONE ATHAYDE, Carla G. Duarte, Amarilis L.C.F. Gallardo, Evandro M. Moretto, Luisa A. Sangoi, Ana Paula A. Dibo, Juliana Siqueira-Gay, Luis E. Sánchez, **Improving policies and instruments to address cumulative impacts of small hydropower in the Amazon**. Energy Policy, Volume 132, 2019, Pages 265-271, ISSN 0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.05.003>.

[14] ZHOU, D.; DENG, Z. **Ultra-low-head hydroelectric technology: A review**. Renewable And Sustainable Energy Reviews, v. 78, p. 23–30, 10 2017.

[15] MAIA, M. A. M, MARMOS, L. J. **Floresta Amazônica – Geologia e Relevô**. Plano Amazônia Sustentável – MMA. Ambiente Brasil. Disponível em: [https://ambientes.ambientebrasil.com.br/amazonia/floresta\\_amazonica/floresta\\_amazonica\\_-\\_geologia\\_e\\_relevô.html#:~:text=Geologicamente%2C%20limita%2Dse%20ao%20nortede%20car%C3%A1ter%20fluvial%20e%20lacustre.](https://ambientes.ambientebrasil.com.br/amazonia/floresta_amazonica/floresta_amazonica_-_geologia_e_relevô.html#:~:text=Geologicamente%2C%20limita%2Dse%20ao%20nortede%20car%C3%A1ter%20fluvial%20e%20lacustre.). Acesso em fevereiro de 2022.