



T02

## POTENCIAL ELÉTRICO DAS PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS E SUA IMPORTÂNCIA PARA A DIVERSIFICAÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

*Bruno Silva Santos<sup>1</sup>, Ericson Yuri Ferreira Silva<sup>2</sup>, Francirley Paz da Silva<sup>3</sup> Guilherme Rodrigues de Oliveira Almeida<sup>4</sup>, Mariana Leal Moitinho<sup>5</sup>.*

**RESUMO:** *As PCHs (Pequenas Centrais Hidrelétricas) são implantadas em fios d'água ou curtos trechos de rio com a finalidade de gerar energia para uma determinada localidade, onde através de dados e modelos matemáticos é possível medir seu potencial elétrico. O presente artigo aborda questões relativas a energia elétrica gerada em PCHs, seu potencial elétrico e o impacto resultante da implantação de novas PCHs no nordeste brasileiro, com enfoque na região de Delmiro Gouveia-AL.*

**PALAVRAS-CHAVE:** *Energia Potencial; PCH; Nordeste; Delmiro Gouveia.*

### 1. INTRODUÇÃO

O território do Brasil possui um dos maiores e melhores potenciais energéticos do mundo segundo SIPOT (Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro). Os potenciais hidráulicos, da irradiação do sol, da força dos ventos e da biomassa são satisfatoriamente abundantes para assegurar a autossuficiência. Contudo, apenas duas fontes energéticas – hidráulica e petróleo – têm sido amplamente aproveitadas como mostra a ABEólica. A ABEólica (2017) apresenta a Matriz Energética Brasileira do ano de 2017. As hidrelétricas representam 61,3% da geração de energia, em seguida a biomassa gera 9,2%, o gás natural produz 8,5 %, a eólica 7,4%, o petróleo 6,6%, as PCHs 3,3%, o Carvão Mineral 2,4% e a energia nuclear gera apenas 1,3% de energia.

De acordo com a ANEEL, em relação ao total do consumo de energia do Brasil, a Eletrobrás AL (CEAL) consome aproximadamente 77.775MWh (0,9% do país, ). Dentre as cidades atendidas, Delmiro Gouveia no sertão Alagoano está entre as cidades com maior demanda. O último Perfil Municipal de Delmiro Gouveia, produzido pela secretaria de infraestrutura do estado em 2015,

---

<sup>1</sup> Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão  
Email: [brunoss96@hotmail.com](mailto:brunoss96@hotmail.com)

<sup>2</sup> Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão  
Email: [e.yuri\\_ferreira@hotmail.com](mailto:e.yuri_ferreira@hotmail.com)

<sup>3</sup> Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão  
Email: [francirley.silva@delmiro.ufal.br](mailto:francirley.silva@delmiro.ufal.br)

<sup>4</sup> Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão  
Email: [g-almeida@live.com](mailto:g-almeida@live.com)

<sup>5</sup> Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão  
Email: [mariana.moitinho@gmail.com](mailto:mariana.moitinho@gmail.com)



registra o consumo de 87.918 MWh (Tabela 1) de acordo com a SEPLAG (Secretaria de Estado do Planejamento, Gestão e Patrimônio).

Tabela 1- Energia Elétrica: Consumo e Consumidores por Classe.

Classe	2014	2014
	Consumo (Mwh)	Consumidores
Comercial	5465	798
Consumo próprio	62	2
Industrial	5744	2
Iluminação Pública	41437	43
Residencial	1964	15002
Rural	715	90
Serviço Público	13489	21
Total	87918	1619

Fonte: Adaptado SEPLAG (2015).

### 1.1. Marco Histórico no Sertão Alagoano

A região localizada na margem alagoana da cachoeira de Paulo Afonso, no Rio São Francisco, foi o local de origem da primeira usina hidrelétrica do nordeste brasileiro. O empresário Delmiro Gouveia investiu na exploração do potencial energético da cachoeira e na instalação de uma fábrica de fios e linhas em Pedra. Em 1911 iniciou-se a construção da Usina Angiquinho no rio São Francisco, sob a supervisão de técnicos europeus. A casa de força com duas unidades geradoras foi instalada no meio de uma das paredes do cânion em local de difícil acesso, representando o maior desafio da obra. Dali a energia seria transmitida até Pedra por uma linha com 24 km de extensão, implantada juntamente com a adutora para abastecimento d'água ao povoado (SILVA, Bruno. 2017).

Primeiro aproveitamento hidrelétrico do rio São Francisco, a usina entrou em operação em janeiro de 1913. Com potência instalada de 1.100 quilowatts (kW) e assegurou o fornecimento de energia para a iluminação elétrica de Pedra e para o funcionamento da Companhia Agro Fabril Mercantil, inaugurada em junho de 1914 segundo dados da UNEB (Universidade do Estado da Bahia). A fábrica aumentou progressivamente o desenvolvimento da região e o empresário Delmiro Gouveia passou a ser considerado responsável pela instalação de escolas, cinema, chafarizes, estação de telégrafo, tipografia e serviço médico. 40 anos depois, o projeto inovador de Delmiro serviria como modelo, em pequena escala, para a Companhia Hidroelétrica do São Francisco (Chesf). A empresa foi constituída com a missão de promover o aproveitamento do grande potencial hidrelétrico de Paulo Afonso. Anos mais tarde, o antigo distrito de Pedra foi desmembrado de Água Branca, dando origem ao município de Delmiro Gouveia (SILVA, Bruno. 2017).

### 1.2. Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH)

As Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) são usinas hidrelétricas de tamanho e potência relativamente reduzidos, conforme classificação feita pela Agência Nacional de Energia Elétrica



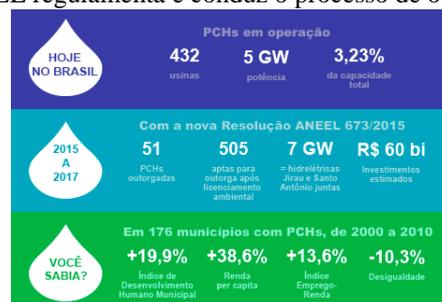
(ANEEL) em 1997. Esses empreendimentos têm, obrigatoriamente, entre 5 e 30 megawatts (MW) de potência e devem ter menos de 13 km<sup>2</sup> de área de reservatório. Uma subclassificação das PCHs são as Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGHs), que podem ter o potencial de gerar até 5 MW (ABRAPCH, 2018). A ação de uma PCH consiste em levar a água de um rio até uma casa de máquinas onde a energia mecânica da água será convertida em energia elétrica e depois conduzida novamente ao rio.

A importância das pequenas centrais hidrelétricas na matriz nacional como alternativa às grandes usinas geradoras se dá na redução dos impactos ambientais nas áreas em que estas são instaladas. O investidor interessado pode decidir sobre a implantação de uma PCH através de estudos de viabilidades locais e da análise das vantagens abordadas no Guia do Empreendedor de Pequenas Centrais Hidrelétricas (ANEEL, 2003). Alguns exemplos de vantagens são: aproveitamento da própria região; demanda de pequeno volume de investimentos; construção e operação depende apenas da autorização da ANEEL; comercialização da energia elétrica livremente com consumidores de carga igual ou maior que 500 kW; prazo de implantação menor que as hidrelétricas de maior porte, e impacto ambiental bastante reduzido.

O fato de não precisar de grandes linhas de transmissão facilita a disseminação destas usinas em todo o território nacional e ao decorrer dos anos vai se tornando uma tendência a implantação destas usinas levando em consideração a crise hídrica que vem acontecendo.

Um estudo desenvolvido pela ANEEL mostrou que, no período compreendido entre 2000 e 2010, a instalação dessas pequenas usinas em 176 municípios associou-se à melhoria de indicadores de emprego e renda, à redução da desigualdade e ao desenvolvimento social e econômico em ritmo maior que o registrado em municípios próximos a essas localidades. Na Figura 1 é possível observar o quadro geral das PCHs no Brasil.

Figura 1: A ANEEL regulamenta e conduz o processo de outorgas das PCHs.



Fonte: ANEEL (2018).

Quase um ano após a publicação da Resolução nº 673/2015 estabelecida pela ANEEL, que trata da outorga para implantação e exploração de aproveitamento de potencial hidráulico com características de Pequena Central Hidrelétrica, 17 usinas foram outorgadas e 159 estão aptas à outorga e aguardam a emissão de Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica (DRDH) e Licença Ambiental (LA). Somadas, as 176 PCHs devem agregar ao sistema uma potência instalada de 2.064,72 MW (ANEEL, 2016).

No estado de Alagoas são registradas apenas 7 PCHs em operação (Tabela 2), que juntas têm capacidade de geração de 3.649 kW. Não houve nenhuma instalação de novas PCHs nos últimos 50



anos. Apenas a modernização de algumas instalações como por exemplo o da CGH Oriental de propriedade da Usina Serra Grande, através da instalação do hidro gerador no açude Maria Maior em 1994. Contudo, a modernização da regulamentação de abertura de novas PCHs pela ANEEL torna a fomentar o aproveitamento do potencial hidráulico existente em Alagoas.

Tabela 2 - USINAS do Tipo PCH em Operação no Estado de Alagoas.

Nome	Potência (kW)	Destino da Energia	Proprietário	Município	Rio
Giboia	160	PIE	UTE Serra Grande	S. José Laje	Canhoto
Laje	200	PIE	UTE Serra Grande	S. José Laje	Canhoto
Oriental	1250	PIE	UTE Serra Grande	S. José Laje	Inhumas
Caete-Cachoeira	516	APE	UTE Cachoeira	Ipioca	Meirim
Taquara	575	APE	UTE Taquara	Colônia	Taquara
Cachoeira-Escada	108	SP	CEAL	Sant. Mundaú	Mundaú
Gustavo Paiva	840	PIE	UTE Sta. Clotilde	Rio Largo	Mundaú
<b>Subtotal 2</b>	<b>3649</b>	<b>7 Pequenas Usinas Hidrelétricas</b>			

Fonte: ARSAL (2006).

Para instalação de uma PCH um dos parâmetros necessários para análise é a altura da queda e vazão da água para definir qual a melhor turbina que pode ser aplicada. No município de Delmiro Gouveia, mais precisamente analisando o Angiquinho, segundo os parâmetros analisados Google Earth, a altura da queda neste local é 42 metros, é considerada uma média pela Semi-Industrial Ltda. por estar entre 30m à 300m. Com tal altura a turbina adequada a estes tipo de queda é a Francis. Segundo a HISA, empresa brasileira fabricante de turbinas, que tem como um dos principais focos a construção de turbinas para PCHs, as turbinas Francis são máquinas projetadas com rotor simples para eixo vertical ou horizontal, ou com rotor duplo para eixo horizontal. Este modelo de turbina é o que permite sua instalação em maior faixa de aplicação relacionado à queda/vazão. São adequadas para operar entre quedas de 10m até 200m.

## 2. METODOLOGIA

No que se refere ao potencial bruto pode-se definir como uma energia que é armazenada em um sistema físico e que tem capacidade de ser transformada em energia. Segundo o livro ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL a primeira estimativa de energia hidráulica disponível no mundo pôde ser feita a partir da associação da equação dessa energia.

$$P = m . g . h \quad \text{(Equação 01)}$$

P – Energia Potencial (W);

m – Massa (kg);

g – Aceleração da Gravidade ( $m . s^{-2}$ );

h – Altura (m).



Levando em consideração que o índice de precipitação média anual é de cerca de 1017 kg e a altura média da superfície da terra é de cerca de 800 m, temos um valor de 200 mil TWh. Nos casos onde se necessitam calcular o potencial hidráulico de um PCH (Pequenos Centros Hidrelétricos), se é necessária uma forma mais sofisticada. Segundo o professor Fernando Campos Mendonça do Departamento de Engenharia e Biosistemas da USP é possível encontrar Energia Potencial Bruta no rio ou fio d'água com o auxílio da Equação 2.

$$P = Q \cdot \rho \cdot g \cdot h \quad (\text{Equação 02})$$

P – Energia Potencial Bruta (W);

Q – Vazão ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ );

$\rho$  – Massa Específica ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ );

g – Aceleração da Gravidade ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ );

h – Altura da queda d'água (m).

Esse cálculo para energia potencial hidráulica, mesmo que seja direcionado a uma queda d'água, é uma estimativa não tão realista devido à impossibilidade de aproveitamento de todo o volume de água. A evaporação e a perda de energia devido à turbulência e fricção da água são exemplos dessa impossibilidade, por isso o uso da nomenclatura “Potencial Bruta”. A potência real da bomba pode ser obtida a partir da multiplicação da potência teórica pelo rendimento através da seguinte equação:

$$Pr = P \cdot \eta \quad (\text{Equação 03})$$

Pr – Potência Real (W);

P – Potência Teórica (W);

$\eta$  – Rendimento;

Com a utilização do desse método de cálculo, o artigo presente tem como finalidade analisar o impacto socioeconômico da utilização de 5%, a partir de uma intervenção de engenharia, da vazão da cachoeira de Paulo Afonso para geração de energia. De maneira que seriam utilizadas três turbinas tipo “Francis – Caixa Espiral” em cada um dos quatro cenários de avaliação. Em cada cenário fazendo uso de 100%, 80%, 50% e 30% respectivamente, da vazão pós-intervenção. Consequentemente após a estimativa de geração de energia será avaliada a rentabilidade na geração de MW dessa energia.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os cálculos que serão mostrados a seguir são referenciados à vazão nominal de 5% da vazão total da Cachoeira de Paulo Afonso, vazão essa necessária para a geração potencial de energia referente a uma PCH. A vazão total média da Cachoeira atualmente é de cerca de 700  $\text{m}^3/\text{s}$  e uma queda útil de 80m de altura, para os cálculos usaremos uma vazão equivalente a 35  $\text{m}^3/\text{s}$ . A utilização de um percentual tão pequeno da vazão total da cachoeira tem bastante relevância quando o assunto é impacto ambiental, pois é um índice relativamente baixo e que traria impactos mínimos tanto ao Rio quanto à região a ser instalada a PCH, pois não necessitaria de uma grande área de inundação. Utilizando-se da Equação 02 para o primeiro cenário com vazão total de 100%, e repetindo os cálculos levando em consideração o segundo, terceiro e quarto cenários de 80%, 50% e 30% da vazão total de 35 $\text{m}^3/\text{s}$ , respectivamente, temos o resultado mostrado na Tabela 3.



Tabela 3 - Potencias encontradas para as vazões de 100%, 80%, 50% e 30%, respectivamente.

P1	27,468 MW
P2	21,974 MW
P3	13,734 MW
P4	8,240 MW

Fonte: Os Autores.

Segundo BORGES, Mathias o rendimento da turbina tipo Francis caixa aberta variará de acordo com a relação nominal da vazão que a turbina receberá ao ser instalada, o que faz com a potência da turbina varie de maneira específica como será mostrado a seguir. Baseado na Equação 03, rendimento correspondente a cada cenário de vazão nominal apresentado é respectivamente, 89%, 92%, 70% e 38%, deste modo é possível encontrar os dados de cada turbina com a potência a ser instalada. Foram escolhidas três turbinas para o comparativo, cada um com um Potência específica de 15, 12 e 10MW. A seguir serão apresentados os cálculos para as doze situações, sendo elas onde cada tipo de turbina atende aos quatro cenários de vazão. Temos para a Turbina 1 de 15MW, para a Turbina 2 de 12 MW e para a Turbina 3 de 10 MW os resultados expressos na tabela 4.

Tabela 4 – Potências encontradas para as turbinas 1, 2 e 3.

Turbina	Rendimento (%)	Potência (MW)
Turbina 1	89	13,35
	92	13,80
	70	10,50
	38	5,70
Turbina 2	89	10,68
	92	11,04
	70	8,40
	38	4,56
Turbina 3	89	8,90
	92	9,20
	70	7,00
	38	3,80

Fonte: Os autores.

Assim organizando todos os dados na Tabela 5 para distribuir as informações e encontrar o número de turbinas necessárias para serem instaladas atendendo a demanda potencial de energia de cada cenário.

Tabela 5 – Potencial e rendimento das vazões.

Vazão	Relação com a vazão nominal	Potencial hidráulico bruto da cachoeira (MW)	Rendimento da turbina
$35 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	100 %	27,468	<b>89%</b>
$28 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	80 %	21,974	<b>92%</b>
$17,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	50 %	13,734	<b>70%</b>
$10,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	30 %	8,240	38%

Fonte: Os autores.

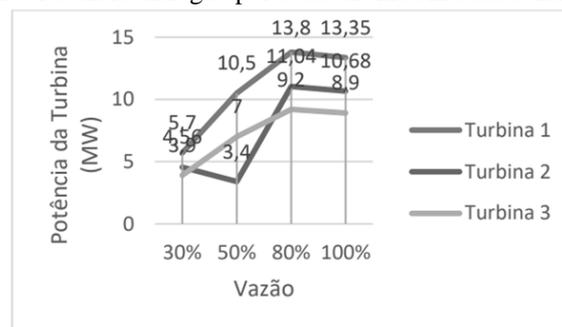


Tabela 6 – Potência entregue pelo eixo das turbinas para os quatro cenários de vazão.

Vazão	TURBINA 1 - 15MW		TURBINA 2 - 12MW		TURBINA 3 - 0MW	
	Potência da turbina (MW)	Nº de turbinas a serem instaladas	Potência da turbina (MW)	Nº de turbinas a serem instaladas	Potência da turbina (MW)	Nº de turbinas a serem instaladas
$35 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	13,35	2	10,68	3	8,90	<b>3</b>
$28 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	13,80	2	11,04	2	9,20	<b>2</b>
$17,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	10,50	1	3,40	2	7,00	<b>2</b>
$10,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	<b>5,70</b>	<b>1</b>	<b>4,56</b>	<b>2</b>	<b>3,80</b>	<b>2</b>

Fonte: Os autores.

Gráfico 1 – Potência entregue por cada turbina em cada cenário de vazão.



Fonte: Os autores.

É possível assim calcular o impacto da geração total de Energia pela instalação das turbinas em uma PCH no cenário de Delmiro Gouveia, segundo a Secretaria de Estado do Planejamento, Gestão e Patrimônio do Governo do Estado de Alagoas, em 2014 o consumo anual de Delmiro Gouveia é de 87.918 MWh e com a PCH instalada considerando uma operação de 20h/dia teria uma geração mínima de 55.480MWh para o pior cenário de vazão que representaria um total de 63% do consumo total anual, e com uma máxima geração de 194.910MWh para o cenário de vazão máxima, representando um percentual 221% do consumo total da cidade de Delmiro Gouveia.

#### 4. CONCLUSÕES

No contexto geral é possível identificar que existe uma tendência de crescimento da implantação de novas PCHs pelo Brasil, pois para sua implantação não há necessidade de grandes vazões ou alto armazenamento dos recursos hídricos. É evidente a possibilidade de realizar o cálculo do potencial elétrico das PCHs utilizando fórmulas existentes como a  $Ph = Q \cdot g \cdot h$ , adaptadas para PCHs, ou até mesmo  $Ph = 7,5 \cdot Q_{95} \cdot h$  disponibilizada pela ELÉTROBRÁS que leva em consideração 95% de aproveitamento da vazão. Para chegar ao resultado esperado do cálculo do potencial hidrelétrico é necessário obter dados históricos de vazão e aproximações dos valores da altura da queda. Diante



do contexto do sertão pôde ser exposto como funcionou a usina do Angiquinho que atualmente encontra-se desativada, onde através dos dados obtidos existe a chance de implantar PCHs onde houver fios d'água semelhantes ao que existe no Angiquinho, com aplicação de novas tecnologias em turbinas e geração de energia. Isto geraria energia suficiente para atender parte ou total demanda energética da cidade de Delmiro Gouveia, baseado no que foi levantado analisando o Angiquinho. Apresentados nos resultados desta PCH poderia produzir energia suficiente para suprir de 63% do consumo energético da cidade em tempos de baixa vazão, podendo chegar a exceder sua demanda em tempos de alta vazão, ultrapassando cerca de 121%. A energia gerada em excesso poderia ser comercializada com cidades vizinhas, tendo impacto financeiro positivo para a cidade Delmiro Gouveia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SOUZA, A.L.O.P. *Um Muro, Duas Cidades*. Projeto Experimental apresentado Escola de Comunicação Social da UFS para a obtenção do título de Bacharel em habilitação em Radialismo e Televisão. 2010

SILVA, D.D. *Dimensionamento de Usinas Hidroelétricas Através de Técnicas de Otimização Evolutiva*. Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica. 2003.

GUITARRARA, G.B. *Estimativa de Vazão para a Implantação de Micro-Centraís Hidrelétricas Com Utilização do SIG*. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação apresentado à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo. 2012.

SCHUTZE, A.M. *A Demanda de Energia Elétrica no Brasil*. Tese apresentada ao programa de Pós-graduação em Economia do Departamento de Economia da PUC-Rio como parte dos requisitos parciais para obtenção do título de Doutor em Economia. 2015.

WITTMANN, D. *A Indústria De Energia Elétrica No Brasil e o Desenvolvimento Sustentável: Uma Proposta Para O Horizonte 2050 À Luz Da Teoria De Sistemas*. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Doutor em Ciências. 2014.

LEÃO, L.L. *Considerações Sobre Impactos Socioambientais de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHS): Modelagem e Análise*. Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento Sustentável pela Universidade de Brasília, Brasília. 2008.

SILVA, Bruno; CORRÊA, Domingos. *Delmiro Gouveia: Um Empresário Shumpeteriano e Seu Legado na Organização Espacial do Sertão Alagoano*. Tese apresentada ao Programa de Mestrado da Universidade Federal de Alagoas. 2017.