



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO DE INCREMENTO DE POTÊNCIA DA PEQUENA  
CENTRAL HIDRELÉTRICA USINA CUREMAS, COREMAS-PB.**

**BRENDA STEPHANIE DE OLIVEIRA MATOS**

**POMBAL – PB**

**2022**

BRENDA STEPHANIE DE OLIVEIRA MATOS

ESTUDO DE INCREMENTO DE POTÊNCIA DA PEQUENA  
CENTRAL HIDRELÉTRICA USINA CUREMAS, COREMAS-PB.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientador(a): Prof. Me. Rodrigo Mendes  
Patrício Chagas

POMBAL – PB

2022

M433e Matos, Brenda Stephanie de Oliveira.  
Estudo de incremento de potência da pequena central hidrelétrica Usina  
Curemas, Coremas-PB. / Brenda Stephanie de Oliveira Matos. – Pombal, 2022.  
71 f. il. color

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) –  
Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia  
Agroalimentar, 2022.

“Orientação: Prof. Me. Rodrigo Mendes Patrício Chagas.”.

Referências.

1. Usina hidrelétrica. 2. Pequena Central Hidrelétrica - PCH -  
Repotencialização. 3. Açude Estevam Marinho. I. Chagas, Rodrigo Mendes  
Patrício. II. Título.

CDU 621.311.21(043)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO  
DE CURSO.

BRENDA STEPHANIE DE OLIVEIRA MATOS

ESTUDO DE INCREMENTO DE POTÊNCIA DA PEQUENA  
CENTRAL HIDRELÉTRICA USINA CUREMAS, COREMAS-PB.

Trabalho de Conclusão de Curso do discente Brenda Stephanie de Oliveira Matos  
**APROVADA** em **26 de agosto de 2022** pela comissão examinadora composta pelos  
membros abaixo relacionados como requisito para obtenção do título de ENGENHEIRA  
CIVIL pela Universidade Federal de Campina Grande.

Registre-se e publique-se.



Prof. Me. Rodrigo Mendes Patrício Chagas  
(Orientador – UFCG/ CCTA/UACTA)



Prof.ª. Dr.ª Rosinete Batista dos Santos Ribeiro  
(Membro Interno – UFCG/CCTA/UACTA)

Prof. Dr Janiro Costa Rego  
(Membro Externo –UFCG/CTRN/UAEC)

*Dedico esta pesquisa à um dos meus maiores incentivadores, aquele que sempre me mostrou que sem o estudo não somos ninguém, o senhor Francisco Roberto de Matos, vulgo Menininho (In Memoria). Nosso sonho está quase sendo concluído, tio! Queria muito você aqui! Saudades eternas!*

## **AGRADECIMENTOS**

A conclusão deste curso e os ensinamentos a mim fornecidos não seria possível sem ajuda de pessoas muito importantes e necessárias na minha vida. Para cada um deles, deixo aqui as minhas palavras de gratidão. Portanto, agradeço:

Primeiramente a Deus pela minha vida e por me sustentar em todos os momentos de fraqueza e angústia, por sempre me manter de pé e me guiar até aqui.

A pessoa mais importante da minha vida, José Miguel, o meu filho. Meu grande amor, você chegou para alegrar meus dias e me trazer paz. Obrigada por me escolher como sua mãe, por me mostrar como sou forte e por me permitir sentir esse amor inexplicável. Tudo por você e para você!

A minha avó, dona Margarida, que na verdade é minha mãezinha, me educou, me deu todo amor do mundo e com seus cuidados me fez ser quem sou hoje. A minha mãe sempre me incentivou a continuar nessa jornada, nunca me deixou desistir, ela é a pessoa mais forte e guerreira que conheço e é um dos pilares da minha vida!

Ao meu marido, meu grande incentivador, está comigo em todos os momentos, me aconselhando e mostrando o quanto eu sou capaz. Ele é meu porto seguro e o meu melhor amigo. Obrigada por tudo, meu amor!

Ao meu pai, sempre forte e corajoso, desde o começo de tudo me incentiva e me aconselha a buscar o caminho certo.

Ao meu tio Menininho, que tanto me ajudou, me apoiou, me incentivou... ele que tinha tanto orgulho de mim e do que eu estava me tornando, era meu segundo pai e meu grande exemplo. Infelizmente ele não teve a oportunidade de me ver concluindo esse sonho que também era dele, Deus precisou levá-lo antes. Creio que de onde meu tio esteja, ele está feliz e orgulhoso, como sempre ficava. Obrigada, meu tio querido por tudo que fez por mim!

Aos meus irmãos, meu tio, minha tia, meus primos, meus sogros e minhas cunhadas. Gratidão por todo apoio e auxílio nesta caminhada tão complexa e desafiadora.

Meu muito obrigada ao meu orientador Rodrigo Mendes Patrício Chagas, por ter me ajudado tanto com essa pesquisa, por toda confiança, por acreditar no meu potencial e por toda paciência nesses últimos meses.

Aos membros da comissão examinadora, a Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Rosinete Batista dos Santos Ribeiro e o Prof Dr. Janiro Costa Rego, por ter aceitado o convite para avaliação desta

pesquisa que é tão importante para mim e por todas as contribuições feitas que foram de grande valia.

E por fim, quero deixar meus agradecimentos aos professores, técnicos-administrativos e servidores da UFCG por todo aprendizado que foram tão valiosos para esta minha caminhada e por se fazerem presentes durante esses quase 6 anos.

## **RESUMO**

Sabe-se que os investimentos em reformas de centrais hidrelétricas são inviáveis visando sob a ótica socioambiental, deste modo a repotenciação foi criada no intuito de aumentar a energia gerada pelas turbinas de usinas antigas. Para a PCH, a repotenciação é vista como uma forma mais sustentável de desenvolvimento promovendo maior rendimento e ganhos na potência, além de ter valor inferior ao de uma construção. Com base nisso, foi desenvolvida esta pesquisa tendo como principais objetivos o aumento da potência das turbinas da PCH Usina Curemas e o alcance de 4,1 MW de potência gerada para abastecer o município de Coremas, utilizando quatro formas de repotenciação sendo elas: substituição das turbinas existentes por outras do mesmo tipo mais modernos que obteve como resultado um aumento de 301, 53 kW comparada a turbina Francis antiga, substituição das turbinas existentes por outras de outro tipo onde o incremento foi de 83,23 kW, alteamento da barragem do reservatório obtendo um ganho de 140 kW comparada com a turbina antiga, e melhoria da turbina instalada utilizando outra vazão de projeto, sendo esta vazão de 1,3 m<sup>3</sup>/s, o resultado obtido foi de 1.418,50 kW a menos que a turbina antiga. Deste modo foi concluído que o estudo teve resultados positivos para três tipos de repotenciação e um resultado negativo, ficando bem inferior a potência instalada atualmente na Usina Curemas. Por fim, conclui-se que somente um tipo era viável para a solucionar o problema por atingir a necessidade de potência que o município de Coremas necessita.

***Palavras-chave: Estevam Marinho; PCH; Repotenciação.***



## ABSTRACT

It is known that investments in hydroelectric power plant renovations are unfeasible from a socio-environmental point of view, so the repowering was created in order to increase the energy generated by the turbines of old plants. For the PCH, repowering is seen as a more sustainable form of development, promoting greater performance and power gains, in addition to having a lower value than a construction. Based on this, this research was developed with the main objectives of increasing the power of the turbines of the SHP Usina Curemas and reaching 4.1 MW of generated power to supply the municipality of Coremas, using four forms of repowering, namely: replacement of existing turbines for more modern ones of the same type, which resulted in an increase of 301.53 kW compared to the old Francis turbine, replacement of the existing turbines by others of another type where the increase was 83.23 kW, heightening of the reservoir dam obtaining a gain of 140 kW compared to the old turbine, and improvement of the turbine installed using another design flow, this flow being 1.3 m<sup>3</sup>/s, the result obtained was 1,418.50 kW less than the old turbine. Thus, it was concluded that the study had positive results for three types of repowering and a negative result, being much lower than the power currently installed at the Curemas Plant. Finally, it is concluded that only one type was viable to solve the problem by reaching the need for power that the municipality of Coremas needs.

***Keywords: Estevam Marinho; PCH; repowering.***

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Matriz energética brasileira .....	19
Figura 02: Matriz elétrica brasileira.....	20
Figura 03: Esquema PCH.....	22
Figura 04: Classificações das Pequenas Centrais Hidrelétricas .....	24
Figura 05: Usina Hidrelétrica Curemas .....	25
Figura 06: Mapa de localização do município de Coremas-PB .....	27
Figura 07: Barragem Curemas- seção transversal .....	28
Figura 08: Açude Estevam Marinho .....	28
Figura 09: Açude Estevam Marinho .....	29
Figura 10: Açude Estevam Marinho- dias atuais.....	30
Figura 11: Turbina Pelton .....	32
Figuras 12: Turbinas da Usina de Curemas .....	33
Figura 13: Turbinas da Usina de Curemas.....	33
Figura 14: Subestação elevadora .....	34
Figura 15: Gráfico dos rendimentos dos diferentes tipos de turbinas com queda constante. .....	35
Figura 16: Opções técnico-gerenciais para usinas em funcionamento .....	36
Figura 17: Opções técnico-gerenciais para usinas desativadas .....	36
Figura 18: Fluxograma de atividades da pesquisa.....	39
Figura 19: Vista à jusante da barragem.....	40
Figura 20: Vista à montante da barragem .....	40
Figura 21: Vista da torre de tomada d'água .....	41
Figura 22: Entrada e grades de segurança da tomada d'água.....	41
Figura 23: Túnel e Canal de adução.....	42
Figura 24: Conduto forçado .....	43
Figura 25: Geradores.....	44
Figura 26: Turbinas.....	45
Figura 27: Casa de máquinas.....	45
Figura 28: Vertedouro .....	46
Figura 29: Canal de Fuga .....	47
Figura 30: Gráfico da variação de vazão à jusante do açude de Coremas .....	56
Figura 31: Curva de Permanência.....	56

Figura 32: Valores do MWh médios mensais .....	59
Figura 33: Faturamento mensal da Turbina Francis moderna.....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Classificação das hidrelétricas.....	21
Tabela 02: Classificação da PCH quanto à potência e quanto à queda de projeto .....	25
Tabela 03: Dados geradores .....	43
Tabela 04: Dados turbinas .....	44
Tabela 05: Classificação da Usina Curemas.....	51
Tabela 06: Potência elétrica produzida caso 1.....	53
Tabela 07: Potência elétrica produzida caso 2.....	54
Tabela 08: Potência elétrica produzida caso 3.....	55
Tabela 09: Potência elétrica produzida caso 4.....	57

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

$\eta_t$	Rendimento da Turbina
$\eta_g$	Rendimento do Gerador
A	Área
ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CGH	Centrais Geradoras Hidrelétricas
CHESF	Companhia Hidrelétrica do São Francisco
DENOCs	Departamento Nacional de Obras Contra a Seca
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
$D_{pi}$	Diferença entre potências
$E_{fe}$	Energia Firme
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
$F_c$	Fator de capacidade
$F_m$	Faturamento mensal
GWh	Gigawatt hora
$H_b$	Altura da Queda Bruta
$H_l$	Altura da Queda Líquida
Hz	Hertz
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPPE	Instituto Patoense de Pesquisa e Estatística
kW	Quilowatt
MVA	Mega Volt Ampère

MW	Megawatt
P	Potência
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
P <sub>i</sub>	Potência Instalada
P <sub>r</sub>	Potência Repotencializada
q	Vazão
rpm	Rotação por minuto
TWh	Terawatt hora
UHE's	Usinas Hidrelétricas

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	16
1.1	Justificativa .....	17
1.2	Objetivos.....	17
1.2.1	Objetivo Geral.....	17
1.2.2	Objetivos Específicos .....	17
1.3	Organização do Trabalho .....	18
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	19
2.1	A matriz energética brasileira .....	19
2.2	Centrais Hidrelétricas .....	20
2.3	Pequenas Centrais Hidrelétricas.....	21
2.3.1	Tipos de PCH .....	24
2.4	A usina hidrelétrica de Curemas .....	25
2.4.1	Açude Estevam Marinho.....	27
2.4.2	Usina Curemas .....	30
2.5	Turbinas Hidráulicas .....	30
2.5.1	Turbina Francis.....	31
2.5.2	Turbina Pelton .....	31
2.5.3	Turbinas da Usina Curemas .....	32
2.5.4	Rendimento das turbinas.....	34
2.6	Repotenciação .....	35
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
3.1	Materiais .....	38
3.2	Métodos .....	38
3.2.1	Estrutura técnica .....	39
3.2.1.1	Barragem.....	39
3.2.1.2	Tomada d'água .....	40

3.2.1.3	Túnel e Canal de adução .....	42
3.2.1.4	Conduto forçado .....	42
3.2.1.5	Turbina- Gerador .....	43
3.2.1.6	Casa de máquinas .....	45
3.2.1.7	Vertedouro e Canal de fuga.....	46
3.2.2	Intervenções adotadas para análise da repotenciação .....	47
3.2.3	Custo da repotenciação .....	48
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	50
4.1	Classificação .....	50
4.2	Cálculo do rendimento e análise de potência- ALTERNATIVA I.....	51
4.3	Análise da potência – ALTERNATIVA II.....	53
4.4	Análise da potência pelo alteamento da barragem- ALTERNATIVA III....	54
4.5	Cálculo da potência da turbina Francis – análise de vazões- ALTERNATIVA IV	55
4.6	Análise do custo do faturamento mensal em kWh para 2022.....	58
4.7	Análise do custo da repotenciação em MWh.....	59
5.	CONCLUSÕES .....	62
5.1	Conclusões específicas .....	62
5.1.1	<i>Da classificação da Usina Curemas.....</i>	62
5.1.2	<i>Das possíveis intervenções de repotenciação .....</i>	62
5.1.3	<i>Da análise da intervenção escolhida.....</i>	62
5.1.4	<i>Do estudo do desconto mensal ou faturamento mensal para a intervenção escolhida</i>	63
5.1.5	<i>Do estudo de custo da repotenciação .....</i>	63
5.2	Conclusão Geral.....	63
5.3	Sugestões para trabalhos futuros.....	64



# *CAPÍTULO I*

## **1. INTRODUÇÃO**

Atualmente, a sociedade moderna apresenta alta dependência da energia elétrica devido ao crescente desenvolvimento tecnológico atrelado diretamente a esta fonte energética. Em função disso, novos investimentos no setor energético são demandados, o que é um problema devido aos altos custos de criação de infraestrutura e existência de recursos naturais finitos.

No caso do Brasil, Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2014) afirma: “o consumo brasileiro vai triplicar até 2050, chegando a 1.624 TWh, direcionando para que a demanda brasileira seja similar ao que se verifica na União Européia hoje, ou seja, cerca de 7GWh por habitante a cada ano.”

Para suprir o elevado consumo de energia elétrica, o Brasil tem utilizado a energia hídrica como sua maior fonte de energia, especialmente por dispor de abundantes bacias hidrográficas em seu território. De acordo com Moraes (2015) o potencial hidráulico brasileiro está entre os cinco maiores do mundo, favorecendo para que a matriz energética brasileira continue predominantemente hídrica, e que as usinas hidrelétricas (UHEs) permaneçam assumindo um papel fundamental na geração de energia.

*“As usinas hidrelétricas constituem a base do sistema de geração de energia elétrica no Brasil, respondendo por 77% da oferta de eletricidade.”  
(ANEEL/Banco de Informações de Geração, 2007).*

Por outro lado, Moraes (2015) relata que os investimentos em novas Usinas Hidrelétricas (UHEs) estão se tornando mais complexos, principalmente pelas questões socioambientais que aumentam os custos de implantação e pela necessidade de serem construídas mais afastadas dos centros de consumo.

Como a construção de novas usinas vem se transformando em projetos mais burocráticos, se tornou indispensável à busca por métodos alternativos para aumentar a geração de energia elétrica das UHEs existentes que no decorrer de sua vida útil necessitará de intervenções. Uma dessas alternativas seria a *repotenciação total ou parcial* da Pequena Central Hidrelétrica (PCH). Este tipo de intervenção pode ser

utilizado para elevar instalações existentes a níveis aceitáveis de qualidade de funcionamento, para operação satisfatória na produção de energia elétrica.

Quando se trata de PCHs antigas ou desativadas, a repotenciação passa a ser um processo inevitável dentro de uma ótica sustentável de desenvolvimento. Além de agregar com ganhos de vazão, queda e rendimento, incrementando a potência gerada com respectivos ganhos. Neumann (2017, p 14) esclarece que o custo médio de uma repotenciação mantém-se em valores menores ao custo médio de uma construção de novas centrais hidrelétricas.

Desta forma, este trabalho se propõe ao desenvolvimento de proposta de elevação do rendimento da PCH Curemas, localizada na cidade de Coremas-PB. A proposta visa à elevação do rendimento da PCH por meio do estudo de caso de repotenciação, instalação de novas turbinas e/ou melhoria das turbinas já existentes, e, caso necessário, apresentação de soluções possíveis.

## **1.1 Justificativa**

A proposta foi idealizada com o intuito de melhorar o potencial energético da Usina Curemas para suprir a demanda do município que é de 4,1 MW, de acordo com o supervisor técnico do local, visando os benefícios da repotenciação como alternativa, buscando economia e menor impacto ambiental.

Considerando que a PCH em estudo apresenta 67 anos, a criação desta problemática como proposta para a pesquisa se torna importante devido ao ineditismo, aplicação prática e auxílio na perpetuação histórica desta hidrelétrica que é a única em funcionamento da Paraíba.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Reavaliar o potencial hidrelétrico da Pequena Central Hidrelétrica Usina Curemas, visando alcançar a demanda necessária para o abastecimento do município onde a Usina de Curemas é localizada, levando em conta os dados existentes da PCH utilizando o estudo da repotenciação energética.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos dessa pesquisa estão listados abaixo:

- Avaliar a classificação da Usina Curemas de acordo com os dados e imagens obtidos do local;
- Estudo das possíveis intervenções de repotenciação;
- Apontar a intervenção mais viável;
- Analisar faturamento mensal para a intervenção escolhida;
- Apresentar o custo da repotenciação proposta.

### 1.3 Organização do Trabalho

A estrutura desta pesquisa está dividida em cinco capítulos:

– No **capítulo I** é descrito como as pequenas centrais hidrelétricas passaram a ser uma fonte de energia tão importante para a matriz energética brasileira, além de abordar como a repotenciação pode trazer ganhos para as PCH's mais antigas. Neste capítulo também são apresentados as justificativas e objetivos que levaram a escolha deste tema para a pesquisa, além de como será feita a divisão do estudo.

– No **capítulo II** são exibidos pontos sobre a matriz energética brasileira e apresentados conceitos e classificações de uma pequena central hidrelétrica. Em seguida é descrito a história e a área em que o estudo foi feito, juntamente com imagens e dados. Por fim são apresentados os conceitos da repotenciação e os tipos de intervenções que podem ser feitas.

– O **capítulo III** trata dos materiais e métodos, apresentando a estrutura técnica da usina em que se deu a presente pesquisa, além de mostrar a metodologia de cálculos para a obtenção dos resultados.

– O **capítulo IV** apresenta as análises e os resultados da pesquisa, avaliando os dados obtidos e fazendo a comparação do que é viável ou não para os objetivos da pesquisa.

– No **capítulo V** apresenta-se os as conclusões da pesquisa. E em seguida, sugestões para trabalhos futuros.

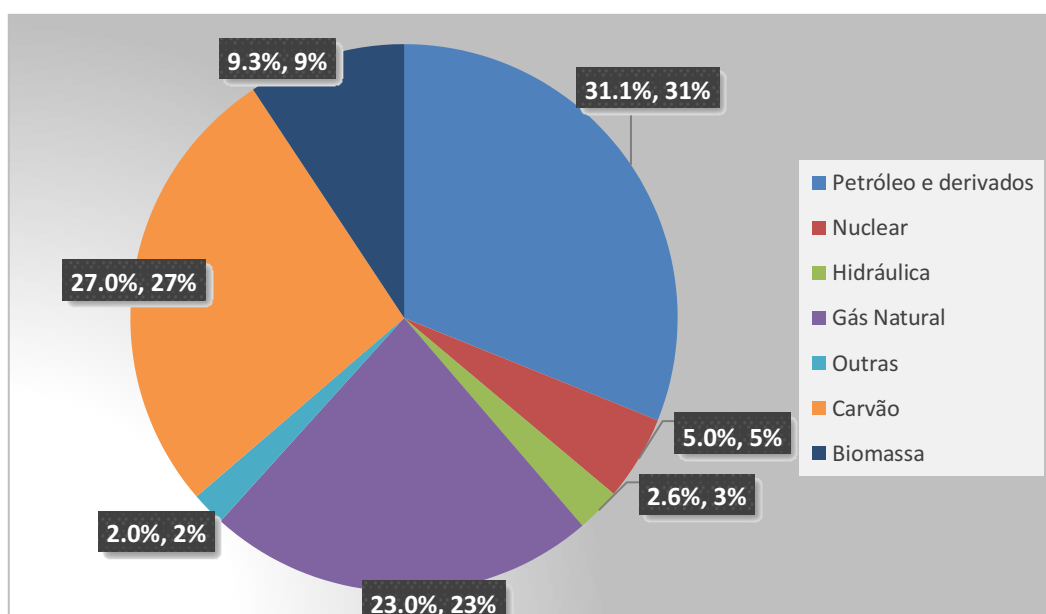
## CAPÍTULO II

### 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1 A matriz energética brasileira

A matriz energética de um país é o conjunto de fontes disponíveis na região usadas para captar, distribuir e utilizar energia para os setores comercial, industrial e residencial. A matriz energética mundial é formada em sua maioria por recursos não renováveis, como o petróleo e o carvão mineral. A figura 01 ilustra a matriz energética brasileira baseando-se nos dados da EPE obtidos no ano de 2021.

Figura 01: Matriz energética brasileira



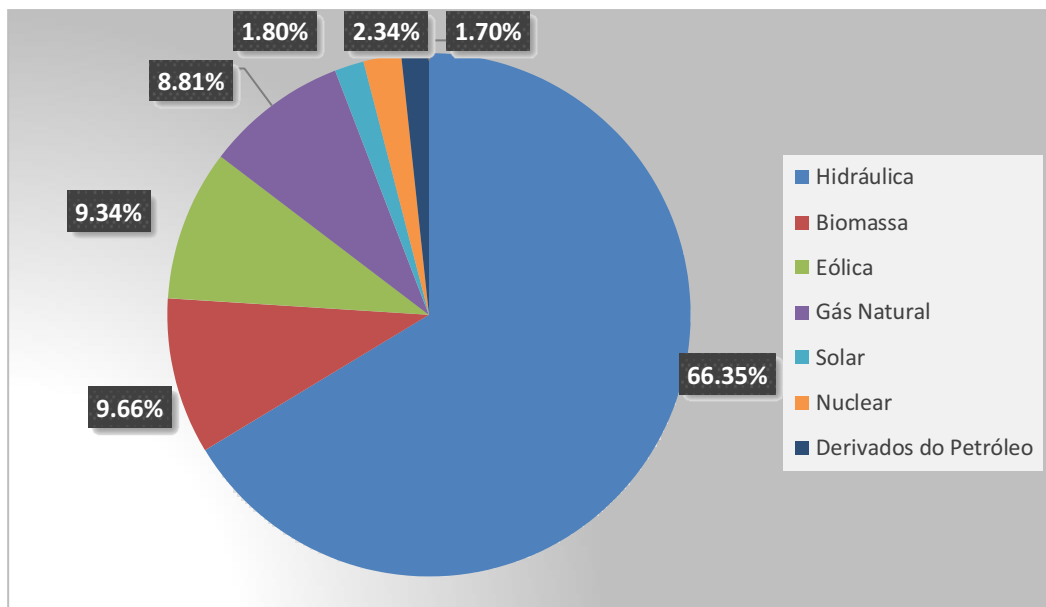
Fonte: Autor, 2022

A matriz energética brasileira é bastante diversificada e refere-se ao conjunto de fontes de energia utilizadas para atender à demanda de produção energética do país. De acordo com a figura 01 pode-se notar que a fonte de energia hidráulica conta com cerca de 2%, tendo o segundo menor percentual. No Brasil a maior fonte de energia ainda é o Petróleo e seus derivados, contando com cerca de 31%.

Vale salientar que a matriz energética representa o conjunto de fontes de energia disponíveis para movimentar os carros, preparar a comida no fogão e gerar

eletricidade, diferente da matriz elétrica que são o conjunto de fontes disponíveis para a geração de energia. A figura 02 ilustra a matriz elétrica brasileira.

Figura 02: Matriz elétrica brasileira



Fonte: Autor, 2022

A figura 02 mostra que cerca de 66,5% da energia elétrica gerada no Brasil vem da hidráulica, sendo ela a principal fonte de energia elétrica, seguida da energia de Biomassa e da eólica com o percentual de 9,66% e 9,34%, respectivamente.

Por apresentar um grande potencial de uso de fontes renováveis, o Brasil emite menos gases de efeito estufa por habitante do que a maioria das nações no mundo todo. De acordo com o Ministério de Minas e Energia, no entanto, o país ainda enfrenta obstáculos de ordem econômica e operacional para a expansão do uso de fontes renováveis.

## 2.2 Centrais Hidrelétricas

Uma Usina Hidrelétrica, também chamada de Usina Hidrelétrica ou Central Hidrelétrica, é uma obra de engenharia que usa a força das águas para gerar energia. A elaboração de uma Central Hidrelétrica é um intrincado projeto de engenharias (GOUVEIA, 2017).

*“A energia hidrelétrica é gerada pelo aproveitamento do fluxo das águas em uma usina na qual as obras civis – que envolvem a construção e o desvio do rio e a formação do reservatório – são tão ou mais importantes que os*

*equipamentos instalados. Por isso, ao contrário do que ocorre com as usinas termelétricas, para a construção de uma hidrelétrica é imprescindível a contratação da chamada indústria da construção pesada” (Aneel).*

As Usinas Hidrelétricas podem ter diversos tipos de classificação, dependendo do aspecto construtivo que for analisado. No Brasil, quanto ao seu porte, os empreendimentos hidrelétricos se classificam de acordo com a tabela 01:

Tabela 01: Classificação das hidrelétricas

<b>Classificação</b>	<b>Potência Instalada</b>
Central Geradora Hidrelétrica (CGH)	$\leq 1\text{MW}$
Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH)	$1,1 < P \leq 30 \text{ MW}$
Usina Hidrelétrica de Energia (UHE)	$P > 30 \text{ MW}$

Fonte: Autor, 2022

*“A energia potencial, que é a energia existente entre o nível do reservatório antes da barragem e o nível do rio após a barragem, transforma-se em energia cinética (associada com o movimento), conduzida por meio de tubulações até um motor hidráulico chamado Turbina Hidráulica.” (SANTANDER, 2014)*

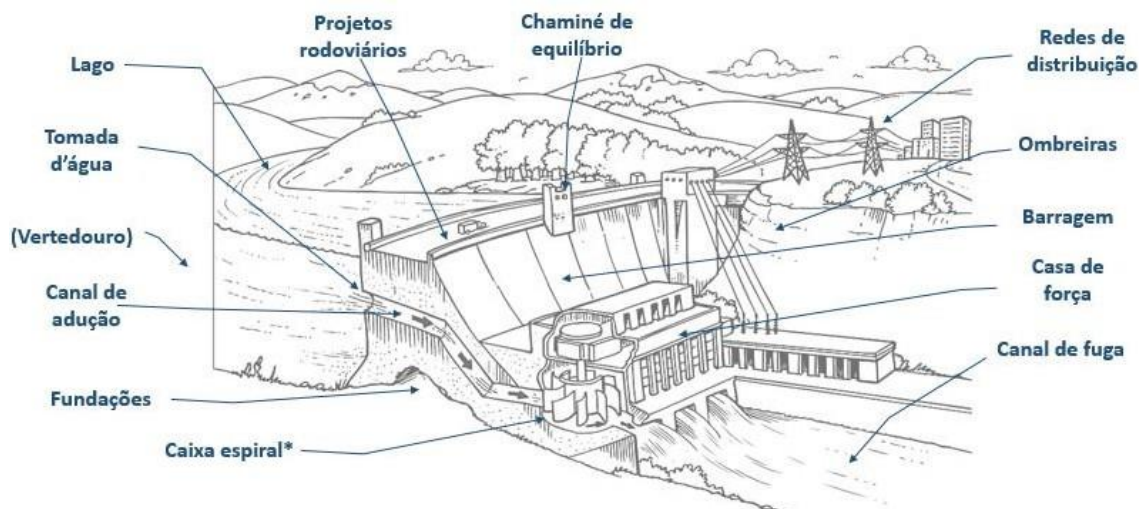
### 2.3 Pequenas Centrais Hidrelétricas

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.

*“As PCH’s foram os primeiros empreendimentos hidrelétricos no Brasil no final do século XIX. De acordo com o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica – DNAEE as PCH’s foram oficialmente conceituadas no ano de 1988, na portaria n° 109.” (FARIAS, 2014).*

A figura 03 ilustra o esquema de funcionamento de uma PCH.

Figura 03: Esquema PCH



Fonte: Notas de aula Prof. Me. Rodrigo Mendes Patrício Chagas

Na imagem é possível observar a barragem que armazena a água do lago, açude, represa ou rio. A usina é alimentada através do fluido que entra pela tomada d'água, passando pelo canal de adução, seguindo pelos condutos forçados assim chegando na casa de máquinas onde as turbinas estão instaladas e assim, a energia será gerada. Após, a energia é encaminhada para a população através das redes de distribuição.

A primeira edição do Manual (ELETROBRÁS/DNAEE, 1982), uma Usina Hidrelétrica era considerada como uma PCH quando:

- A potência instalada total estivesse compreendida entre 1,0 MW e 10 MW;
- Não fossem necessárias obras em túneis (conduto adutor, conduto forçado, desvio de rio etc.);
- A altura máxima das estruturas de barramento do rio (barragens, diques, vertedouros, tomada d'água etc.) não ultrapassasse 10 m;
- A vazão de dimensionamento da tomada d'água fosse igual ou inferior a  $20\text{m}^3/\text{s}$ .

Entretanto, a concepção de PCH passou por algumas mudanças institucionais para reavaliar o enquadramento desses conceitos, mudando a metodologia de projetos em geral, e a principal regulamentação que vigora no momento é a Resolução Aneel nº 395, de 04 de dezembro de 1998 que normatiza que:

*“O empreendimento que possuir potencial hidráulico superior a 1.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW e a área do reservatório igual ou inferior a 3,0 km<sup>2</sup>, é considerado uma pequena central hidrelétrica.” (BRASIL, 1998).*

Posteriormente passou a vigorar a Resolução Aneel nº 652, de 09 de dezembro de 2003, que complementa a resolução anterior:

*“Será considerado com características de PCH o aproveitamento hidrelétrico com potência superior a 1.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW, destinado a produção independente, autoprodução ou produção independente autônoma, com área de reservatório inferior a 3,0 km<sup>2</sup>.” (ANEEL, 2003)*

Esta mesma resolução relata que empreendimentos que possuam áreas de reservatório superiores a 03 km<sup>2</sup> o aproveitamento ainda será considerado com características de PCH se forem atendidas pelo menos uma das duas condições abaixo:

I. Atender a equação 1:

$$A \leq \frac{14,3 * P}{Hb}; \quad (1)$$

Onde:

A: é a área do reservatório (em km<sup>2</sup>);  $A \leq 13,0$  km<sup>2</sup>

P: é a potência elétrica instalada (em MW);

Hb: é a queda bruta (em m), indicada pela diferença entre os níveis de água máximos normal de montante e normal de jusante.

II. Reservatório cujo dimensionamento, comprovadamente, foi baseado em outros objetivos que não o de geração de energia elétrica deverá ter essa condição comprovada junto a Agência Nacional de Águas – ANA, aos Comitês de Bacias Hidrográficas, aos órgãos de gestão de recursos hídricos e ambientais junto aos Estados; de acordo com suas respectivas competências.

No dia 04 de agosto de 2015, foi sancionada a Resolução Aneel Nº 673:

*“Será considerado com características de PCH o aproveitamento hidrelétrico com potência superior a 3.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW, destinado a produção independente, autoprodução ou produção independente*

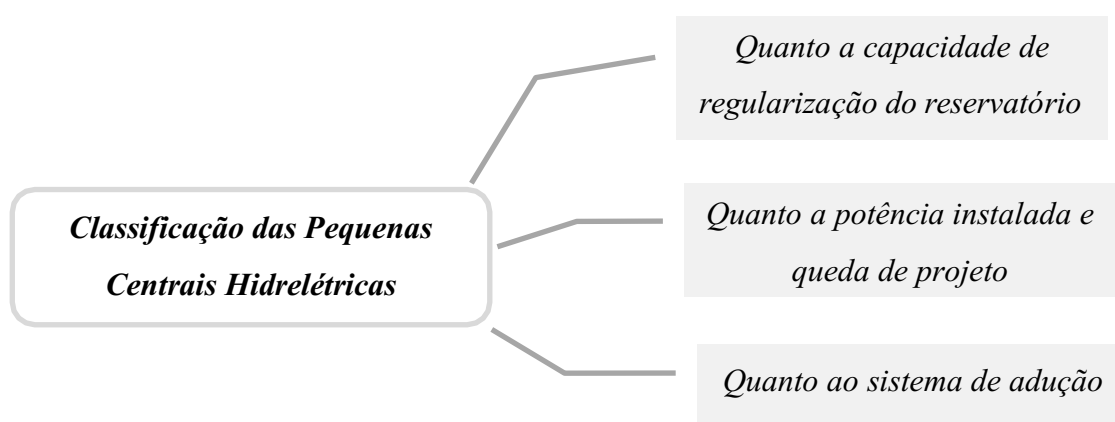


*autônoma, com área de reservatório inferior a 13,0 km<sup>2</sup>, excluindo a calha do leito regular do rio.” (ANEEL, 2015)*

### 2.3.1 Tipos de PCH

Segundo as diretrizes da (ELETROBRÁS, 2000), para projetos de PCH, as usinas são classificadas quanto à capacidade de regularização do reservatório, quanto ao sistema de adução, e quanto à potência instalada e queda de projeto. A figura 04 ilustra estas classificações.

Figura 04: Classificações das Pequenas Centrais Hidrelétricas



Fonte: Autor, 2022

Para as PCH's em fio d'água, a (ELETROBRÁS, 2000) esclarece que são desconsiderados os estudos de regulação de vazões. O mesmo manual relata que toda a descarga do sistema de adução já deve ser projetada, descontando a vazão ambiental, fornecendo assim a potência que atenda a demanda máxima. O aproveitamento energético local será parcial e o vertedouro funcionará na quase totalidade do tempo

Considerando as PCH's classificadas quanto ao sistema de adução, a escolha do tipo dependerá das condições topográficas e geológicas que apresente o local do aproveitamento, bem como de estudo econômico comparativo.

As Pequenas Centrais Hidrelétricas classificadas quanto a sua potência instalada seguem as indicações da tabela a seguir.

Tabela 02: Classificação da PCH quanto à potência e quanto à queda de projeto

Classificação	Potência- P (kW)	Queda de Projeto - $H_d$ (m)		
		Baixa	Média	Alta
Das Centrais				
Micro	$P < 100$	$H_d < 15$	$15 < H_d < 50$	$H_d > 50$
Mini	$100 < P < 1.000$	$H_d < 20$	$20 < H_d < 100$	$H_d > 100$
Pequenas	$1.000 < P < 30.000$	$H_d < 25$	$25 < H_d < 130$	$H_d > 130$

Fonte: ELETROBRÁS, 2000

*“Para as centrais com queda alta e média, a casa de força fica localizada afastada da estrutura do barramento, logo, a concepção do circuito hidráulico de adução envolve o canal ou conduto de baixa pressão com extensão longa. Por outro lado, para as centras de baixa queda, a casa de força fica junto da barragem, sendo a adução feita através de uma tomada d’água incorporada ao barramento.” (ELETROBRÁS, 2000)*

## 2.4 A usina hidrelétrica de Curemas

O município de Coremas conta com uma Pequena Central Hidrelétrica denominada *Usina Curemas*, ilustrada na figura 05, considerada a primeira e única usina hidrelétrica do estado da Paraíba ela foi implantada durante a construção do açude Estevam Marinho, na década de 30, só vindo a funcionar em 1957, com o término da segunda barragem Mãe d’água.

Figura 05: Usina Hidrelétrica Curemas



Fonte: Autor, 2022

O município de Coremas foi, em seus primórdios, habitada pela tribo “Curemas”, nome de numerosa tribo, pertencente à nação Cariri, que ocupava parte do sertão oeste da Paraíba. (SOUSA, 2016).

De acordo com (LUCCHESI, 2017), a pacificação entre os colonizadores e os índios deu-se através do esforço do Coronel Manoel de Araújo Carvalho, que sentindo a impossibilidade de domínio da tribo por serem guerreiros valentes, num lance arriscado, conseguiu, nos fins do século XVII, propor uma política de aliança com o cacique, através da ajuda de três índios prisioneiros, dos quais se fizeram amigos, chegar até o cacique e negociar a paz entre ambas às partes.

*“Contra os Curema e mais tribos do Piancó o governo geral da Bahia fez descer Manuel de Araújo, velho guerreiro do Sertão, morador na Margem esquerda do São Francisco. Após reencontros e guerrilhas, o enviado de D. João de Alencastro obteve a paz e aliança dos Coremas por meios diplomáticos. [...]” (MARIZ, 1922, p. 36 apud ANDRADE, 2008, p. 59).*

Coremas se tornou município em 30 de dezembro de 1953, pela lei estadual nº 1005 (LUCCHESI, 2017), através de uma carta abaixo-assinado feito pela população pedindo a emancipação da localidade devido ao aumento populacional e a grande geração de empregos que estavam acontecendo desde o começo da construção do açude público Estevam Marinho.

*“Edifício de vulto, a Vila apresenta além dos dois grupos citados, um cinema próprio e um moderno e bem instalado hospital, consultório e gabinete dentários, perfeitamente aparelhados para cuidar da saúde do povo, com automóvel de pronto socorro, sob a direção de médicos e dentistas diplomados, servidos ainda por hábeis enfermeiros. Não é só. No setor da saúde, dispõe, ainda, de uma maternidade com moderna instalação em perfeito e regular funcionamento.” ((CARTA DE ABAIXO-ASSINADO, 1953) apud ANDRADE 2008, p. 86).*

Atualmente, o município de Coremas, localizado na microrregião do Piancó, na bacia do rio Piranhas, conta com uma área territorial de 372.012 km<sup>2</sup> e uma população de 15.438 habitantes de acordo com o (IBGE, 2021). Coremas faz limite com os municípios: São José da Lagoa Tapada, Várzea Comprida, Igaracy, Piancó, Emas e Aguiar, como ilustrado

na figura 06. O município em estudo é situado a 234 metros de altitude e possui as seguintes coordenadas geográficas: latitude  $6^{\circ} 59' 57''$  Sul e longitude  $37^{\circ} 56' 7''$  Oeste.

Figura 06: Mapa de localização do município de Coremas-PB.



Fonte: Google Earth, 2022

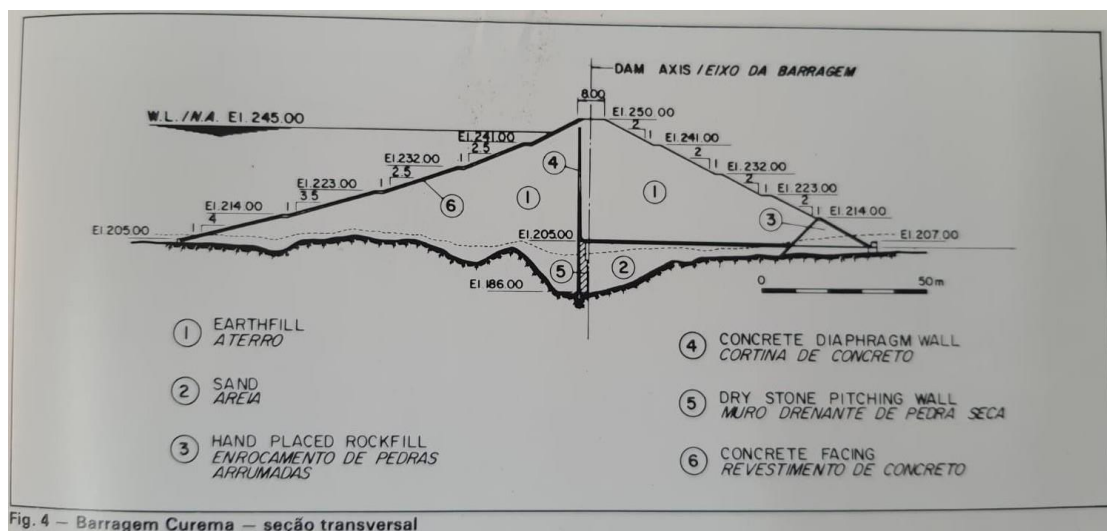
Coremas é considerada um importante pólo pesqueiro da Paraíba por incluir em sua paisagem o maior complexo hídrico do estado: Açude Coremas-Mãe d'água (SOUZA, 2016).

#### **2.4.1 Açude Estevam Marinho**

O açude Coremas Mãe D'água é responsável por abastecer uma população de 464.993 habitantes, segundo levantamento do Instituto Patoense de Pesquisa e Estatística-INPPE.

No ano de 1936 o Presidente do Brasil Getúlio Vargas junto com o ministro José Américo de Almeida assinou a ordem de construção da barragem de Coremas, a figura 07 representa a seção transversal do projeto da barragem, juntamente com outras similares nos estados da Paraíba e Ceará.

Figura 07: Barragem Curemas- seção transversal



Fonte: Arquivos Técnicos DNOCS

A obra foi executada pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), com capacidade total (na época da construção) de 1.360.000.000 m<sup>3</sup> (um bilhão e trezentos e sessenta milhões de metros cúbicos de água), a construção do açude, ilustrada na figura 08, teve início no dia 08 de abril de 1936 e foi concluída no dia 8 de maio de 1942. O responsável por esta grandiosa construção civil foi o engenheiro potiguar Estevam Marinho (1898-1953).

Figura 08: Açude Estevam Marinho



Fonte: Arquivos recuperados por Shirley Helane, 2012

DNOCS (1990) e DNOCS João Pessoa (2005) relatam que a barragem é de terra zoneada com cortina central impermeabilizadora de concreto armado, com 0,10 metros de espessura na crista e 0,80 metros na base, sendo pintadas as suas faces com inertol. Justaposta à cortina vem uma camada de areia grossa de 0,80 metros da espessura disposta verticalmente ao longo de sua face de jusante. O sistema de drenagem é composto de areia e de um lastro deste mesmo material em que é assentado o maciço de terra de jusante da barragem, cuja saia é protegida por "rock-fill" de seção trapezoidal.

A figura 09 representa uma imagem aérea do açude Estevam Marinho tempos atrás.

Figura 09: Açude Estevam Marinho



Fonte: Barragens no nordeste do Brasil, DENOCS

Hoje é considerado o maior manancial do Estado da Paraíba e o quarto maior do Nordeste. De acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE o manancial é responsável por abastecer 30 municípios, alguns quase na sua totalidade a exemplo de Patos município que hoje conta com aproximadamente 108.000 habitantes, na Paraíba. A figura 10 ilustra o manancial atualmente.

Figura 10: Açude Estevam Marinho- dias atuais



Fonte: Autor, 2022

#### **2.4.2 Usina Curemas**

Segundo (NÓBREGA, 2016), diante da impossibilidade da construção do canal partindo da barragem de Mãe d'Água para o açude São Gonçalo, a Diretoria do DNOCS solicitou a elaboração de um projeto de instalação para uma hidrelétrica na barragem de “Curemas”, pois a água que estava sendo distribuída com destino ao Rio Grande do Norte era insuficiente.

De acordo com a Companhia Hidrelétrica do São Francisco (Chesf), a Usina é abastecida por dois reservatórios que são interligados por um canal cujo fundo se encontra na cota 237,00 metros e tem uma capacidade máxima de 12 m<sup>3</sup>/s, tendo como partes constituintes do aproveitamento uma barragem de terra e enrocamento com comprimento total da crista de 2.670 metros, tendo volume útil da ordem de 1.300 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> e área, na cota normal da ordem de 97,94 km<sup>2</sup>, com altura máxima de 42 metros e queda líquida de 32,00 metros, além de um vertedouro de superfície com capacidade total de descarga da ordem de 500 m<sup>3</sup>/s.

#### **2.5 Turbinas Hidráulicas**

As turbinas hidráulicas utilizadas nas PCH devem ser escolhidas de modo a se obter facilidade de operação e de manutenção, dando-se grande importância à sua robustez e

confiabilidade, pois a tendência é de que a usina seja operada no modo não assistido (ELETROBRÁS, 2000).

*“As turbinas hidráulicas possuem um princípio comum de funcionamento. A água entra na turbina vinda de um reservatório ou de um nível mais alto e escapa para um canal de nível mais baixo. A água que entra é conduzida por um duto fechado até um conjunto de palhetas ou injetores que transferem a energia mecânica (energia de pressão e energia cinética) do fluxo de água em potência de eixo. A pressão e a velocidade da água na saída são menores que na entrada. A água que sai da turbina é conduzida por um duto até um canal inferior.” (SOUSA, 2014, p. 21)*

### **2.5.1 Turbina Francis**

As turbinas Francis são turbinas hidráulicas que podem ser projetadas para uma ampla faixa de saltos e vazões, sendo capazes de operar em intervalos de 40-60 metros até 500-700 metros. Isso, junto com a sua alta eficiência, faz este tipo de turbina ser a mais usada para geração de energia elétrica.

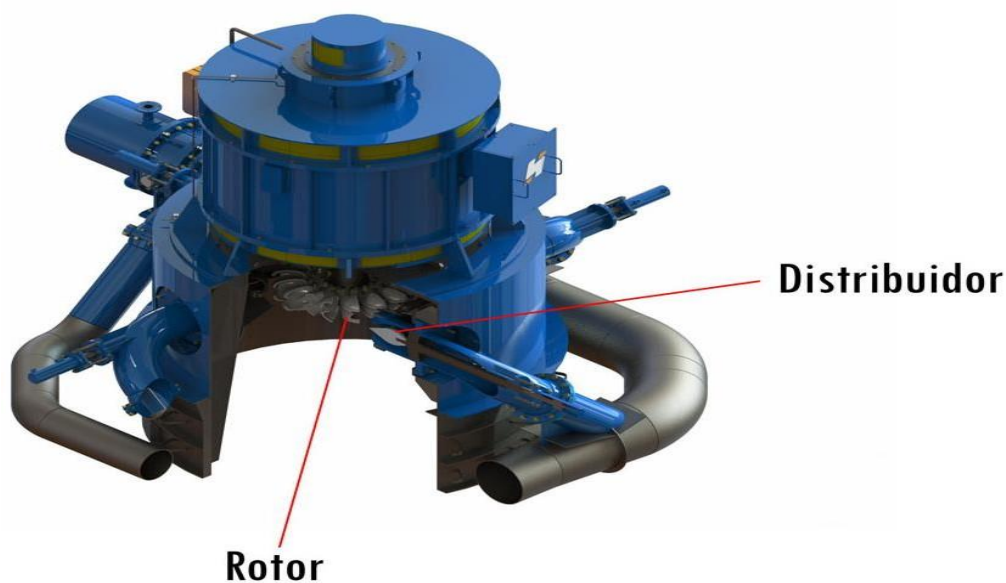
*“A turbina Francis é do tipo turbina de reação, onde o fluxo muda de pressão à medida que se desloca pela turbina, de fluxo misto centrípeto e de admissão total, cujo fluxo interno é radial e axial. As turbinas Francis podem ser construídas com eixo horizontal, a qual se torna mais econômica, pois se tem uma casa de força menor; e a de eixo vertical que atingem um rendimento melhor em maiores tamanhos e em menor quantidade.” (AZEVEDO, 2008).*

### **2.5.2 Turbina Pelton**

A turbina Pelton é definida como uma turbina de ação de fluxo tangencial e admissão parcial que trabalha a pressão atmosférica, e foi desenhada para condições de grandes saltos, 400 a 600 metros, e baixas vazões. Além de operar facilmente com cargas parciais, uma turbina Pelton é 92% eficiente no aproveitamento de energia hidráulica. A figura 11 ilustra uma turbina hidráulica do tipo Pelton.



Figura 11: Turbina Pelton



Fonte: HidroEnergia, 2018

*“A turbina Pelton é mais um desenvolvimento da roda d'água tradicional. O objetivo desta turbina é a transformação da energia hidráulica do impulso de um ou mais jatos de água em altíssima velocidade em energia mecânica.” (PLANAS, 2018).*

### 2.5.3 Turbinas da Usina Curemas

A PCH do município de Coremas conta com duas turbinas do tipo Francis, ilustradas na figura 12 e 13, uma de empresa norte americana (Westinghouse 06G1- 1951) e outra da empresa alemã (Siemens 06G2-1956) ambas de 1760 kW, perfazendo um total de 3.520 kW, potência calculada para suprir a demanda do município que há vinte anos atrás era de 2.300 kW.

Figuras 12: Turbinas da Usina de Curemas



Figura 13: Turbinas da Usina de Curemas



Fonte: Autor, 2022

A energia gerada pelas turbinas é transmitida por uma subestação elevadora, figura 14, com 02 transformadores de 2,0 MVA e 2,2 MVA, que elevam a tensão de 2,4 kV para 69 kV. A partir desse ponto é feita a conexão com o sistema de transmissão da CHESF através da Subestação de Coremas – 69 kV, que se interliga a SE-Milagres – 69/230 kV, exercendo um importante papel de reforço aquele sistema regional do interior do estado da Paraíba.

Figura 14: Subestação elevadora



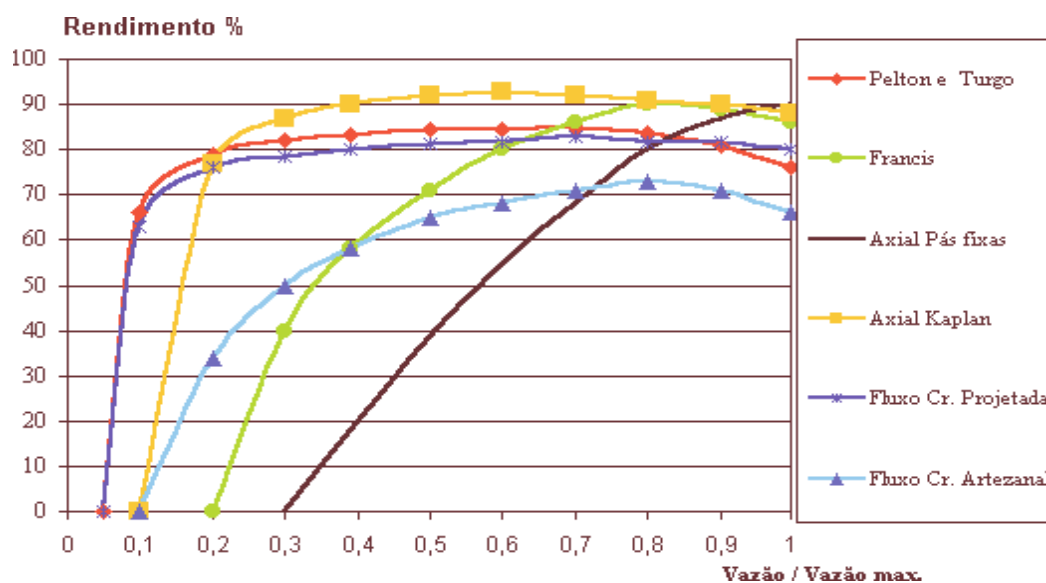
Fonte: Autor, 2022

#### 2.5.4 Rendimento das turbinas

O rendimento hidráulico da turbina é a eficiência com que é transferida a potência disponível na água que flui através da turbina para o eixo do rotor. Pode-se analisar que uma parte da potência disponível no eixo da turbina hidráulica é dissipada em perdas, e assim, para diferentes condições de operação, a turbina irá apresentar uma diferente quantidade de perda. Em termos percentuais, é observado que o rendimento das turbinas hidráulicas se dá na faixa de  $88 \leq \eta \leq 96$ . (TOMAS, 2018, p 33)

Na figura 15 são comparados os desempenhos de algumas turbinas hidráulicas utilizadas no sistema brasileiro. A curva em verde é a da turbina Francis, enquanto a curva em vermelho é a turbina hidráulica Pelton, turbina proposta para a substituição.

Figura 15: Gráfico dos rendimentos dos diferentes tipos de turbinas com queda constante.



Fonte: Miranda, 2019

Nota-se na figura 15 que quando a Vazão / Vazão max. é igual a 0,8, temos a máxima eficiência da turbina Francis, e a medida em que variamos deste ponto temos uma acentuada perda de rendimento. Já na turbina Pelton, o seu ponto máximo de rendimento encontra-se em 0,7, observando que o rendimento se mantém alto em uma ampla faixa de variação de carga.

## 2.6 Repotenciação

*“A crescente demanda por energia elétrica, aliada ao aumento dos seus custos de produção e à preocupação com questões ambientais e sociais, tem levado o setor energético mundial a considerar e estudar uma estratégia de utilização mais eficiente das fontes já existentes.” (ASTORGA et al, 2008).*

Para Oliveira (2012, p. 29), a repotenciação pode ser definida como: “uma intervenção ou conjunto de intervenções nas estruturas, circuitos hidráulicos e equipamentos eletromecânicos envolvidos no processo de conversão energética de um empreendimento hidrelétrico já construído, com ganho simultâneo de potência e rendimento, conciliados com benefícios econômicos e socioambientais.”.

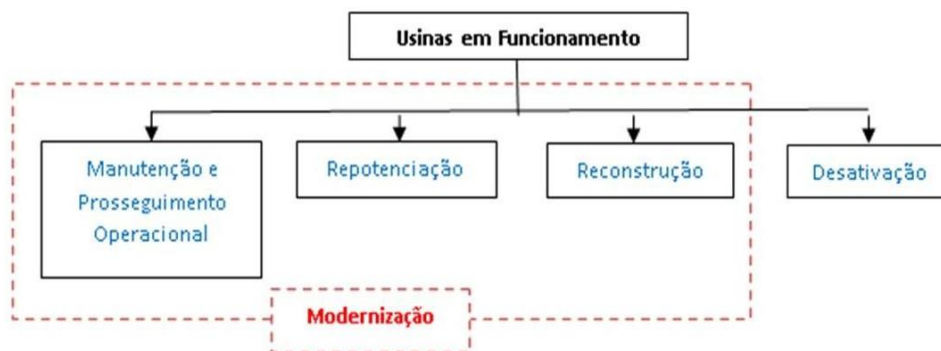
A repotenciação é classificada como um projeto que “corresponde a todas aquelas obras que visem gerar um ganho de potência ou de rendimento da usina”, de acordo com VEIGA (2001).

A variedade de interpretações do significado do termo “repotenciar” está aliada aos diversos pontos de vista, dos quais pode-se destacar, dentre outros, o ponto de vista gerencial e o tecnológico.

No caso de usinas já construídas, principalmente PCHs, tem-se a diferenciação de dois casos para tomada de decisão técnico-gerencial, após avaliações de desempenho integrado:

- Usina em Funcionamento:

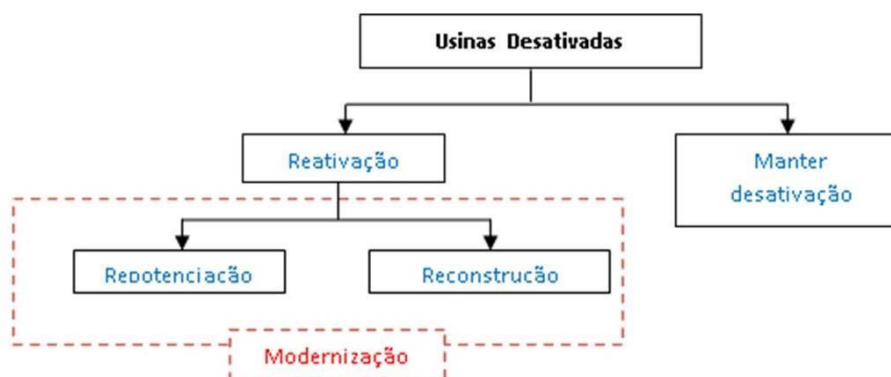
Figura 16: Opções técnico-gerenciais para usinas em funcionamento



Fonte: Autor, 2022

- Usinas desativadas:

Figura 17: Opções técnico-gerenciais para usinas desativadas



Fonte: Autor, 2022

São várias as intervenções possíveis geradas pela repotenciação em usinas hidrelétricas, dentre elas, destacam-se:

- *Melhoria das turbinas existentes*, é uma alternativa relativamente simples, pois não será necessário fazer grandes modificações estruturais, sendo vantajoso pelo ponto de vista energético, realizar a substituição dos equipamentos já que atualmente os geradores atingem rendimentos superiores a 96%. Com essa troca, se pode ter um melhor rendimento do conjunto, aumentando a potência instalada.
- *Instalação de novas turbinas*: é um projeto de maior ambição e proporcionalmente um projeto que terá um custo de investimento maior, pois serão necessárias alterações nas tubulações e, também na casa de força, adequando os mesmos para receber as turbinas novas.
- *Alteamento de barragens*, nada mais é do que aumentar a queda líquida do aproveitamento. Para o alteamento da barragem é necessário determinar os níveis de alagamento, com uma precisão topográfica para não haver possíveis impactos ambientais, no que acarretaria a não viabilização do projeto devido a altos custos com indenizações.

(NEUMANN, 2017, p 14) afirma que “a repotenciação de pequenas centrais hidrelétricas é de grande importância, além de ser indicado para PCHs com mais de 50 anos, pois esses equipamentos geralmente são encontrados com defasagem de tecnologia e obsolescência de dimensionamento da usina.”.

## ***CAPÍTULO III***

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

Neste tópico serão descritos os materiais e métodos utilizados para esta pesquisa. Foram escolhidos quatro tipos de intervenções para posteriores análises da melhor opção a ser escolhida para a repotenciação PCH usina Curemas. As intervenções escolhidas foram:

- Melhoria das turbinas existentes (alternativa I);
- Substituição por novas turbinas (alternativa II);
- Alçamento de Barragens (alternativa III);
- Mesma turbina com vazão de projeto diferente (alternativa IV).

#### **3.1 Materiais**

Abaixo estão listados os materiais que foram utilizados para a pesquisa:

- *Pesquisas com temas semelhantes*: usadas para auxiliar na estrutura do trabalho;
- *Dados existentes da PCH em estudo*: essenciais para elaboração do trabalho e para fins de cálculos;
- *Entrevistas com o supervisor do local*;
- *Literatura técnica*: usada para fins de pesquisa e conhecimento sobre a temática;
- *Registros fotográficos*.

#### **3.2 Métodos**

O estudo foi realizado conforme ilustrado no fluxograma da figura 18 e foi concluído da seguinte forma:

- Visita ao local da pesquisa para coleta de informações preliminares e entrevistas com funcionários locais para obtenção de dados mais específicos;
- Determinar a classificação da PCH da cidade em estudo visando a estrutura técnica e dados obtidos;

- Escolha e análise das possíveis intervenções levando em consideração os problemas encontrados na pequena central hidrelétrica;
- Estudo de cada intervenção;
- Análise da solução mais adequada para a repotenciação da PCH estudada;
- Estudo do faturamento mensal e do custo da repotenciação;
- Conclusão da pesquisa

Figura 18: Fluxograma de atividades da pesquisa



Fonte: Autor, 2022

### 3.2.1 Estrutura técnica

A estrutura da usina em estudo foi descrita de acordo com os registros fotográficos e é constituída por: barragem, tomada d'água, túnel e canal de adução, conduto forçado, conjunto turbina- gerador, chaminé de equilíbrio, casa de máquina, canal de fuga e vertedouro.

#### 3.2.1.1 Barragem

A barragem do reservatório tem extensão de 1.550 metros, altura máxima calculada de 48 metros, cota do coroamento de 250 metros e largura do coroamento de 10 metros. As figuras 19 e 20 ilustram a vista da barragem a jusante e a montante, respectivamente.



Figura 19: Vista à jusante da barragem



Fonte: Autor, 2022

Figura 20: Vista à montante da barragem



Fonte: WSCOM, 2017

### 3.2.1.2 Tomada d'água

A tomada d'água da usina Curemas é construída ao fundo da barragem, vista somente quando a lâmina d'água está bem baixa, feita de concreto e apresenta grades de segurança fixadas na entrada da tomada. As figuras 21 e 22 ilustram a torre de tomada d'água e a entrada da tomada d'água respectivamente.

Figura 21: Vista da torre de tomada d'água



Fonte: Autor, 2022

Figura 22: Entrada e grades de segurança da tomada d'água



Fonte: Projecte, 2017

De acordo com a ANA, a tomada d'água é composta por dois tipos:

- Tomada d'água– Abastecimento Demandas.
- Tomada D'Água – Liberação para Jusante.

### 3.2.1.3 Túnel e Canal de adução

Utilizado para o abastecimento de demandas controlada por registro de gaveta, o canal de adução da usina é encontrado em formato de galeria e conta com duas tubulações de 2,28m de diâmetro e 200 metros de extensão. Na figura 23 ilustra-se o túnel e o canal de adução da usina Curemas que se encontram em operação.

Figura 23: Túnel e Canal de adução



Fonte: Autor, 2022

### 3.2.1.4 Conduto forçado

O conduto forçado conta com duas tubulações de 2,80 metros de diâmetro e é controlado por uma válvula borboleta. O conduto é utilizado para liberação da água à jusante através de passagem pelas turbinas ou válvula bay-pass (controla a passagem do fluido). Na figura 24 pode ser observado o conduto forçado da usina que está em operação atualmente.

Figura 24: Conduto forçado



Fonte: Autor, 2022

### 3.2.1.5 Turbina- Gerador

Conforme foi citado no referencial teórico, a usina conta com duas turbinas e consequentemente, dois geradores, sendo um deles alemão e o outro americano.

Na tabela 03 estão contidos todos os dados relacionados aos geradores da usina.

Tabela 03: Dados geradores

<b>GERADORES</b>	
Tipo	Síncrono Vertical
Quantidade	2
Potência nominal de cada unidade	1.760 kW
Frequência	60 Hz
Corrente nominal	530 A
Fator de potência	0,8
Tensão nominal	2.400 V
Rotação nominal	514 rpm
Isolamento G1	Classe B
Isolamento G2	Classe B

Fonte: Adaptado de CHESF,2022

Os dados das turbinas utilizadas na Usina Curemas podem ser vistos na tabela 04.

Tabela 04: Dados turbinas

<b>TURBINAS</b>	
Tipo	Francis
Quantidade	2
Velocidade nominal	514 rpm
Velocidade de disparo	1.050 rpm
Diâmetro do rotor	1,10 m
Rendimento	88 %

Fonte: Adaptado de CHESF

A ilustração dos geradores e das turbinas estão representadas nas figuras 25 e 26 respectivamente.

Figura 25: Geradores



Fonte: Autor, 2022

Figura 26: Turbinas



Fonte: Autor, 2022

### 3.2.1.6 Casa de máquinas

A casa de máquina é um edifício construído de concreto armado e fica imediatamente à jusante da barragem. Suas dimensões são: 20,90 metros de comprimento por 13 metros de altura e 8,50 metros de largura. Na figura 27 é ilustrada a vista da casa de máquinas da usina.

Figura 27: Casa de máquinas



Fonte: Autor, 2022

### 3.2.1.7 Vertedouro e Canal de fuga

O vertedouro, ilustrado na figura 28, conta com duas comportas feitas de concreto e uma válvula bay-pass, instalada em 2018. As comportas são do tipo descarga livre com capacidade de 500 m<sup>3</sup>/s cada. A cota de soleira do vertedouro é de 153 metros e possui um comprimento total de 245 metros.

Figura 28: Vertedouro



Fonte: Autor, 2022

O canal de fuga da usina tem 18 metros de largura e libera água para as cidades vizinhas. Na figura 29 está ilustrado a vista do canal de fuga da usina Curemas.

Figura 29: Canal de Fuga



Fonte: Autor, 2022

### 3.2.2 Intervenções adotadas para análise da repotenciação

Foram escolhidos quatro tipos de intervenções, como já citados.

Para a realização do cálculo da geração de energia, Encina, (2006) deduziu, considerando o peso específico da água  $1.000\text{kg/m}^3$  e a aceleração da gravidade sendo  $9,81\text{ m/s}^2$ , a equação (2):

$$P = 9,81 * \eta_t * \eta_g * h_l * q \quad (2)$$

Em que:

P= potência (kW)

$\eta_t$ = eficiência da turbina

$h_l$ = altura da queda líquida (m)

$\eta_g$ = rendimento do gerador

q= vazão nominal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

Para calcular a diferença das potências instaladas e repotencializadas, foi utilizada a equação (3):

$$D_{pi} = P_r - P_i \quad (3)$$



Em que:

$D_{pi}$  = É a diferença entre a potência instalada e potência repotencializada (kW);

$P_r$  = Potência repotencializada (kW);

$P_i$  = Potência instalada (kW).

Para os dois casos de repotenciação foram utilizadas as mesmas equações com condições diferentes, sendo elas:

- Rendimento da turbina francis com queda útil constante (melhoria da turbina existente);
- Rendimento da turbina Pelton com queda útil constante (nova turbina);
- Alçamento de barragem.

### 3.2.3 Custo da repotenciação

Após o cálculo das potências repotencializadas, foi feita uma análise de custo dessa repotencialização utilizando a intervenção mais viável para solução do problema criado para a pesquisa.

Os cálculos feitos para a obtenção dos resultados foram encontrados através da equação (4).

$$Efe = Fc * D_{pi} \quad (4)$$

Em que:

Efe: Energia firme (mWh médio)

Fc: Fator de capacidade = 0,65

O valor obtido na equação (4) é uma estimativa de quanto a PCH produzirá a mais. Este valor foi multiplicado pelas horas do dia, e pelos dias do mês, resultando na potência média gerada por mês. Na equação (5) apresentado este processo como sendo:

$$Efe\ mensal = Efe * horas * dias \quad (5)$$

Com o resultado da equação (5), foi feito o faturamento mensal da energia gerada pela potência excedente contratada:

$$Fm = Efe\ mensal * Cd \quad (6)$$

Em que:

Fm: É o desconto mensal;

Efe: É a energia firme mensal (mWh médios mensais);

Cd: É o custo da energia mensal contratada em mWh (R\$).

## ***CAPÍTULO IV***

### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Este capítulo apresenta os resultados e discussão do estudo realizado. Nele foi avaliado a possível alteração da turbina Francis instalada atualmente na Usina Curemas através de quatro hipóteses. A primeira hipótese, consiste em analisar a diferença de potência elétrica gerada ao substituir a turbina Francis instalada atualmente por uma turbina mais moderna, supondo as mesmas condições de operação. Já a segunda hipótese, compreende em avaliar a suposta potência produzida com a substituição da turbina já está instalada por uma Pelton.

A terceira hipótese baseia-se no alteamento da barragem que consiste em aumentar a queda d'água da barragem em 1 metro e, conseqüentemente, aumentar a potência instalada. Apesar de ser uma obra relativamente impactante no sentido energético, o projeto não impõe muitas alterações na estrutura original na usina, não gerando grandes impactos ambientais.

Na quarta hipótese é utilizada a análise de vazões durante um determinado período de tempo e, assim, encontrada uma certa vazão de projeto utilizada para os cálculos da substituição de uma nova turbina Francis.

#### **4.1 Classificação**

A classificação da usina foi feita quanto a sua potência instalada, quanto ao seu sistema de adução e quanto a sua capacidade de regularização, utilizando os dados obtidos na visita técnica a Usina de Curemas e entrevista fornecida pelo supervisor técnico do local.

Deste modo, a Usina Curemas foi classificada de acordo com a tabela 05:

Tabela 05: Classificação da Usina Curemas

<b>Classificação</b>	
Potência instalada	P= 3, 520 kW
Capacidade de regularização do reservatório	De acumulação com regularização mensal do reservatório
Sistema de adução	Adução em baixa pressão por meio de tubulação

Fonte: Autor, 2022

A partir dos resultados apresentados na tabela 05 constata-se que ela é uma pequena central hidrelétrica de acumulação com regularização mensal por contar com os dados de vazões médias para seu dimensionamento energético, priorizando as análises das vazões médias de estiagem, visando o acúmulo d'água em seu reservatório.

No que tange ao sistema de adução, ela foi classificada como adução em baixa pressão por meio de tubulação por ter um trecho de adução curto. As tubulações foram escolhidas visando a topografia do lugar e a economia.

#### **4.2 Cálculo do rendimento e análise de potência- ALTERNATIVA I**

Para estimar a produção média de energia da usina, inicialmente buscou-se conhecer a vazão do reservatório em que a mesma está instalada. Nesta primeira análise foi utilizado o valor da vazão nominal de projeto de 6,7 m<sup>3</sup>/s, de acordo com dados fornecidos pela CHESF. Vale salientar que atualmente o reservatório se encontra com mais da metade de sua capacidade, logo é viável que essa vazão seja utilizada.

Antes de efetuar o cálculo do rendimento, foram feitas algumas condições:

Encina (2006), relata que os geradores modernos apresentam rendimentos da ordem de  $90\% \leq \eta_g \leq 99\%$ . Apesar da Usina Curemas ser uma usina antiga, será considerado que o gerador apresenta a pior das hipóteses, ou seja, uma eficiência igual a 0,9. Vale ressaltar que as máquinas instaladas na década de 50, se fossem analisadas hoje, provavelmente apresentariam um rendimento ainda menor, principalmente por apresentarem seus componentes em precárias condições de operação.

Portanto, para que o cálculo do rendimento da Turbina Francis seja satisfeito, as seguintes considerações foram feitas:

- O rendimento do gerador é constante e igual a 0,9;

- A vazão é igual a 6,7 m<sup>3</sup>/s, para todo período de tempo;
- A queda útil máxima igual a 41,00 metros, de acordo com a CHESF.
- A potência elétrica produzida quando a turbina está operando com a vazão máxima turbinável é igual a 1.760 kW, a mesma relatada atribuída no projeto básico.
- Os valores citados anteriormente são os mesmos tanto na análise da turbina Francis quanto da turbina Pelton.

Deste modo, aplicou-se essas condições na equação (2) como mostrado a seguir:

$$\eta_t = \frac{P}{9,81 * q * \eta_g * h_1} \quad (7)$$

Substituindo os valores das incógnitas:

$$\eta_t = \frac{1.760 \text{ kW}}{9,81 * 0,9 * 41 * 6,7} \quad (8)$$

Obteve-se o valor de aproximadamente 72,57 % sendo esse o rendimento da turbina Francis instalada atualmente.

Pode-se notar que, de acordo com a figura 15, quando utilizado a Vazão / Vazão máx com o valor igual a 1 para uma turbina Francis, era previsto se obter um rendimento aproximado de 85%. Assim, concluiu-se que o rendimento da turbina Francis instalada hoje indica em um valor em torno de 12,43% abaixo do esperado.

Utilizando a hipótese de que o rendimento da turbina hidráulica fosse de 85% e assumindo as mesmas condições já citadas, aplicou-se novamente a equação (2), logo:

$$P = 9,81 * 6,7 * 41 * 0,85 * 0,9 \quad (9)$$

A potência elétrica produzida pela usina nestas condições foi de 2.061,53 kW.

Utilizando a equação (3) foi encontrado o valor da diferença entre a potência da turbina instalada e a turbina moderna.

$$D_{pi} = 2061,53 - 1760 \quad (10)$$

Chegando ao resultado de 301,53 kW a mais que a potência produzida atualmente, como demonstra a tabela 06 abaixo:

Tabela 06: Potência elétrica produzida caso 1

<b>Potência Elétrica Produzida</b>	
Turbina Francis (atual)	1.760,00 kW
Turbina Francis (moderna)	2.061,53 kW

Fonte: Autor, 2022

Deste modo, pode-se concluir que a substituição da turbina por outra mais moderna do mesmo tipo é viável, pois resultará no aumento da potência gerada, como apresentado na tabela 06 acima, para suprir a demanda do município de 4.100 kW. Vale salientar que a usina Curemas precisa de duas turbinas para seu funcionamento, o que resultaria em uma potência total de 4.123,06 kW.

#### 4.3 Análise da potência – ALTERNATIVA II

Para análise da potência da turbina Pelton foram adotados os mesmos critérios da análise anterior. Além disso, utilizou-se como referência a Figura 15 analisada na seção 2.4.4, e a partir dele foi adotado o possível rendimento de uma turbina Pelton para as circunstâncias deste trabalho.

Supondo que vazão / vazão máx é igual a 1, isto implica que o rendimento de uma turbina Pelton é aproximadamente de 76%. Por conseguinte, considerando as mesmas condições anteriores denotadas de queda útil, vazão turbinada, e rendimento do gerador, aplica-se a equação (2):

$$P = 9,81 * 6,7 * 41 * 0,9 * 0,76 \quad (11)$$

Foi encontrada uma potência de 1.843,23 kW.

Aplicando a equação (3) para determinar a diferença entre as potências:

$$Dpi = 1843,23 - 1760 \quad (12)$$

A diferença de potências encontrada foi de 83,23 kW. A tabela 07 relaciona as turbinas do tipo Francis e Pelton, ambas com suas devidas potências calculadas.

Tabela 07: Potência elétrica produzida caso 2

<b>Potência Elétrica Produzida</b>	
Turbina Francis (atual)	1.760 kW
Turbina Pelton	1.843,23 kW

Fonte: Autor, 2022

No caso dois, a repotenciação foi considerada viável no quesito aumento de potência, como visto na tabela 07, por ter resultado positivo com aumento de quase 90 kW, porém as duas turbinas do tipo Pelton teriam potência total no valor de 3.686,46 kW sendo menor que o valor necessário para a demanda do município que é de 4.100 kW. Portanto, esta intervenção foi descartada e o cálculo de custo não foi realizado.

#### **4.4 Análise da potência pelo alteamento da barragem- ALTERNATIVA III**

Para este cálculo, a barragem é aumentada em 1 metro a queda útil máxima total do reservatório que antes era de 41 metros passa a ser 42 metros.

Vale salientar que por ser uma obra relativamente impactante no sentido energético, é necessário fazer um estudo aprofundado, pois este tipo de intervenção pode acarretar alguns problemas futuros como a inundação de áreas cultiváveis, por exemplo.

É importante ressaltar que esta pesquisa se trata de uma suposição e que o alteamento de barragem para a usina de Coremas é totalmente inviável e assim, logo descartado, visto que a barragem do reservatório tem um comprimento bastante considerável e a implantação desta intervenção é indicada para barragens menores e a fio d'água.

Com o aumento da altura da barragem pode-se aumentar a potência instalada repotencializada e a energia firme do aproveitamento, conforme a análise da equação (13):

$$P = 9,81 * 6,7 * 42,00 * 0,7257 * 0,9 \quad (13)$$

O valor da potência repotencializada encontrado foi de aproximadamente 1.900 kW. A diferença entre a potência instalada e a potência repotencializada é dada por:

$$D_{pi} = 1900 - 1760 \quad (14)$$

Resultando em 140 kW a mais de potência. A tabela 08 relaciona a turbina existente com a intervenção de repotenciação estudada.

Tabela 08: Potência elétrica produzida caso 3

<b>Potência Elétrica Produzida</b>	
Turbina Francis (atual)	1.760 kW
Alteamento da barragem	1.900 kW

Fonte: Autor, 2022

No caso três, semelhante ao caso dois, a repotenciação foi considerada viável no quesito aumento de potência, conforme apresentado na tabela 08, por ter resultado positivo com aumento de quase 140 kW. Por outro lado, com o aumento da barragem, as turbinas existentes passariam a ter uma potência total no valor de 3.800 kW, quando considerado a potência total das duas turbinas, sendo menor que o valor necessário para a demanda do município que é de 4.100 kW. Portanto, esta intervenção foi descartada e o cálculo de custo não será realizado.

#### **4.5 Cálculo da potência da turbina Francis – análise de vazões- ALTERNATIVA IV**

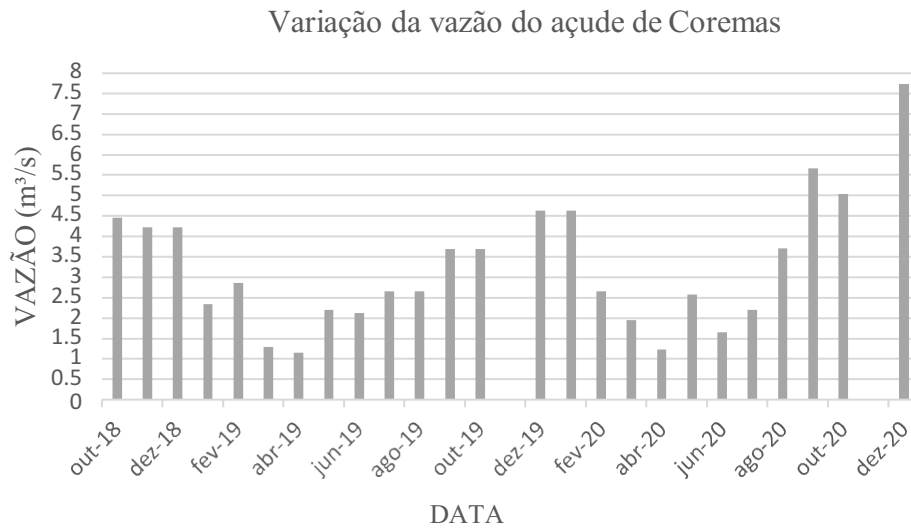
Como visto anteriormente nos cálculos da potência, para usar a equação (2), é necessário conhecer o a variável da vazão do reservatório. Para este novo caso, foi indispensável a análise de algumas vazões para ser possível determinar qual a vazão disponível a ser turbinada em cada período de tempo.

Com base nas medições feitas à jusante do reservatório de Coremas foi possível obter os dados, fornecidos pela ANA, necessários para a construção do gráfico estimado para a vazão do açude de Coremas no período de aproximadamente dois anos. A tabela com os dados das vazões estará no Anexo A desta pesquisa.

Na Figura 30 pode-se observar o gráfico da variação de vazão ao longo do período de outubro de 2018 a dezembro de 2021.



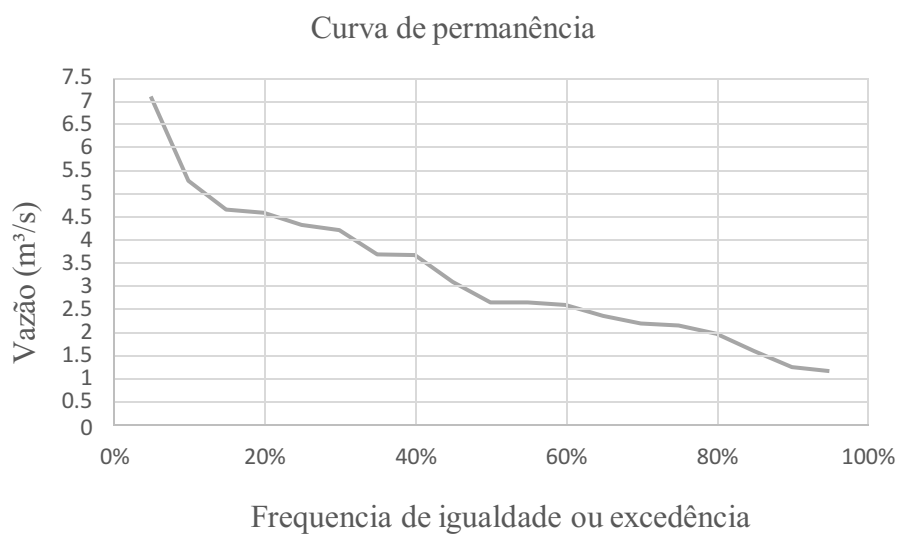
Figura 30: Gráfico da variação de vazão à jusante do açude de Coremas



Fonte: Autor, 2022

Após a construção do gráfico das vazões desenhou-se a curva de permanência do reservatório responsável por alimentara usina em estudo. A curva de permanência é constituída pela relação entre a vazão e frequência com que esta vazão é igualada ou superada. O gráfico da curva de permanência obtido pode ser observado na Figura 31.

Figura 31: Curva de Permanência



Fonte: Autor, 2022

Analisando a curva de permanência é preferível observar as vazões com maior porcentagem de garantia. Nota-se que em 92,67% do tempo o reservatório é capaz de garantir a vazão de 1,26 m<sup>3</sup>/s.

Isto posto, conclui-se que, praticamente em todo o instante de tempo as turbinas liberaram água suficiente para o valor da vazão encontrada através da curva de permanência. Sendo assim, para realizar o cálculo da potência elétrica gerada pela usina foi considerado que a vazão, arredondada, turbinada é igual a 1,3 m<sup>3</sup>/s.

Para o cálculo da potência, considerou as mesmas condições dos casos anteriores:

- Rendimento do gerador igual a 0,9
- Rendimento da turbina igual a 0,7257
- Queda líquida máxima igual a 41 metros

Desta forma, aplica-se a equação (2) para obter a potência gerada por esta nova vazão

$$P = 9,81 * 41 * 1,3 * 0,9 * 0,7257 \quad (15)$$

O resultado da expressão foi de 341,50 kW.

Tabela 09: Potência elétrica produzida caso 4

<b>Potência elétrica produzida</b>	
Turbina Francis (atual)	1.760 kW
Turbina Francis (outro rendimento e outra vazão)	341,50 kW

Fonte: Autor, 2022

Deste modo, foi possível observar que o estudo da alternativa IV teve resultados negativos, se tornando totalmente inviável, tanto no quesito aumento de potência, resultando em potência negativa comparado a existente na usina, quanto na potência total das duas turbinas localizadas na pequena central hidrelétrica, somando-as o valor chegou a 683 kW, valor consideravelmente menor que o valor da potência de projeto de 3.520 kW e da demanda atual do município de 4,5MW.

#### 4.6 Análise do custo do faturamento mensal em kWh para 2022

Neste tópico será abordada uma análise de custo sobre a suposta repotenciação da Usina Curemas. Nas seções abordadas anteriormente, foi visto que a substituição da turbina Francis instalada atualmente por outra mais moderna, se torna mais vantajosa por gerar uma maior potência e por suprir a demanda de potência que o município necessita para ser abastecido. Assim, conclui-se que a substituição mais plausível no empreendimento se torna esta opção.

Para o cálculo do faturamento mensal gerado pela diferença entre as potências instalada e repotencializada é seguido uma sequência de equações, todas descritas na metodologia desta pesquisa.

De início é calculada a energia firme mensal utilizando a diferença de potência, encontrada anteriormente, e o fator de capacidade que será considerado no valor de 0,65, baseando-se em outras pesquisas semelhantes.

$$Efe = 301,53 * 0,65 \quad (16)$$

O valor obtido foi de aproximadamente 196 kWh médios.

O valor, estimado, do incremento da PCH foi obtido, multiplicando esse valor pelas horas do dia, e pelos dias do mês, resultando na potência média gerada durante o mês, conforme a equação a seguir:

$$Efe\ mensal = 196 * 24 * 30 \quad (17)$$

O valor da energia foi de 141.116,04 kW médios mensais.

Os resultados da equação anterior poderão ser descontados da energia mensal contratada. O custo da unidade do kWh na Paraíba é de 0,619 de acordo com os dados da ANEEL (2022). É importante ressaltar que o cálculo é realizado apenas sobre a energia ativa contratada, não considerando os valores de descontos, e acréscimos existentes na base de dados referenciados. O faturamento mensal que foi obtido, pode ser observado na equação (18).

$$Fm = 141120 * 0,619 \quad (18)$$

O valor do faturamento mensal utilizando a potência excedente encontrado para este caso foi de R\$ 87.350,83. Deste custo encontrado, considera-se que cerca de 4% (R\$ 3.494,03) seja custo de operação e manutenção. Logo, o faturamento mensal final para a turbina Francis moderna fica em torno de R\$ 83.350,79 por mês.

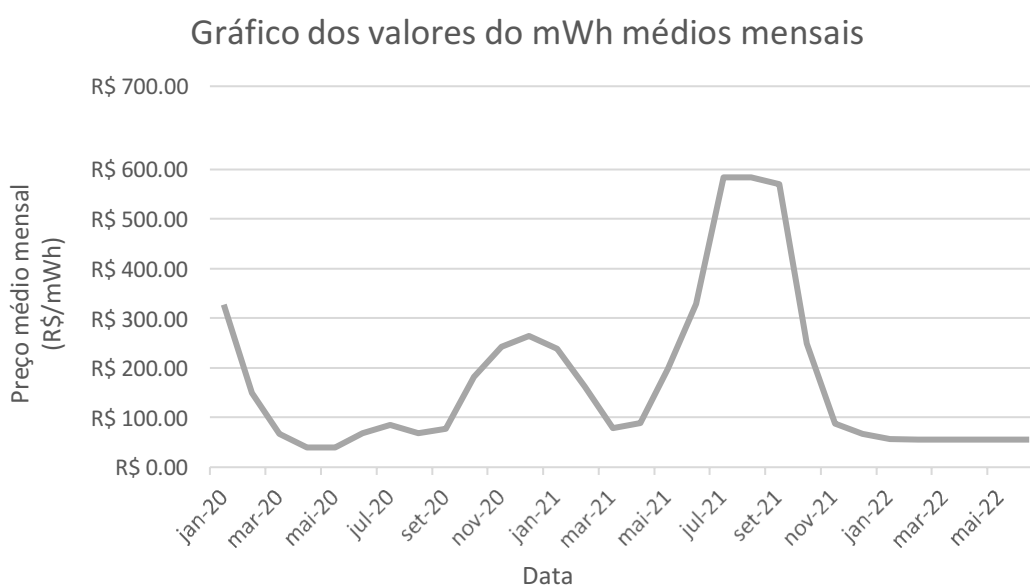
Quando considerado as duas turbinas para o emprego na usina Curemas, o faturamento final sobe para R\$ 116.701,58 ao mês.

#### 4.7 Análise do custo da repotenciação em MWh

Para este tópico, será estipulado, por meio de gráficos e cálculos matemáticos, o provável tempo de retorno do capital investido no empreendimento. Neste cálculo o resultado encontrado consistirá no valor do mWh, para isso será considerado o histórico médio dos preços do kWh, dados fornecidos pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). Vale salientar que a intenção deste trabalho não é buscar o preço exato que seria viável da venda deste ativo, mas sim, estimar um preço considerável do montante de energia produzido a cada ano. Desta forma, o preço do megawatt-hora será definido pelos preços mensais da região nordeste, calculados pela CCEE durante o período dois anos e meio, desde janeiro de 2020 até junho de 2022.

Os preços calculados pela CCEE estão no Anexo B deste trabalho e podem ser observados na figura 32.

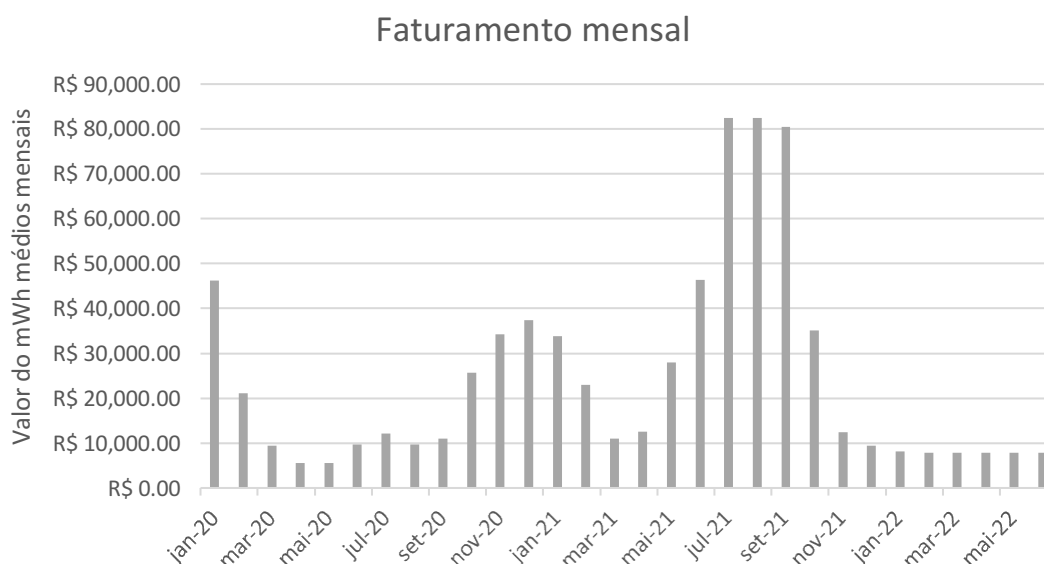
Figura 32: Valores do MWh médios mensais



Fonte: Autor, 2022

Desta forma, com o preço do MWh estabelecido a cada mês, se torna viável encontrar o faturamento gerado pelo suposto excedente de energia produzido mensalmente. Como pode ser visto na figura 33.

Figura 33: Faturamento mensal da Turbina Francis moderna



Fonte: Autor, 2022

É notório na Figura 33 o faturamento de uma turbina com a venda do ativo a cada mês, totalizando um valor total de R\$731.789,47 em dois anos e meio. Entretanto este valor dispara para R\$ R\$ 1.463.578,95 quando é considerado o uso das duas turbinas Francis necessárias para a PCH em estudo. Vale a pena lembrar, que este valor é estipulado para a venda do ativo no mercado livre de energia e não está sendo considerado nenhuma pausa para manutenção das máquinas ou qualquer tipo de interrupção.

A partir do ganho com a venda do ativo excedente ao instalar duas turbinas Francis atual, é interessante avaliar o provável tempo de retorno do capital investido no empreendimento. Para isso, foi utilizado um orçamento feito para uma pesquisa semelhante ao presente estudo. Deve-se enfatizar que a turbina do orçamento base conta com características superiores a turbina calculada nesta pesquisa.

O orçamento que foi realizado no ano de 2018 e estabeleceu que o valor de uma nova turbina Francis seria de R\$ 1.556.571,84. Sabe-se que para a usina Curemas são necessárias duas turbinas, então:

$$2 * 1.556.571,84 = R\$3.113.143,68 \quad (19)$$

Assim, conclui-se que o retorno do capital investido na instalação de duas turbinas Francis mais modernas ocorreria em aproximadamente 5 anos.

## ***CAPÍTULO V***

### **5. CONCLUSÕES**

Dos resultados obtidos pode-se concluir que:

#### **5.1 Conclusões específicas**

##### ***5.1.1 Da classificação da Usina Curemas***

- A usina foi classificada como uma PCH de acumulação com regularização mensal do reservatório dispondo de um sistema de adução em baixa pressão por meio de tubulação.

##### ***5.1.2 Das possíveis intervenções de repotenciação***

- A alternativa I gerou um aumento conjunto das duas turbinas de 4.123,06 kW de potência. Já a alternativa II resultou em um aumento de 3.686,46 kW de potência gerada. O alteamento da barragem (alternativa III) também resultou em um aumento de potência com valor de 3.800 kW. Por fim, alternativa IV resultou em um valor abaixo do esperado, sendo ele de 683 kW. Isso posto, concluiu-se que as intervenções resultaram em três resultados positivos visando o aumento da potência e um resultado negativo.

##### ***5.1.3 Da análise da intervenção escolhida***

- Ressaltando que o valor para suprir a demanda da população é de 4.100 kW, sendo essa a potência total gerada pelas duas turbinas da usina, foi concluído que a intervenção mais viável e que resultou em um notável crescimento da potência gerada, além de atender todos os quesitos, é a substituição das turbinas antigas por duas mais modernas.

#### ***5.1.4 Do estudo do desconto mensal ou faturamento mensal para a intervenção escolhida***

- O resultado deste estudo foi considerado satisfatório, gerando um valor considerável de lucro ao mês. Deste modo, o faturamento mensal após a substituição das turbinas será de R\$116.701,58.

#### ***5.1.5 Do estudo de custo da repotenciação***

- Este estudo gerou resultados positivos visando o objetivo da pesquisa. Após os cálculos pode-se concluir que o custo para substituição das duas turbinas seria de R\$ 3.113.143,68 e o retorno deste capital investido ocorrerá em aproximadamente 5 anos.

### **5.2 Conclusão Geral**

Esta pesquisa tem como principal objetivo analisar a possibilidade a repotenciação das turbinas Francis instaladas na usina Curemas, localizada no município de Coremas-PB, visando o aumento da potência gerada para suprir a demanda do município que nos dias de hoje é de 4,1 MW. Após estudos foram definidas 4 intervenções de repotenciação, e, assim aplicado a metodologia de cálculo para cada intervenção.

Conclui-se que a substituição das turbinas existentes por turbinas Pelton e o alteamento da barragem geraram resultados satisfatórios, visando o aumento da potência. Por outro lado, não seria vantajoso realizar essa substituição, posto que, a potência calculada para as turbinas não supre a demanda para o abastecimento do município.

Consequentemente, mediante as características apresentadas pela Usina Curemas, verificou-se que a intervenção que substitui as turbinas atuais por turbinas mais modernas gerou resultados consideráveis e bem vantajosos, visto que, a demanda desejada nos objetivos da pesquisa foi atendida. Assim sendo, considerou-se favorável a repotenciação da PCH de Coremas, uma vez que se tem um notável acréscimo na geração de energia e o retorno do investimento seria relativamente rápido.



### **5.3 Sugestões para trabalhos futuros**

a) Avaliação econômico-financeira aprofundada, pois não foi possível ser realizada nesta pesquisa pelo curto tempo;

b) Buscar aperfeiçoar os cálculos visando minimizar os erros, como por exemplo, considerar a perda hidráulica do sistema e verificar a rendimento exato do gerador;

c) Verificar a suposta substituição por outros tipos de turbina, como Turgo ou de Fluxo Cruzado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA, Agência Nacional de Águas. **“RESERVATÓRIOS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO-COREMAS/PB”**. Disponível

em:<[https://portal1.snirh.gov.br/arquivos/semiarido/204res/Piranhas\\_Coremas.pdf](https://portal1.snirh.gov.br/arquivos/semiarido/204res/Piranhas_Coremas.pdf)>.

Acesso em 20 de julho de 2022.

ADRADA, T.; MANCEBO, J.A.; MARTINEZA. **“PEQUEUNAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS”**, Rio de Janeiro, 2013.

ANDRADE, Rita de Cássia Gregório. **“A CIDADE DE COREMAS-PB: GEOGRAFIA HISTÓRICA DE UMA CIDADE PEQUENA/ RITA DE CÁSSIA GREGÓRIO DE ANDRADE”**. Dissertação (Mestrado) - João Pessoa: UFPB, 2008.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, **“ENERGIA HIDRÁULICA”**. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas\\_par2\\_cap3.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap3.pdf)>. Acesso em 26 de março de 2022.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, **“RESOLUÇÃO N° 395”**, 4 de dezembro, Brasília – DF, 1998.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, **“RESOLUÇÃO N° 673”**, 4 de agosto, Brasília – DF, 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **“BANCO DE INFORMAÇÕES DE GERAÇÃO: BIG”**. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br>>. Acesso em 27 de março de 2022.

ASTORGA, O. A. M., PARNUNZIO, P. A., GYORI, D. F. S., SILVEIRA, J. L., 2008, **“REPOTENCIAÇÃO DE PCH'S – ASPECTOS TÉCNICOS, ECONOMICOS E SOCIOAMBIENTAIS”**. Universidade Estadual Paulista - UNESP, Guaratinguetá - SP.

AZEVEDO, Tadeu Rezende de. **“PROJETOS DE SUCESSO E TENDÊNCIA DE MERCADO EM PCH”**, Voith siemens hidro power generation, 2008.

CHESF- Companhia de Hidroenergia do São Francisco. **“SISTEMA CHESF CUREMAS”**. Disponível em: <https://www.chesf.com.br/SistemaChesf/Pages/SistemaGeracao/Curemas.aspx>. Acesso em 15 de junho de 2022.

ELETROBRAS. **“CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A”**. Disponível em: < [Eletrobras Furnas](http://www.eletrobras.com.br)>. Acesso em: 30 de março de 2022.

ELETROBRAS. **“DIRETRIZES PARA ESTUDOS E PROJETOS DE PEQUENAS CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS”**. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (2000).

ENCINA, Anastacio Sebatían Arce. **“DESPACHO ÓTIMO DE UNIDADES GERADORAS EM SISTEMAS HIDRELÉTRICOS VIA HEURISTICA BASEADA EM RELAXAÇÃO LANGRANGEANA E PROGRAMAÇÃO DINÂMICA”**. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica e de Computação. Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Campinas, 2006.

FARIAS, R de. A.N. **“AVALIAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE AUTORIZAÇÃO E OUTORGA PARA IMPLANTAÇÃO DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS”**. 2014. 259 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília. Brasília, 2014.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **“COREMAS/PANORAMA”**. 2017. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/coremas/panorama> >. Acessado em 12 de junho de 2022.

LUCCHESI, Fernanda. **“O FEIJÃO DE ZÉ AMÉRICO: TERRA, TRABALHO E DESLOCAMENTOS NAS POLÍTICAS CONTRA AS SECAS, O CASO DE COREMAS”**. Orientador: Ana Cláudia Duarte Rocha Marques. 2017. 397 p. Tese (Pós-

Graduação) - FACULDADE DE FILOSOFIA, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, São Paulo, 2017.

MORAIS, Luciano C. **“ESTUDO SOBRE O PANORAMA DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL E TENDÊNCIAS FUTURAS”**. Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Estadual Paulista, UNESP. São Paulo, 2015.

NEUMANN, Marcelo Schmitz. **ESTUDO DE REPOTENCIALIZAÇÃO DE UMA PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA**. 2017. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Eletrica, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2017. Cap. 1.

OLIVEIRA, Marco André de. **“REPOTENCIAÇÃO DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS: AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONOMICA”**. Dissertação Pós-Graduação em Engenharia de Energia, Itajubá, 2012

SANTANDER, Olga Lucia Sánchez. **“MONTAGEM E INSTRUMENTAÇÃO DE UMA BANCADA PARA TURBINA HIDRÁULICA”**, Dissertação de Mestrado em Sistemas Mecatrônicos, Brasília, 2014.

SCHREIBER, Gerhard Paul. **“USINAS HIDRELÉTRICAS”**, editora Edgard Blücher LTDA, São Paulo, 1977.

SOUZA, Jocilene da Silva. **COREMAS DE VILA À CIDADE: AÇUDE ESTEVAM MARINHO COMO IMPULSIONADOR DA VIDA URBANA NAS DÉCADAS DE 1930-1940**. Orientador: Viviane Gomes de Ceballos. 2016. 72 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - UNIVERSAIDADE DE CAMPINA GRANDE, Cajazeiras, 2016.

TOMAS, Luís Eduardo Pacheco. **ANÁLISE DE SUBSTITUIÇÃO DA TURBINA INSTALADA NA CENTRAL GERADORA HIDRELÉTRICA IVO SILVEIRA**. 2018. 55 f. TCC (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica/Eletrônica, Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Cap. 1.

VEIGA, J. R. C., 2001, “**OPORTUNIDADES DE NEGÓCIO COM A REPOTENCIAÇÃO DE USINAS: ASPECTOS TÉCNICOS, ECONOMICOS E AMBIENTAIS**”. Dissertação de Mestrado em Energia, Universidade de São Paulo – USP, 119p.

**ANEXOS**

**ANEXO A: Dados de vazões (m<sup>3</sup>/s) à jusante do açude de Coremas**

Vazões à jusante do açude de Coremas

DATA	VAZÃO (m <sup>3</sup> /s)
dez-20	7,725
out-20	5,036
set-20	5,663
ago-20	3,703
jul-20	2,192
jun-20	1,645
mai-20	2,573
abr-20	1,23
mar-20	1,952
fev-20	2,658
jan-20	4,624
dez-19	4,624
out-19	3,686
set-19	3,686
ago-19	2,658
jul-19	2,658
jun-19	2,118
mai-19	2,204
abr-19	1,153
mar-19	1,284
fev-19	2,85
jan-19	2,342
dez-18	4,217
nov-18	4,217
out-18	4,449

Fonte: HidroWeb/ANA

**ANEXO B – Tabela do preço médio de acordo com a CCEE**

Data	Valor médio mensal mWh
jan-20	327,22
fev-20	149,8
mar-20	66,92
abr-20	39,68
mai-20	39,68
jun-20	68,83
jul-20	85,56
ago-20	68,28
set-20	77,37
out-20	182,12
nov-20	242,52
dez-20	265,01
jan-21	239,02
fev-21	162,68
mar-21	78,02
abr-21	88,55
mai-21	198,32
jun-21	328,76
jul-21	583,88
ago-21	583,88
set-21	570,39
out-21	248,97
nov-21	88,08
dez-21	66,46
jan-22	57,22
fev-22	55,7
mar-22	55,7
abr-22	55,7
mai-22	55,7
jun-22	55,71