

**FACULDADE PATOS DE MINAS  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**Cristian Victor Carvalho Pinto**

**ESTUDO DE PARÂMETROS OPERACIONAIS PARA OTIMIZAÇÃO DA TURBINA  
KAPLAN DA UHE RETIRO BAIXO**

**PATOS DE MINAS  
2019**

**Cristian Victor Carvalho Pinto**

**ESTUDO DE PARÂMETROS OPERACIONAIS PARA OTIMIZAÇÃO DA TURBINA  
KAPLAN DA UHE RETIRO BAIXO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Faculdade Patos de Minas  
como requisito para obtenção do grau de  
Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Esp. Igor Nunes Caixeta

FACULDADE PATOS DE MINAS  
DEPARTAMENTO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica

**Cristian Victor Carvalho Pinto**

**ESTUDO DE PARÂMETROS OPERACIONAIS PARA OTIMIZAÇÃO DA TURBINA  
KAPLAN DA UHE RETIRO BAIXO**

Banca Examinadora do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica, composta  
em (dias) de (mês) de (ano).

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado, pela comissão examinadora constituída  
pelos professores:

Orientador: Prof.º. Esp. Igor Nunes Caixeta  
Faculdade Patos de Minas

Examinador: Prof.º. Esp. Wesley Nunes da Silva  
Faculdade Patos de Minas

## **AGRADECIMENTOS**

Esta fase da minha vida é muito especial e não posso deixar de agradecer a Deus por toda força, ânimo e coragem que me ofereceu para ter alcançado minha meta.

À Faculdade quero deixar uma palavra de gratidão por ter me recebido de braços abertos e com todas as condições que me proporcionaram dias de aprendizagem muito ricos.

Aos professores reconheço um esforço gigante com muita paciência e sabedoria. Foram eles que me deram recursos e ferramentas para evoluir um pouco mais todos os dias.

É a minha família e amigos, porque foram eles que me incentivaram e inspiraram através de gestos e palavras a superar todas as dificuldades.

A todas as pessoas que de uma alguma forma me ajudaram a acreditar em mim eu quero deixar um agradecimento eterno, porque sem elas não teria sido possível.

## RESUMO

Métodos de prevenção de perdas de cargas estão presentes no projetos de geração de energia elétrica para garantia da sua qualidade. Este trabalho aborda o estudo do problema do giro indevido da unidade geradora 01 da Usina Hidrelétrica Retiro Baixo, localizada no município de Pompéu, Minas Gerais. Foi identificado por meio de estudos e medição de parâmetros físicos, que a usina, vem perdendo rendimento e tem problemas na partida e paradas das máquinas. Nesse contexto foi observado um vazamento excessivo nas palhetas do distribuidor, permitindo que o processo de partida e parada das máquinas por meio do automatismo não fosse possível. Nessa premissa foi realizado o estudo de identificação e resolução do problema do giro indevido, para maior confiabilidade e segurança na geração de energia.

**Palavras-chave:** Giro Indevido. Confiabilidade do Sistema e Qualidade na Geração de Energia.

## **ABSTRACT**

Methods of preventing losses of loads are present in the electric power generation projects to guarantee their quality. This work deals with the study of the problem of the undue rotation of the generating unit 01 of the Retiro Baixo Hydroelectric Power Plant, located in the municipality of Pompéu, Minas Gerais. It has been identified through studies and measurement of physical parameters that the plant is losing performance and has problems starting and stopping machines. In this context, an excessive leakage was observed in the distributor vanes, allowing the process of starting and stopping the machines by means of the automatism was not possible. In this premise was carried out the study of identification and resolution of the problem of improper turning, for greater reliability and safety in the generation of energy.

**Keywords:** Wrong Turn. System Reliability and Quality in Power Generation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Configuração de uma turbina Kaplan (Fonte: VOITH).....	17
Figura 2	Configuração de Distribuidor (Fonte: VOITH).....	18
Figura 3	Quadro de Licenças da UHE Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2018).....	22
Figura 4	UHE Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2018).....	23
Figura 5	Mapa de Localização do Empreendimento(Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2018).....	24
Figura 6	Arranjo Geral do Empreendimento (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo , 2018).....	24
Figura 7	Tomada D'Água Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2018).....	24
Figura 8	Conduto Forçado Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2018).....	29
Figura 9	Casa de Força Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2018).....	29
Figura 10	Comporta do Tubo de Sucção Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2018).....	30
Figura 11	Pórtico Rolante da Casa de Força Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2018).....	31
Figura 12	Vertedouro Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2018).....	32
Figura 13	Vertedouro Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2018).....	33
Figura 14	Barragem de Terra Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2018).....	34
Figura 15	Barragem de Terra Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2018).....	34
Figura 16	Revestimento. Leitura dos Piezômetro Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2018). em paredes com tijolos convencionais e ecológicos.....	35

Figura 17	Subestação UHE Retiro Baixo(Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2018).....	36
Figura 18	Fluxograma Sequência de Partida UHE Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2018).....	41
Figura 19	Fluxograma Sequência de Parada UHE Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2018).....	42
Figura 20	Pás, Cubo e Anel de Desgaste da Turbina da UHE Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2019).....	44
Figura 21	Pás, Cubo e Anel de Desgaste sem sinal de cavitação e oxidação (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2019).....	44
Figura 22	Pás da Turbina Kaplan da UHE Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2019).....	45
Figura 23	Palhetas do distribuidor da UHE Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2019).....	45
Figura 24	Palhetas do distribuidor da UHE Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2019).....	46
Figura 25	Fluxo de água nas falhas das palhetas do distribuidor da UHE Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2019).....	46
Figura 26	Fluxo de água nas falhas das palhetas do distribuidor da UHE Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2019).....	47
Figura 27	Acompanhamento da sequência de partida UHE Retiro Baixo (Fonte: Sistema de Supervisão e Controle UHE Retiro Baixo, 2019).	50
Figura 28	Sequência de partida UHE alterada para evitar o giro indevido. (Fonte: Sistema de Supervisão e Controle UHE Retiro Baixo, 2019).	52



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Parâmetros Físicos UHE Retiro Baixo ( Fonte: Relatórios Operacionais da UHE Retiro Baixo.....	25
Tabela 2	Características do Canal de Adução ( Fonte: Relatórios Operacionais da UHE Retiro Baixo).....	27
Tabela 3	Medição Folgas das Palhetas do Distribuidor.....	47

# SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
1.1	<b>Problemática</b> .....	12
1.2	<b>Objetivos</b> .....	13
1.2.1	<i>Objetivo Geral</i> .....	13
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i> .....	14
1.3	<b>Justificativa</b> .....	14
2	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	15
	2.1 <i>Turbinas Hidráulicas</i> .....	15
	2.2 <i>Distribuidor Turbina Kaplan</i> .....	15
	2.3 <i>UHE Retiro Baixo</i> .....	21
	2.3.1 <i>Características do Empreendimento</i> .....	24
	2.3.1.2 <i>Parâmetros Físicos</i> .....	24
	2.4 <i>Concepção Geral do Projeto</i> .....	25
	2.4.1 <i>Galeria de Desvio</i> .....	26
	2.4.2 <i>Canal de Aproximação</i> .....	26
	2.4.3 <i>Circuito Hidráulico de Geração</i> .....	27
	2.4.4 <i>Canal de Adução</i> .....	27
	2.4.5 <i>Tomada D'Água</i> .....	27
	2.4.6 <i>Conduto Forçado</i> .....	28
	2.4.7 <i>Casa de Força</i> .....	30
	2.4.8 <i>Comporta Tubo de Sucção</i> .....	31
	2.4.9 <i>Pórtico Rolante</i> .....	31
	2.4.10 <i>Vertedouro</i> .....	31
	2.4.11 <i>Barragem de Terra e Enrocamento</i> .....	33
	2.4.12 <i>Instrumentação</i> .....	34
	2.4.13 <i>Conexão do Sistema</i> .....	36
3	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	37
4	<b>RESULTADOS E DISCURSÕES</b> .....	38
	4.1 <i>Regulador de Velocidade</i> .....	38
	4.2 <i>Funcionamento do Regulador de Velocidade UHE Retiro Baixo</i> .....	38
	4.2.1 <i>Malha de Controle Automático</i> .....	38
	4.2.2 <i>Controle de Velocidade</i> .....	38
	4.2.3 <i>Controle de Potência</i> .....	38
	4.2.4 <i>Controle de Abertura</i> .....	40
	4.2.5 <i>Controle de Aceleração</i> .....	40
	4.3 <i>Controle Manual</i> .....	40
	4.3.1 <i>Controle Manual Abertura do Distribuidor</i> .....	40

	<i>4.3.2 Controle Manual de Abertura das Pás do Distribuidor.....</i>	40
	<i>4.4 Partida e Parada das Unidades Geradoras.....</i>	40
	<i>4.4.1 Pré Condição de Partida da UG 01.....</i>	41
	<i>4.4.2 Sequência de Partida.....</i>	41
	<i>4.4.3 Sequência de Parada.....</i>	42
	<i>4.5 Estudo e Identificação das Folgas nas Palhetas do Distribuidor.....</i>	43
5	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	53
6	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	55
7	<b>ANEXOS.....</b>	56

# 1 INTRODUÇÃO

Os padrões de vida atuais são bastante diferentes em vários aspectos, quando comparados aos padrões anteriores aos do século XIX. O desenvolvimento do sistema elétrico teve um papel fundamental nessa mudança.

A qualidade dos serviços elétricos não era tão eficaz quanto nos dias de hoje, os requisitos de qualidade eram mínimos. Com o aumento da demanda e da tecnologia no setor, a geração de energia elétrica em todos os lugares, inclusive longe dos centros urbanos tornou-se necessária. Assim, passou-se a existir os sistemas de transmissão e distribuição, e conseqüentemente a interligação do sistema (BAZANELLA,1997).

As interligações dos sistemas elétricos contribuem para o aumento da margem de segurança e economia da operação do mesmo. Durante a operação normal do sistema, podem ocorrer perturbações que afetam localmente ou até mesmo todo o sistema interligado, prejudicando o fornecimento de energia elétrica à população. Toda atividade humana, de uma forma ou de outra, é voltada para a sua própria sobrevivência, e com as empresas não é diferente. Atualmente, a atividade de manutenção exige um trabalho de equipe, o assessoramento de especialistas, o registro de informações e a gestão de todo esse processo. De um modo geral, o desenvolvimento de estudos relativos ao desgaste de máquinas e equipamentos, a motivação e qualificação de pessoal e o desenvolvimento de ferramentas de apoio a tomadas de decisões, vem enriquecendo as técnicas de gestão da manutenção. Porém, é preciso enfatizar, que os sistemas podem falhar. Não existe um único modo de operação e manutenção que previna ou elimine todas as falhas em um processo.

Fundamentado nestas ideias, um processo de desenvolvimento de uma melhoria na qualidade de manutenção é iniciado na Usina Hidrelétrica de Retiro Baixo (MG), que possui um problema que influencia no rendimento de suas turbinas, o estudo proposto neste trabalho é a melhoria e resolução do giro indevido das unidades geradoras da usina, para obter maior qualidade, disponibilidade e confiabilidade de seus equipamentos. O giro indevido ocasionado por folga nas palhetas do distribuidor é de extrema importância para UHE Retiro Baixo, uma vez que unidades geradoras paradas, ocasiona

indisponibilidade forçada nas máquinas, afetando assim os índices dos indicadores de desempenho estipulado pela agência reguladora fiscalizadora do sistema elétrico ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Foram elaborados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), com participação dos agentes de geração, e aprovados pela ANEEL, documentos de caráter normativo, os Procedimentos de Rede, que definem os procedimentos e os requisitos necessários à realização das atividades de planejamento da operação eletroenergética, de administração da transmissão, de programação e de operação em tempo real no âmbito do Sistema Interligado Nacional (SIN). Nos Procedimentos de Redes são definidos diversos Indicadores de Desempenho, dentre eles, a disponibilidade das unidades geradores, indisponibilidade forçada, indisponibilidade programada, tempo médio de reparo, taxa de falhas, dentre outros. A UHE Retiro Baixo é uma usina despachada centralizada pelo ONS e interligada no SIN, nessa premissa é necessário que ela cumpra com os procedimentos de rede e esteja dentro da faixa de satisfação dos indicadores. O ONS no mês de abril de cada ano, disponibiliza o desempenho das usinas por meio do Relatório de Avaliação de Desempenho da Manutenção (RAD), nesse relatório ele envia a situação da usina no ano que passou, em relação aos indicadores e compara com o SIN, então ele coloca um ranking de colocações para as usinas. O ANEXO 1 apresenta a formulação dos indicadores de desempenho. A importância da resolução do problema do giro indevido, é devido o impacto direto nos indicadores da usina, deixando assim ela nas faixas insatisfatórias estabelecidas pelos órgãos e agências reguladoras.

## **1.1 Problemática**

O estudo abrange o problema do giro indevido das unidades geradoras 01 e 02 da Usina Hidrelétrica Retiro Baixo, localizada na Zona Rural do município de Pompéu, na bacia hidrográfica do Rio Paraopeba. O giro indevido foco de estudo desse trabalho é ocasionado por medições de folga das palhetas do distribuidor em suas faces de contato e vedação, e entre os espelhos do distribuidor das unidades geradoras 01 e 02. Ao realizar manutenções preventivas a equipe da UHE Retiro Baixo verificou que no distribuidor foram encontradas folgas entre palhetas de dimensões consideráveis permitindo a passagem de grande fluxo de água, podendo sim ser o causador do giro indevido no processo de partida das unidades geradoras. Esse problema tem ocasionado o descumprimento de etapas de segurança na partida e parada das unidades geradoras. Esse fator ocasiona diversos outros problemas, operacionais, mecânicos e ambientais.

## **1.2 Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho é citar e enunciar a importância do funcionamento adequado das usinas hidrelétricas, abordando a questão do giro indevido, ocasionado pelo vazamento de água pelas palhetas do distribuidor, provocando uma queda de rendimento das unidades geradoras e ocasionando problemas na interligação para o Sistema Interligado Nacional (SIN). O estudo será realizado dentro das instalações da UHE Retiro Baixo, onde o objetivo é desenvolver um estudo para diagnosticar falhas nas palhetas do distribuidor, o conseqüentemente gera problemas no regulador de velocidade, ocasionando perdas de desempenho nas turbinas, o método é desenvolvido por meio da aplicação de técnicas de análise de confiabilidade. Após identificar os componentes críticos do sistema, que geram perda de desempenho e apresentam falhas, são propostas manutenções centradas nesses componentes, visando um maior desempenho operacional.

## **1.3 Objetivos específicos**

- Definir a UHE Retiro Baixo

- Demonstrar o funcionamento de uma usina hidrelétrica e seus fatores de riscos.
- Apresentar teoricamente a Turbina Kaplan e seus aspectos de funcionamento.
- Apresentar o Regulador de Velocidade.
- Explicar o que causa o Giro Indevido.
- Propor a solução do problema do giro Indevido na UHE Retiro Baixo.

### **1.3 Justificativa**

O estudo do giro indevido ocasionado por folga nas palhetas do distribuidor é de extrema importância para UHE Retiro Baixo, uma vez que unidades geradoras paradas, influência nos indicadores de desempenho da usina, gerando penalidades por meio das agências fiscalizadoras do sistema elétrico.

A Disponibilidade de uma hidrelétrica é o tempo que as unidade geradoras estão disponíveis para geração de energia para o Sistema Interligado Nacional (SIN) e uma usina como a de retiro baixo, ficar com índice de indisponibilidade alto, afeta diretamente no sistema elétrico.

A Lei nº 9.648/98, em seu Artigo 13, alínea “f”, com redação dada pela Lei nº 10.848/2004, estabelece como atribuição do ONS propor regras para a operação das instalações de transmissão da rede básica do SIN, a serem aprovadas pela ANEEL. Essas regras são consolidadas nos Procedimentos de Rede, que são documentos de caráter normativo elaborados pelo ONS. Os Procedimentos de Rede estabelecem os requisitos técnicos necessários para garantir o livre acesso às instalações de transmissão, a realização das atividades de planejamento e programação da operação eletroenergética, administração de serviços de transmissão de energia elétrica, proposição de ampliações e reforços para a Rede Básica e para as DITs ( Demais Instalações de Transmissão), bem como as atividades de supervisão, coordenação e controle da operação do SIN. Com a criação dos procedimentos de rede, foi estabelecido um relatório anual RAD (Relatório de Avaliação do Desempenho da Manutenção de Equipamento). O relatório RAD apresenta os valores limites (faixas normal, alerta e insatisfatória) referente ao último ano, provisoriamente pelo ONS, tendo em vista que a ANEEL ainda não definiu por regulamentação específica para os valores

definitivos. O RAD é uma forma dos agente verificarem sua situação operacional diante do SIN e estabelecer melhorias nas gestão da manutenção.

A dinâmica do estudo é baseada no giro indevido, problema que afeta diretamente o rendimento operacional das unidades geradoras, impossibilitando a continuidade do processo, causando o bloqueio do equipamento e deixando a máquina sem possibilidade de entrada no sistema, deixando o índice de disponibilidade abaixo do apresentado pelo ONS por meio do RAD. Portanto à importância do controle do giro indevido, uma vez que impossibilita o retorno automático das unidades geradoras, demorando mais tempo para interligação no sistema elétrico, além do descumprimento de normas de segurança exigidas.

Mecanicamente, este vazamento excessivo, leva a um tempo maior de parada da unidade, maior desgaste das sapatas de freio, além da unidade ter em sua filosofia de operação a permanência de freio aplicado 100% do tempo com a unidade parada, criando assim o risco de perda de controle, podendo esta vir a ficar sem freio por uma falha do sistema de aplicação automática do mesmo, e ou, do sistema de ar comprimido. Quanto à sucção, não apresenta desgastes severos, não possui cavitação acentuada nas pás, cubos e anel de desgaste, além de não possui desprendimento de material da cobertura do anel de desgaste. Em toda a região das pás, cubos e anel de desgaste ainda é presente as marcas de lixamento provenientes da última recuperação realizada.

Este fluxo constante nas palhetas leva a uma concentração maior da ictiofauna no interior da sucção, podendo vir a causar mortandade da mesma, pois o fluxo funciona como uma corredeira natural do rio fazendo com que os peixes se aglomerem e permaneçam neste lugar na tentativa de passagem, se ferindo e morrendo. Então esse estudo é de extrema importância para essa unidade, podendo solucionar um problema que prejudica toda a produção de energia.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

A revisão bibliográfica tem a finalidade de apresentar trabalhos correlatos de outros pesquisadores que possam contribuir com a dissertação em questão, porém, não foi possível encontrar trabalhos que abordassem assuntos diretamente relacionados com o tema proposto.



## 2.1 Turbinas Hidráulicas

Em vários lugares do mundo, turbinas hidráulicas são empregadas para produzir energia elétrica através do movimento da água. Turbina é uma máquina de fluxo que converte energia do fluido em trabalho mecânico de eixo, onde os principais fluidos de trabalho são água, vapores e gases. O rotor da turbina (componente móvel) transfere a energia mecânica gerada pela passagem do líquido para o eixo e o torque gerado nesse eixo pode acionar um gerador elétrico. Turbinas hidráulicas podem produzir quantidades variadas de energia dependendo de seu tamanho e capacidade, desde microunidades, que geram 5 kW, a instalações hidrelétricas de grande porte que podem produzir acima de 400 MW (POTTER e WIGGERT, 2013).

As turbinas são divididas em dois tipos: turbinas de ação e de reação. Nas turbinas de ação toda a energia disponível do escoamento da água é transformada em energia cinética à pressão atmosférica, por meio de um bocal, antes do fluido entrar em contato com as pás móveis. A turbina Pelton é um exemplo clássico desse tipo de turbina. Já em uma turbina de reação, onde o fluido de trabalho preenche completamente as passagens, parte da energia do fluido é transformada em energia cinética durante sua passagem por perfis ajustáveis antes da entrada no rotor e o restante dessa transformação ocorre no próprio rotor. Alguns dos exemplos mais difundidos desse tipo são as turbinas Francis e Kaplan (STREETER, 1909).

As turbinas também podem ser classificadas, em função da direção do escoamento, como radial, mista e axial. Em turbinas de fluxo radial, a trajetória do fluido é predominantemente no plano de rotação. A turbina Francis é um exemplo desse tipo de turbina. Para escoamentos parcialmente axiais e parcialmente radiais, diz-se que o escoamento é misto (MASSEY, 2002).

Já em turbinas de fluxo axial, o escoamento do fluido é paralelo ao eixo de rotação. Essas podem ser instaladas vertical ou horizontalmente e são adequadas para instalações de pequena carga. Um exemplo é a turbina Kaplan que possui pás articuladas, o que permite que o ângulo da pá seja adaptado de acordo com as alterações na carga (POTTER e WIGGERT, 2013).

A turbina Kaplan foi concebida no ano de (1912) pelo engenheiro austríaco Victor Kaplan (1876-1934) e são máquinas de eixo vertical ou horizontal que possuem pás móveis as quais permitem uma regulação de acordo com a vazão. São adequadas para operar em baixas quedas, normalmente entre 15 e 40

metros, porém com médias e altas vazões, com potências unitárias de 30 a 250 MW. Essas turbinas operam em uma ampla faixa de vazões. As usinas Kaplan podem auxiliar a acomodar reservatórios de menor tamanho quando usadas em configuração a fio d'água (ALSTOM, 2012). A configuração de pás ajustáveis e palhetas diretrizes permitem uma produção eficiente para uma vasta gama de quedas e vazões. Esse aspecto torna-se muito importante, visto que essas turbinas são frequentemente usadas em lugares em que a estação do ano interfere nas vazões e quedas dos rios. A potência unitária aumenta quando a configuração da turbina é vertical pois permite diâmetros de rotor muito maiores, mais de 10 metros, o que faz com que o número de unidades necessárias diminua (ALSTOM, 2012). A UHE Retiro Baixo usina em estudo, utiliza de duas turbina Kaplan potência de 82 MW. A Figura (1) apresenta a configuração de uma turbina Kaplan.



**Figura 1** – Configuração de uma turbina Kaplan (Fonte: VOITH)

## 2.2 Distribuidor Turbina Kaplan

O distribuidor é composto de uma série palhetas móveis, acionado por um mecanismo hidráulico montado na tampa da turbina. Todas as palhetas têm o seu movimento conjugado, isto é, todas se movem ao mesmo tempo e de maneira igual. O acionamento é feito por um ou dois pistões hidráulicos. O distribuidor controla a potência da turbina pois regula vazão da água. É um sistema que pode ser operado manualmente ou em modo automático, neste caso tornando o controle da turbina praticamente isento de interferência do operador.



**Figura 2** – Configuração de Distribuidor (Fonte: VOITH)

## 2.3 UHE Retiro Baixo

A UHE foi executada de acordo com as características técnicas definidas nos Estudos de Viabilidade aprovados por meio do Despacho ANEEL nº 1688, de 26 de outubro/2005, publicado no Diário Oficial de 27 de outubro de 2005.

No Leilão de Energia Nova (Edital nº. 002/2005) ocorrido em 16 de dezembro de 2005, foram vendidos 36MW médios em contratos de suprimento com início em 01 de janeiro de 2009 e duração de 35 anos, a um preço de R\$ 115/MWh referidos a dezembro de 2005.

O Contrato de Concessão de Geração No. 007/2006 – MME, com prazo de 35 anos, foi assinado em 15/08/2006.

O Decreto S/N, de 25 de julho de 2006, outorgou à empresa Orteng Equipamentos e Sistemas Ltda., a concessão de uso de bem público, para exploração do potencial hidráulico, por meio da usina denominada Usina Hidrelétrica Retiro Baixo, e sistema de transmissão de interesse restrito da central geradora, localizado em trecho do Rio Paraopeba, Municípios de Curvelo e Pompeu, Estado de Minas Gerais.

O Contrato de Concessão de Geração No. 007/2006 – MME- UHE Retiro Baixo, de 15 de agosto de 2006, regula a exploração do supracitado potencial pela empresa Orteng Equipamentos e Sistemas Ltda. na modalidade de Produtor Independente de Energia Elétrica. A Referida usina deverá ter potência instalada mínima de 82.000 kW.

A Resolução Autorizativa nº. 807 da ANEEL, datada de 06/02/2007 e publicada em 16/02/2007 no Diário Oficial da União, Seção I, página 144, anuiu com a transferência da concessão de geração de energia elétrica da UHE Retiro Baixo, outorgada à empresa Orteng Equipamentos e Sistemas Ltda., para a empresa Retiro Baixo Energética S.A., bem como com a reorganização societária desta empresa, sendo FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S. A. com 49,0%, ORTENG EQUIPAMENTOS E SISTEMAS LTDA 25,5 % ,LOGOS ENGENHARIA 15,5% (mais 1 ação) e ARCADIS LOGOS ENERGIA S.A 10,0 % (mais 1 ação) . Atualmente a gestão é composta da seguinte forma: CEMIG 49,9%, FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S. A. 49,0% e ORTENG 1,1% .

A Resolução Autorizativa nº. 1.141, de 04 de dezembro de 2007 declara de utilidade pública, para fins de desapropriação, em favor da Retiro Baixo Energética S/A, as áreas de terra necessárias à implantação da UHE Retiro baixo, localizadas nos municípios de Pompéu e Curvelo, Estado de Minas Gerais.

Em 10 de abril de 2008, foi assinado o Primeiro Termo Aditivo ao Contrato de Concessão de Geração No 007/2006 – MME adequando o instrumento contratual e formalizando a transferência para a Retiro Baixo Energética S/A, tornando-se a titular da concessão.

Conforme Resolução Autorizativa nº. 1.251 de 19 de fevereiro de 2008 e publicado no Diário Oficial da União, nº. 71, de 14 de abril de 2008, seção 3, página 76.

Em 22 de abril de 2009, foi assinado o Segundo Termo Aditivo ao Contrato de Concessão de Geração No 007/2006 – MME – UHE Retiro Baixo postergando as datas de entrada em operação comercial da 1ª unidade hidrogeradora para 01/01/2010 e da 2ª unidade hidrogeradora para 15/02/2010.

A Resolução Autorizativa nº. 1.803, de 10 de fevereiro de 2009 declara de utilidade pública, para fins de desapropriação, em favor da Retiro Baixo Energética S/A, as áreas de terra necessárias à passagem da Linha de

Transmissão UHE Retiro Baixo à Subestação de Curvelo 2 (Cemig), localizadas nos municípios de Pompéu e Curvelo, Estado de Minas Gerais.

Foi concedido pelo IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas - a Licença de Outorga de Uso dos Recursos Hídricos para o AHE Retiro Baixo através do Ofício de nº. OF.CE.GAB.001/2006-DG-DvRU de 06/03/2009, o Certificado de Outorga de direito de uso de águas públicas estaduais – Portaria 00508/2009 de 04/03/2009 - Processo10378/2008.

No dia 10/03/2009 foi dada a entrada no pedido para obtenção da Licença de Operação da UHE Retiro Baixo conforme Protocolo do Pedido:

FOBI 059305/2009 e Processo 00238/2003/003/2009.

Em 09 de Outubro de 2009, a ANEEL publicou no Diário Oficial da União, o despacho de nº3825, que aprovou o Projeto Básico da UHE Retiro Baixo.

Em 03 de Março de 2010, a ANEEL publicou no Diário Oficial da União, o despacho de nº500, que aprovou o início da operação comercial da unidade geradora UG1 da UHE Retiro Baixo.

Em 13 de Maio de 2010, a ANEEL publicou no Diário Oficial da União, o despacho de nº1346, que aprovou o início da operação comercial da unidade geradora UG2 da UHE Retiro Baixo. A figura abaixo apresenta as licenças concebidas para UHE Retiro Baixo, possibilitando sua operação comercial.

<b>Licenças</b>	<b>Número</b>	<b>Data</b>	<b>Validade</b>	<b>Órgão Emissor</b>
Licença Prévia	090/05	28/10/05	28/10/09	SEMAD/COPA M/FEAM
Licença de Instalação da UHE	156/00	10/11/06	10/11/10	SEMAD/COPA M/FEAM
Licença de Instalação para LT	FOBI 085845/2007	23/02/07	-----	SEMAD/FEAM
Declaração Utilidade Pública da UHE	1.141	4/12/07	-----	ANEEL (Resolução Autorizativa)
Radiocomunicação	2329/2008 MG	17/09/08	17/09/18	ANATEL
Declaração Utilidade Pública da LT	1.803	10/02/09	---	ANEEL (Resolução Autorizativa)
Outorga do Uso da Água	Portaria 00508/2009 Processo 10378/2008	06/03/09	<b>04/03/14 (*)</b>	IGAM Ofício CE.GAB.001/2006-DG-DvRU
Licença de Operação	Processo FOBI 059305/2009	10/03/09	<b>04/03/14 (*)</b>	SEMAD/FEAM Processo 00238/2003/003/2009
Supressão vegetal do reservatório e APP	OF/GAB/SE/COPAM N° 45/2009	02/07/09	-----	Processo IEF APEF n° 024480 e 024482
Supressão vegetal da LT	DAIA 0001592-D	28/05/09	28/05/10	IEF- Processo 09010000870/09
Resgate de Fauna	377/2009 NUFAS/MG	07/07/09	07/07/10	IBAMA/DBFLO Processo 02015.004181/2009-56
<b>Licenças</b>	<b>Número</b>	<b>Data</b>	<b>Validade</b>	<b>Órgão Emissor</b>
Aprovação do Plano de Assistência Social	Resolução N° 243/2009 CEAS/MG	29/06/09	-----	Conselho Estadual de Assistência Social

(\*) Em processo de renovação.

**Figura 3** – Quadro de Licenças da UHE Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2018).

### 2.3.1 Características Gerais do Empreendimento

#### 2.3.1.1. Localização

A UHE Retiro Baixo está implantada no rio Paraopeba, 400m a montante da sua confluência com o Ribeirão dos Gomes ou das Almas, na divisa dos

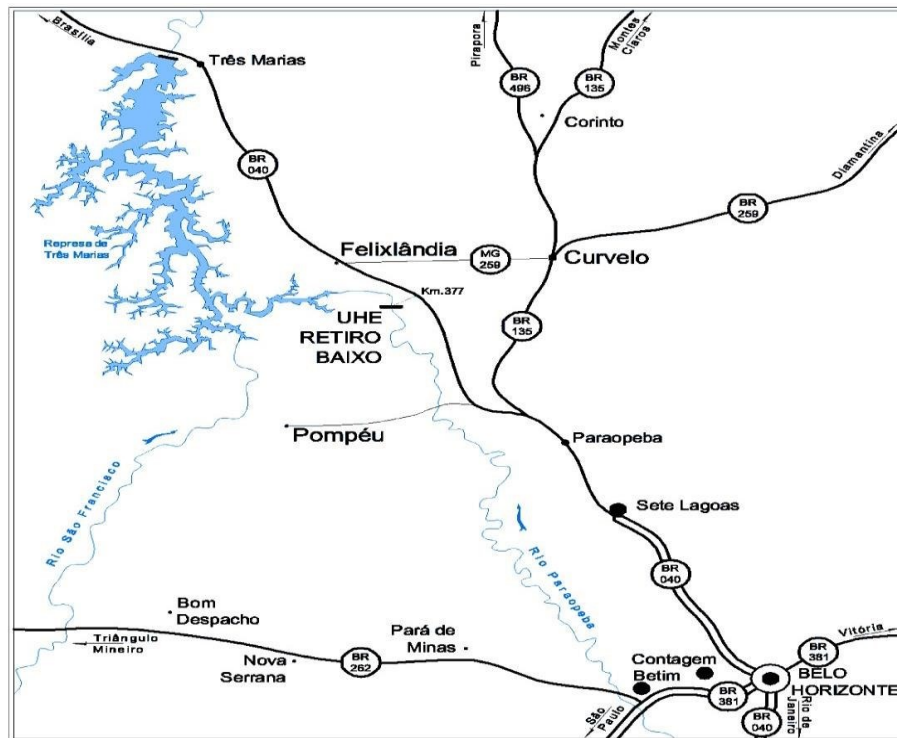
municípios de Pompéu e Curvelo, Estado de Minas Gerais. A Figura 4, apresenta uma foto panorâmica da UHE Retiro Baixo.

O eixo da barragem encontra-se situado nas coordenadas geográficas 18°53'40" de latitude sul e 44°46'54" de longitude oeste.



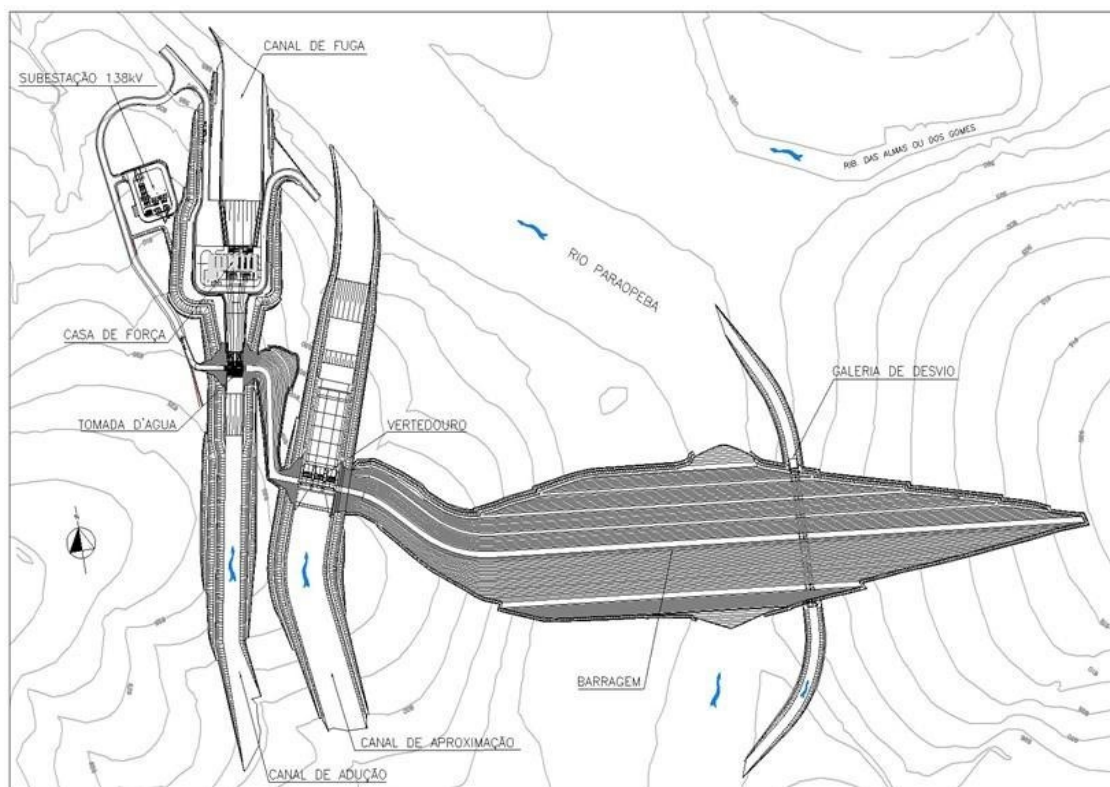
**Figura 4** –UHE Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2018).

A figura 5 apresenta o mapa da localização da usina e a Figura 6 é o desenho do arranjo geral do empreendimento, onde apresenta toda estrutura da Usina Hidrelétrica de Retiro Baixo.



**Figura 5** - Mapa de Localização do Empreendimento(Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2018).





**Figura 6.** - Arranjo Geral do Empreendimento (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo , 2018)

### 2.3.1.2. Parâmetros Físicos

Os parâmetros físicos de uma usina hidrelétrica permite conhecer mais a estrutura operacional dos equipamentos da mesma, exibindo os dados operacionais, permitindo conhecer os limites de cada equipamento e quanto podemos explorá-los. A Tabela 1 abaixo apresenta os parâmetros físicos dos equipamentos da UHE Retiro Baixo.

**Tabela 01:** Parâmetros Físicos UHE Retiro Baixo ( Fonte: Relatórios Operacionais da UHE Retiro Baixo).

• Potência (02 Geradores de 41.000 KW)	82.000 kW
• Fator de Potência Nominal	90%
• Energia Assegurada	38,5MW médios
• Tensão Nominal da Geração:	13,8 kV
• Duas Turbinas Hidráulicas de Eixo Vertical	Tipo Kaplan
• Queda Líquida de Projeto (vazão de 121,88 m <sup>3</sup> /s)	36,84m
• Descarga de Projeto do Vertedouro	3.945m <sup>3</sup> /s
• Descarga consolidada do Vertedouro	3.486 m <sup>3</sup> /s
• Reservatório	
Área c/ NA. Maximo Normal:	26,58 km <sup>2</sup>
Extensão	34 km
Largura Média	782 m

Profundidade Máxima	44,00 m
Profundidade Média	22,00 m
NA. Mínimo Normal	614,00 m
NA. Máximo Normal	616,00 m
NA. Máx maximorum	617,00 m
• Cota da Crista da Barragem	619,00 m
• Comprimento Total da Barragem Terra e Rocha (pela Crista)	1.351,67 m
• Volume Total de escavação em Terra e Rocha	2.016.110,00 m <sup>3</sup>
• Volume Total da Barragem de Terra e Enrocamento (aterro)	1.869.661,36 m <sup>3</sup>
• Volume de Concreto	70.770,00 m <sup>3</sup>
Vertedouro	24.875,00 m <sup>3</sup>
Tomada D'Água / Casa de Força / Subestação/outros	33.455,00 m <sup>3</sup>
Túnel de Desvio	12.440,00 m <sup>3</sup>
• Desvio em Galeria pela Margem Direita	02 seções: 6,5 x 3,5 m

## 2.4 Concepção Geral do Projeto

No arranjo geral apresentado na figura 06, observa-se que na margem direita estão localizadas a Galeria de Desvio do Rio e a Ombreira Direita da Barragem e na margem esquerda o Vertedouro, Circuito Hidráulico de Geração e a Ombreira Esquerda da Barragem. A UHE Retiro Baixo, é composta por diversas estruturas essenciais para o seu funcionamento. Dentre as estruturas é apresentada Galeria de Desvio, Canal de Aproximação do Canal de Desvio, Circuito Hidráulico de Geração, Canal de Adução, Tomada d'água, Conduto Forçado, Casa de Força, Comporta do tubo de Sucção, Pórtico Rolante da Casa de Força, Vertedouro, Barragem de terra e Enrocamento,, Instrumentação e Conexão do Sistema. Abaixo é apresentada a funcionalidade de cada componente que formam a UHE Retiro Baixo.

### 2.4. 1 Galeria de Desvio

O desvio do rio para a construção das obras do aproveitamento de Retiro Baixo foi concretizado através de uma galeria construída em concreto armado no trecho intermediário de um canal com extensão de 600m, escavado em solo e rocha, na margem direita.

A dimensão da galeria foi estabelecida de forma a conduzir a cheia afluyente, referente à vazão diária instantânea do período seco igual a 522,00

m<sup>3</sup>/s, correspondente a um período de recorrência de 50 anos e velocidade máxima de 10,00 m/s. Esta galeria possui o seu trecho intermediário em concreto armado com 182m de comprimento, correspondente à largura da base da seção transversal da barragem no seu eixo e seção total de 44,00 metros quadrados (2 vãos de 22,00 metros quadrados). A Galeria possui 8 módulos de 19,70m cada um, cujas juntas serão providas de veda-juntas duplo tipo 0-35.

No emboque, a galeria é provida de um portal de concreto, contendo comportas-vagão para seu fechamento. Após o fechamento das comportas, foi construído um tampão (rolha) de concreto com 10 m de comprimento.

#### **2.4.2 Canal de aproximação do Canal de Desvio**

O Canal de Aproximação, escavado em solo e rocha, foi construído em seção trapezoidal com 477,00 m de comprimento e 21,80 m de largura na base. Os taludes do Canal de Aproximação têm inclinações de 1,0 (H): 1,0 (V) e 1,0 (H): 0,5 (V), em solo e rocha respectivamente. As velocidades máximas para a vazão de desvio de 552 m<sup>3</sup>/s são, respectivamente, 0,98 e 1,05 m/s.

#### **2.4.3 Circuito Hidráulico de Geração**

O Circuito de Geração localiza-se na extremidade esquerda da Barragem, sendo constituído de um Canal de Adução, Tomada D'Água, Condutos Forçados, Casa de Força, Tubo de Sucção e Canal de Fuga.

#### **2.4.4 Canal de Adução**

O circuito de adução localiza-se na extremidade esquerda da barragem, sendo constituído de um Canal de Adução, Tomada D'Água e Condutos Forçados. O Canal de Adução tem as seguintes características principais:

**Tabela 02:** Características do Canal de Adução ( Fonte: Relatórios Operacionais da UHE Retiro Baixo).

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>TRECHO DE APROXIMAÇÃO</b>	<b>TRECHO RETILÍNEO</b>
Extensão (pela linha do eixo)	87,50 m	158,00 m
Largura da base (trecho em rocha)	35,00 m	13,50 m

Área da seção média	534,80 m <sup>2</sup>	535,00 m <sup>2</sup>
Vazão nominal	260,00 m <sup>3</sup> /s	260,00 m <sup>3</sup> /s
Velocidade média para a vazão nominal	0,5 m/s	0,5 m/s

#### 2.4.5 Tomada D'Água

A estrutura da Tomada D'Água construída em concreto estrutural e possui os equipamentos hidromecânicos necessários ao controle da adução nos Condutos Forçados, que são as grades, as comportas, as comportas de emergência (tipo vagão). Para a limpeza da grade provê um rastelo instalado em um pórtico móvel, que será também utilizado para a manutenção das comportas.



**Figura 7.** Tomada D'Água Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2018).

#### 2.4.6. Conduto Forçado

Os Condutos Forçados têm diâmetro unitário de 6.200 mm com vazão correspondente de 130,0 m<sup>3</sup>/s. A tubulação será apoiada em blocos de concreto espaçados a intervalos regulares. O comprimento em planta é 105,60 m, a sua

ancoragem será feita somente através de um bloco construído entre as estruturas da Tomada

D'Água e Casa de Força. Cada conduto possuirá uma junta de expansão instalada logo após a sua saída da Tomada D'Água.



**Figura 8.** Conduto Forçado Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2018).

#### **2.4.7. Casa de Força**

Os estudos energéticos, as condições hidráulicas (queda líquida e níveis operacionais) e geotécnicas (arranjo da Casa de Força) levaram à seleção de um conjunto de 02 (duas) turbinas Kaplan.





**Figura 9.** Casa de Força Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2018).

#### **2.4.8 Comporta do Tubo de Sucção**

A comporta tipo vagão serve para o fechamento do Tubo de Sucção das turbinas na Casa de Força para manutenção. A comporta é formada por painéis, construídos em aço estrutural soldado, com paramento e vedação de montante. Deverá ser do tipo deslizante para operação em águas equilibradas, com válvula de enchimento (“by-pass”).



**Figura 10.** Comporta do Tubo de Sucção Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2018).

#### 2.4.9 Pórtico Rolante da Casa de Força

O pórtico rolante da Casa de Força utilizado também para montagem, operação e manutenção das unidades geradoras, com extensão de 15,00 m, capacidade no gancho principal de 1.300 kN (130 t) e no gancho auxiliar 150 kN (15 t).



**Figura 11.** Pórtico Rolante da Casa de Força Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2018).

#### 2.4.10 Vertedouro

O Vertedouro localiza-se na ombreira esquerda, e é constituído por um Canal de Aproximação escavado em solo e rocha, estrutura de controle, calha de drenagem terminando em salto de esqui, Bacia de Dissipação e Canal de Restituição. O Canal de Aproximação tem comprimento de 220,00 m, com largura da soleira de fundo de 55,00 m, na elevação constante de 598,00 m.

O Vertedouro é do tipo ogiva baixo dotado de 3 (três) comportas de segmento, de 13,30 m de largura e 15,01m de altura, tendo o dimensionamento sido efetuado para a descarga de cheia máxima efluente de 3.486 m<sup>3</sup>/s, equivalente a um período de recorrência de 10.000 anos.

O Vertedouro tem 4 (quatro) blocos contíguos, separados por juntas de contração, formando um conjunto de 3 (três) vãos, separados por 2 (dois) pilares de 4,00 m de espessura. A largura total do Vertedouro é de 52,00 m.

Na parte superior desta estrutura localiza-se uma ponte, construída por vigas de concreto pré-moldadas, sobre a qual se desloca um pórtico rolante, através de caminho de rolamentos de trilhos para posicionamento das comportas vagão, durante os períodos de manutenção das comportas de segmentos.



**Figura 12.** Vertedouro Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2018).





**Figura 13.** Vertedouro Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2018).

#### **2.4.11 Barragem de Terra e Enrocamento**

A definição da seção típica da Barragem foi feita levando em consideração os materiais disponíveis na obra, principalmente os provenientes das escavações obrigatórias e das condições de fundação do maciço.

A Barragem da Margem Direita apresenta uma seção típica mista de terra e enrocamento, com um filtro de areia inclinado, acoplado a um tapete drenante e assentada sobre uma fundação constituída de solo residual medianamente permeável ( $k=6,0 \times 10^{-5}$  cm/s). A altura da barragem nesta seção é de 29,0 m (estaca 15+00). A Barragem no Leito do Rio apresenta seção típica semelhante à anteriormente descrita, assentada sobre fundação em rocha e com altura de 44,0 m (estaca 25+00).

A Barragem da Margem Esquerda, com seção típica semelhante às anteriores, está assentada sobre o solo residual, pouco permeável ( $k = 1,7 \times 10^{-6}$  cm/s) e com altura de 22,0 m.



**Figura 14.** Barragem de Terra Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2018).



**Figura 15.** Barragem de Terra Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2018).

#### **2.4.12 Instrumentação**

Com o objetivo de se observar o comportamento da Barragem e sua fundação, durante e após a construção, nove seções foram escolhidas para a instalação de instrumentos de auscultação, sendo: quatro na margem direita com fundação em solo, uma no leito do rio, com fundação em rocha e quatro na

margem esquerda com fundação em solo. A Figura 16 apresenta os Piezômetros da UHE Retiro Baixo.

Basicamente os instrumentos a serem instalados são:

- Piezômetro tipo Casagrande; □ Medidor de Recalque Magnético;
- Marco de Deslocamento Superficial.



**Figura 16.** Leitura dos Piezômetro Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2019).

#### **2.4.13 Conexão ao Sistema**

A Usina está conectada ao Sistema Interligado Nacional através de uma Linha de Transmissão em 138 kV, com extensão aproximada de 43 km, interligando a Subestação da Usina com a Subestação de Curvelo II, de propriedade da CEMIG, localizada no município de Curvelo – MG.



**Figura 17.** Subestação UHE Retiro Baixo(Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2018).

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

Para atingir o objetivo principal deste trabalho, foi iniciado o estudo do regulador de velocidade da UHE Retiro Baixo. O regulador de velocidade realiza o comando de abertura ou fechamento do distribuidor ou bico injetor das turbinas hidráulicas Kaplan, regulando a vazão da água que chega ao rotor da turbina. Foi realizado pela empresa de operação e manutenção da usina, uma análise no regulador de velocidade da UHE Retiro Baixo, verificando as condições das pás da turbina, cubos e anéis. Um diagnóstico nas palhetas do distribuidor foi realizado verificando as falhas, e os espaços, para ser realizado o estudo de melhorias. A princípio, a empresa de operação e manutenção tinha uma ideia de mudar a configuração do distribuidor, verificando a possibilidade de uma movimentação menor nas palhetas, porém, ao explicar o projeto inicial, foi verificado que não é dessa forma que se resolve o problema. Portanto foi criado um simulador pela empresa de operação e manutenção, que consiste em abordar diferentes condições de operações do sistema (partida, parada e rejeição de carga) e proporcionar ao usuário o controle das variáveis do processo: potência ativa, velocidade, frequência e abertura. Foi elaborado um manual de operação para utilização do simulador no qual são demonstradas as sequências de operação e uma explicação das funções executadas pelo regulador de velocidade.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

De acordo com o relatório da empresa, foram realizadas medições das palhetas do distribuidor, verificando onde está configurado o maior problema de espaço entre as mesmas. Realizando um estudo aprofundado da Turbina Kaplan e do sistema do regulador de velocidade, a empresa de operação e manutenção para apresentar a proposta de melhoria para o giro indevido, descreveu os seguintes conceitos.

### **4.1 Regulador de Velocidade**

Dentre os subsistemas que atuam conjuntamente com a turbina hidráulica, o regulador tem a função principal de atuar no sentido de aumentar ou diminuir a potência gerada pela turbina quando a velocidade angular ou frequência se afasta do valor de referência. Em função da demanda do sistema, o sistema regulador da turbina atua sobre a posição das pás do distribuidor controlando a abertura e conseqüentemente a vazão de água que chega ao rotor. O regulador de velocidade está constituído por um conjunto de dispositivos e mecanismos que detecta qualquer que seja a variação de velocidade do eixo da turbina e a corrige através, por exemplo, da variação de posição dos servomotores (atuador hidráulico), que age sobre o anel distribuidor que está interligado às pás direcionais da turbina Kaplan. No projeto do regulador de velocidade, há um ponto que é conhecido como ponto de operação sem carga, e que é o ponto específico de abertura das pás do distribuidor, previsto pelo projeto, que determina o ponto onde o sistema gera força suficiente apenas para vencer os esforços de atritos associados com a rotação da turbina.

### **4.2 Funcionamento do Regulador de Velocidade da UHE Retiro Baixo.**

#### **4.2.1 Malhas de Controle Automático**

Quando operando em modo automático, o Regulador de Velocidade (RV), ativa uma das malhas de controle descritas a seguir. Enquanto uma das malhas está ativa, todas as demais ficam em modo “seguidor”, inclusive as malhas do modo



manual. Esta característica garante que a transição de uma malha de controle para outra ocorra de forma suave e transparente, sem causar oscilações na UG.

#### **4.2.2 Controle de Velocidade**

Esta malha de controle fica ativa na partida, operação em vazio e na operação em rede isolada. Se a rede em que o gerador estiver ligado for um sistema isolado, obrigatoriamente esta malha permanecerá ativa, pois é necessário regular a frequência do sistema. Entretanto, quando fornecendo energia numa rede interligada de grande porte, há no regulador outras malhas automáticas mais convenientes, que serão explicadas adiante. Esta malha de controle dispõe dos recursos de estatismo permanente e transitório, que são sinais estabilizadores imprescindíveis para a operação da unidade. A operação da UG em barra morta também é executada pelo controle de velocidade já que, conceitualmente, a operação em barra morta é idêntica à rede isolada.

#### **4.2.3 Controle de Potência**

O controle de potência só é ativado quando o gerador está conectado a uma rede interligada de grande porte, uma vez que nesta situação a frequência do sistema elétrico é muito bem definida e praticamente invariante. Nestas condições o RV controla a potência ativa gerada sem se preocupar em regular a frequência do sistema, porém o controlador monitora continuamente a velocidade para que em caso de necessidade, possa atuar no sentido de proteger a UG ou realizar a transferência de modo de controle.

#### **4.2.4 Controle de Abertura**

A malha de abertura é uma alternativa à malha de controle de potência, que também opera somente com o gerador conectado a um sistema interligado de grande porte. Neste modo de controle o RV faz a tomada de carga da unidade através da abertura do distribuidor, sendo que a potência ativa gerada fica em malha aberta. Normalmente este modo de controle somente é utilizado quando o sinal de potência está muito oscilatório (exigindo um esforço de controle muito grande, o que significa excesso de atuação das válvulas proporcionais e de

movimentação dos servomotores) ou quando o transdutor de potência apresenta algum defeito.

#### **4.2.5 Controle de Aceleração**

Esta malha de controle é programada para atuar somente na partida da UG, mantendo constante a sua aceleração. Isto permite um processo de partida controlado, suave e sem overshoots. Após a partida da unidade esta malha fica totalmente desativada.

### **4.3 Controle Manual**

O regulador de velocidade possui malhas de controle manual. Normalmente a operação da UG será sempre executada pelos controladores automáticos, porém em algumas situações específicas o controle manual se faz necessário. O controle manual permite a execução de alguns ensaios comuns, de forma simples e direta. Alguns desses ensaios são os ajustes dos transdutores de posição do distribuidor e das pás do rotor, e a medida dos tempos de abertura e fechamento dos servomotores.

#### **4.3.1 Controle Manual de Abertura do Distribuidor**

Controla somente a abertura do distribuidor, porém o RV continua a monitorar os sinais de velocidade e potência, gerando alarmes se for o caso.

#### **4.3.2 Controle Manual de Abertura das Pás do Rotor**

Este controle possibilita posicionar livremente as pás do rotor, ou seja, o RV deixa de seguir a curva de conjugação estabelecida, ficando a cargo do operador o correto posicionamento das mesmas.

## **4.4 Partida e Parada das Unidades Geradoras**

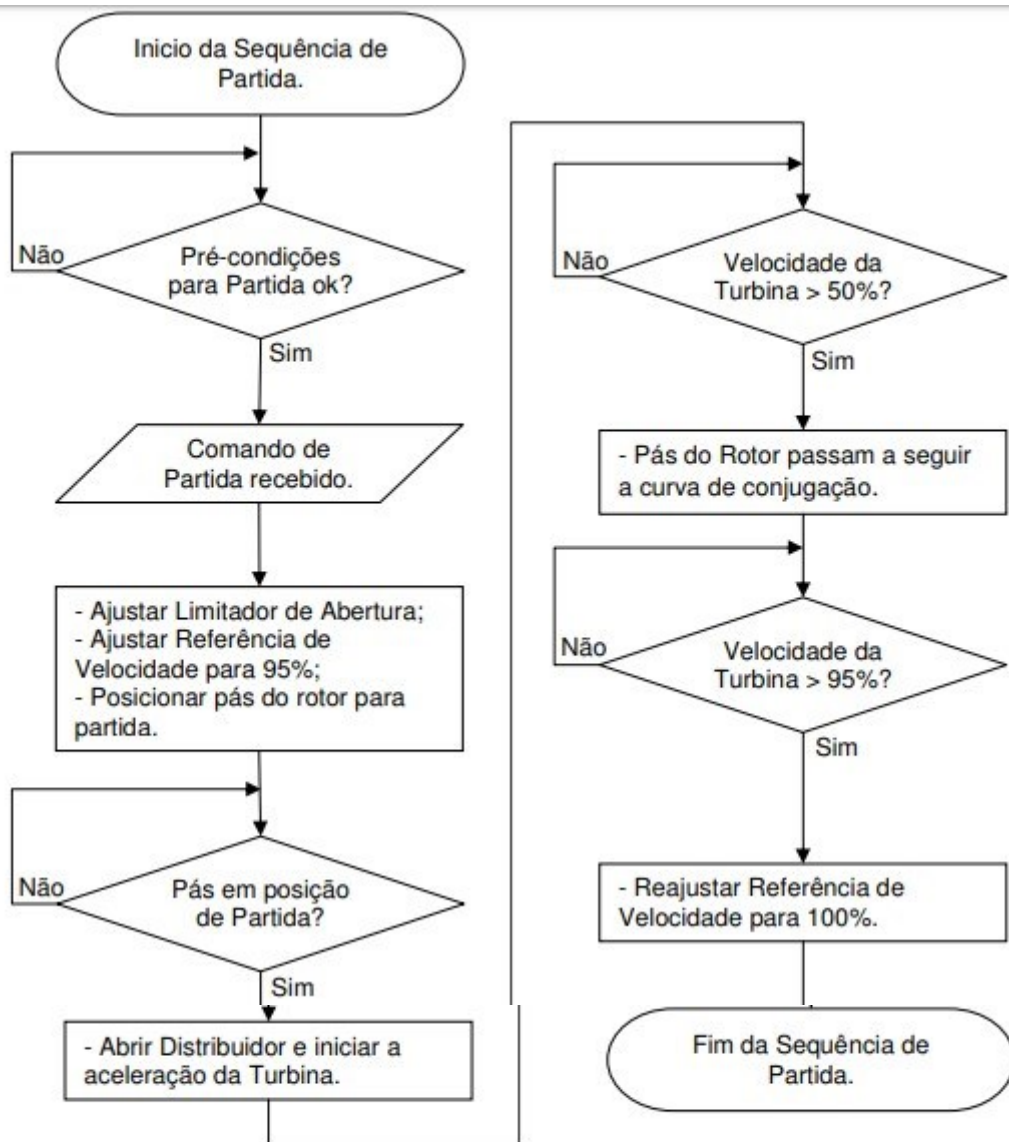
### **4.4.1 Pré-condições de Partida**

Para que o RV possa executar a partida da unidade, algumas pré-condições devem ser previamente satisfeitas, dando permissão para partir. Normalmente o SDSC faz a verificação de todas as condições externas para partida (verificação de estado de disjuntores, seccionadoras, pressão de sistemas auxiliares, comportas, travas, etc.), entretanto o RV também faz a verificação de alguns sinais específicos do sistema de regulação. As pré-condições básicas que o regulador verifica antes de permitir o arranque da turbina são: velocidade nula (ou seja, máquina parada), distribuidor e pás do rotor fechadas e disjuntor de grupo aberto. O estado do controlador programável também é verificado, buscando eventuais falhas de hardware, comunicação, etc.

### **4.4.2 Sequência de Partida**

A partida automática do regulador de velocidade consiste numa série de operações executadas numa ordem bem definida, de forma a levar a turbina até sua rotação nominal de maneira automática e suave. Esta sequência termina quando a velocidade se estabiliza no valor ajustado de rotação nominal. O fluxograma seguinte ilustra essa sequência de operações para efetuar a partida da unidade geradora até a condição de marcha a vazio.

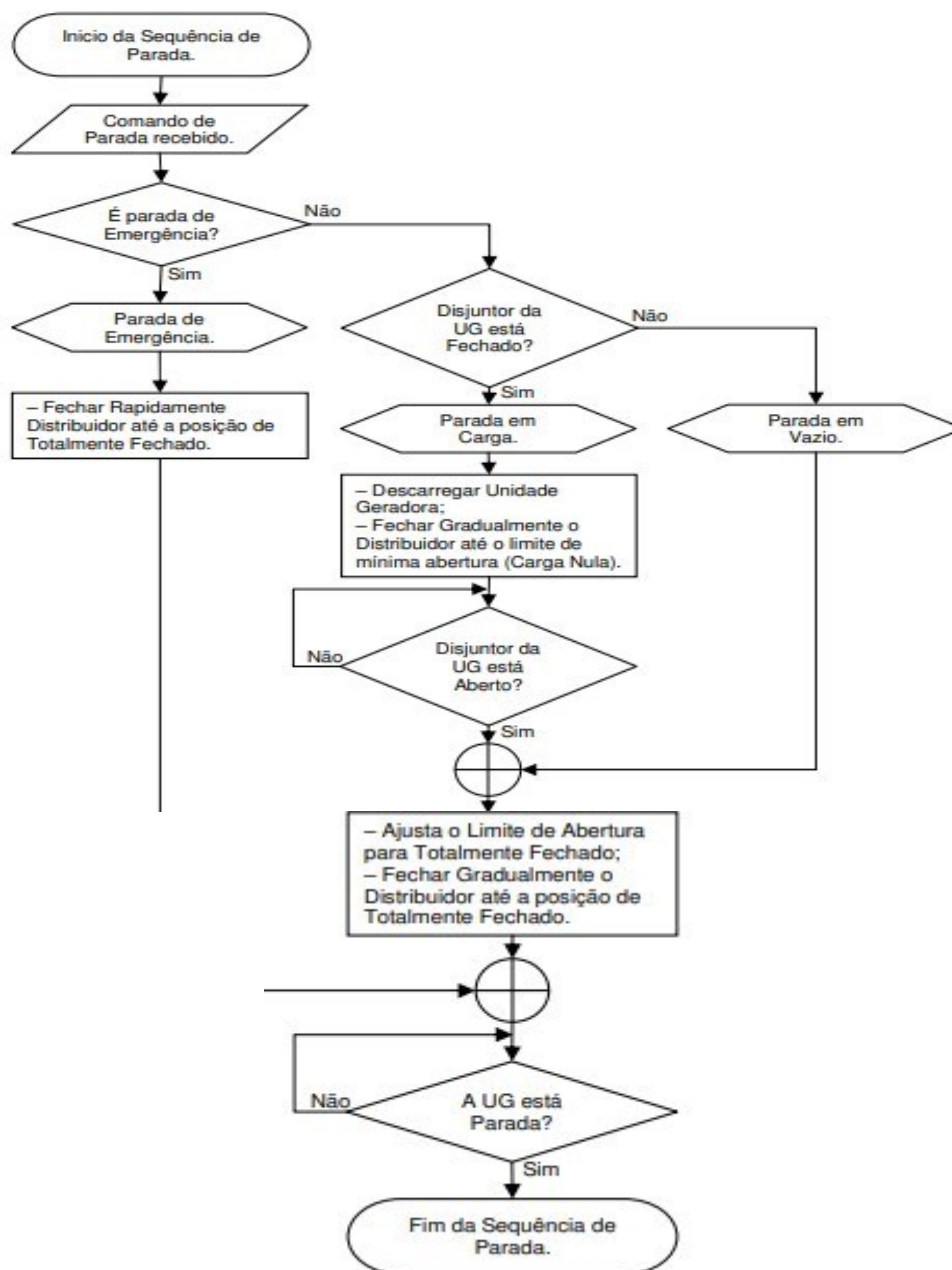




**Figura 18.** Fluxograma Sequência de Partida UHE Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2018).

#### 4.4.3 Sequência de Parada

As sequências de parada programadas no RV podem ter início em diferentes condições operativas, e dependendo deste estado o controlador executará diferentes sequências de operações. Estas diferentes sequências estão descritas nos itens a seguir. Note que o comando de parada foi concebido para não poder ser cancelado, por razões de segurança.



**Figura 19.** Fluxograma Sequência de Parada UHE Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2018).

#### 4.5 Estudo e Identificação das Folgas das Palhetas do Distribuidor

Após o estudo do regulador de velocidade, é possível apresentar os resultados obtidos com a execução da atividade, na investigação das causas do giro indevido no processo de partida das unidades geradoras. Para inspeção e medição das falhas das palhetas do distribuidor, foi necessário a drenagem total das unidades geradoras, esse procedimento é bem delicado, uma vez que é necessário de equipe técnica capacitada para realização do trabalho. Inserido stop log's jusante, iniciadas as manobras de drenagem da unidade. Com a

drenagem da unidade seguiu-se para as inspeções na sucção, com atenção para a verificação de pontos de cavitação nas pás do rotor e região do anel de desgaste, foram inspecionadas visualmente as pás em suas zonas de maior probabilidade de ocorrência da cavitação que são os lados inferiores onde se concentram as regiões de subpressão, as bordas de saída da água (pontas das pás), as bordas de desgastes das laterais de vedação com o esférico e a região do cubo das pás; todos estes pontos não possuem sinais de cavitação severa, apenas pequenas marcas com pouquíssima sombra de cavitação nas bordas de saída da água. No anel de desgaste também não foram encontrados pontos de cavitação ou erosão, apenas alguns pontos localizados de oxidação do aço carbono. Após a inspeção da sucção a escotilha de acesso foi fechada. Em seguida foram realizadas as medições de folga das palhetas em suas faces de contato e vedação e entre espelhos. No distribuidor foram encontradas folgas entre palhetas de dimensões consideráveis permitindo a passagem de grande fluxo de água, podendo sim ser o causador do giro indevido no processo de partida da unidade. As figura 20 apresenta o desgastes nas pás, cubos e anel das turbina da UHE Retiro Baixo.



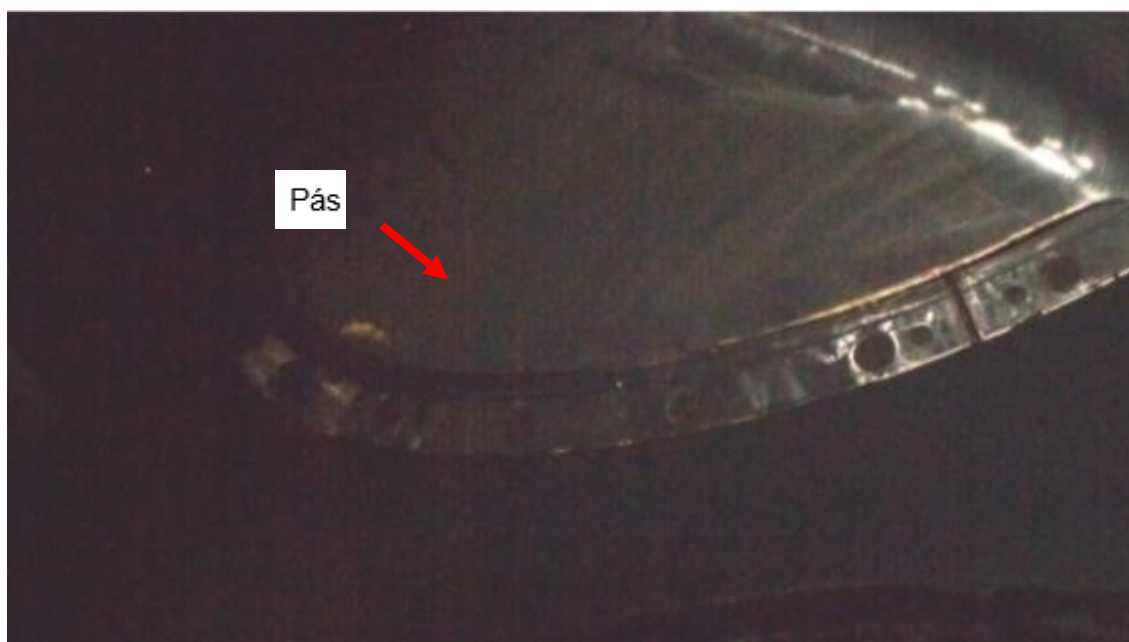
**Figura 20.** Pás, Cubo e Anel de Desgaste da Turbina da UHE Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2019).

A figura 21, exibe a pá da turbina Kaplan da UHE Retiro Baixo, informando que não possui sinal de cavitação e oxidação no seu material.



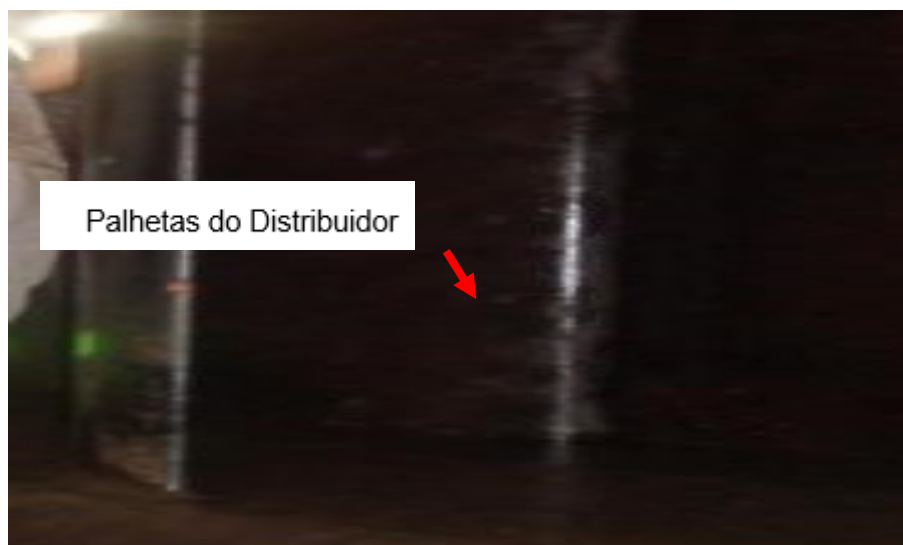
**Figura 21.** Pás, Cubo e Anel de Desgaste sem sinal de cavitação e oxidação (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2019).

A figura 22, apresenta, Pás em ótimo estado e pequenos pontos localizados de oxidação na junção do anel de desgaste. Cubo e sobrepostas em perfeito estado, sem sinais de degradação



**Figura 22.** Pás da Turbina Kaplan da UHE Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2019).

As figuras 23 e 24, exibe a medição das folgas das palhetas do distribuidor, informando qual a quantidade que devemos trabalhar para impedir a passagem de água.



**Figura 23.** Palhetas do distribuidor da UHE Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2019).



**Figura 24.** Palhetas do distribuidor da UHE Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2019).

Foi observado que durante a drenagem, com o conduto forçado já drenado, foi verificado que retornava água da sucção para o conduto por meio das folgas das palhetas, este fluxo foi diminuindo de acordo que o nível de água da sucção ia baixando. As figuras 25 e 26, apresentam o fluxo de água passando pelas falhas das palhetas, ocasionando o giro indevido nas unidades geradoras da UHE Retiro Baixo.



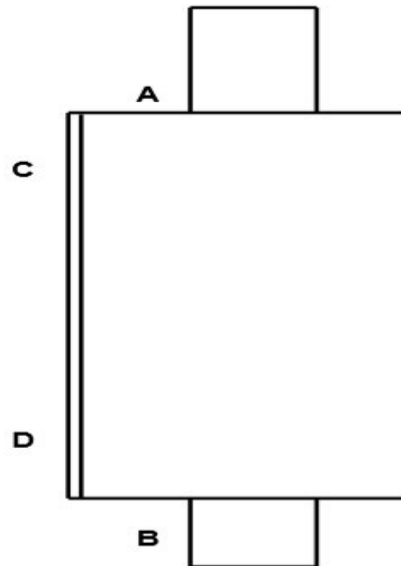


**Figura 25.** Fluxo de água nas falhas das palhetas do distribuidor da UHE Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2019).



**Figura 26.** Fluxo de água nas falhas das palhetas do distribuidor da UHE Retiro Baixo (Fonte: Documentos Operacionais da UHE Retiro Baixo, 2019).

Observado a entrada de água pelas palhetas do distribuidor, foi realizado a medição das folgas da mesma da unidade geradora 01, relatando o problema, a tabela 3 informa os valores medidos das folgas e exibe uma estrutura de uma palheta.



**Tabela 03:** Medição das Folgas da Palheta Unidade Geradora 01.

PALHETA	A	B	C	D
<b>Milímetros</b>				
1	0	0	0	0,25
2	0	0,1	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0,1	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0,1	0	0
10	0	0,1	3,5	3,5
11	0	0	2,5	2,5
12	0	0,1	0	0
13	0	0	0	0
14	0	0	0,1	0,4
15	0	0,1	0,15	0,4
16	0	0	0	0
17	0	0	0	0
18	0	0	0	0
19	0	0	1	1,1

20	0	0	1,55	1,55
21	0	0	0,15	0,4
22	0,1	0	0	0
23	0,05	0	0	0
24	0,1	0	0	0,6

Com as medições é possível observar que em certos pontos das palhetas há folgas, o que permite a passagem de água, com a passagem dessa água a unidade geradora apresenta no processo de partida automático um giro indevido, giro este que impossibilita a continuidade do processo, causando o bloqueio da unidade, sendo, portanto, possível à partida somente pelo modo convencional local passo a passo.

Este giro indevido provoca demora no tempo de reestabelecimento da unidade, conseqüentemente transtornos operacionais. Mecanicamente este vazamento excessivo, leva a um tempo maior de parada da unidade, maior desgaste das sapatas de freio, criando assim o risco de perda de controle podendo vir a ficar sem freio por uma falha do sistema de aplicação automática do freio, e ou, do sistema de ar comprimido.

Quanto à sucção, não apresenta desgastes severos, não possui cavitação acentuada nas pás, cubos e anel de desgaste, também não possui arrancamento de material da cobertura do anel de desgaste.

Em toda a região das pás, cubos e anel de desgaste ainda é presente as marcas de lixamento provenientes da última recuperação realizada em 2015, portanto em ótimo estado de conservação. Este fluxo constante nas palhetas leva a uma concentração maior da ictiofauna no interior da sucção, podendo vir a causar mortandade, pois o fluxo funciona como uma corredeira natural do rio fazendo com que os peixes se aglomerem e permaneçam neste lugar na tentativa de passagem, se ferindo e morrendo, fluxo este comprovado com a inspeção subaquática por mergulhadores contratados pelo consórcio proprietário da usina.

O vazamento excessivo pelas palhetas do distribuidor acarreta em desperdício de potencial energético, com desperdício da matéria prima. É necessário que se faça a correção das folgas das palhetas, arredondamento e conferência do esmagamento das palhetas do distribuidor, com a devida parametrização do regulador de velocidade.



Com o resultado da medição e a comprovação do causador do giro indevido, vai ser realizado uma manutenção com a empresa fabricante do distribuidor, onde eles vão readequar as palhetas e promover testes operacionais que impossibilitem que essas folgas vem a ocorrer novamente. Observando como esse problema influencia diretamente no comportamento de parada e partida das unidades geradoras da UHE Retiro Baixo, foi realizado testes e verificado, se mudasse a lógica de sequência de partida e parada, a usina poderia ser interligada automaticamente novamente.

Este procedimento visa alteração provisória na sequência de partida da UG01 devido a condição especial em função de giro indevido da UG01 logo após a retirada dos freios mesmo com o distribuidor ainda fechado e travado. Diante deste fato foi necessário alterar a sequência da lógica de partida da unidade para reduzir o intervalo de tempo entre a retirada dos freios e o acionamento do regulador de velocidade. Nesta condição a operação da UG é possível somente no modo convencional pela galeria elétrica. Essa condição será mantida até análise de engenharia e intervenção no sistema para evitar o giro indevido. A UG só deve iniciar o giro por ação do regulador de velocidade condição atual não atendida pela UG01. As análises e medições realizadas pela empresa de operação e manutenção constataram folgas entre palhetas do distribuidor de dimensões consideráveis permitindo a passagem de grande fluxo de água, situação que provavelmente é a causa do giro indevido no processo de partida da unidade.

Detalhamento da mudança da lógica de partida e parada da unidade geradora 01 da UHE Retiro Baixo.

### **Sequência normal de partida da unidade geradora 01.**

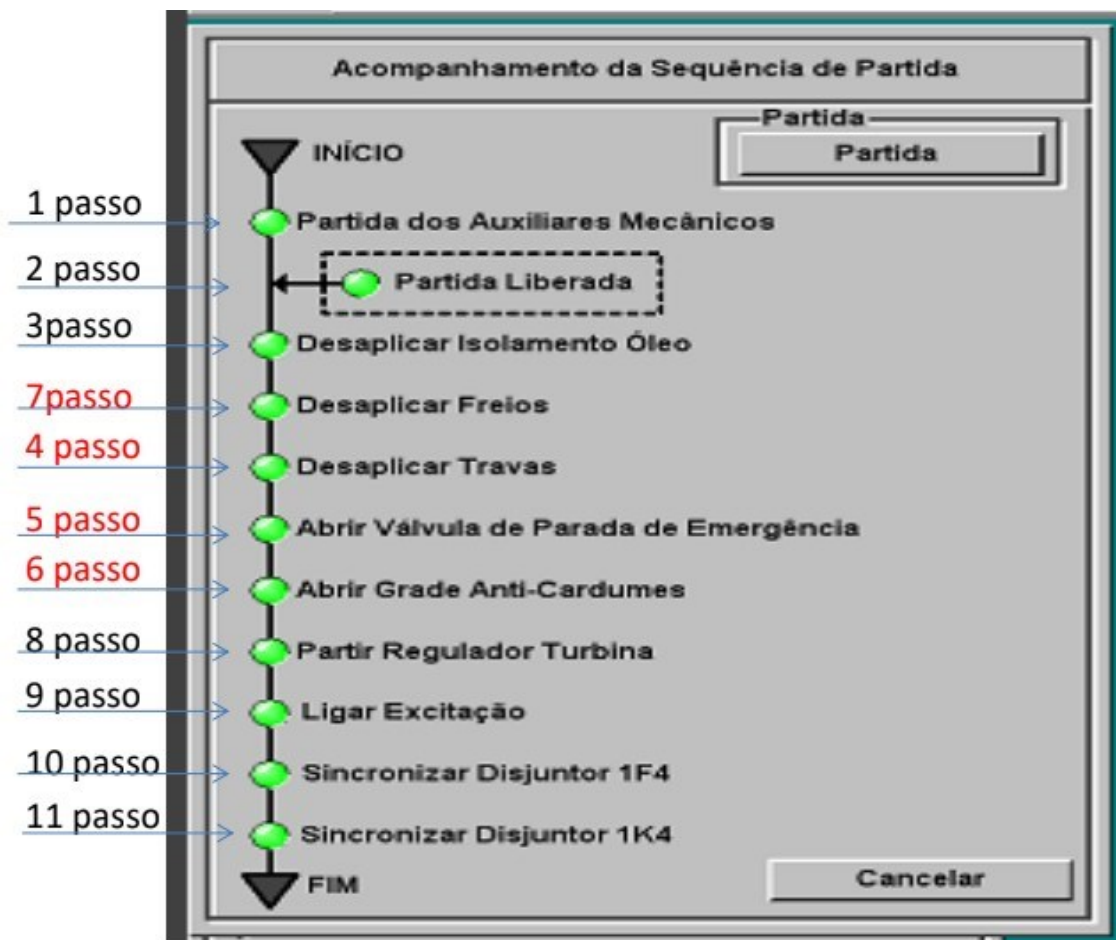
Nesta sequência devido ao giro indevido logo após a retirada dos freios (passo 4) a UG entra em movimento mesmo ainda com o distribuidor fechado e travado. Condição que motiva a atuação de proteção antes do acionamento do RV (passo 8).



**Figura 27.** Acompanhamento da sequência de partida UHE Retiro Baixo (Fonte: Sistema de Supervisão e Controle UHE Retiro Baixo, 2019).

Sequência de partida da UG com alteração para evitar o giro indevido adotada atualmente após estudos realizados para correção imediata desta falha.

Nesta sequência os freios são mantidos até o (passo 6). Logo após a retirada dos freios (passo 7) o RV é acionado (passo 8), condição que evita o giro indevido.



**Figura 28.** Sequência de partida UHE alterada para evitar o giro indevido. (Fonte: Sistema de Supervisão e Controle UHE Retiro Baixo, 2019).

É possível observar que a solução adotada é provisória, visto que com o problema identificado, o consórcio da UHE Retiro Baixo, vai acionar a equipe técnica construtora do equipamento, para realizar os estudos propostos. Verificação e modelagem das palhetas evitando essas folgas que permitem a passagem de água, e faz com que ocorra o giro indevido.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema elétrico passa por diversas perturbações durante seu funcionamento, ocasionando perdas, e influenciando nos indicadores de desempenho das usinas. Usinas Hidrelétricas vivem em constante processo de manutenções, permitindo sempre verificar falhas e corrigi-las a tempo de não causar danos maiores. Para evitar que UHE Retiro Baixo, fosse penalizada e tivesse seus indicadores de desempenho alterados, foi realizados estudos no

distribuidor e regulador de velocidade da Unidade Geradora 01, para propor uma forma de manter o funcionamento com os devidos cuidados de segurança operacional e de pessoas. Depois da identificação das falhas e das medições apresentadas, é possível explicar com clareza o problema do giro indevido, e propor alteração na sequência de partida e parada da máquina, sem que ocorra danos ou comprometa os equipamentos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Atlas de Energia Elétrica do Brasil 3ª Edição, 2008. Disponível em <[www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br)>. Acesso em 2019.
- 2 BAZANELLA, A. S. Métodos Analíticos para Síntese de Controlados em Sistema de Potência. Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.
- 3 POTTER, M. C. e WIGGERT, D. C. Mecânica dos Fluidos. Tradução da 3ª Edição Norte Americana. Cengage Learning, 2013
- 4 MASSEY, B. S. Mecânica dos Fluidos. Serviço de educação e bolsas, Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa, 2002
- 5 STREETER, V. L. Mecânica dos Fluidos. Tradução de Celso da Silva Muniz e outros. McGraw Hill do Brasil. São Paulo, 1909.
- 6 UHE RETIRO BAIXO, Arquivo físico e digital, acesso em 2019.
- 7 ONS- Operador Nacional do Sistema Elétrico, Disponível em <<http://ons.org.br>>. Acesso em 2019.

## ANEXO 1

O anexo 1 apresenta os indicadores de desempenho apresentados no RAD, a descrição de cada indicador e a formula de cálculos.

### 1. DISPONIBILIDADE

Disponibilidade total da Usina é dada pelo somatório da multiplicação entre a potência de cada uma das unidades geradoras e o número de horas que ela está disponível dividido pelo somatório da mesma potência, sendo cada uma multiplicada pelo respectivo número total de horas de existência da unidade geradora no período de estudo, sendo dada em porcentagem. É o valor calculado em horas, da quantidade de tempo que as unidades geradoras ficaram disponíveis para o sistema elétrico.

O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), determina por meio do Relatório de Avaliação de Desempenho da Manutenção de Equipamentos (RAD), o desempenho das usinas em relação ao indicador, informando se o valor de disponibilidade está na faixa satisfatória ou insatisfatória para o ano referente do estudo, por meio desse documento é possível obter as informações do desempenho operacional da usina. A Agência Nacional de Energia Elétrica, estabelece os valores inferiores e superiores de satisfação do indicador, conforme resolução de 17/10/2008 Resolução Autorizativa nº 1601/08, que estabeleceu os critérios de avaliação dos procedimentos de rede, que proporciona toda base teórica dos indicadores de desempenho.

#### 1.1 CÁLCULO DO ÍNDICE DE DISPONIBILIDADE

##### – DISPONIBILIDADE

O cálculo do indicador é baseado no Relatório de Avaliação de Desempenho da Manutenção de Equipamentos – (RAD) emitido pelo ONS, a partir dos dados informados no SAMUG. O método de de cálculo é definido pelo Submódulo 25.8, conforme abaixo:

$$ID = \frac{\sum_{i=1}^N HD_i}{\sum_{i=1}^N HP_i} \times 100$$

Onde:

ID = valor expresso em percentual;

H<sub>D</sub><sub>i</sub> = número de horas disponíveis do equipamento i;

H<sub>P</sub><sub>i</sub> = número total de horas do equipamento i no período de apuração considerado;

N = número total de equipamentos;

I = contador do número de equipamentos.

## 2. Indisponibilidade para Manutenção Programada– INDISPMP.

Indisponibilidade para Manutenção Programada é o percentual do tempo durante o qual as unidades geradoras permaneceram fora de serviço para manutenção programada. O valor é calculado em horas e indica a quantidade de horas que as unidades geradoras ficaram indisponíveis para o sistema devido alguma manutenção programada. O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), determina por meio do Relatório de Avaliação de Desempenho da Manutenção de Equipamentos (RAD), o desempenho das usinas em relação ao indicador, informando se o valor de indisponibilidade está na faixa satisfatória ou insatisfatória para o ano referente do estudo, por meio desse documento é possível obter as informações do desempenho operacional da usina. A Agência Nacional de Energia Elétrica, estabelece os valores inferiores e superiores de satisfação do indicador, conforme resolução de 17/10/2008 Resolução Autorizativa nº 1601/08, que estabeleceu os critérios de avaliação dos procedimentos de rede, que proporciona toda base teórica dos indicadores de desempenho.

### 2.1 CÁLCULO DA INDISPONIBILIDADE PARA MANUTENÇÃO PROGRAMADA

#### INDISPONIBILIDADE DE MANUTENÇÃO PROGRAMADA

O cálculo do indicador é baseado no Relatório de Avaliação de Desempenho da Manutenção de Equipamentos – (RAD) emitido pelo ONS, a partir dos dados informados no SAMUG. O método de de cálculo é definido pelo Submódulo 25.8, conforme equação abaixo:

$$INDISPMP = \frac{\sum_{i=1}^N HIX_i}{\sum_{i=1}^N HPI_i} \times 100$$

Onde:

INDISPMP = valor expresso em percentual;

HIXi = número de horas indisponíveis do equipamento i, para manutenção.

Utiliza-se

HIXi = HIDMPi para número de horas indisponíveis do equipamento i para manutenções programadas.

HPi = número total de horas do equipamento i no período de apuração considerado.

N = número total de equipamentos.

I = contador do número de equipamentos

### 3. Indisponibilidade de Manutenção Forçada– INDISPMF

Indisponibilidade de Manutenção Forçada é o percentual de tempo durante o qual as unidades geradoras permaneceram fora de serviço devido um deligamento forçado ou outro fator que não estava programado para indisponibiliza- las. O valor é calculado em horas e indica a quantidade de horas que as unidades geradoras ficaram indisponíveis para o sistema devido um desligamento forçado. O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), determina por meio do Relatório de Avaliação de Desempenho da Manutenção de Equipamentos (RAD), o desempenho das usinas em relação ao indicador, informando se o valor de indisponibilidade está na faixa satisfatória ou insatisfatória para o ano referente do estudo, por meio desse documento é possível obter as informações do desempenho operacional da usina. A Agência Nacional de Energia Elétrica, estabelece os valores inferiores e superiores de satisfação do indicador, conforme resolução de 17/10/2008 Resolução Autorizativa nº 1601/08, que estabeleceu os critérios de avaliação dos procedimentos de rede, que proporciona toda base teórica dos indicadores de desempenho.

#### 3.1 CÁLCULO DA INDISPONIBILIDADE DE MANUTENÇÃO FORÇADA

##### INDISPONIBILIDADE DE MANUTENÇÃO FORÇADA

O cálculo do indicador é baseado no Relatório de Avaliação de Desempenho da Manutenção de Equipamentos – (RAD) emitido pelo ONS, a partir dos dados informados no SAMUG. O método de de cálculo é definido pelo item 5.12 do Submódulo 25.8, conforme equação abaixo:

$$INDISPMF = \frac{\sum_{i=1}^N HIX_i}{\sum_{i=1}^N HP_i} \times 100$$



Onde:

INDISPMF = valor expresso em percentual;

HIXi = número de horas indisponíveis do equipamento i, para manutenção.

Utiliza-se HIXi= HIDMFi para número de horas indisponíveis do equipamento i para manutenções forçadas;

HPI = número total de horas do equipamento i no período de apuração considerado;

N = número total de equipamento

I = contador do número de equipamentos.

#### 4. Taxa de Desligamento Forçado – TDF

Taxa de desligamento Forçado é o número de desligamentos forçados das unidades geradoras, pelo número de horas de serviço das unidades geradoras no mês. O valor é calculado em base numérica e indica a quantidade de vezes que ocorreu um desligamento forçado nas unidades geradoras em relação a quantidade de horas de serviço. O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), determina por meio do Relatório de Avaliação de Desempenho da Manutenção de Equipamentos (RAD), o desempenho das usinas em relação ao indicador, informando se o valor da Taxa de Desligamento forçado, está dentro da faixa considerada satisfatória ou insatisfatória para o ano referente do estudo, por meio desse documento é possível obter as informações do desempenho operacional da usina, caso o indicador encontrar-se insatisfatório é montado um plano de ação, para solucionar a situação. A Agência Nacional de Energia Elétrica, estabelece os valores inferiores e superiores de satisfação do indicador, conforme resolução de 17/10/2008 Resolução Autorizativa nº 1601/08, que estabeleceu os critérios de avaliação dos procedimentos de rede, que proporciona toda base teórica dos indicadores de desempenho.

##### 4.1 CÁLCULO DA TAXA DE DESLIGAMENTO FORÇADO

###### TAXA DE DESLIGAMENTO FORÇADO

O cálculo do indicador é baseado no Relatório de Avaliação de Desempenho da Manutenção de Equipamentos – (RAD) emitido pelo ONS, a partir dos dados informados no SAMUG. O método de de cálculo é definido pelo item 5.12 do Submódulo 25.8, conforme equação abaixo:

$$TDF = \frac{\sum_{i=1}^N NDF_i}{\sum_{i=1}^N HX_i} \times 8.760$$

Onde:

TDF = valor expresso adimensional;  
 NDFi = número de desligamentos forçados do equipamento i;  
 HXi = número de horas do equipamento i. Utiliza-se HXi= HSi para número de horas de serviço do equipamento rotativo i; N = número total de equipamentos;  
 I = contador do número de equipamentos

## 5. Tempo Médio de Reparo– TMR

Tempo Médio de Reparo é o indicador que fornece a soma do número de horas em que cada unidade geradora esteve indisponível por motivo de manutenção forçada. O valor calculado em horas indica as que as unidades geradoras ficaram indisponíveis por manutenção forçada. Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), determina por meio do Relatório de Avaliação de Desempenho da Manutenção de Equipamentos (RAD), o desempenho das usinas em relação ao indicador, informando o Tempo Médio de Retorno, está dentro da faixa considerada satisfatória ou insatisfatória para o ano referente do estudo, por meio desse documento é possível obter as informações do desempenho operacional da usina, caso o indicador encontrar-se insatisfatório é montado um plano de ação, para solucionar a situação. A Agência Nacional de Energia Elétrica, estabelece os valores inferiores e superiores de satisfação do indicador, conforme resolução de 17/10/2008 Resolução Autorizativa nº 1601/08, que estabeleceu os critérios de avaliação dos procedimentos de rede, que proporciona toda base teórica dos indicadores de desempenho.

### 5.1 CÁLCULO DO TEMPO MÉDIO DE REPARO

#### TEMPO MÉDIO DE REPARO

O cálculo do indicador é baseado no Relatório de Avaliação de Desempenho da Manutenção de Equipamentos – (RAD) emitido pelo ONS, a partir dos dados informados no SAMUG. O método de cálculo é definido pelo Submódulo 25.8, conforme equação abaixo:

$$TMR = \frac{\sum_{i=1}^N HIRi}{\sum_{i=1}^N NDFi}$$

$$\sum_{i=1}^N NDFi$$

Onde:

TMR = valor expresso em horas;  
 HIRi = número de horas que o equipamento i ficou indisponível para operação e entregue á manutenção forçada (HIDMFi); NDFi = número de desligamentos forçados do equipamento i N = número de equipamentos i = contador do número de equipamentos.

## 6. Tempo Médio Entre Falhas– TMEF

Tempo Médio Entre Falhas é o indicador que apresenta o tempo da ocorrência de duas falhas consecutivas, deixando as unidades geradoras indisponíveis, esse indicador é importante pois avalia a confiabilidade do sistema, pois verifica se há instabilidade devido as falhas que ocorrem simultaneamente e o motivo que gerou as mesmas.

Este indicador não existe diretamente no Relatório de Avaliação de Desempenho da Manutenção de Equipamentos (RAD), emitido pelo ONS, mas basicamente o cálculo seguiu a formulação inversa aquela adotada para o indicador “Taxa de Falhas”, existente tanto no RAD quanto previsto no Submódulo 25.8.

### 6.1 TEMPO MÉDIO ENTRE FALHAS

O cálculo do indicador é baseado no indicador Taxa de Falhas descrito no Submódulo 25.8 dos procedimentos de rede do ONS. O cálculo é apresentado conforme equação abaixo:

$$TMEF = \frac{\sum_{i=1}^N HXi}{\sum_{i=1}^N NF_i}$$

Onde:

TMER = valor expresso em horas;

HXi = número de horas que o equipamento i, usa-se HXi = HSi para número de barras de equipamentos rotativos i HXi = HDi, para número de horas disponíveis para o equipamento rotativo i.

NFi = número de falhas do equipamento i

N = número de equipamentos, conforme agregações apresentadas;

## 7. Índice de Treinamento da Equipe de Manutenção– ITM

Índice de Treinamento da Manutenção é o indicador que avalia todos os treinamentos realizados pela equipe de manutenção no tempo de serviço, esse indicador é importante pois avaliar a frequência que a equipe está passando por um processo de capacitação, melhorando o desempenho operacional da equipe diante dos trabalhos realizados na UHE Retiro Baixo. Foram desconsiderados os treinamentos referentes às NRs 10, 33 e 35 e 10, mas considerados aqueles periódicos como Direção Defensiva. Tal consideração se deu por se tratarem de padrões específicos da UHE Retiro Baixo, ou seja, não são obrigatórios por lei, mas o são em razão de procedimentos internos, a título de padronização e boa prática.

## 7.1 CÁLCULO DO ÍNDICE DE TREINAMENTO DA EQUIPE DE MANUTENÇÃO

### ÍNDICE DE TREINAMENTO DA MANUTENÇÃO

O cálculo do indicador é baseado na Declaração de Auto Avaliação de Desempenho Operacional (DARDO). O cálculo é apresentado conforme equação abaixo:

$$ITM = \frac{HTm}{HH}$$

Onde:

*HTm*: Horas de treinamento consideradas para a equipe de manutenção durante o ano considerado;

*HH*: Total de horas trabalhadas pela equipe no ano considerado.

## 8. Índice de Treinamento da Equipe de Operação– ITO.

Índice de Treinamento da Equipe de Operação é o indicador que avalia todos os treinamentos realizados pela equipe de operação no tempo de serviço, esse indicador é importante pois avaliar a frequência que a equipe está passando por um processo de capacitação, melhorando o desempenho operacional da equipe diante dos trabalhos realizados na UHE Retiro Baixo. Foram desconsiderados os treinamentos referentes às NRs 10, 33 e 35 e 10, mas considerados aqueles periódicos. Tal consideração se deu por se tratarem de padrões específicos da UHE Retiro Baixo, ou seja, não são obrigatórios por lei, mas o são em razão de procedimentos internos, a título de padronização e boa prática.

### 8.1 CÁLCULO DO ÍNDICE DE TREINAMENTO DA EQUIPE DE OPERAÇÃO

#### ÍNDICE DE TREINAMENTO DA EQUIPE DE OPERAÇÃO

O cálculo do indicador é baseado na Declaração de Auto Avaliação de Desempenho Operacional (DARDO). O cálculo é apresentado conforme equação abaixo:

$$ITO = \frac{HTo}{HH}$$

Onde:

**HTo**: Horas de treinamento consideradas para a equipe de operação durante o ano considerado;

**HH**: Total de horas trabalhadas pela equipe no ano considerado.

## 9. Índice de Execução de Manutenção – IEM

Índice de Execução de Manutenção é o indicador que contabiliza todas as ordens de serviço executadas no ano, pelas ordens de serviço emitidas naquele ano, englobando todos os tipos de manutenção: preventiva, preditiva, corretiva, etc. O cálculo do IEM é apresentado de acordo com a necessidade de manutenção da usina, então depende da gestão definir quantas ordens de serviço é necessário serem realizadas no ano. A UHE Retiro Baixo utiliza-se do *Software Engeman* para realização dos planos de manutenção e emissão das ordens de serviços.

### 9.1 CÁLCULO DO ÍNDICE DE TREINAMENTO DA EQUIPE DE OPERAÇÃO

#### ÍNDICE DE TREINAMENTO DA EQUIPE DE OPERAÇÃO

O cálculo do indicador é baseado na Declaração de Auto Avaliação de Desempenho Operacional (DARDO). O cálculo é apresentado conforme equação abaixo:

$$IEM = \frac{O_{exec}}{O_{emit}}$$

Onde:

$O_{exec}$ : Total de Ordens de Serviço executadas durante o ano de referência abrangendo manutenções preditivas, preventivas e corretivas.

$O_{emit}$ : Total de Ordens de Serviço emitidas durante o ano de referência abrangendo manutenções preditivas, preventivas e corretivas.

## DECLARAÇÃO DE AUTORIZAÇÃO

Autoriza-se a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada à fonte.

Faculdade Patos de Minas – Patos de Minas, (dia) de (mês) de (ano).

---

Nome do Orientando

---

Nome do Orientando

---

Nome do Orientando

---

Nome do Orientando

---

do Orientador

Nome







