

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**DANIEL ALVES CARVALHO
EDUARDO JOSÉ LOURENÇO GUIMARÃES DA SILVA**

**MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA DE SINALIZAÇÃO E CONTROLE
DE COMPORTAS DE UMA USINA HIDROELÉTRICA**

VOLTA REDONDA

2021

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA DE SINALIZAÇÃO E CONTROLE
DE COMPORTAS DE UMA USINA HIDROELÉTRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia
Elétrica do UniFOA, como requisito à
obtenção dos títulos de Engenheiros
Eletricistas.

Discentes:

Daniel Alves Carvalho

Eduardo José Lourenço Guimarães
Da Silva

Orientador:

Prof. Me. Edson de Paula Carvalho

FOLHA DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso intitulado:

MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA DE SINALIZAÇÃO E CONTROLE DE COMPORTAS DE UMA USINA HIDROELÉTRICA

Elaborado por Daniel Alves Carvalho, Eduardo José Lourenço Guimarães Da Silva apresentado publicamente perante a Banca Avaliadora, como parte dos requisitos para conclusão do Curso de Engenharia Elétrica.

Aprovada em XX de Junho de 2021.

Banca Avaliadora:

Professor Orientador

Edson de Paula Carvalho, Mestre, Centro Universitário de Volta Redonda

Professor Avaliador

Mauricio Ferreira Haddad, Mestre, Centro Universitário de Volta Redonda

Professor Avaliador

Cláudio Márcio de Freitas da Silva, Mestre, Centro Universitário de Volta
Redonda

“Não devemos nos questionar porque algumas coisas nos acontecem e sim o que podemos fazer com o tempo que nos é dado.”

J. R. R. Tolkien

Agradecimentos

Agradecemos às nossas famílias, por toda educação, ensinamentos e apoio em todos os momentos das nossas vidas.

Agradecemos também, a todo corpo docente da UniFOA por toda paciência e pelos grandes ensinamentos que nos foram passados.

Agradeço a todos os meus amigos de classe, que juntos caminhamos em busca do conhecimento, crescimento pessoal e profissional, proporcionando-me confiança, mesmo em momentos de ansiedades, momentos divertidos e de aprendizagem.

Agradecemos à Jéssica Gomes Gonçalves Alves (esposa de Daniel Alves Carvalho) e à Carolina Braz de Oliveira (noiva de Eduardo José Lourenço Guimarães da Silva), que sempre cuidou para que sempre houvessem os meios necessários aos estudos e sempre somou com os conselhos nos momentos em que mais precisamos.

Agradecemos, a todos os amigos de trabalho, os quais podemos chamar de família profissional, por toda humildade, ensinamentos, companheirismo, carinho e motivação, os quais hoje nos proporcionaram chegar ao último período do curso de engenharia elétrica e apresentar este trabalho aqui presente.

E por fim, agradecemos a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da nossa formação.

RESUMO

Analisar a modernização e as mudanças na operação do sistema de sinalização e controle das comportas de uma usina hidroelétrica no Vale do Paraíba. Abordar o funcionamento do regulador de velocidade, das unidades hidráulicas entrelaçadas ao sistema, dos sistemas supervisórios, da unidade de aquisição e controle de dados e da lógica que rege a operação das comportas. Será analisado as melhorias no sistema de geração com esta modernização através da análise do databook do projeto, do datasheet dos componentes e o check-up da lógica instalada no CLP das comportas (utilizando o mesmo software da equipe de engenharia da empresa). A modernização dos sistemas de atuação e controle das comportas da hidroelétrica foi realizado pela empresa com o intuito de modernizar o processo, facilitando a operação, aumentando a confiabilidade no equipamento e garantindo melhores condições para manutenção, seja por conta da atualização dos componentes, o que facilita em caso de necessidade de substituição (sobressalentes), ou por se tratar de uma tecnologia mais moderna, o que aumenta a precisão e garante melhores condições para diagnosticar e corrigir falhas.

Palavras-Chaves: Controle; Geradores; Automação; Água; Sistema.

ABSTRACT

This monograph aims to analyze the modernization and changes in the operation of the signaling and control system of the gates of a hydroelectric plant in the Paraíba Valley, with two generators with Francis type turbines that together have 100MW of power. Therefore, it will address the operation of the speed regulator, the hydraulic units interlaced with the system, the supervisory systems, the data acquisition and control unit and the logic that governs the operation of the gates. The improvements in the generation system with this modernization will be analyzed through the analysis of the project databook, the datasheet of the components and the check-up of the logic installed in the PLC of the gates (using the same software from the company's engineering team). The company modernized the actuation and control systems of the hydroelectric gates in order to modernize the process, facilitating the operation, increasing the reliability of the equipment and guaranteeing better conditions for maintenance, either due to the updating of the components, which it facilitates in case of need for replacement (spare parts), or because it is a more modern technology, which increases the accuracy and guarantees better conditions to diagnose and correct faults. The installation of a system completely controlled by PLC can increase the results in the generation of energy, since the machines will have a longer period of availability for the system and also the precision in the detection of failures, making the necessary corrections in increasingly shorter times.

Keywords: Control. Generator. Automation. Water. System.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura de uma usina hidroelétrica	16
Figura 2 - Elementos de uma comporta do tipo vagão	18
Figura 3 - Grades de proteção	19
Figura 4 - Turbina	21
Figura 5 - Principais componentes de um gerador síncrono.	22
Figura 6 - Unidade Hidráulica	24
Figura 7 - Funcionamento do solenoide	26
Figura 8 - Diagrama de Blocos de Balluf	27
Figura 9 - Ciclo de Varredura do CLP	29
Figura 10 - Cilindro Hidráulico	31
Figura 11 - Unidade Hidráulica	33
Figura 12 - CLP GE FANUC SERIES 90 MICRO.	35
Figura 13 - Vista frontal do painel de controle principal.	36
Figura 14 - Vista Frontal Do Painel QSIP.	40
Figura 15 - QSIP1 e QSIP2.	41
Figura 16 - Vista frontal do painel de perda de carga, medição de nível e Cracking.	43
Figura 17 - Fluxograma do sistema de medição de nível, perda de carga nas grades e Cracking.	45
Figura 18 - Diagrama de blocos do novo sistema de supervisão e controle das comportas da tomada d'água.	48
Figura 19 - Enrolador e encoder.	50
Figura 20 - Esquema do sistema mecânico para instalação dos sensores de posição indutivos.	53
Figura 21 - Sensor indutivo de posição.	54
Figura 22 - Relé de Interface Modular 8 A.	55
Figura 23 - Transmissor de nível hidrostático	57
Figura 24 - Fonte de entrada.	58
Figura 25 - CLP do Fabricante Altus da Série Hadron Xtorm.	60
Figura 26 - Relé do fabricante FINDER.	64
Figura 27 - Disjuntor e os blocos de contatos auxiliares	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Recursos Hídricos.	12
Tabela 2 - Características do Cilindro Hidráulico.	30
Tabela 3 - Características da Unidade Hidráulica	32
Tabela 4 - Nível pré estabelecido das saídas digitais do indicador controlador...36	
Tabela 5 - Níveis de configuração do indicador controlador do sistema de medição de nível, perda de carga nas grades (<i>cracking</i>).....40	
Tabela 6 - Características do enrolador.....46	
Tabela 7 - Características do encondor.....46	
Tabela 8 - Níveis pré determinados de indicação de nível das comportas.....47	
Tabela 9 - Características do sensor indutivo de posição.....50	
Tabela 10 - Relé de interface modular 8A.....51	
Tabela 11 - Características do transmissor de nível hidrostático.....52	
Tabela 12 - Características da fonte de entrada.....53	
Tabela 13 - Dados dos disjuntores e blocos de contatos auxiliares.....61	
Tabela 14 - Características da IHM da Série IX do Fabricante Altus.....62	

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.	12
1.1 Justificativa.	13
1.2 Objetivo Geral.	13
1.3 Objetivo Específico.	13
1.4 Delimitação do tema.	13
1.5 Metodologia.	14
1.6 Estrutura da monografia.	14
2. PRINCÍPIOS TEÓRICOS.	16
2.1 Geração hidráulica de energia elétrica.	16
2.1.1 Barragem.	17
2.1.2 Sistema de captação e adução de água.	17
2.1.3 Comportas da tomada d'água.	17
2.1.4 Grades de proteção.	18
2.1.5 Elementos adutores.	19
2.1.6 Vertedouro.	20
2.1.7 Casa de força.	20
2.1.8 Turbina Francis.	20
2.2 Geradores síncronos.	20
2.2.1 Estrutura de um gerador síncrono.	21
2.2.2 Regulador de velocidade.	22
2.2.3 Funções do regulador de velocidade.	23
2.2.4 Unidade hidráulica do regulador de velocidade.	24
2.2.5 Funcionamento da UH.	25
2.3 Válvula de controle direcional.	25
2.4 Sensores.	26
2.4.1 Sensores indutivos.	26
2.4.2 Sensores de nível.	27
2.4.3 Encoders.	27

2.5 CLP (controlador lógico programável).	28
3. DESCRIÇÃO DO SISTEMA.	30
3.1 Apresentação da concessionária.	30
3.2 Processo de geração de energia.	30
3.3 Características das comportas da tomada d'água.	31
3.4 Sistema de supervisão e controle das comportas.	34
3.5 Problemas identificados na configuração do sistema de supervisão e controle das comportas.	36
3.6 Quadros do sistema de indicação de posição das comportas (QSIP1 E QSIP2).	37
3.6.1 Nível de abertura das comportas para equilíbrio de pressão.	37
3.6.2 Nível de abertura total das comportas.	37
3.6.3 Nível de fechamento total das comportas.	38
3.6.4 Nível de reposição das comportas.	38
3.6.5 Nível de comporta em deriva.	38
3.6.6 Quadros do sistema de medição de nível, cracking e perda de carga.	41
4 ESPECIFICAÇÕES E IMPLEMENTAÇÃO DA MODERNIZAÇÃO.	47
4.1 Linhas de ações para seleção de equipamentos.	47
4.2 Dimensionamento e especificações funcionais do novo sistema de supervisão e controle das comportas da tomada d'água.	47
4.3 Instrumentação.	48
4.3.1 Novo sistema de monitoramento de posições das comportas.	48
4.3.2 Dimensionamento e especificações dos encoders.	49
4.3.3 Dimensionamento e especificação dos sensores de posição indutivos.	51
4.3.4 Dimensionamento e especificação dos sensores de posição indutivos.	53
4.3.5 Dimensionamento e especificação dos relés de interface dos sensores indutivos e entradas do CLP.	55

4.4 Novo Sistema de Medição de Nível.	56
4.4.1 Dimensionamento e especificação dos sensores de nível.	56
4.4.2 Dimensionamento e especificação da fonte de alimentação para a instrumentação.	57
4.5 Dimensionamento do novo CLP.	59
4.6 Características dos Componentes do novo CLP.	60
4.6.1 CPU	61
4.6.2 Módulo de entradas digitais.	61
4.6.3 Módulo de saídas digitais.	61
4.6.4 Módulo de entradas analógicas.	62
4.6.5 Bastidores de 9 e 18 posições.	62
4.6.6 Switch.	62
4.6.7 Capacidade de expansão.	62
4.6.8 Fonte de alimentação.	62
4.7 Especificação das saídas digitais	63
4.8 Dimensionamento e especificações dos cabos de controle painel UACTA.	64
4.9 Dimensionamento e especificação da IHM.	66
4.10 Dimensionamento e especificações do painel UACTA.	68
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS.	70
5.1 Ganhos obtidos.	70
5.1.1 Retirada dos painéis auxiliares.	70
5.1.2 Redundância de sistemas de valores operacionais de monitoramento do estado da comporta.	70
5.1.3 Redundância do sensor de recomposição das comportas.	71
5.1.4 Versatilidade de manutenção das comportas.	71
5.1.5 Cracking.	71
5.1.6 Função perda de carga.	71
5.1.7 Sistema de aquisição de dados mais moderna e com opções de expansões futuras.	72

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
REFERÊNCIAS	74

1. INTRODUÇÃO.

De acordo com a Global Water Partnership, quase um terço dos recursos hídricos renováveis estão na América do Sul, sendo que o Brasil é o país que lidera o mundo em recursos hídricos conforme a tabela 1 a seguir:

Tabela 1 - Recursos Hídricos

Países	Km ³ /ano
Brasil	8,2
Rússia	4,5
Canadá	2,9
Indonésia	2,8
China	2,8
EUA	2,0
Peru	1,9

Fonte: FAO ONU (2003)

Segundo LUIZ PINGELLI ROSA (2007) “apesar da grande quantidade de recursos hídricos no Brasil só utilizamos 25% do nosso potencial hidroelétrico.” Porém a energia hidroelétrica é muito importante para o sistema elétrico brasileiro, correspondendo a cerca de 83% de toda a energia elétrica fornecida no estado brasileiro (ATLAS, 2016).

A partir do avanço dos recursos industriais da engenharia de automação e instrumentação, novas possibilidades para atender a demanda da geração elétrica foram surgindo no cenário das usinas. Com o passar do tempo, as hidroelétricas tiveram seus equipamentos substituídos e modernizados com o progresso dos sistemas de sinalização e controle com IHM's, a substituição de equipamentos obsoletos por outros mais modernos e com um número maior de parâmetros são exemplos deste fato. Realizar o estudo de caso de modernização do sistema de sinalização e controle de um comporta de uma usina hidroelétrica operante desde 1962, tendo como afluente vazões turbinadas de outras duas usinas hidroelétricas, sendo este complexo localizado no vale do paraíba do interior sul fluminense do estado do Rio de Janeiro.

1.1 Justificativa.

Com o final da vida útil, e do suporte técnico dos fabricantes da maioria dos equipamentos instalados nas comportas, e com uma demanda de maior necessidade de tempo operacional da mesma, foi definida a necessidade da modernização no calendário de projetos da empresa de acordo com os históricos de ocorrências, eventos e intervenções relatados pelas equipes de manutenção e operação.

Com isto houve também a necessidade da aprovação técnica das propostas do projeto de modernização, confirmação de ensaios e comissionamentos que assegurem a eficácia e funcionalidade do mesmo, afim de comprovar a validade do investimento.

1.2 Objetivo Geral.

Analisar a proposta relativa ao processo de modernização do sistema de sinalização e controle de quatro comportas da tomada d'água de dois geradores de uma usina hidroelétrica localizada no Vale do Paraíba.

1.3 Objetivo Específico.

Apresentar as modificações realizadas nos sistemas de comando, através da análise do modelo de Controlador Lógico Programável (CLP), sensores elétricos e do sistema de comunicação com as interfaces operacionais instalados nesta modernização, com o intuito de alcançar a excelência na geração de energia elétrica.

1.4 Delimitação do tema.

Esta monografia colhe informações sobre de que maneira o conhecimento de geração hidroelétrica (com toda a abrangência das áreas de engenharia elétrica e mecânica), automação industrial e instrumentação atuaria como solução para a modernização do sistema de monitoração de comportas de uma usina hidroelétrica tendo como referência um estudo de caso e bibliografias. Este documento explicará todos os parâmetros operacionais e todos os estudos

realizados para a programação no CLP e explanará o motivo pela qual cada equipamento, que for pertinente, foi escolhido e qual a sua função no processo.

1.5 Metodologia.

Esse estudo tem por finalidade realizar uma pesquisa aplicada, uma vez que utilizará conhecimento da pesquisa fundamental para resolver os problemas observados. A metodologia e desenvolvimento deste trabalho seguem as seguintes etapas:

- Levantamento do sistema em operação;
- Levantamento para implantação da proposta de projeto;
- Verificação dos problemas e defeitos que ocorriam no sistema antigo;
- Estudo de funcionamento do sistema a ser implantado;
- Verificação das etapas de funcionamento do novo sistema;
- Acompanhamento e participação no processo de implantação do projeto.

Para uma melhor compreensão deste estudo e seus propósitos, é notório que sua classificação é dada como pesquisa explicativa. A sua bibliografia é formada por artigos científicos, datasheets e databooks, documentos eletrônicos que dão origem ao desenvolvimento da modernização do sistema de sinalização e controle da comporta.

1.6 Estrutura da monografia.

Esta monografia será dividida da seguinte forma, para o melhor entendimento das razões para tais medidas:

INTRODUÇÃO: Será mostrado como é o funcionamento de um hidrogerador, explicando suas peculiaridades do regulador de velocidade, sensores, CLP, válvula direcional, cilindro hidráulico, supervisórios e motores de indução trifásicos.

ESTRUTURA ANTES DO INÍCIO DO PROJETO: Mostraremos todas as pendências do sistema identificadas no descomissionamento, bem como

explicado de uma forma mais minuciosa e com exemplos os motivos para a necessidade de uma modernização.

LÓGICA ATUAL DAS COMPORTAS: Abordaremos, em detalhes, qual foi a lógica adotada nos CLP's, além de ser explicado qual a correta forma de operar as comportas sem promover danos a mesma.

RESULTADOS: Caberá a este capítulo, enfatizar as observações colhidas nos ensaios de comissionamento no campo e na fábrica.

CONCLUSÃO: Todos os dados obtidos após a implementação da modernização serão analisados, realizando um comparativo para observar os ganhos, verificar a necessidade de alteração de algum parâmetro, nos componentes utilizados e identificar as possíveis melhorias futuras nos processos de geração.

2. PRINCÍPIOS TEÓRICOS.

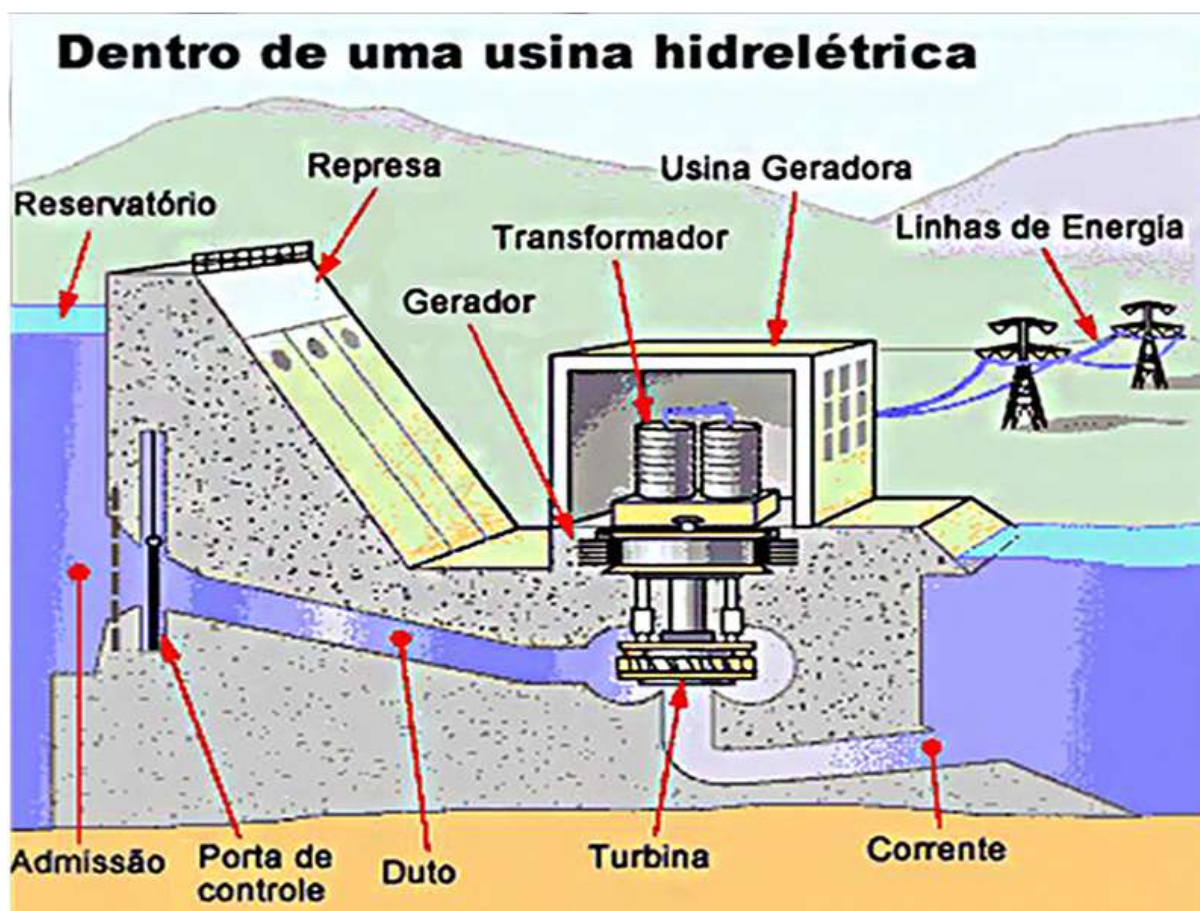
Serão abordadas as referências teóricas que contemplam esta monografia.

2.1 Geração hidráulica de energia elétrica.

De acordo com BORTOLETO (2001), as usinas hidroelétricas possuem uma ou mais unidades geradoras, que é uma máquina que tem a capacidade de transformar a energia cinética em energia elétrica a partir do aproveitamento do movimento das águas.

A estrutura de uma usina hidroelétrica é composta pela represa, reservatório, gerador, transformador, usina geradora (ou casa de força), linhas de energia, turbina e comportas de controle, como pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 - Estrutura de uma usina hidrelétrica



Fonte: QUANTA GERAÇÃO (2021).

2.1.1 Barragem.

O propósito da barragem é descontinuar o fluxo hídrico de um rio formando assim uma represa, está por sua vez irá poder controlar os níveis de água e de vazão que irão abastecer a usina hidroelétrica, durante todas as fases de cheias e secas do ano.

2.1.2 Sistema de captação e adução de água.

Este sistema se dá por condutos, válvulas e a tomada d'água. A adução se apresenta por túneis, alimentadores ou condutos metálicos, que alimentam a casa de força. Já as válvulas são ferramentas usadas para manobrar os condutos de acordo com as necessidades operacionais. A tomada d'água tem a função de captar a água e transportá-las para os condutos, além disso ela deve impedir que obstruções indesejadas que possam danificar algum equipamento siga o fluxo da água. A geometria da tomada d'água de ser de forma que reduza as perdas de carga ao mínimo em todas as suas partes, de modo que o custo da tubulação adutora não se eleve.

2.1.3 Comportas da tomada d'água.

De acordo com ZULCY DE SOUZA (1991), a função das comportas é permitir e bloquear o fluxo de um determinado fluido nos condutos. Equipadas em geral com o sistema de fechamento rápido para casos de emergência e um sistema de viga de vedação (stoplog) que permite o fechamento da tomada d'água para fim de manutenção das comportas. Podem igualmente ser equipados com comportas auxiliares para enchimentos de condutos, proporcionando equilíbrio hidrostático em ambos os lados das comportas principais, reduzindo esforços necessários à sua abertura.

Neste projeto detalharemos as comportas do tipo vagão, que são compostas basicamente por três itens principais:

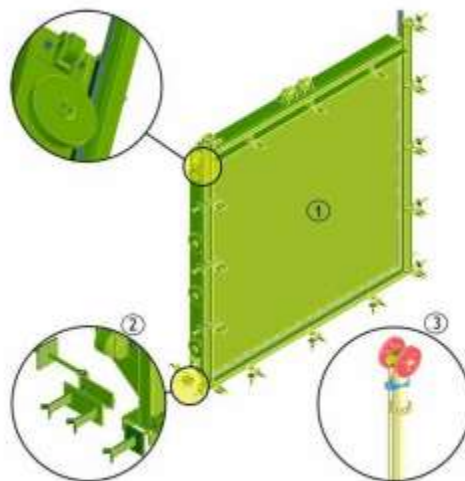
- Tabuleiro – Pode ser considerada a principal parte da comporta. É a parte móvel que serve para vedar o fluxo de água. Se divide em:

Paramento (chapa de revestimento), vigamento, vedações, elementos de apoio e guiamento.

- Peças fixas – São adaptadas na parte concretada da estrutura, sua função é guiar o tabuleiro e transferir dividir força para o concreto, além de auxiliar na vedação.
- Mecanismo de manobra – Como o nome já diz, são os aparelhos que se responsabilizam pela movimentação do tabuleiro, podem ser bombas, motores ou até mesmo a própria pressão d'água.

Na Figura 2, podemos observar como é composta uma comporta do tipo vagão.

Figura 2 - Elementos de uma comporta do tipo vagão



Fonte: ORBINOX (2021).

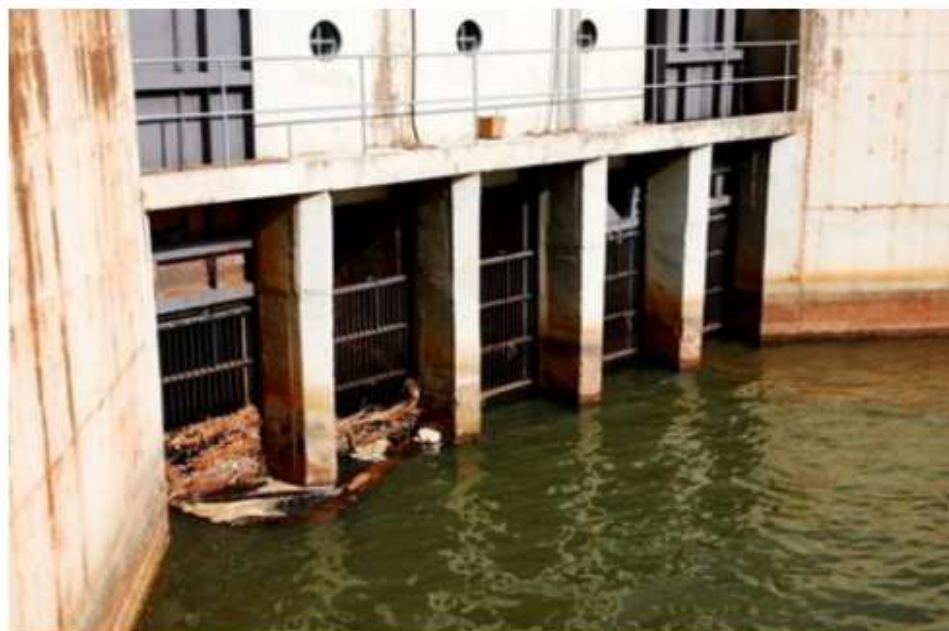
Na Figura 2 podemos ver como é composta uma comporta do tipo vagão, o item 1 sinalizado é o tabuleiro, o item 2 são as peças fixas e o item 3 é o mecanismo de manobra. As comportas do tipo vagão são aplicadas normalmente em ambientes em que necessitem, em casos de proteção, fechar com o próprio peso.

2.1.4 Grades de proteção.

A Figura 3 mostra as grades de proteção, que é a primeira barreira de proteção contra corpos estranhos que poderão danificar a estrutura de todo

complexo de geração de energia hidroelétrica, isso de acordo com MACINTYRE (1983).

Figura 3 - Grades de proteção



Fonte: ITAIPU (2015).

2.1.5 Elementos adutores.

Baseado em REIVAX (2014), adutores são todas as concepções de estruturas que ligam a tomada d'água à casa de força. Essas estruturas podem ser túneis, túneis sob pressão, túneis com lâmina d'água, tubulações e poços forçados (verticais ou inclinados). Nas hidroelétricas as tubulações são divididas em:

- Tubulações adutoras - Canalizações do sistema de abastecimento de água que conectam os elementos.
- Conduto forçado - É a via por onde a água escoar a plena seção. Trata-se da ligação entre a tomada d'água e as turbinas e está sujeito a pressões internas crescentes, de cima para baixo, até alcançar a altura da queda estática da usina, acrescida do eventual golpe de aríete. REIVAX (2014).

2.1.6 Vertedouro.

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 2008, quando publicou o Atlas Nacional da Energia Elétrica, o vertedouro tem a função de proporcionar o saimento de água quando os reservatórios estiverem com níveis de água muito elevados sem comprometer com a integridade física do Usina Hidroelétrica (UHE).

2.1.7 Casa de força.

Casa de forças é a estrutura civil onde ficam instalados as unidades geradoras e os equipamentos que compõem o serviço auxiliar dos geradores. REIVAX (2014). Tal como a imagem a seguir. A configuração e o aproveitamento do espaço da mesma variam de acordo com o projeto de cada usina hidroelétrica.

2.1.8 Turbina Francis.

Turbinas hidráulicas em geral, segundo a WEG (2008), são equipamentos capazes de transformar energia cinética do fluxo d'água em uma força que movimenta uma série de pás que pertencem a estrutura dela. Aproximadamente a diferença da altitude da adução e a entrada da turbina define a força mecânica que será exercida na turbina.

As turbinas do tipo Francis se caracterizam, de acordo com SCHREIBER (1977), pelo fluxo d'água que é orientado e distribuído igualmente, na direção radial, por toda periferia da entrada do rotor, expulsando na sua direção axial.

2.2 Geradores síncronos.

A função dos geradores síncronos é transformar a energia mecânica, proveniente da rotação, do eixo do motor, em energia elétrica. Uma das características que diferenciam um gerador de um motor por indução é que no motor por indução um campo eletromagnético variável no estator promove a rotação do eixo, no gerador, o campo gerado no rotor, induz tensão no estator cuja polaridade depende do fluxo que o atravessa e o sentido do campo. É conhecido como síncrono por causa da rotação do campo magnético ser sincronizada com o rotor (divisão móvel) a qual pode ser conhecida a partir da

equação quando temos os valores de frequência e o número de polos da unidade geradora, segundo FITZGERALD, 2006.

$$n_s = \frac{120 \times f}{np}$$

Onde:

n_s – Rotação da Máquina Primária em RPM;

F – Frequência em Hz;

NP – Número de Polos.

Figura 4 - Turbina

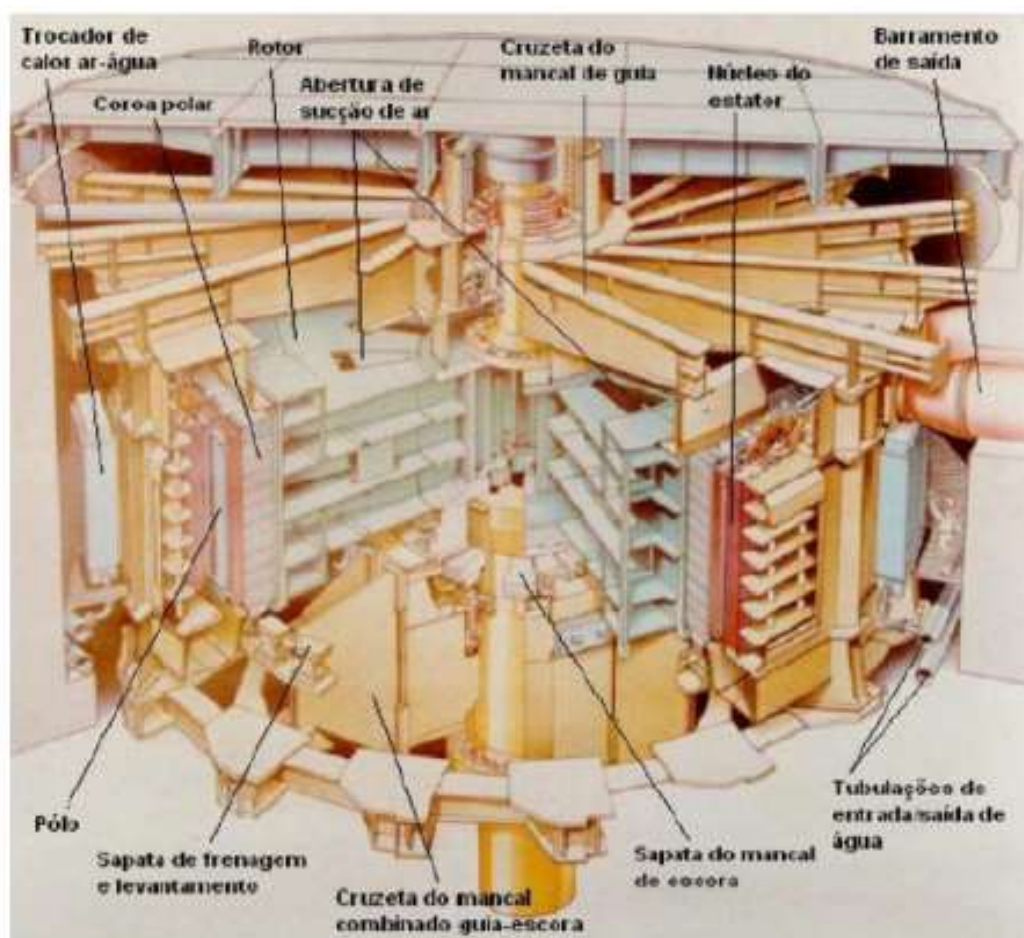


Fonte: Autor (2021).

2.2.1 Estrutura de um gerador síncrono.

Como podemos observar na Figura 5, os principais componentes de um gerador síncrono.

Figura 5 - Principais componentes de um gerador síncrono.



Fonte: PORTO (2008).

2.2.2 Regulador de velocidade.

Segundo REIVAX, 2014 regulador de velocidade é o dispositivo que garante o controle da frequência do gerador síncrono. Para tal feito o regulador de velocidade constantemente mede e compara a velocidade com grandezas predefinidas em sua lógica interna, para guiar o funcionamento da variação posição do atuador hidráulico, também conhecido como distribuidor. Já o distribuidor controla a vazão de água que movimentaram as paletas da turbina, gerando o movimento do eixo. Está vazão de água, proveniente da movimentação do distribuidor, será diretamente proporcional a potência ativa produzida pela unidade geradora.

De acordo com Costa e Silva, 2000, a frequência do gerador deve ser mantida em seu valor nominal. Um dos motivos é o fato de que ela é um parâmetro de que a relação entre a potência ativa produzida e consumida do sistema está em perfeito equilíbrio. Além disto é valido lembrar que vários dispositivos de potência, tal como motores de corrente alternada de fabricas e residências são controlados por inversores de frequência. Por isto o regulador de velocidade é tão importante para o correto funcionamento da usina hidroelétrica.

2.2.3 Funções do regulador de velocidade.

Basicamente, segundo a REIVAX 2014, o sistema do regulador de velocidade deve executar as seguintes funções e operações corretamente durante o seu funcionamento.

- Sincronizar a frequência do gerador com a frequência do sistema no mais curto período de tempo possível;
- Efetuar o fechamento do distribuidor, na rejeição brusca de carga, sem comprometer as instalações da usina;
- Promover o fechamento total do distribuidor ou mantê-lo numa posição fixa, enquanto é feita manutenção sem desligar a máquina do sistema.
- Mantém a frequência da máquina síncrona no valor definido pelo operador, ou manter uma determinada relação entre frequência e potência ativa (estatismo) em toda região de operação;
- Mantém a velocidade dentro dos limites aceitáveis de trabalho mesmo em rejeições ou distúrbios severos no sistema de potência;
- Propicia partida rápida e sem pico de elevação na rotação;
- É capaz de responder, com desempenho adequado, aos comandos do operador ou sincronizador automático;
- Tem velocidade ágil de resposta para corrigir as variações de frequência impostas por variação de carga, geração ou por chaveamentos no sistema;

- É capaz de tomar carga de maneira linear e rápida de acordo com os comandos do operador, controlador conjunto ou controle de carga e frequência, sem que para isto seja necessário degradar a regulação da malha de controle de velocidade;
- É capaz de limitar dinamicamente a máxima abertura do distribuidor;
- Conjuga abertura do distribuidor e roda, em função da queda bruta, em turbina de modo a maximizar o rendimento.

2.2.4 Unidade hidráulica do regulador de velocidade.

Unidade hidráulica, segundo a HACKER (2021), é um equipamento auxiliar ao Regulador de Velocidade. Ela vai receber sinais vindos do RV e converte-los em movimento direcionado ao controle do equipamento. A estrutura de uma UH (unidade hidráulica) de acordo com a HACKER (2021) é composta por: Reservatório, moto-bombas, sistemas de filtros, banco de acumuladores, bloco de válvulas de comando, elementos de segurança. Conforme a figura 6.

Figura 6 - Unidade Hidráulica



Fonte: HACKER (2021).

2.2.5 Funcionamento da UH.

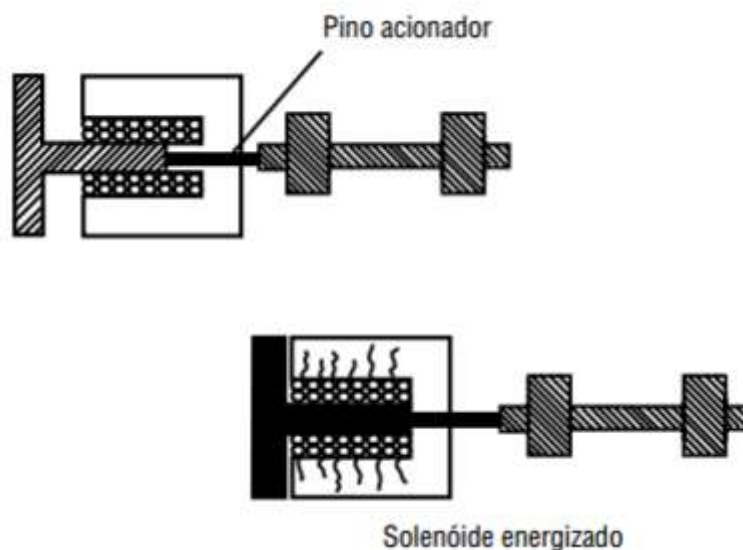
De acordo com Industrial 4.0, o funcionamento de uma unidade hidráulica começa com as moto-bombas enviando do reservatório o óleo, que faz o sistema funcionar, este óleo é bombeado, através das válvulas direcionais, de acordo com as necessidades operacionais do RV. Do mesmo modo, as válvulas reguladoras de pressão, ajustam a dinâmica e pressão do sistema. Lembrando que é de suma importância a utilização de filtros que evitam o acúmulo de impurezas, que de acordo com a fabricante Industrial 4.0 (2021) são responsáveis por 80% dos defeitos no equipamento

2.3 Válvula de controle direcional.

PARKER (1999), diz que válvulas são equipamentos que, direcionam, regulam ou controlam o fluxo dos fluidos desejados. Elas consistem em uma estrutura fixa com vias internas que são conectadas e desconectadas de uma estrutura móvel. As válvulas que serão abordadas neste trabalho tem acionamento por solenoide.

O solenoide é um dispositivo elétrico de acionamento, composto por uma bobina, um corpo metálico a ser induzido e a sua carcaça. Seu funcionamento segundo PARKER (1999), é bem simples. Quando a bobina ela é energizada ela forma um corpo magnético, este por sua vez atrai o corpo metálico para dentro da bobina, conforme a figura 7.

Figura 7 - Funcionamento do solenoide



Fonte: Parker (1999).

Após este movimento o corpo metálico aciona e desloca uma carretilha que irá liberar o fluxo do fluido que válvula de controle direcional transporta.

2.4 Sensores.

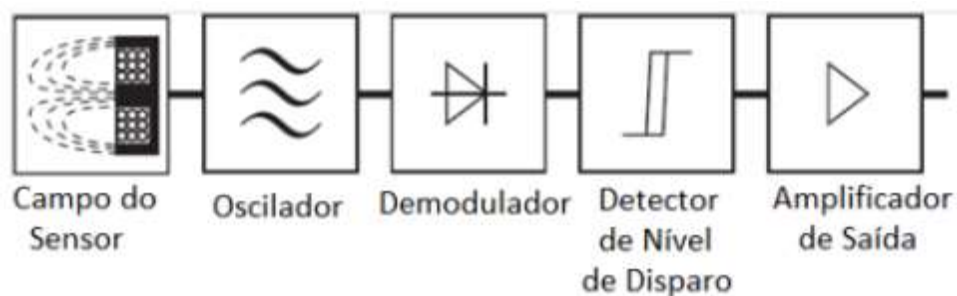
Termo utilizado para designar equipamentos sensíveis à alguma forma de energia, que pode ser luminosa, térmica, cinética, informações sobre uma grandeza que precisa ser medida, tal como: temperatura, pressão, velocidade, aceleração, posição, etc.

Um sensor nem sempre tem as características necessárias para ser utilizado diretamente em um sistema de controle. Comumente, o sinal de saída deve ser tratado antes de sua leitura no sistema de controle. Isso geralmente é realizado através de um circuito com interface para produção de um sinal que possa ser lido pelo controlador utilizado.

2.4.1 Sensores indutivos.

Sensores indutivos, segundo BALLUFF (2013), atuam quando um corpo metálico se movimenta no campo magnético gerado por um oscilador eletrônico que faz parte do circuito do sensor, para melhor entendimento do funcionamento, Balluff nos apresenta na figura 8 o diagrama em blocos.

Figura 8 - Diagrama de Blocos de Balluf



Fonte: Balluf (2013).

Onde:

- Campo do Sensor: composto por bobina e núcleo.
- Oscilador: diminui a frequência de oscilação quando um evento for detectado.
- Demodulador: converte o sinal do oscilador em nível de tensão cc.
- Detector de nível de disparo: dispara quando o oscilador diminui a frequência.
- Amplificador de saída: amplifica o sinal gerado pelo sensor e entrega-o a carga.

2.4.2 Sensores de nível.

De acordo com a fabricante DWYLER (2019), “os sensores de nível, trabalham determinando volume e densidade de substâncias, avaliando de forma objetiva e direta a medição contínua de determinados elementos...”.

Os sensores adotados foram os sensores submersíveis de medição de nível por pressão hidrostática.

2.4.3 Encoders.

Consoante aos dizeres de THOMAZINI (2011), o sensor *encoder* transforma todo trabalho rotativo em um pulso elétrico. Existem dois tipos de encoders:

- Incremental, que mostram a movimentação a partir de um ponto referencial.
- Absoluto, que mostram a movimentação em relação ao ponto de referência interno ao equipamento.
- Incremental que podem ser de contato, magnéticos e ópticos. O deslocamento é medido pela quantidade de pulsos para facilitar o meu cabelo.

2.5 CLP (controlador lógico programável).

Os CLPs ou Controladores Lógico Programáveis podem ser definidos, segundo a norma IEC 611311, como um equipamento eletrônico-digital compatível com aplicações industriais.

Segundo MARCELO EUÍPEDES (2007), o CLP “funciona de forma sequencial, fazendo um ciclo de varredura em algumas etapas. É importante observar que quando cada etapa do ciclo é executada, as outras etapas ficam inativas. O tempo total para realizar o ciclo é denominado CLOCK. Isso justifica a exigência de processadores com velocidades cada vez mais altas.” O fluxograma exemplifica. Conforme a figura 9.

Figura 9 – Ciclo de Varredura do CLP



Fonte: Marcelo Euípedes (2007).

Onde:

- Início: Averigua o estado da Unidade Central de Processamento, memórias, sistemas auxiliares, estado das chaves, checa existência de uma lógica, emite aviso de erro em caso de falha.
- Verifica o estado das entradas: Checa todas as entradas disponíveis, quais estão com valor lógico 0 ou 1.
- Campara com o programa do usuário: Compara os valores encontrados nas entradas com a lógica pré-instalada pelo usuário, para determinar as próximas ações do sistema.
- Atualiza as saídas: As saídas são ativadas ou desativas a partir dos comandos estabelecido nas lógicas.

3. DESCRIÇÃO DO SISTEMA.

Levantamento de dados de uma forma detalhada. Visando toda a situação existente antes da implementação do atual sistema de acionamento, tanto a sinalização, controle das comportas da tomada d'água e outros quaisquer problemas observados e suas consequências.

3.1 Apresentação da concessionária.

A concessionária na qual a modernização foi realizada, é atuante no ramo de geração e transmissão de energia elétrica, bem como na comercialização da energia gerada.

O principal sistema de geração de energia elétrica utilizado na concessionária é um complexo hidrelétrico composto por cinco usinas geradoras, com uma capacidade instalada de 855,05 MW e 637 MW de energia assegurada.

A Usina Hidrelétrica na qual foi realizado a modernização do sistema de acionamento de suas comportas está localizada à jusante de outras duas usinas do complexo de geração, a usina em questão possui 100 MW de capacidade instalada e 51 MW de energia assegurada.

3.2 Processo de geração de energia.

O processo de geração de energia elétrica da Usina Hidrelétrica é composto de um reservatório de 22m de largura x 106m de comprimento, com uma queda d'água de 37,5m e vazão máxima suportada de 350m³/s, que é distribuída por dois condutos de 4m de diâmetro cada. Esses condutos estão interligados a duas turbinas do tipo Francis, que possuem um rendimento máximo de 85,41% e que estão acopladas a dois geradores com 98% rendimento e 50MW cada.

À montante da usina, existem quatro comportas de emergência, utilizadas para proteção e manutenção do sistema onde será implantada a modernização.

3.3 Características das comportas da tomada d'água.

As quatro comportas da tomada d'água são do tipo vagão e têm 7786mm de altura vedada e 3585mm de vão vedado. Em cada uma, existe um cilindro hidráulico do tipo simples efeito em tração, conforme é demonstrado na Figura 10.

Figura 10 - Cilindro Hidráulico



Fonte: Autor (2021).

A tabela 2 ilustra, com maior riqueza de detalhes, as características de cada cilindro hidráulico instalado.

Tabela 2 - Características do cilindro hidráulico.

Equipamento (Cilindro Hidráulico)	Características
Capacidade do cilindro hidráulico em tração	539,55 kN
Curso útil	7945 mm
Equipamento (Cilindro Hidráulico)	Características
Curso total	8045 mm
Pressão de operação – lado êmbolo	0,5 MPa
Pressão de operação – lado da haste	16,7 MPa
Velocidade de abertura para equilíbrio de pressão (<i>cracking</i>)	0,44 m/min
Velocidade de abertura após o equilíbrio de pressão	0,88 m/min
Velocidade de fechamento até frenagem	3,00 m/min
Velocidade de fechamento durante a frenagem	0,40 m/min

Fonte: Autor (2020).

Os cilindros hidráulicos citados acima são acionados por uma unidade hidráulica composta de duas bombas de engrenagem, dois motores de indução trifásicos e uma bomba manual, como é demonstrado na Figura 11. As características funcionais desta unidade podem ser vistas na Tabela 3.

Figura 11 - Unidade Hidráulica



Fonte: Autor (2021).

Tabela 3 - Características da Unidade Hidráulica.

Equipamentos da Unidade Hidráulica	Características
Capacidade do reservatório	2000 litros
Bombas de engrenagem (VICKERS)	G411A13R10
Vazão das bombas	1320 litros
Pressão máxima de trabalho das bombas	220 bar
Bomba manual	PA 1.25 (FAREX)
Vazão da bomba manual	15 cm ³ /ciclo
Pressão da bomba manual	250 bar
Motor trifásico com rotor de gaiola	Assíncrono
Potência	10 cv
Grau de proteção	IP 54

Classe de isolamento	B
Resistência de desumificação	127 Vca/ 60 Hz
Rotação	1800 rpm
Pressão de nominal com equilíbrio de pressões	16.4 MPa (167 kgf/cm ²)
Pressão de nominal após o equilíbrio de pressões	5.5 MPa (55 kgf/ cm ²)
Pressão de nominal de fechamento	6.7 Mpa (69 kgf/ cm ²)

Fonte: Autor (2020).

3.4 Sistema de supervisão e controle das comportas.

Antes da modernização, a comporta era controlada e supervisionada através de um conjunto de seis painéis, sendo um painel principal de controle e os outros cinco (05) painéis auxiliares interligados e trocando informações com o painel principal. Este painel principal de controle era controlado através de uma lógica executada por um CLP (Controlador Lógico Programável) GE Fanuc Series 90 Micro do fabricante General Electric, com comunicação conexão RS485 e protocolo MODBUS em modo escravo que controlava quatro comportas.

A Figura apresenta um CLP GE Fanuc Series 90 Micro, do fabricante General Electric, semelhante ao que era utilizado no sistema de controle das comportas. Conforme a Figura 12.

Figura 12 - CLP GE FANUC SERIES 90 MICRO.



Fonte: GENERAL ELETRIC (2019).

Os componentes responsáveis pelo controle e sinalização estavam instalados na parte frontal do painel principal e devidamente identificado por meio de plaquetas. Os contatos recebidos pelo CPL eram sinais de contato seco, oriundos da régua de bornes afixada no interior do painel, com a função de enviar o status das diversas condições das comportas e da unidade hidráulica de acionamento, que era gerido através do Sistema de Supervisão e Controle (SDSC). A interligação entre os painéis auxiliares e o principal era realizada através de relés de contatos secos, além disso, os painéis auxiliares eram responsáveis por enviar os sinais analógicos, podendo variar entre 4 e 20mA, para o SDSC da Usina. A Figura 13 retrata a vista frontal do painel principal de controle.

Figura 13 - Vista frontal do painel de controle principal.



Fonte: Autor (2020).

3.5 Problemas identificados na configuração do sistema de supervisão e controle das comportas.

O CLP utilizado no sistema de controle e sinalização das comportas não possuía entradas nem saídas analógicas, o que justificava a necessidade de utilização de painéis auxiliares no monitoramento das variáveis analógicas de indicação de posição das comportas e de perda de carga nas grades da tomada d'água. Portanto, para realizar o monitoramento e controle das comportas, eram necessários os painéis abaixo listados:

- Quadro do sistema de indicação de posição das comportas 1 e 2 (QSIP1);
- Quadro do sistema de indicação de posição das comportas 3 e 4 (QSIP2);
- Cabine A Sensor de Montante;
- Cabine B Perda de carga nas Grades 1 e 2;
- Cabine C Perda de carga nas Grades 3 e 4.

3.6 Quadros do sistema de indicação de posição das comportas (QSIP1 E QSIP2).

Esses quadros eram responsáveis pelo monitoramento da posição das comportas (comportas 1 e 2 – QSIP 1 e comportas 3 e 4 – QSIP2), através de *encoders* absolutos de *12 Bits* e realizavam o envio do sinal de comunicação RS485 para o Indicador Controlador HM200, do fabricante *Hytronic*. O Indicador e Controlador HM200 tinha como função, tratar o sinal de comunicação RS485 transmitido pelo *encoder* e, valendo-se de configuração pré-estabelecidas, enviar sinais digitais de saída com o status de posição das comportas. Além das saídas digitais, o Indicador Controlador tinha a função de enviar saídas analógicas, variando entre 4 e 20mA, para o SDSC da Usina. O status de posicionamento das comportas para emissão de sinais digitais na saída apresentam diferentes níveis, conforme serão descritos a seguir:

3.6.1 Nível de abertura das comportas para equilíbrio de pressão.

Este parâmetro de abertura é determinado para equilibrar as pressões entre o reservatório e o conduto, pois a pressão d'água antes da abertura é inferior à pressão do reservatório. Caso não ocorra esse equilíbrio, poderia haver um grave acidente devido ao forte impacto da água nas paletas do distribuidor do gerador, que não suportariam tamanha força, impactando diretamente no funcionamento do equipamento e paralisando todo processo de geração, inclusive, podendo comprometer a segurança dos funcionários que estivessem próximos a elas.

3.6.2 Nível de abertura total das comportas.

Este nível indica a abertura por completo das comportas, permitindo a partida do gerador. Caso essa indicação não seja precisa, poderá ocorrer perda de rendimento no processo de geração de energia elétrica.

3.6.3 Nível de fechamento total das comportas.

Este nível indica o fechamento por completo das comportas, bloqueando a passagem de água pelo conduto. Esta posição pode ocorrer em situações de emergência ou acionamento normal de fechamento, realizado pelo operador. Caso o fechamento tenha sido por emergência, esta posição das comportas irá proteger a casa de força, evitando maiores danos no sistema. O acionamento também é realizado para intervenções das equipes de manutenção da empresa.

O fechamento total é feito diretamente pelo peso das comportas, não sendo necessária a atuação de nenhum componente da unidade hidráulica. Esta medida é adotada, pois em caso de alguma falha na unidade hidráulica, o fechamento não será impossibilitado, o que também tem impacto direto na segurança.

3.6.4 Nível de reposição das comportas.

Esse nível indica que a comporta não está totalmente aberta e é necessária uma intervenção para que não haja o desarme dos geradores hidroelétricos, devido à elevação da perda de carga em decorrência deste fechamento parcial das comportas.

3.6.5 Nível de comporta em deriva.

Esta configuração é determinada de acordo com o nível crítico admissível para a proteção do conduto forçado e da turbina do gerador hidroelétrico. Portanto, este nível indica que a manobra de reposicionamento das comportas não foi eficaz. A configuração deste nível é compatível com a atuação do sistema de proteção do gerador hidroelétrico.

A tabela 4 ilustra, de maneira detalhada, a configuração adotada nas saídas digitais pré-estabelecidas no Indicador Controlador para cada status de posição da comporta.

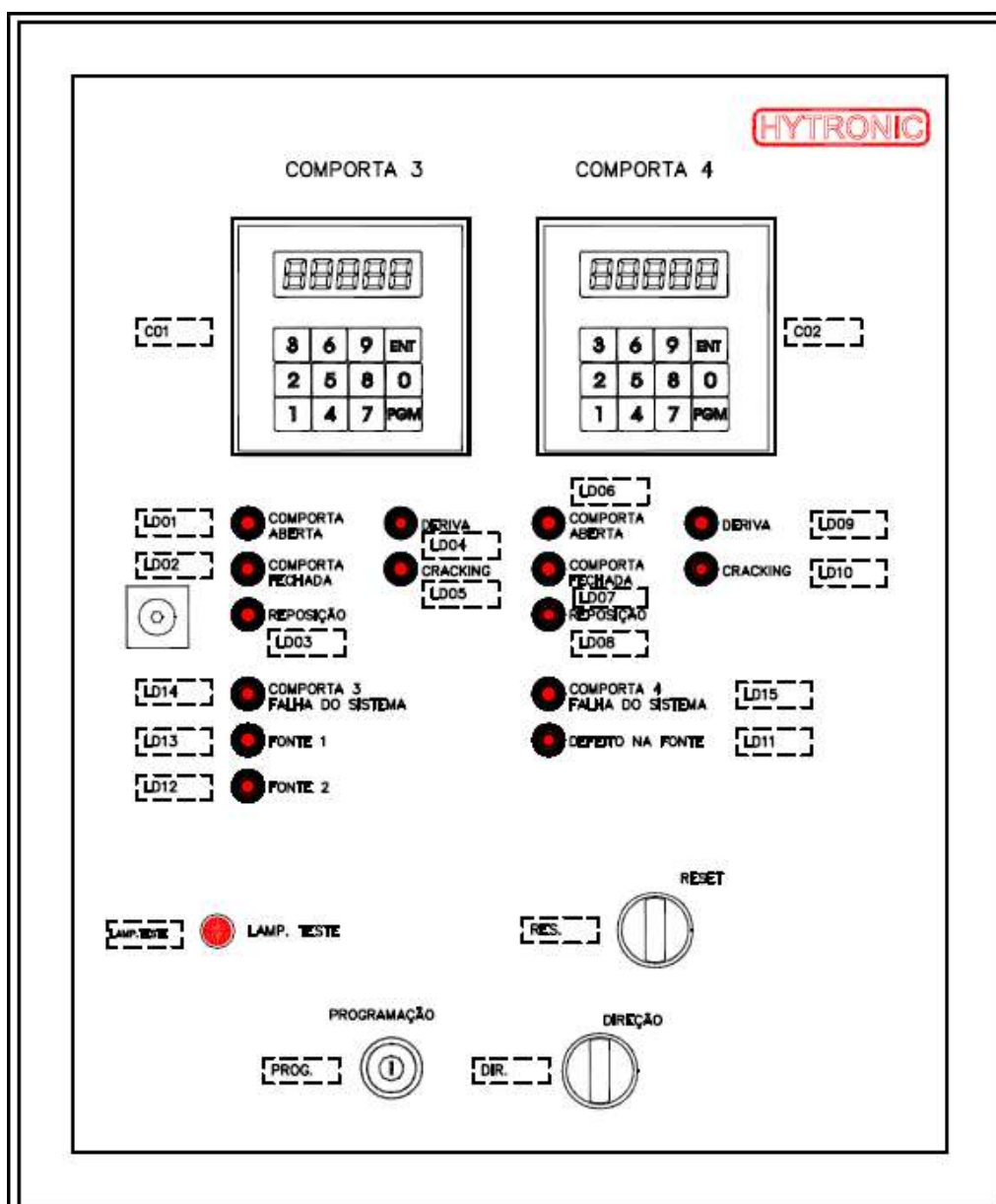
Tabela 4 - Nível pré-estabelecido das saídas digitais do indicador controlador.

Saídas digitais pré-estabelecidas	Níveis (m)
Nível de Abertura para equilíbrio de pressão (<i>cracking</i>)	1.00
Nível de Abertura total	8.045
Nível de Fechamento total das comportas	0
Nível de Reposição das comportas	7.945
Nível de comportas em deriva	5.045

Fonte: Autor (2020).

A Figura 14 mostra a vista frontal do Quadro do Sistema de Indicação de Posição das comportas 3 e 4 (QSIP2).

Figura 14 - Vista frontal do painel QSIP.



Fonte: HYTRONIC (2018).

Um dos principais problemas observados neste sistema eram os *encoders*, que por ficarem expostos às intempéries da natureza, o acúmulo de poeira era constante. Outro ponto a ser observado era quanto ao seu acionamento, que era realizado através de um fio de nylon, que sofria vários agarramentos por falta de limpeza adequada e comprometia a confiabilidade do sistema. Lembrando que toda informação referente ao status de posicionamento das comportas era transmitido através dos *encoders* em questão.

A limitação física da sala onde ficavam instalados o painel principal e a unidade hidráulica também era um problema devido à falta de espaço físico. Estes painéis (QSIP 1 e QSIP 2) estavam instalados em uma área externa, desprovida de cobertura. Sendo assim, estavam expostos à intempéries da natureza, o que acelerava o processo de desgaste natural dos componentes.

Além dos problemas descritos, o Indicador Controlador que compõe esse painel auxiliar já estava obsoleto, não existindo peças para reposição disponíveis no mercado. A Figura 15 demonstra a situação dos painéis (QSIP1 e QSIP 2) antes da modernização.

Figura 15 - QSIP1 e QSIP2.



Fonte: Autor (2021).

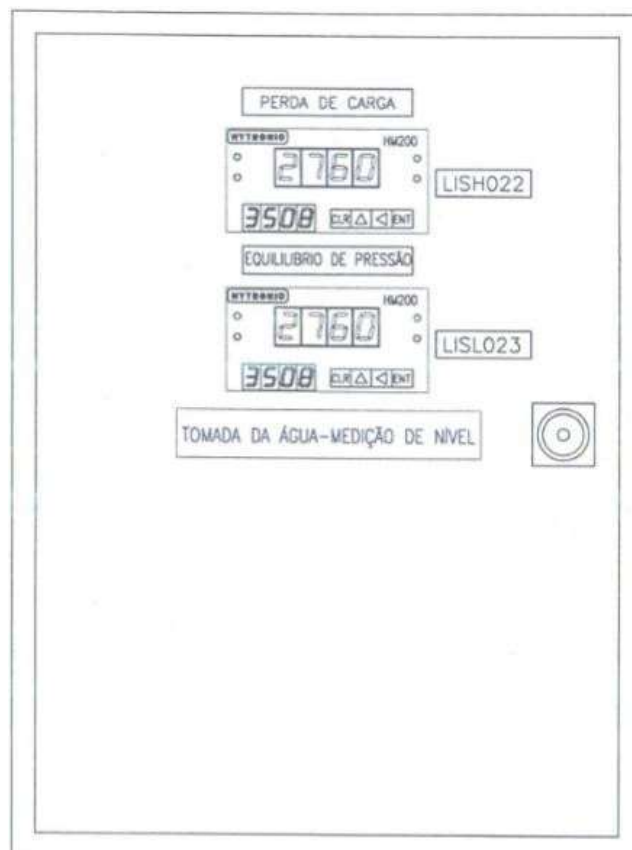
3.6.6 Quadros do sistema de medição de nível, cracking e perda de carga.

Responsáveis por monitor o nível de montante do reservatório (Cabine A), o equilíbrio de pressão (*cracking*) e a perda de carga nas grades da tomada d'água (Cabine B Unidade Geradora 01 e Cabine C Unidade Geradora 02) utilizando sete (07) sensores piezoresistivos. Os sinais enviados por estes

sensores eram enviados para Indicadores Controladores HM200, do fabricante *Hytronic*, na amplitude de 4 à 20mA, instalados nas respectivas cabines. Os Indicadores Controladores HM200 instalados nos painéis Cabine B e Cabine C eram responsáveis por receber o sinal enviado pelos sensores e, através da configuração pré-estabelecida, atuar saídas digitais de *status* de perda de carga e equilíbrio de pressão (*cracking*). As saídas digitais eram enviadas para o painel de controle principal para que fossem realizados os acionamentos interpretados pela lógica do CLP. O *status* de perda de carga nas grades da tomada d'água era enviado através de sinal analógico, variando entre 4 e 20 mA, para o SDSC da Usina. Os níveis de perda de carga e de equilíbrio de pressão eram enviados, por meio de sinal discreto e através das saídas digitais, aos relés dos controladores indicadores, devidamente configurados, como ilustrado no Quadro 3.

A Figura 16 apresenta a vista frontal dos painéis do Sistema de Equilíbrio de Pressão (*cracking*) e perda de carga (Cabine B e Cabine C).

Figura 16 - Vista frontal do painel de perda de carga, medição de nível e *Cracking*.



Fonte: HYTRONIC (2018).

A Tabela 5 apresenta a configuração pré-estabelecida do acionamento dos relés de saída dos Controladores Indicadores do sistema de medição de nível, equilíbrio de pressão (*cracking*) e perda de carga nas grades da tomada d'água.

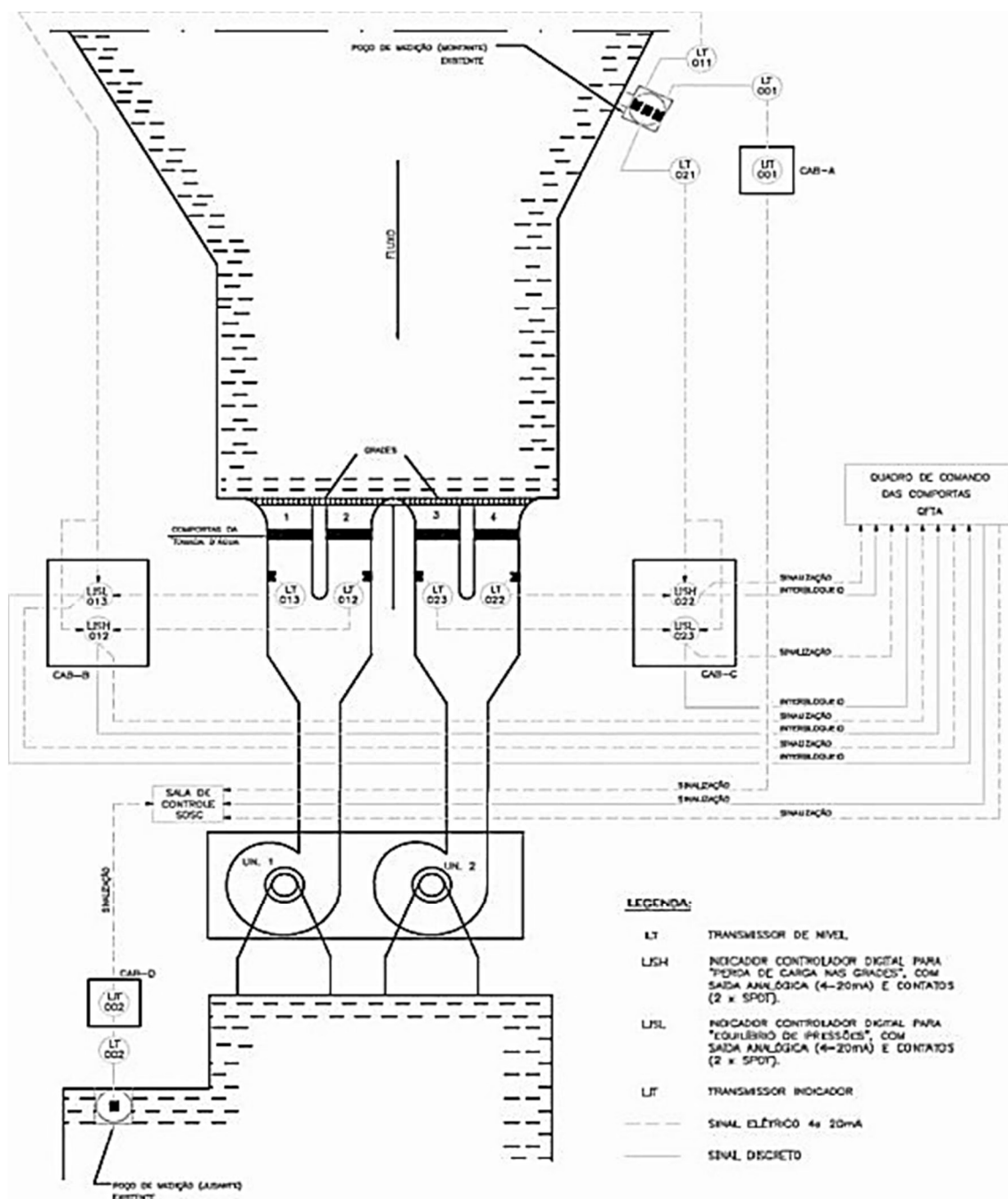
Tabela 5 - Níveis de configuração do indicador controlador do sistema de medição de nível, perda de cargas nas grades (*Cracking*).

Configuração do Indicador Controlador	Níveis (m)
Equilíbrio de pressão (<i>cracking</i>) / Nível alto (relé 1)	1.20
Equilíbrio de pressão (<i>cracking</i>) / Nível baixo (relé 2)	1.00
Perda de carga nas grades / Nível alto (relé 1)	2.00
Perda de carga nas grades / Nível baixo (relé 2)	3.00
Medição de nível	0 à 10.5

Fonte: Autor (2021).

A Figura 17 apresenta o esquema de posicionamento dos sensores, bem como suas interligações, e os respectivos painéis do sistema de medição de nível, equilíbrio de pressão (cracking) e perda de carga nas grades da tomada d'água.

Figura 17 - Sistema de medição de nível, perda de carga nas grades e Cracking.



Fonte: Autor (2021).

Devido à baixa confiabilidade e recorrentes falhas apresentadas pelo sistema, os sinais digitais oriundos dos Indicadores Controladores HM200 não eram enviados corretamente ao painel principal, logo, os respectivos acionamentos pré-estabelecidos na lógica do CLP não funcionavam.

Diante desta situação, o equilíbrio de pressão para abertura da comporta (*cracking*) era realizado através de um tempo estabelecido pelo operador, de acordo com sua experiência. O tempo adotado era em relação ao tempo de enchimento do conduto.

Esse acionamento, apesar de ter uma margem de segurança no tempo estabelecido, era um acionamento de risco.

O monitoramento de perda de carga que também era realizado por esse sistema não era preciso, sendo necessária a medição de nível montante e nível jusante das grades utilizando uma fita métrica.

4 ESPECIFICAÇÕES E IMPLEMENTAÇÃO DA MODERNIZAÇÃO.

Diante das situações e dificuldades destacadas no Capítulo 3, a maneira encontrada para aumentar a confiabilidade no sistema de sinalização e controle foi a modernização completa do sistema elétrico.

4.1 Linhas de ações para seleção de equipamentos.

Haja vista os problemas e dificuldades operacionais do atual sistema de controle e acionamento das comportas, foram adotadas as seguintes linhas de ações para especificação de um novo sistema com o intuito de, inicialmente, executar as mesmas funções básicas anteriores e aumentar a segurança, confiabilidade e assertividade de manutenção para todo processo de geração de energia elétrica.

Foram adotados os seguintes passos para a implementação das atualizações necessárias no sistema:

- Estudo aprofundado das funcionalidades, relevância do sistema e impactos causados em caso de falhas no funcionamento;
- Levantamento dos diagramas funcionais;
- Observância das funções e parametrizações necessárias para a substituição do antigo sistema;
- Pesquisa e estudo dos componentes utilizados na modernização do sistema;
- Dimensionamento dos dispositivos a serem utilizados na modernização.

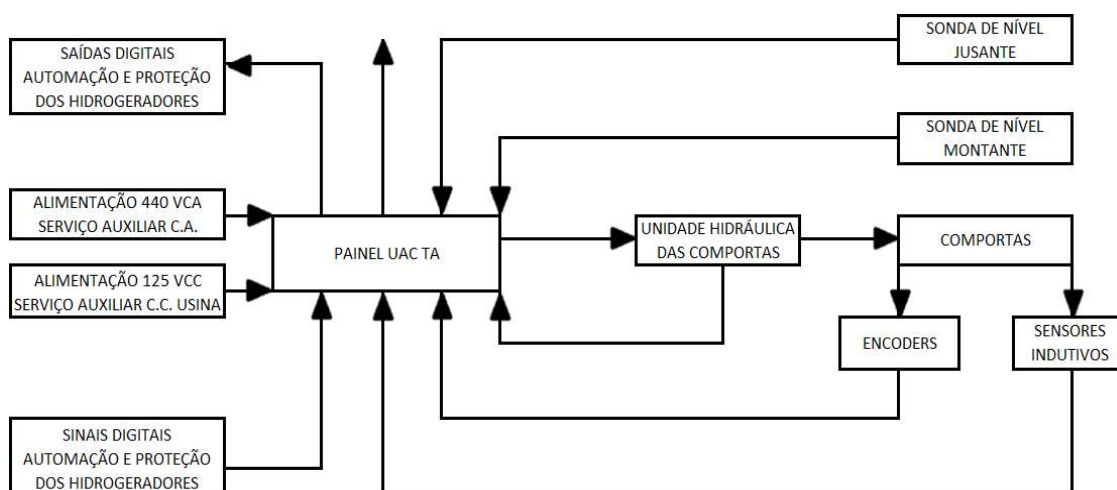
4.2 Dimensionamento e especificações funcionais do novo sistema de supervisão e controle das comportas da tomada d'água.

Com o intuito de solucionar os problemas anteriormente observados, foram dimensionados e especificados os parâmetros para um novo Sistema de Supervisão e Controle das Comporta da Tomada D'água.

O novo sistema é composto por um painel principal nomeado de Painel Unidade de Aquisição e Controle da Tomada D'água (UACTA), este painel é responsável por receber os sinais dos equipamentos instalados em campo,

através dos sinais de oriundos de sensores e atuar nas saídas de acionamento e indicação de status para automação da Usina. A Figura 19 apresenta a arquitetura do novo sistema em diagrama de blocos.

Figura 18 - Diagrama de blocos do novo sistema de supervisão e controle das comportas da tomada d'água.



Fonte: Autor (2021).

4.3 Instrumentação.

Como parte fundamental para a modernização do controle e supervisão das comportas da tomada d'água, foi estabelecida a substituição dos antigos sensores e a instalação de outros novos sensores para maior precisão no controle e medição das posições das comportas e nível do reservatório. A tensão de alimentação adotada em campo para os equipamentos de instrumentação foi de 24VDC.

4.3.1 Novo sistema de monitoramento de posições das comportas.

Devido à necessidade e criticidade do sistema, como prevenção contra acionamentos indevidos no sistema das comportas, foram adotados sensores de posição do tipo indutivo, tendo em vista a utilização de modelos semelhantes em outras instalações das Usinas do Complexo de Geração. Portanto, *encoders* foram instalados para acompanhamento em tempo real do posicionamento das comportas.

4.3.2 Dimensionamento e especificações dos encoders.

Diante da necessidade da obtenção de informações precisas e em tempo real do posicionamento das Comportas da Tomada D'água, por motivo de desassistência da Usina, surgiu a necessidade de dimensionar e especificar um *encoder* para o novo sistema de posicionamento linear da comporta, utilizando exclusivamente o sinal obtido para leitura da posição das comportas.

O novo *encoder*, visando gerar maior confiabilidade na leitura e emissão do sinal de saída, foi instalado em um local estratégico no campo, porém, este local é considerado, dentro das normas de segurança, como sendo uma área classificada, logo, foi realizada uma análise do índice de proteção necessário para perfeito funcionamento e controle de deterioração dos componentes e constatado a necessidade de uma proteção com IP65. Além disso, um tubo galvanizado de 1" (uma polegada) foi a maneira adotada para a proteção de todo o cabeamento de acionamento contra intempéries do ambiente.

Outros fatores observados que influenciaram diretamente no dimensionamento do *encoder* utilizado foram: a tensão de alimentação, a resolução do conversor, o meio de comunicação com o CLP e a precisão requerida pelo mesmo.

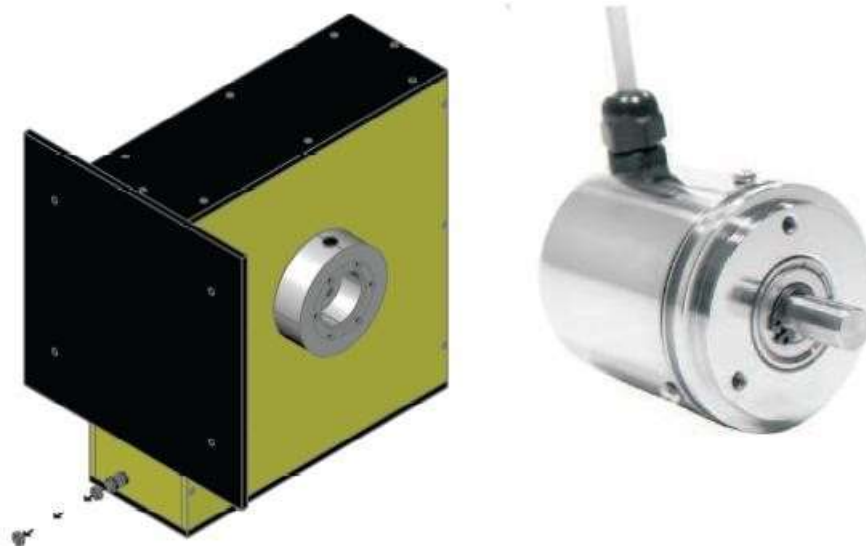
Diante das necessidades observadas no sistema, para a determinação do *encoder* a ser utilizado, pode-se destacar:

- Deverá ser utilizado um *encoder* absoluto, para que em eventuais falhas na alimentação, a informação do posicionamento das comportas não seja perdido;
- Operar com uma tensão de 24VDC, com um sinal de saída de 4 à 20mA, esta saída será ligada diretamente à entrada analógica do CLP, devendo assim, estar protegido contra curto-circuito, sobrecarga e inversão de polaridade.

Atendendo às características técnicas, chegou-se à conclusão de que o *encoder B41040210015*, da série B4 *Encoder* Absoluto e Analógico, aliado à um enrolador da fabricante *Hohner*, modelo EM20, da série *ENCOMETER*, 20mts,

grau de proteção IP65, seria ideal para o perfeito funcionamento. A Figura 19 apresenta o enrolador e o *encoder* dimensionado para o novo sistema.

Figura 19 - Enrolador e *encoder*.



Fonte: HOHNER (2018).

A Tabela 6 apresenta as características técnicas do Enrolador do fabricante *Hohner*, modelo EM20, da série *ENCOMETER*, 20mts.

Tabela 6 - Características do enrolador.

Base	Alumínio
Tampa	Alumínio
Caixa	Alumínio
Eixo	Aço Inox
Rolamentos	6001 ZZ
Faixa de medição (L)	20000 mm
Máxima extensão do cabo (L)	20000 mm
Cabo	1 mm ² Aço inoxidável revestido com nylon
Mínima tensão de cabo estático	6 N
Máxima tensão de cabo estático	13 N
Grau de proteção (padrão)	IP65
Aceleração máxima de extensão	25 m/s ²
Aceleração máxima de recuperação	12 m/s ²
Velocidade máxima	0,75 m/s ²

Fonte: HOHNER (2016).

A Tabela 7 apresenta as características do *Encoder* B41040210015, da série B4, *Encoder* Absoluto e Analógico.

Tabela 7 - Características Do Encoder.

Alimentação	24 Vdc (Nom)
Corrente total máxima	100 mA
Corrente de saída	0 à 20 mA ou 4 à 20 mA
Linearidade de escala	+/- 0,1 %
Temperatura de operação	10 à +70 °C
Resolução do Conversor	12 Bits

Fonte: HOHNER (2016).

4.3.3 Dimensionamento e especificação dos sensores de posição indutivos.

De acordo com as especificações do sistema a ser utilizado para controle e sinalização das Comportas da Tomada D'água, foi necessário o desenvolvimento e implementação, também, de um sistema mecânico para a instalação dos sensores de posicionamento das comportas da tomada d'água.

Tal sistema mecânico teve de ser desenvolvido para viabilizar a instalação de 6 (seis) sensores indutivos de posição. Os níveis de atuação dos sensores foram pré-determinados, estrategicamente, de acordo com as necessidades de acionamento das comportas. Os sensores são responsáveis pelo acionamento e indicação das posições de comporta aberta, posição de reposição da comporta, comporta em deriva, comporta em *cracking* e comporta fechada.

De acordo o nível para reposição das comportas apresentado no Capítulo 3, foi observado que seria de suma importância, no que tange à confiabilidade, o dimensionamento de 2 (dois) sensores ligeiramente espaçados entre si, para que exista uma redundância nesta indicação de posicionamento.

A Tabela 8 apresenta os níveis pré-determinados de indicação de nível das comportas, no qual os sensores serão instalados.

Tabela 8 - Níveis Pré-Determinados de Indicação de Nível das Comportas.

Nível de indicação de comporta aberta	8.045m
Nível de indicação de comporta fechada	0m

Nível de indicação para reposição da comporta	7.945m
Nível de indicação de comporta em deriva	5.045m
Nível de indicação de equilíbrio de pressão	1.00m

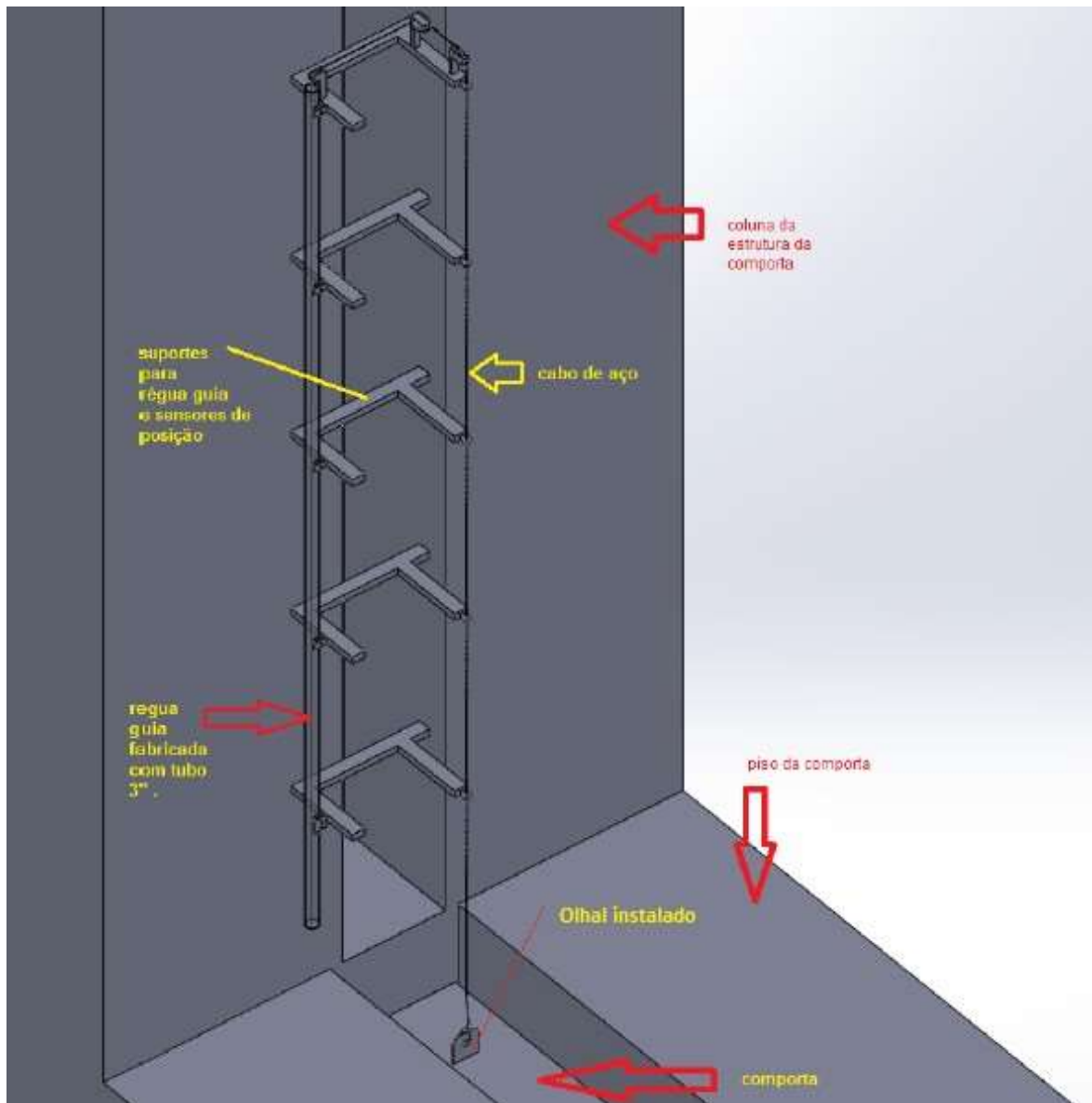
Fonte: PRÓPRIA, (2021).

As etapas para a instalação do sistema mecânico foram seguidas conforme tópicos abaixo:

- Instalação de um olhal soldado na estrutura de cada uma das comportas, tendo como função fixar o cabo de aço do sistema mecânico;
- Instalação de cabo de aço revestido de nylon, resistente à corrosão, que será responsável pela movimentação do pêndulo indicador;
- Instalação de suportes e acessórios para a passagem do caminho do cabo até o pêndulo que será deslocado dentro da régua guia;
- Instalação de um pêndulo detectável em material magnético, confeccionado em aço;
- Instalação de sensores indutivos para detecção da posição da comporta de acordo com as 5 (cinco) posições pré-determinadas;
- Instalação de uma régua guia, confeccionada com tubo de 3" (três polegadas), de aço galvanizado, resistente à corrosão;
- Instalação da infraestrutura eletromecânica (incluindo roldanas) para passagem dos cabos até o painel de comando da comporta.

A Figura 20 apresenta o esquema do sistema mecânico para instalação dos sensores indutivos de posição.

Figura 20 - Esquema do sistema mecânico para instalação dos sensores de posição indutivos.



Fonte: Autor (2021).

4.3.4 Dimensionamento e especificação dos sensores de posição indutivos.

Para o dimensionamento e a especificação do sensor indutivo de posição, foi determinante a aplicação do sistema mecânico especificado anteriormente. A instalação dos sensores foi realizada de forma não faceada com a parede externa do tubo galvanizado de 3", com exposição ao ambiente externo e o

acionamento se dará pela aproximação do pêndulo, confeccionado em material ferromagnético, a uma distância máxima de 3mm.

Levando em conta questões de confiabilidade e segurança, foram utilizados sensores indutivos a três fios com saída normalmente aberta, logo, estes sensores acionam relés auxiliares de 24VDC, responsáveis por enviar os sinais às portas de entradas do CLP.

O modelo escolhido para atender às necessidades de projeto foi o sensor indutivo de posição IGK3005BPKG/AM/US104DPS, da série IGC248, do fabricante IFM. A Figura 21 apresenta o sensor indutivo de posição IGK3005BPKG/AM/US104DPS, da série IGC248, do fabricante IFM.

Figura 21 - Sensor indutivo de posição.



Fonte: IFM (2016).

A Tabela 9 apresenta as características técnicas do sensor indutivo de posição IGK3005BPKG/AM/US104DPS, da série IGC248, do fabricante IFM.

Tabela 9 – Características do sensor indutivo de posição.

Tensão de Alimentação	10 à 30Vdc
Corrente de Consumo	<20mA
Queda de Tensão	<2,5 Volts
Capacidade de Carga da Corrente	100mA
Diâmetro	Rosca M18

Histerese	1 à 20%
Tipo de Ligação	3 Fios
Temperatura de Operação	25 á 70°C
Grau de Proteção	IP67

Fonte: IFM (2016).

4.3.5 Dimensionamento e especificação dos relés de interface dos sensores indutivos e entradas do CLP.

Foram adotados, como responsáveis pela comunicação entre os sensores indutivos e as entradas digitais do CLP, relés com alimentação da bobina em 24VDC e consumo da bobina inferior à capacidade de chaveamento do sensor indutivo de posição. Tendo em vista que os contatos do relé acionariam as entradas digitais do CLP, foi considerada apenas a tensão máxima comutável dos contatos do relé, pois a capacidade de condução de corrente dos contatos dos relés seria irrelevante para tal aplicação. A Figura 22 demonstra o relé Série 48.52 Relé modular de interface 8A do fabricante *FINDER*, que foi utilizado no projeto.

Figura 22 - Relé de Interface Modular 8 A.



Fonte: *FINDER* (2018).

A Tabela 10 apresenta as principais características do relé Série 48.52 Relé modular de *interface* 8A do fabricante *FINDER*.

Tabela 10 – Relé de interface modular 8A.

Corrente nominal/Máx corrente instantânea A	8/15
Configurações dos contatos	2 reversíveis
Tensão nominal/Máx. tensão comutável V AC	250/250
Capacidade de ruptura em DC1: 30/110/220V A	8/0.3/0.12
Carga nominal em AC1 VA	2000
Temperatura ambiente °C	-40...+70
Grau de proteção	IP20
Tensão de alimentação nominal (UV) V AC (50/60 Hz)	12 24 110 120
bobina	230
Potência nominal AC/DC sens. VA (50 Hz) /W	1.2/0.5
Campo de funcionamento DC sensível	(0.73...1.5) UN

Fonte: *FINDER* (2018).

4.4 Novo Sistema de Medição de Nível.

4.4.1 Dimensionamento e especificação dos sensores de nível.

Os fatores que foram determinantes no dimensionamento do sensor de nível, foram o tipo de fluido de aplicação, que neste caso é a água, a coluna d'água máxima de 10,5m onde estariam sendo aplicados, a tensão disponível para alimentação da instrumentação e o índice de proteção, bem como a resistência do material aplicado à corrosão para garantia da durabilidade.

Conforme as características de aplicação citadas anteriormente, bem como a precisão de medida e faixa de operação, foi selecionado o transmissor de nível hidrostático SONDA 1.T15m do fabricante ZURICH atendendo, desta forma, todas especificações de projeto. A figura 23 apresenta o transmissor de Nível Hidrostático SONDA 1.T15m do fabricante ZURICH

Figura 23 - Transmissor de nível hidrostático.



Fonte: ZURICH (2018).

A tabela 11 apresenta as características principais do transmissor de nível hidrostático SONDA 1.T15m do fabricante ZURICH.

Tabela 11 – Características do transmissor de nível hidrostático.

Tipo de Sensor	Piezo-resistivo
Faixa de Pressão	Até 300 M.C.A.
Grau de Proteção	IP68
Exatidão da Medida	Igual ou Menor que 0,1%
Escala de Medida	Linear
Temperatura de Operação	10°C até 60°C
Sinal de Saída em Corrente	4 à 20mA
Sistema de Alimentação e Saída	2 Fios
Tensão de Alimentação	9 à 30Vdc
Material do Corpo	Titânio
Garantia Contra Corrosão	5 Anos
Isolação	100Mohms à 500Vdc
Proteção contra Picos de Tensão	Até 600V (Carcaça/Linha de Excitação)

Fonte: ZURICH

4.4.2 Dimensionamento e especificação da fonte de alimentação para a instrumentação.

Diante da necessidade de alimentação de toda instrumentação de campo, onde todos os sensores possuem tensão de alimentação em 24Vdc, foi dimensionada uma fonte para atender esta demanda da instrumentação.

Através da tensão em 125Vdc disponibilizada no painel UACTA, foi especificada a fonte *QUINTPS/1AC/24DC/10* do fabricante *PHOENIX CONTACT*. Conforme a figura 24.

Figura 24 - Fonte de entrada.



Fonte: PHOENIX CONTACT (2018).

A Tabela 11 apresenta as características principais da fonte QUINTOS/1AC/24DC/10 do fabricante PHOENIX CONTACT.

Tabela 11 – Características da fonte de entrada.

Faixa de tensão nominal de entrada	110 V DC ... 250 V DC
Consumo de energia	2,5 A (110 V DC)
Irupção da corrente	<15 A
Fusível de entrada	10 A (lento)
Seleção de fusíveis adequados	10 A ... 20 A (característica B, C, D, K)
Denominação de proteção	Proteção contra sobretensão de transientes
Tensão de saída nominal	24 V DC $\pm 1\%$
Faixa de ajuste da tensão de saída (<i>USet</i>)	18 V DC ... 29,5 V DC (> 24 V DC, potência constante limitada)
Corrente nominal de saída (IN)	10 A (25 °C ... 60 °C, $U_{OUT} = 24$ V DC)
Potência de saída	250 W
Tensão de isolamento entrada/saída	4 kV AC (Teste típico)
Grau de proteção	IP20

Temperatura ambiente (funcionamento)	25 °C ... 70 °C
---	-----------------

Fonte: PHOENIX CONTACT (2018).

4.5 Dimensionamento do novo CLP.

O Painel UACTA é o responsável por monitorar e controlar todas as comportas de tomada d'água da Usina em questão. A integração com o sistema existente da Usina será estabelecida através da disponibilização de régua de bornes dos pontos existentes do sistema. (digitais e analógicos).

Tendo em vista a necessidade de comunicação futura com outros equipamentos, o painel deveria possuir lógica executada por CLP (Controlador Lógico Programável), tendo como requisitos mínimos a comunicação através de conexão RS 485 além de protocolo nativo.

O bastidor do Painel UACTA é alimentado por uma tensão de 125Vdc já disponível em borne do painel principal, essa tensão é proveniente do serviço auxiliar de corrente contínua da Usina. O dimensionamento da fonte foi realizado tendo em vista a alimentação disponível em 125Vdc e a quantia de placas de entrada e saída para suprir a necessidade de aquisição de 77 entradas digitais e 08 entradas analógicas, bem como a atuação de 52 saídas digitais, dimensionando-se também o bastidor, de acordo com o seu número de *slots*.

Diante da padronização planejada das UAC's do Complexo de Geração, foi previsto a utilização do CLP do fabricante *Altus* da série *Hadron Xtorm*, sendo que este CLP já é aplicado nos sistemas de supervisão e controle anteriormente modernizados do Complexo de Geração.

A arquitetura típica do Painel Unidade de Aquisição e Controle da Tomada D'água (UACTA) esta composta por um bastidor principal de 18 módulos, que contém duas fontes redundantes de 125Vdc/125Vdc, dois processadores redundantes, que comunicam via protocolo *ethernet DNP* e *ModbusTCP*, três cartões de entrada digital 125Vdc, com 32 entradas digitais cada, quatro cartões de saída digital em 125Vdc, com 16 saídas cada, um cartão analógico que podem ser configurados com entrada a corrente ou tensão, com 16 entradas e

seis tampas cegas para proteção dos *slots* vagos. Cada CPU será ligada a porta ethernet de um *switch* não gerenciável.

Devido à criticidade do sistema empregado, o CLP, conforme figura 25, será equipado com redundância de fonte de alimentação e CPUs, sendo a CPU “*hot standby*”, ou seja, a troca de CPU em caso de falha será realizada sem a necessidade de interrupção da alimentação.

Os protocolos de comunicação disponíveis no CLP são DNP3 Cliente e Servidor; *MODBUS TCP* (Cliente e Servidor); *MODBUS Serial (Master e Slave)* e IEC 61850 (*MMS Servidor e GOOSE*).

Para integrações futuras da concessionária, será disponibilizada e configurada uma porta com os pontos do Sistema em Protocolo DNP3.

Figura 25 - CLP do Fabricante Altus da Série Hadron Xform.



Fonte: Autor (2020).

4.6 Características dos Componentes do novo CLP.

A seguir, serão apresentadas as características de cada componente do novo CLP.

4.6.1 CPU

Redundância de CPU no mesmo bastidor; Consumo de corrente do bastidor 1500mA; tensão de alimentação 125Vdc; 6 portas *ethernet 10/100 Base TX* (cobre) com suporte à redundância (*NIC Teaming*); *Interface* para entrada/saída *IRIGB*; 2 Portas Seriais RS232 e RS485; Protocolo *Modbus TCP*, *Modbus RTU via TCP* e *MODBUS RTU*; Protocolo *DNP3 Client e Server*; Protocolo de Programação *MasterTool Hadron*; Protocolo *GOOSE Publisher/Subscriber*; Protocolo *MMS Server*; *WebServer* integrado para acesso aos diagnósticos; Interface para Cartão de Memória SD; Tecla OTD para acesso aos diagnósticos; Visor LCD para visualização de *status* e diagnósticos; *LEDs* para indicação de status e diagnósticos. A CPU especificada para o Painel UACTA foi a IEC 61850 Redundante HX3040 do fabricante *Altus* da série *Hadron Xtorm*.

4.6.2 Módulo de entradas digitais.

Densidade de 32 pontos por módulo; Consumo de corrente do bastidor 195 mA; Entradas Digitais 125 Vdc; Agrupamento em 4 bornes de 10 pinos; Registro de Eventos com resolução de 1ms; Suporte a pontos duplos; Tecla OTD para acesso aos diagnósticos; Visor LCD para visualização de status e diagnósticos; *LEDs* para indicação de status e diagnósticos. O Módulo com 32 Entradas Digitais (*Time Stamping*) HX1120 do fabricante *Altus* da série *Hadron Xtorm* foi o especificado para o Painel UACTA.

4.6.3 Módulo de saídas digitais.

Densidade de 16 pontos por módulo; Consumo de corrente na fonte de alimentação do bastidor de 980mA; Tensão de alimentação 125Vdc; Relés integrados no próprio módulo (dispensa módulo externo); Agrupamento em 4 bornes de 10 pinos; Suporte a pontos duplos com *CBO – Check Before Operate* (monitora continuamente a presença de carga em cada uma das saídas); Tecla OTD para acesso aos diagnósticos; Visor LCD para visualização de status e diagnósticos; *LEDs* para indicação de status e diagnósticos. O Módulo de 16

Saídas Digitais a Relé (CBO) HX2320 do fabricante *Altus* da série *Hadron Xtorm* foi o especificado para o Painel UACTA.

4.6.4 Módulo de entradas analógicas.

Densidade de 16 pontos por módulo; Consumo de corrente do bastidor 320mA; Agrupamento em 4 bornes de 10 pinos; Ranges configuráveis via software (4 a 20ma, 0 a 10V etc.); Filtros configuráveis via software; Conversão para escalas de engenharia; Tecla OTD para acesso aos diagnósticos; Visor LCD para visualização de status e diagnósticos; LEDs para indicação de status e diagnósticos. O módulo com 16 entradas analógicas V/I HX6000 do fabricante *Altus* da série *Hadron Xtorm* foi o especificado para o Painel UACTA.

4.6.5 Bastidores de 9 e 18 posições.

São utilizadas as duas opções de bastidores, de acordo com a quantidade de módulos necessários. Para todos os bastidores utiliza-se redundância de fonte. Também se apresenta a devida redundância de CPU. O bastidor de 18 posições HX9001/HX9003 do fabricante *Altus* da série *Hadron Xtorm* atende as necessidades especificadas do Painel UACTA.

4.6.6 Switch.

Como parte do novo sistema de controle da comporta, o CLP terá como interface de comunicação um switch da fabricante *Phoenix Contact*, contando com 5 portas RJ45, *10/100/1000 MBit/s (RJ45)*. Tensão de alimentação 125Vdc; O modelo a ser utilizado é o *Switch Industrial – FL SWITCH SFNT 5GT – 2891390*.

4.6.7 Capacidade de expansão.

Esta UACT possui seis “*slots*” para futuros módulos (PT100, EA, ED ou SD), e será previsto espaço extra para aquisição de mais 32 pontos (digitais) ou 16 pontos analógicos.

4.6.8 Fonte de alimentação.

Fonte de entrada em 125Vdc; com corrente máxima de saída 12A, corrente essa calculada através do somatório das correntes de consumo de cada

cartão; Contato auxiliar para sinalização de falha; Chaves rotatórias para seleção do endereço do bastidor (*Rack ID*); 2 Portas para expansão de bastidor executando a função de Expansor de Barramento; Suporte para uso de fontes redundantes no mesmo bastidor; Distribuição do sinal de sincronismo de tempo através do próprio cabo de expansão outros bastidores; Tecla OTD para acesso aos diagnósticos; Visor LCD para visualização de status e diagnósticos; *LEDs* para indicação de *status* e diagnósticos. Estas especificações são da Fonte de 125VDC Redundante HX8320 do fabricante *Altus* da série *Hadron Xtorm* que se enquadra na especificação do Painel UACTA.

4.7 Especificação das saídas digitais

Com o intuito de garantir a proteção e a confiabilidade das saídas digitais, as saídas do CLP foram conectadas a relés instalados no Painel UACTA, estes relés são responsáveis por acionar os atuadores de campo.

Os atuadores de campo são os pontos mais propícios a falhas, logo, esta configuração assegura que os atuadores de campo estejam isolados das saídas digitais do CLP através das interfaces à relé.

Os Módulos de saídas digitais do CLP são equipadas com a função "*Check Before Operate*", ou seja, uma lógica que permite detectar defeitos nos circuitos de saída, monitorando-os antes de efetivar a atuação.

Os Módulos de saídas digitais possuem, ainda como característica, a capacidade de chaveamento para carga indutiva no valor de 300mA/125Vdc, sendo este fator preponderante para a especificação dos relés de interface com os atuadores de campo.

Considerando as características das saídas digitais do CLP e dos atuadores de campo, foram especificados os relés de interface.

Levando em consideração que existe a necessidade de compatibilidade da bobina do relé acoplado a saída para o diagnóstico da função "*Check Before Operate*", ou seja, a resistência máxima da carga inferior a 33 k Ω para o perfeito funcionamento da função e sabendo que a maior carga individualizada é de 100W, foram estabelecidos os parâmetros necessários para o dimensionamento correto deste componente.

Por consequência destas particularidades, foi especificado o relé 48.52.7.125.0050 do fabricante *FINDER*, onde as principais características destes relés são a tensão de alimentação da bobina em 125Vdc/4mA, 2 contatos reversíveis de 8 A com capacidade de ruptura em corrente contínua de 220 volts. Conforme a figura 26.

Figura 26 - Relé do fabricante FINDER.



Fonte: *FINDER* (2016).

4.8 Dimensionamento e especificações dos cabos de controle painel UACTA.

De acordo com este projeto de modernização, onde as cargas dos atuadores de campo permaneceram as mesmas, foram dimensionados os cabos para atender à necessidade dos novos equipamentos especificados e instalados, ou seja, somente a fiação interna do Painel UACTA.

Os cabos foram dimensionados e especificados levando em consideração a maior carga instalada no Painel UACTA, onde por ela percorrerá uma corrente de 12 A. Com isso, foi decidido que a fiação interna será feita com cabos de cobre eletrolítico, têmpera mole, flexíveis, de diâmetros adequados à corrente a ser transportada, porém não inferior a 1,5 mm². Serão cobertos com material do tipo que não propague chamas e identificados através de anilhas fechadas, em todos os terminais. Além disso, os cabos serão convenientemente arranjados em

canaletas (com furos laterais e tampa). Os circuitos serão montados de modo que não haja além de dois condutores em qualquer terminal.

Todas as conexões serão feitas com terminais pré-isolados, à compressão, do tipo pino e que permita fixá-los adequadamente aos bornes terminais dos dispositivos e das réguas terminais. Estes bornes serão do tipo seccionado por lâmina que permite o uso de pino para teste, modelo MTKP/P 3104013 (Phoenix Contact).

De acordo com a implementação, onde foi previsto a instalação de duas fontes de alimentação no Painel UAC-TA, sendo uma para alimentar a instrumentação de campo e a outra para alimentar o CLP, foram dimensionadas as novas proteções com a finalidade de proteger os circuitos e os equipamentos de sobrecargas e curtos-circuitos. Decidiu-se que essas proteções seriam disjuntores, onde os critérios para o dimensionamento foram a tensão de alimentação, características do circuito a ser protegido e especificações do equipamento, neste caso, a fonte de alimentação. Foi previsto também, por uma simples questão de segurança e sinalização remota, a quantidade mínima de dois contatos auxiliares para indicação de alarme em caso de disparos sob condições de curto-circuito e ou sobrecarga, sendo um NA e um NF.

Tendo em vista que a fonte já foi dimensionada e suas especificações foram apresentadas anteriormente, onde 125Vdc é a tensão de alimentação e a seleção de proteções adequadas pode ser de 10 à 20 A nas curvas (B,C,D,K), determinou-se que o Disjuntor para proteção destes circuitos seria o SIEMENS 5SY4216-6, onde sua curva característica é a B, pois este modelo protege o circuito eletrônico e juntamente foram especificados os blocos auxiliares. Conforme a figura 27.

Figura 27 - Disjuntor e os blocos de contatos auxiliares



Fonte: SIEMENS (2018).

A Tabela 13 apresenta as principais características dos disjuntores e dos blocos de contatos auxiliares especificados.

Tabela 13 - Dados dos Disjuntores e Blocos de Contatos Auxiliares

Tipo de Tensão	AC/DC
Tensão Nominal	400 V
Corrente Nominal	16 A
Capacidade Corrente de Comutação	15 KA
Curva	B
Contatos Auxiliares	1 NA e 1NF

Fonte: Siemens (2018).

4.9 Dimensionamento e especificação da IHM.

A proposta de instalação de uma Interface Homem Máquina (IHM) tem a finalidade de realizar a interface através da qual o operador poderá monitorar todas as informações oriundas das comportas. Permitindo ao operador o controle de abertura das quatro comportas da tomada d'água, fechamento da(s) comporta(s) em emergência, indicações e alarmes, respeitando a sequência de manobra existente.

O controle do processo e recursos gráficos confiáveis fizeram diferença na seletividade de uma IMH que atendesse ao novo sistema, sendo assim, a resolução do display foi um fator importante a ser considerado.

Outro ponto importante para especificação da IHM do novo sistema foi a troca de dados com o CLP e com a rede, sendo neste caso, uma comunicação

direta nos protocolos de comunicação serial RS232, RS422 e RS485, interface de comunicação *Ethernet 10/100 BASET* e *hardware* de alto desempenho.

De acordo com os critérios, foi decidido que a IHM da Série *iX* de Interfaces Homem-Máquina (IHMs) do fabricante *Altus*, com uma tela de 10 polegadas atenderia de forma satisfatória o novo sistema.

A Tabela 14 apresenta as características da IHM da Série *iX* de Interfaces Homem-Máquina (IHMs) do fabricante *Altus*.

Tabela 14 - Características da IHM da Série *IX* do Fabricante *Altus*.

Denominação	Terminal de Operação <i>IX 10,4" Touch</i>
Tipo de tela	LCD TFT
Tamanho da tela	10,4" 211,2 x 158,4mm
Tipo de iluminação de tela	<i>Backlight LED</i>
Tempo de vida médio da iluminação	50000 horas
Processador	400 MHz ARM9
<i>LEDs</i> de indicação	1 azul
Memória <i>Flash</i> para aplicação	80 <i>Mbytes</i>
Memória <i>RAM</i>	64 <i>Mbytes</i>
Expansão de Memória	<i>Slot para SD card</i>
Porta de comunicação (COM 1)	RS232 DB9 Fêmea
Porta de comunicação (COM 2)	RS422/RS485 DB9 Fêmea
Porta <i>USB Host</i>	Sim, corrente de saídas máxima 500mA
Porta <i>Ethernet</i>	Sim, Conector RJ45 blindado
Normas atendidas	CE
Painel Frontal (LxAxP)	280 x 228 x 7 mm
Profundidade de Montagem	44 mm (144 incluindo área livre)
Dimensões do corte no painel	262 x 209 mm
Tensão de alimentação	24Vdc nominal (16 a 36Vcc)
Consumo de corrente em tensão nominal	0,4A
Proteção do frontal	IP65
Proteção da traseira	IP20
Temperatura de operação	10 a 60 °C
Funções em rede	Envio de emails (cliente SMTP) <i>Web server</i> Operação remota por <i>Internet</i> Acesso remoto do sistema Transferência de arquivos por FTP
Duplo driver com troca de dados	Sim
Aplicações multidiomas	Sim
Caracteres especiais	Sim, permite acentuação e caracteres <i>UNICODE</i>

Tipos e tamanhos de caracteres	Suporta qualquer fonte do sistema operacional <i>Windows</i> .
Senhas	Até 31 grupos de segurança
Alarmes	Possui funções para monitoração e registro de alarmes
Data <i>logger</i>	Sim
Gráficos de tendência	Sim
Funções de temporização	Sim
<i>Script</i>	Sim

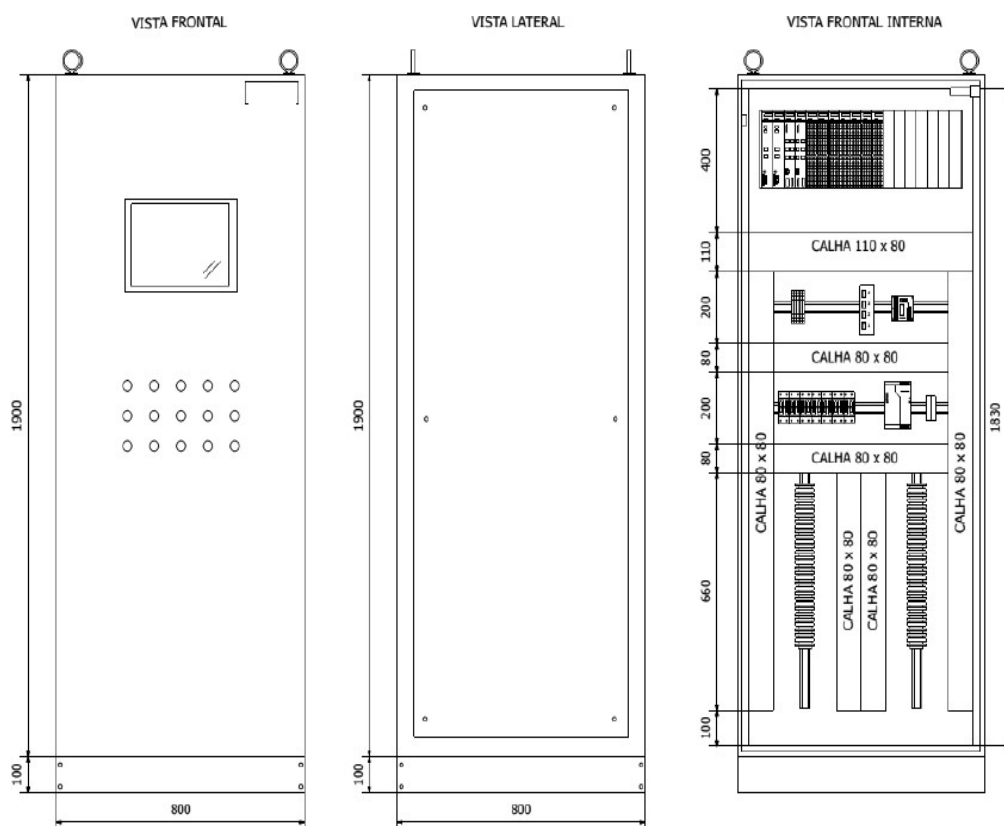
Fonte: ALTUS (2018).

4.10 Dimensionamento e especificações do painel UACTA.

Após o dimensionamento de todos os equipamentos, foi decidido que a melhor localização para a instalação do painel UAC-TA seria a mesma onde estava localizado o painel principal de controle do sistema antigo, em local fechado junto com a unidade hidráulica do sistema.

Levando em consideração o número necessário de compartimentos para alojar os equipamentos especificados no projeto de acordo com o croqui apresentado na Figura 30 especifica a dimensão que o Painel UAC-TA deveria obedecer e com grau de proteção mecânica de acordo com a norma ABNT NBR IEC 60529.

Figura 28 - Dimensão do Painei UAC-TA



Fonte: ALTUS (2018).

Em conformidade com o croqui de projeto e com a normas regulamentadoras, foi dimensionado um painei construído por estruturas autossustentadas com uma dimensão de 1900mm x 800mm x 800mm (A x L x P). Tendo dimensões maiores do que o painei do sistema antigo, para isso foi necessário a instalação de um suporte metálico prolongador.

O novo Painei é equipado com aberturas do tipo veneziana para ventilação, sendo todas com filtros resistentes, de modo que não interfira no grau de proteção. Além disso, possui vedação nas portas, resistência interna para evitar condensação em seu interior e Uma barra de cobre com 50mm² de seção para conexão de aterramento de todas estruturas metálicas e equipamentos.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS.

Logo depois de diversos testes de comissionamento tanto em campo quanto na fábrica, foi comprovada a eficácia do projeto de modernização do sistema de sinalização e controle de comportas de uma usina hidroelétrica, todos os ganhos esperados e metas foram atendidos.

5.1 Ganhos obtidos.

Com o êxito do projeto podemos destacar os seguintes ganhos, que reforçam o principal objetivo da modernização que é confiabilidade e precisão:

- Retirada dos Painéis auxiliares.
- Redundância de sistemas de valores operacionais de monitoramento do estado da comporta.
- Redundância do sensor de reposição da comporta.
- Versatilidade de manutenção das comportas.
- Função Cracking
- Função perda de carga.
- Sistema de aquisição de dados mais moderna e com opções de expansões futuras.

Neste capítulo iremos explorar de forma apurada os detalhes destes ganhos citados.

5.1.1 Retirada dos painéis auxiliares.

Com o uso do CLP, a aquisição dos dados dos sensores, para o monitoramento e controle das comportas, funciona de forma mais objetiva. Retirando os painéis auxiliares equipados com indicadores e controladores ultrapassados e sem assistência técnica autorizada, possibilitou a existência de um único sistema integrado mais compacto.

5.1.2 Redundância de sistemas de valores operacionais de monitoramento do estado da comporta.

A implementação de encoders e sensores indutivos no sistema possibilitou, além dos ganhos de confiabilidade, dois parâmetros de referências,

onde os operadores podem se basear no posicionamento em tempo real das comportas e suas condições quanto as posições pré-estabelecidas dos sensores.

5.1.3 Redundância do sensor de recomposição das comportas.

Uma das exigências mais graves da modernização era a necessidade do aumento significativo da confiabilidade do sistema, diante deste motivo foi importante serem acrescentado sensores de redundância de recomposição de comporta em posições muito próximas ao outro, para realizar a função de cópia de segurança, caso os mesmos apresentarem defeitos.

5.1.4 Versatilidade de manutenção das comportas.

Como já citado, a utilização de dois sistemas para o monitoramento tornou a manutenção mais versátil, porque após a modernização, não será necessário o impedimento do monitoramento e aquisição de dados para a realização da manutenção corretiva ou preventiva.

5.1.5 Cracking.

O processo de preenchimento do sistema de adução é realizado de maneira mais segura. Se antes o equilíbrio de pressão no montante e jusante das comportas era realizado por um tempo pré-estabelecido, após o projeto o processo é feito de forma automática, por causa dos sensores de nível instalados.

5.1.6 Função perda de carga.

Com a função de perda de carga nas grades de proteção a empresa pode programar a manutenção nas grades de proteção de acordo com os níveis observados que serão sinalizados no SDSC. Além disso foi habilitado um sinal de desligamento todas da UHE em casos de níveis críticos de perda de carga para não comprometer a integridade de nenhum equipamento.

5.1.7 Sistema de aquisição de dados mais moderna e com opções de expansões futuras.

Uma das principais pautas para elaboração deste projeto foi a instalação de um CLP moderno bem como um painel UACTA, então foi de suma importância a implementação de dois canais sendo um o principal e o outro a redundância. Tanto a CPU quanto a fonte de alimentação operam no regime de “hot standby”, ou seja, em casos de falha do canal principal a troca para a redundância ocorrerá de forma automática e fluida, excluindo a possibilidade de parada por motivos de falhas no sistema de aquisição de dados.

Além disso o sistema conta com protocolos atuais e modernos de comunicação, tal como o DNP3 Cliente e Servidor; MODBUS Serial – MASTER E SLAVE, MODBUS TCP Cliente e Servidor e o IEC 61850 – MMS Servidor e GOOSE). Estes protocolos são importantes para que no futuro a ONS, Operador Nacional do Sistema, através da rede possa ter acesso aos parâmetros da comporta em tempo real em um SDSC.

Por último, outro ponto de melhoria que vale destacar no sistema de aquisição de dados é a implementação da IHM para auxiliar a operação, a Interface Homem Máquina (IHM) apresenta diversos parâmetros e dados colhidos em uma tela que é localizada no campo, além disso, através dela ele consegue de forma intuitiva operar a comporta de acordo com as manobras necessárias.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.

A modernização no sistema de supervisão e controle das comportas da tomada d'água foi muito importante e bem aceita por todos os setores envolvidos. O ganho de confiança nos equipamentos responsáveis pela geração de energia foi bastante significativo, impactando diretamente na disponibilidade de geração de energia elétrica produzida nas Unidades Geradoras.

Este trabalho mostrou que é possível tornar um sistema ultrapassado, onde a maioria dos equipamentos era obsoleta, em um sistema confiável e totalmente atual. Vale também ressaltar que esta modernização foi realizada pelos engenheiros, técnicos e operadores de vários setores da concessionária, o que reduziu drasticamente os custos para a implementação do projeto, viabilizando-o economicamente. A integração entre as diversas equipes envolvidas ratificou a importância do trabalho em equipe, o que em diversas empresas não acontece.

O teste real da modernização está ocorrendo no dia-a-dia, de acordo com o passar do tempo, onde até o presente momento o sistema opera a contento e de forma confiável, podendo-se observar o ganho claramente ao analisar os comparativos apresentados

REFERÊNCIAS.

- ALSTOM Brasil. Disponível em: <<http://www.alstom.com.br>> Acesso em: 12/01/2021.
- ALTUS. **Manual de Utilização Série Hadron Xotrm**, São Leopoldo, Rio Grande do Sul. Disponível em < <https://www.altus.com.br/>> Acesso em 25 Abr. 2020
- CAPELLI, A. **Automação Industrial Controle dos movimentos e processos contínuos**. 3 ed. São Paulo. 2015
- ALVES, J. L. L. **Instrumentação, controle e automação de processos**. 2 ed. Rio de Janeiro. 2017
- ALTUS, Catálogo, 2018.
- ANEEL, **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Parte II, Fontes Renováveis 3 – Energia Hidráulica. Acesso em 20/01/2021.
- ATLAS, **Energia Hidráulica 04**, ANEEL. Acesso em 20/01/2021.
- Apostila de Tecnologia Hidráulica Industrial Parker**, julho 1999.
- Automação de Processos Industriais, WEG (2015). Acesso em: 25/02/2021.
- BALLUFF SENSORS WORLDWIDE**. Disponível em: <<http://www.balluff.com>>, Acesso em 01/02/2021.
- BIG, **Banco de Informações de Geração**, ANEEL. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em 24/01/2021.
- CBA – **Companhia Brasileira de Alumínio**. Disponível em: <http://www.aluminiocba.com.br>. Acesso em: 12/01/2021.
- ELETROBRÁS. Disponível em: <http://www.eletronbras.com>. Acesso em: 05/01/2021.
- FINDER, Catálogo, 2018.
- FRANCO FERREIRA, ALEX – Apostila Automação Industrial, 2013.
- GENERAL ELETRIC, Catálogo, 2018.
- HACKER – **Metalúrgica Ltda. Turbinas hidráulicas**. Disponível em: <http://www.hacker.ind.br>. Acesso em: 21/01/2021.

HITRONIC, Catálogo, 2005.

HOHNER, Catálogo, 2018.

INDUSTRIAS HOJE. **O Que É E Como Funciona Um Cilindro Hidráulico.**

Disponível em: <<http://www.industriahoje.com.br/oqueeeecomofuncionaumcilindrohidraulico/>>. Acesso em: 23/01/2021.

IFM, Catálogo, 2018.

JUNIOR, Antonio G. de Mello. **A Turbina de Fluxo Cruzado (MichellBanki), como opção para Centrais Hidráulicas de Pequeno Porte.** IEE, USP, São Paulo.

PCE INSTRUMENTS UK Ltd. Disponível em:

<<http://www.pcedidores.com>>, Acesso em: 04/02/2021.

PARKER Hannifing Corporation. Sistemas pneumáticos. Disponível em:

<http://www.parker.com>. Acesso em: 15/01/2021.

PARKER Hannifing Corporation. Sistemas hidráulicos. Disponível em:

<http://www.parker.com>. Acesso em: 16/01/2021.

Pereira, José Cláudio. Motores e Geradores. Disponível em:

www.joseclaudio.eng.br. Acesso em: 20/01/2021.

PHOENIX CONTACT, Catálogo, 2018.

Porto, Licínio Porto. **Metodologia Para Prognosticar A Redução De Temperatura Do Enrolamento De Campo De Um Hidrogerador.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, UFMG. Belo Horizonte, 2008.

REIVAX S/A – **Automação e Controle. Manual de Comissionamento.**

Florianópolis, SC, 2009, 83p.

REIVAX S/A – RVX POWER – **Sistema de Regulação de Velocidade –**

Treinamento de Manutenção. Florianópolis, SC, 2014.

REIS, Lineu Belico dos. **Geração de energia elétrica: tecnologia, inserção ambiental, planejamento, operação e análise de viabilidade.** Barueri:

Manole, 2003.

Redação Indústria Hoje, 2013. Disponível em:

<<http://www.industriahoje.com.br/oqueeeecomofuncionaumabombahidraulica>> Acesso em 26/01/2021.

VOITH HYDRO, Catálogo, 2011.

SCHREIBER, P Schreber. **Usinas hidrelétricas**. Berlim: Edgard Blücher, 1953.

SENAI/SC. **Comandos elétricos para automação**. Florianópolis: SENAI/CTAI, 2005. 63 p.

SCHREIBER, GEIHARD PAUL; Usinas hidrelétricas. Editora Edgard Blucher LTDA, Rio de Janeiro, 1977.

HABILITAÇÃO ELETRÔNICA / AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL, ISMAEL

MOURA PAREDE E LUIZ EDUARDO LEMSGOMES, 2011. Disponível em:

<<http://eletro.g12.br/arquivos/materiais/eletronica6.pdf>> Acesso em 22/02/2021.

Stone Greg C., Edward A. Boulter, et. al. **Electrical insulation for rotating machines, IEEE Press Series on Power Engineering**. 2004.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro **Urbano Braga de. Sensores Industriais; Fundamentos e Aplicações**. 7ª ed. São Paulo: Érica Ltda. 2015.

WEG Máquinas S/A. Geração de energia. Jaraguá do Sul, SC, 2006, 312p.

ZURICH, Catálogo, 2021.