



LAURO REIS NETO

**METODOLOGIA DE CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA
SUPERVISÓRIO DE UMA USINA HIDRELÉTRICA,
UTILIZANDO UMA USINA MODELO.**

LAVRAS – MG

2021

LAURO REIS NETO

**METODOLOGIA DE CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA
SUPERVISÓRIO DE UMA USINA HIDRELÉTRICA,
UTILIZANDO UMA USINA MODELO.**

Trabalho de conclusão de curso (TCC)
em forma de relatório técnico
apresentado à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do
Curso de Engenharia de Controle e
Automação, para a obtenção do título de
Bacharel.

Prof. Dr. Carlos Eduardo Castilla Alvarez
Orientador

**LAVRAS – MG
2021**

LAURO REIS NETO

**METODOLOGIA DE CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA SUPERVISÓRIO DE
UMA USINA HIDRELÉTRICA, UTILIZANDO UMA USINA MODELO.**

**METHODOLOGY OF CONSTRUCTION OF A SUPERVISORY SYSTEM OF A
HYDROELECTRIC POWER PLANT, USING A MODEL POWER PLANT.**

Trabalho de conclusão de curso (TCC)
em forma de relatório técnico
apresentado à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do
Curso de Engenharia de Controle e
Automação, para a obtenção do título de
Bacharel.

Aprovado em 21 de maio de 2021.

Dr. Carlos Eduardo Castilla Alvarez UFLA
Dr. Belisário Nina Huallpa UFLA
Dr. Danilo Alves de Lima UFLA

Prof. Dr. Carlos Eduardo Castilla Alvarez
Orientador

**LAVRAS - MG
2021**

RESUMO

A constante busca por energia de forma sustentável e com alto desempenho vem crescendo continuamente no Brasil. Por isso, companhias energéticas investem em tecnologias para conquistar maior controle e monitoramento de suas fontes, focado em otimizar a geração de energia. Portanto, este trabalho apresenta uma metodologia de desenvolvimento e a implementação de um sistema SCADA que permite controle e monitoramento remoto, utilizando Softwares Elipse Power, comunicação por gateway por meio do protocolo IEC 60870-5-104 e total suporte da empresa Energia Automação LTDA. Assim, foi possível desenvolver e implementar, de forma remota, um sistema de supervisão para o controle e monitoramento do complexo da usina utilizada como modelo, fazendo parte do complexo de gerenciamento situado na Central de Operação da Geração (COG). Com isso, é possível considerar um aumento nos investimentos em tecnologia de gerenciamento, monitoramento remoto e fornecendo à empresa maior domínio de informações, facilitando a tomada de decisões para curto e longo prazo. Este sistema de supervisão apresenta informações de maneira clara e objetiva, exibindo os dados com alta performance visual. Além de contemplar os parâmetros fiscalizados pelos órgãos de vistoria, como a ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico), o sistema traz a vantagem do monitoramento e controle contínuo de dados operacionais que devem ser mantidos em uma faixa de valores, exigidos por lei.

Palavras-Chave: Sistema Supervisório. SCADA. Interface Homem-Máquina (IHM). Geração de Energia. Automação Industrial.

ABSTRACT

The constant search for energy in a sustainable manner and with high performance has been growing continuously in Brazil. For this reason, energy companies invest in technologies to achieve greater control and monitoring of their sources, focused on optimizing energy generation. Therefore, this work presents a development methodology and the implementation of a SCADA system that allows remote control and monitoring, using Elipse Power Softwares, gateway communication through the IEC 60870-5-104 protocol and full support from the company Energia Automação LTDA. Thus, it was possible to develop and implement, remotely, a supervision system for the control and monitoring of the plant complex used as a model, as part of the management complex located at the Generation Operation Center (COG). Thereat, it is possible to consider an increase in investments in management technology, remote monitoring and providing the company with a greater domain of information, facilitating decision making for the short and long term. This supervision system presents information in a clear and objective way, displaying the data with high visual performance. In addition to contemplating the parameters inspected by the inspection bodies, such as the ONS (National Electric System Operator), the system has the advantage of continuous monitoring and control of operational data that must be kept in a range of values, required by law.

Keywords: Supervisory System. SCADA. Human Machine Interface (HMI). Power Generation. Industrial Automation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Projeção futuras para subestação digitais. | 9 |
| Figura 2 - Níveis de subestação de acordo com normas e protocolos de comunicação. | 15 |
| Figura 3 - Gráfico do balanço energético brasileiro. | 16 |
| Figura 4 - Fluxograma do Elipse Gateway. | 17 |
| Figura 5 - Arquitetura do Protocolo IEC 60870-5-104. | 18 |
| Figura 6 - Arquitetura do Protocolo OPC. | 19 |
| Figura 7 - Fluxo de dados para disponibilização de dados para o supervisório na central. | 24 |
| Figura 8 - Divisão do sistema da usina modelo. | 27 |
| Figura 9 - Modelador elétrico da subestação UHE. | 29 |
| Figura 10 - Bay UG dentro da subestação. | 29 |
| Figura 11 - Vazão de vertimento. | 31 |
| Figura 12 - Tela completa em modo de execução. | 32 |
| Figura 13 - Fluxograma do teste de Comissionamento. | 33 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|-------|--|
| ASDU | <i>Data Application Unit</i> |
| CA | Circuito Alternado |
| CAD | <i>Computer-Aided-Design</i> |
| COG | Central de Operações da Geração |
| COM | <i>Component Object Model</i> |
| DCOM | <i>Distributed Component Object Model</i> |
| IEC | <i>International Electrotechnical Commission</i> |
| IHM | Interface Homem-Máquina |
| IEDs | <i>Intelligent Electronic Device</i> |
| ONS | Operador Nacional do Sistema Elétrico |
| OPC | <i>Open Platform Communications</i> |
| PLC | <i>Programmable Logical Controller</i> |
| RTUs | <i>Remote Terminal Units</i> |
| SAE | Sistema Auxiliar Elétrico |
| SAH | Sistema Auxiliar Hidráulico |
| SAM | Sistema Auxiliar Mecânico |
| SCADA | <i>Supervisory Control and Data Acquisition</i> |
| UG | Unidade Geradora |
| UHE | Unidade Hidráulica de Energia |

SUMÁRIO

| | |
|---------------------------------------|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 9 |
| 2 OBJETIVOS | 12 |
| 2.1 Objetivo Geral | 12 |
| 2.2 Objetivos Específicos | 12 |
| 3 ESTRUTURA TEXTUAL | 13 |
| 4 REFERENCIAL TEÓRICO | 14 |
| 4.1 Marco Teórico | 14 |
| 4.1.1 O software de desenvolvimento | 16 |
| 4.1.2 O protocolo IEC 60870-5-104 | 17 |
| 4.1.3 O Protocolo OPC Clássico | 18 |
| 4.1.4 Biblioteca da Energia Automação | 19 |
| 4.2 Estado da Arte | 20 |
| 5 METODOLOGIA | 22 |
| 5.1 Modelador | 22 |
| 5.2 <i>Drivers</i> | 23 |
| 5.3 Base de dados | 25 |
| 5.4 Telas | 25 |
| 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 27 |
| 7 CONCLUSÃO | 34 |
| REFERÊNCIAS | 36 |

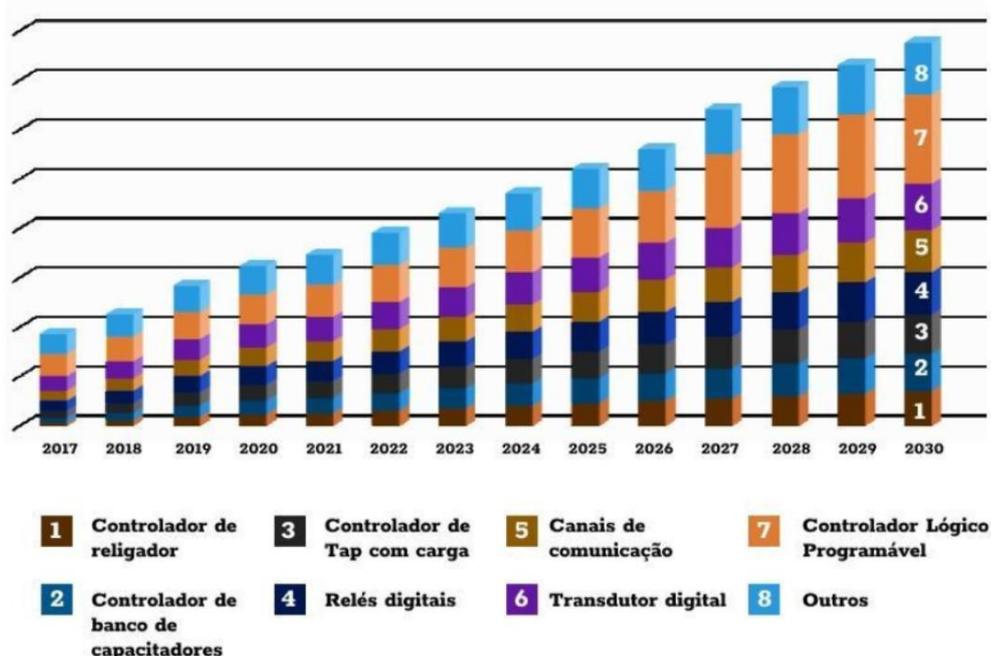
1 INTRODUÇÃO

O cenário energético global vem sofrendo com a dificuldade em lidar com falta de recursos naturais, mesmos que são explorados continuamente pelo ser humano. Dessa forma, investir em fontes renováveis é um dos caminhos para controlar esta problemática. Aprimorar cada vez mais uma cultura de investimento em fonte renováveis, de forma inteligente, possibilita a obtenção de uma fonte de energia renovável com baixos custos e menores impactos ambientais (BELHADJI; GHENAM; BACHA, 2019).

Atualmente, os avanços tecnológicos estão transformando os sistemas em cada vez mais inteligentes e organizados, devido à gestão da oferta e da procura de energia elétrica. Esses sistemas precisam incorporar recursos modernos de comunicação, monitoramento e controle, além do transporte inteligente, fornecendo uma geração de energia otimizada com armazenamento e de informações (WALEED et al., 2019).

Levando em conta esses fatores, companhias de energia investem em tecnologia para aumentar o desempenho e reduzir os custos (ARUN; LATHESH; SUHAS, 2016). Pensando no crescimento futuro e tendências de mercado, esses investimentos estão ligados às projeções futuras das subestações digitais. Na Figura 1 é apresentado uma destas projeções.

Figura 1 - Projeção futuras para subestação digitais.



Fonte: Adaptado de Waleed et al., 2019.

Devido a estimativa do crescimento na projeção das subestações digitais nos anos futuros, é preciso que aconteça um rápido avanço tecnológico para suportar essa evolução. Um dos meios investidos é a automação digital utilizando um Sistema SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*). Estes sistemas utilizam software para monitorar e supervisionar as variáveis, os dispositivos de processos industriais e diversos equipamentos conectados através de servidores/drivers de comunicação específicos. Por meio desse sistema é possível melhorar o monitoramento, controle, redução de custos e otimização na distribuição e produção de energia com confiabilidade, possibilitando também, a integração de mais de uma subestação de energias (AGRAWAL; APRAJITA,2019).

Automatizar completamente uma subestação de distribuição de energia por meio da estrutura SCADA, permite grande avanço no controle de perdas e aumento da performance. Integrar um sistema de supervisão para exibir informações de operação, desempenho e falhas, é de grande ajuda (ADAM; HUSSEIN, 2018). Assim, no momento em que acontece uma falha, o supervisor alerta o operador, deixando claro a origem e o porquê daquela falha.

Desse modo, com um sistema supervisorio, além de possuir monitoramento e controle em tempo real, é possível também, melhora a tomada de decisão e localização de falhas de uma maneira objetiva e rápida. A disposição dos dados e informações facilitam a experiência do usuário, com referências confiáveis para a tomada de decisões em curto prazo.

Visto que, para aumentar o desempenho, reduzir custos, evitar falhas e, consequentemente, diminuir riscos aos operadores, implementar um sistema supervisorio é de grande importância, principalmente para uma Usina Hidrelétrica, que é o foco principal desse trabalho. Por meio dos sistemas de automação, operadores possuem informações claras e precisas para tomada de decisões que podem influenciar de maneira significativa no desempenho da produção de energia elétrica. Assim, este relatório técnico objetiva apresentar uma metodologia e implementação de um supervisorio remoto para uma Usina Hidrelétrica.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo do trabalho é apresentar uma metodologia seguida do desenvolvimento de um sistema SCADA, para monitorar e controlar de forma remota uma Usina Hidrelétrica.

2.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver e comissionar um sistema supervisório;
- Controlar e monitorar remotamente a usina modelo;
- Produzir um supervisório padronizado e modularizado;
- Monitorar a vazão de restrição vistoriada pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS);
- Implementar o sistema no Central de Operações da Geração (COG) aumentando o gerenciamento centralizado.

3 ESTRUTURA TEXTUAL

O capítulo 4 apresenta alguns conhecimentos teóricos aprendidos durante o estágio, que ajuda no desenvolvimento do trabalho. Nessa mesma seção são exibidos os elementos utilizados no projeto, contemplando algumas características, funcionalidades e finalidade.

Em seguida, no capítulo 5, é abordado o desenvolvimento do projeto, apresentando o planejamento para a criação da estrutura de comunicação, desdobramento do diagrama unifilar e geração de telas. Na mesma seção, é apresentado a parte prática, onde é estabelecida a comunicação do sistema SCADA, configuração do diagrama unifilar, desenvolvimento da base de dados e criação de telas utilizadas para subsidiar a supervisão da usina modelo pesquisada, digitalizando a estrutura de produção da usina modelo, até a validação do projeto por meio de testes.

Por fim, no capítulo 6, são apresentados os resultados e os objetivos alcançados, e a implementação do sistema de supervisão da usina modelo na Central de Operações da Geração (COG).

4 REFERENCIAL TEÓRICO

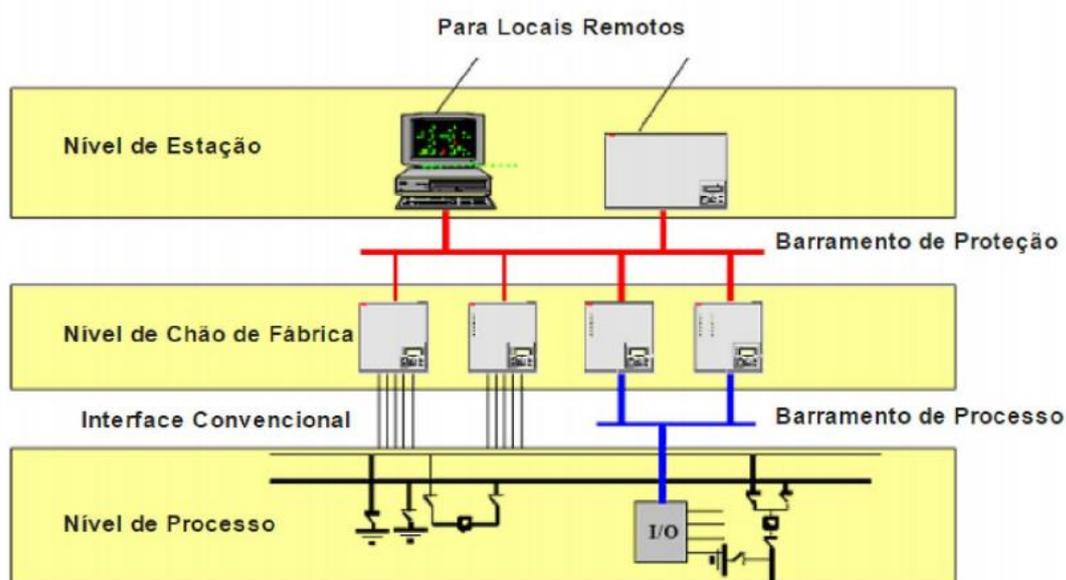
Neste capítulo, serão apresentados os conceitos utilizados para desenvolver o sistema de supervisão, divididos em duas partes: Marco Teórico e Estado da Arte. Exibindo o conteúdo aprendido sobre as ferramentas utilizadas e os conceitos que levaram a utilização da metodologia de desenvolvimento.

4.1 Marco Teórico

A falta de recursos naturais, os quais são fontes de energia para o desenvolvimento da sociedade e suas tecnologias, desencadeou a busca por novas soluções que apresentam alta eficiência. Iniciou-se investimentos financeiros a fim de otimizar o processo de geração e produção de energia, de forma que os dados sejam digitalizados para o monitoramento e controle de forma remota. Evitando assim perdas e potencializando ganhos.

Para monitorar e operar as subestações digitalizadas, são utilizados em campo os Dispositivos Eletrônicos Inteligentes (IEDs) do inglês: *Intelligent Eletronic Devices* que coleta e envia dados dos equipamentos para o nível de estação, seguindo normas e protocolos de comunicação (UNDE; KURHE, 2017), como mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Níveis de subestação de acordo com normas e protocolos de comunicação.



Fonte: Nogueira, 2007.

Uma subestação automatizada pode ser monitorada e controlada remotamente com a ajuda de um sistema SCADA, que trata os dados e os apresenta em uma interface amigável, fazendo parte de um sistema de supervisão (LEE et al., 2017).

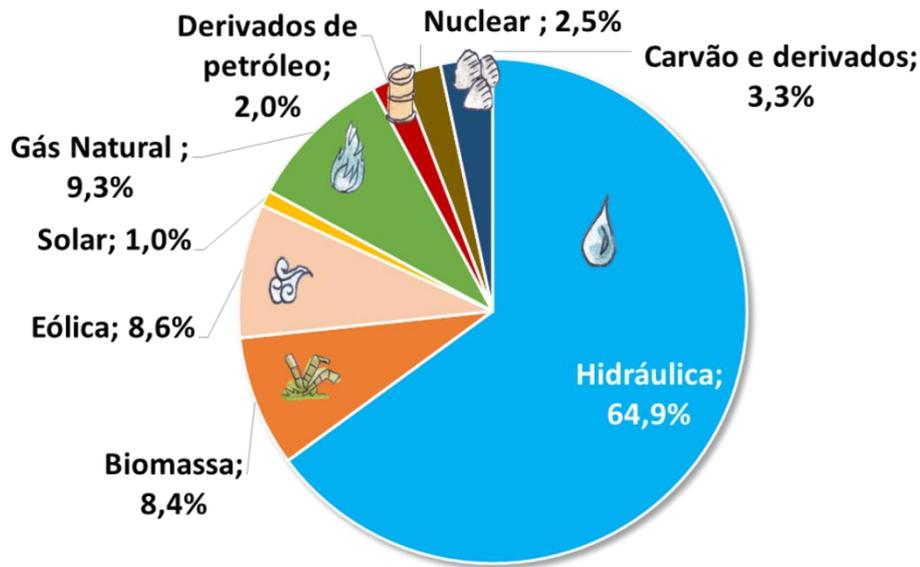
O sistema de supervisão engloba processamento de dados através de software como medições, detecção de equipamentos e seus estados, proteção contra falhas e comunicação (MNUKWA; SAHA, 2018). Os sensores que fornecem o estado do equipamento são peças fundamentais para o bom desempenho do sistema, pois são itens importantes na representação no supervisório. Assim, os valores lógicos refletem o status dos elementos de controle e monitoramento (PEREZ; JARDINI, 2013). Todos os IEDs são integrados no software por meio dos *drivers* e eles possuem, em geral, funções de proteção e controle, também alimentando o sistema supervisório com os dados obtidos durante seu uso (WALEED et al., 2019).

Implementar uma interface com os dados oriundos dos IEDs é indispensável. Softwares que utilizam componentes orientados a objetos permitem maior desempenho para um sistema de supervisão, comparado com sistemas mais antigos. Essa vantagem, atrelada ao SCADA, pode alcançar uma economia de 90% em termos de desenvolvimento (GARBRUCHT, 2008).

Dessa forma, é possível desenvolver um sistema supervisório com inteligência, que permite processar e entregar análises detalhadas de dados oriundos do campo de forma objetiva. Esse sistema também proporciona uma melhor experiência para os usuários e facilitar manutenções da planta (ANTONIJEVIĆ; SUČIĆ; KESERICA, 2018).

Portanto, analisando os recursos brasileiros, onde a malha energética é dependente em sua maioria por Usinas Hidrelétricas, é importante destacar a importância do aprimoramento e otimização de complexos hidrelétricos, tornando-os inteligentes para a melhor gestão, distribuição e redução de custos. De acordo com a EPE – Empresa de Pesquisa Energética, por meio do Balanço Energético Nacional de 2020, representado pela Figura 3, 64,9% das fontes de energia são hidráulicas, uma porcentagem considerável frente aos problemas de falta de potenciais energéticos renováveis nos dias atuais.

Figura 3 - Gráfico do balanço energético brasileiro.



Fonte: Adaptada do Balanço Energético Nacional, 2020.

4.1.1 O software de desenvolvimento

O desenvolvimento de um projeto SCADA conta com duas grandes partes, hardware e software. Como o caso de estudo é o de uma Usina Hidrelétrica modelo já em funcionamento, este trabalho aborda a implementação somente da parte de Software de um sistema de supervisão.

O software mais usado no meio industrial para essa finalidade é o Elipse Software, que fornece uma plataforma SCADA bem estabelecida, oferecendo escalabilidade e evolução constante para vários tipos de aplicativos, desde interfaces como Interface Homem-Máquina (IHM) simples até centros operacionais complexos em tempo real. Desenvolvido para atender aos requisitos atuais e futuros de conectividade.

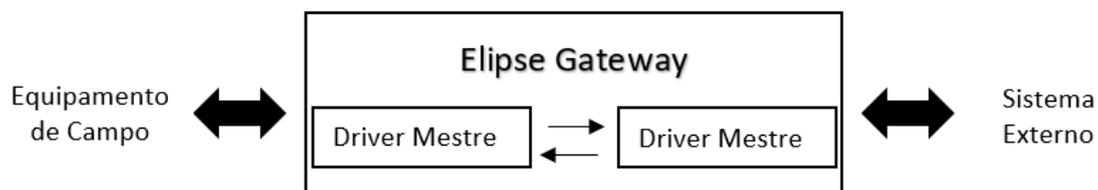
O uso do Elipse proporciona a utilização de ferramenta que beneficiam a implementação desse trabalho, onde sua aplicação foi em uma usina modelo. Com isso foi possível determinar algumas características dessas ferramentas como:

- Estabelecer uma conexão com a maioria dos (PLCs, dispositivos remotos, data hubs) no mercado;
- Aprimorar o tempo necessário para o desenvolvimento e manutenção de aplicativos, que podem ser padronizados através de bibliotecas;
- Observar um retorno rápido e duradouro de investimento;
- Notar parte de uma plataforma integrada de monitoramento e gestão, que também

compreende a operação do sistema elétrico (Eclipse Power).

Para realizar uma comunicação confiável, utiliza-se um servidor cujo objetivo é de se portar como um Gateway. Assim, nesse servidor é implementado por meio do Software da Eclipse o pacote E3 Gateway, indicado para aplicações de conversão de protocolo, no qual oferece uma ampla gama de protocolos de energia de clientes ou servidores (IEC 61850, 101/103/104, DNP 3.0, IEC 60870-5-104, entre outros), além dos principais dispositivos do mercado.

Figura 4 - Fluxograma do Eclipse Gateway.



Fonte: Do Autor, 2021.

4.1.2 O protocolo IEC 60870-5-104

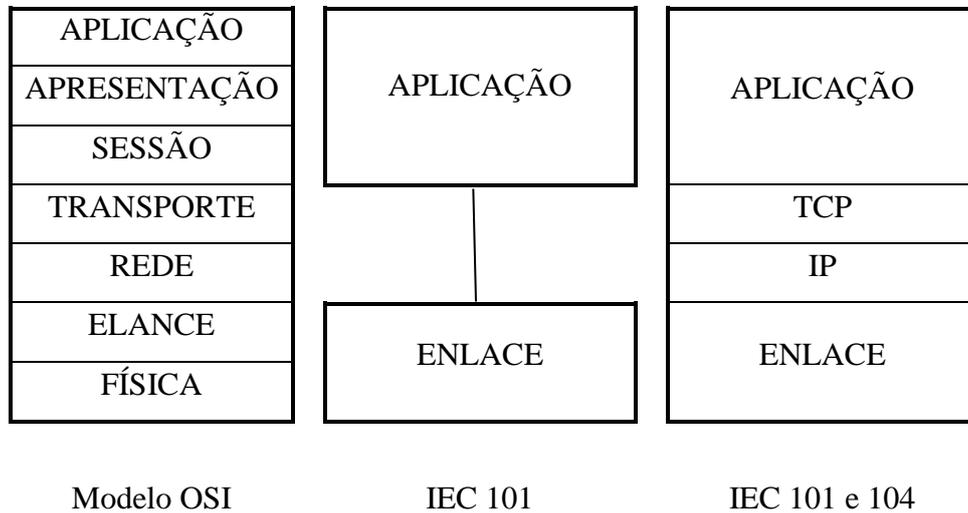
O funcionamento do Sistema SCADA é baseado em uma estrutura ‘Mestre-Escravo’, em que o elemento mestre (estação central) se comunica com as demais estações escravas (VALLEJO, 2014). Dessa forma, existem diversos tipos de protocolos de comunicação com esse princípio, dentre eles o IEC 60870-5-104 que apresenta uma série de vantagens no setor energético, atuando com base no protocolo TCP/IP utilizado para tarefas básicas de controle remoto entre centros de controle e subestação.

IEC 60870 Parte 5 ou IEC 60870-5 é um dos conjuntos de normas IEC 60870 que definem sistemas usados para controle remoto que faz o controle de supervisão e aquisição de dados em aplicações de engenharia elétrica e automação de sistemas de potência. A Parte 5 fornece um perfil de comunicação para o envio de mensagens básicas de controle remoto entre dois sistemas, que usa circuitos de dados permanentes conectados diretamente entre os sistemas.

Os protocolos de transmissão IEC 60870-5-104 corresponde ao acesso à rede para IEC 60870-5-101 usando perfis de transporte padrão. Pode-se observar na Figura 5, que a camada de aplicação IEC104 permanece a mesma que a do IEC 101, a camada de aplicação onde o ASDU (Data Application Unit) é mantido inalterado, contendo as

informações das variáveis do processo, neste caso o ASDU também funciona na plataforma TCP/IP, onde o TCP é utilizado e orientado para transmitir dados de forma segura.

Figura 5 - Arquitetura do Protocolo IEC 60870-5-104.



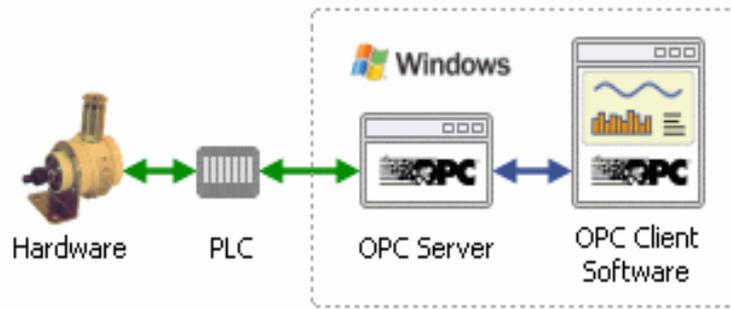
Fonte: Do Autor, 2021.

4.1.3 O Protocolo OPC Clássico

As interfaces OPC são baseadas na tecnologia COM (Component Object Model) e DCOM (Distributed Component Object Model) da Microsoft. A vantagem dessa abordagem é a redução do trabalho de especificação para a definição de diferentes aplicações para diversas necessidades especializadas, sem a necessidade de definir um protocolo de rede ou um mecanismo de comunicação entre processos. O protocolo DCOM fornece um mecanismo transparente para um cliente chamar métodos em um objeto COM em um servidor em execução no mesmo processo, em outro processo ou em outro nó de rede (MARQUES NETO, 2020).

O uso dessa tecnologia disponível em todos os computadores baseados em Windows reduziu o tempo de desenvolvimento das especificações e produtos e o tempo de colocação no mercado do OPC. Essa vantagem foi importante para o sucesso do OPC. As duas principais desvantagens são a dependência da plataforma Windows para o funcionamento do OPC e os problemas de DCOM quando se comunica remotamente, como mostra a Figura 6. O DCOM é difícil de configurar, possui tempos limite muito longos e não configuráveis e não pode ser usado para comunicação pela Internet. Essa tecnologia foi substituída, na plataforma de desenvolvimento .NET, pela API .NET Remoting e empacotada no WCF.

Figura 6 - Arquitetura do Protocolo OPC.



Fonte: Do Autor, 2021.

4.1.4 Biblioteca da Energia Automação

O sistema de supervisão desenvolvido durante o estágio contou com as bibliotecas de objetos da empresa Energia Automação, buscando manter a padronização e seguindo o conceito alta performance. Ele visa proporcionar ao usuário melhor usabilidade e maior segurança operacional, otimizando o processo de identificação e correção de anomalias. Esse conceito visa aumentar a consciência situacional do usuário por meio do uso mais racional de cores, formas e layout de diferentes objetos, oferecendo uma experiência mais acessível, eficiente e agradável, sem sobrecarga cognitiva ao usuário.

Os objetos que são originados das bibliotecas da Energia Automação, são configuráveis de acordo com o objetivo que foi proposto, sendo utilizado na geração das telas do sistema SCADA da usina hidrelétrica modelo, possibilitando a modularização das telas do sistema supervísório oferecendo facilidade de manutenção e extensões futuras.

Portanto, uma empresa que possui o gerenciamento supervisionado de seu ativo por meio de um sistema bem estruturado e modularizado, possui clareza para capacitar seus contribuintes e tranquilidade em expandir seus complexos. Isso permite a integração de novas usinas com fontes de energia distintas da original já implantada, não deixando o cliente preso a um modelo específico de um sistema SCADA.

4.2 Estado da Arte

Um dos primeiros trabalhos relevantes encontrados foi o do Parmar et al., 2017, onde três alunas implementaram todos os eventos e alarmes gerados na aplicação foram armazenados para consultas e análises posteriores. Na Índia três alunas implementaram um sistema SCADA, utilizando PLC (Controlador Lógico Programável) para controlar

um motor de passo permitindo controlar os níveis das comportas de uma barragem por meio da água de reserva (PARMAR et al., 2017). Com a implementação do sistema, abriu-se a possibilidade do monitoramento completo da planta da subestação, ampliando a automação do sistema.

Seguindo na mesma linha, Adam e Hussein (2018) automatizaram uma subestação de energia utilizando RTUs (Remote Terminal Units) com equipamentos que fornecem dados de campo. Usando a estrutura DNP3, que é um protocolo desenvolvido baseado em uma versão incompleta da norma IEC 60870-5 que especifica os protocolos de controle remoto, como protocolo de comunicação, os dados de tensão, corrente e energia são enviados para os computadores no nível superior, onde são apresentados em uma interface homem-máquina com o uso do WINCC SCADA, fornecendo controle da dispersão de energia e reconhecimento de falhas da estrutura. O WINCC faz parte de um conceito de engenharia que proporciona um ambiente de engenharia uniforme para programação e configuração de controle (SIEMENS, 2020).

Além de utilizar um sistema de supervisão para apontar falhas, é necessário encontrar uma comunicação moderna e eficiente entre máquina e homem, atualizando informações do sistema de maneira rápida ao operador. Assim, Filip et al., (2017) implementaram um sistema SCADA em três níveis hierárquicos, objetivando maior confiabilidade, modularidade e flexibilidade da operação na Barragem Hidrelétrica de Danúbio, na Hungria. Aquisitando os dados, para uma central de processamento, eles são enviados para máquinas em nível superior e alimentam em tempo de execução um supervisor. Com o disparo dos alarmes, um histórico é gerado e através de um banco de dados foi possível traçar cálculos de tendências para exibi-los na interface. O banco de dados também é responsável pela recuperação e registros dos dados.

Para melhorar a observabilidade e o suporte à decisão em sistemas de supervisão, Pertl (2018) utilizou três áreas de estudo de uma subestação de distribuição de energia. Essas áreas são estabilidade clássica do sistema de grande potência, técnicas de estimativas de valores monitorados e funções de agregação para recursos de energia que dependem do tempo. Seu objetivo foi visar o aumento da consistência operacional dentro das Centrais de Controle, delineando áreas de pesquisas com referência a estabilidade transitória e comandos de emergência em sistemas supervisórios.

Possuindo um sistema que fornece dados claros e objetivos para tomadas de decisão, é possível operar uma planta à distância com confiabilidade. Assim, no oeste da Romênia, Ioan, Nicolae e Daniela (2016) utilizaram o software CIMPLICITY HMI

especializado para monitorar e operar usinas hidrelétricas de baixa potência de modo remoto, sem monitoramento presencial, tornando essas usinas mais lucrativas. Efetuando testes por meio de comissionamento da usina, possibilita validar o projeto, possuindo importância crucial para o funcionamento da mesma em condições reais, pois simulam manobras que são realizadas cotidianamente e em casos de emergência.

Conforme os temas apresentados, gerenciar a fonte energética por meio de um sistema SCADA que permite o controle e monitoramento remoto, traz vários benefícios. Esse gerenciamento remoto possibilita a implementação de outros ativos em um único sistema, gerando uma centralização de informações, facilitando análises específicas da malha energética controlada, além da tomada de decisões e manobras interligadas entre os complexos ali monitorados. Portanto, um sistema supervisório que controla e monitora remotamente uma usina abre margem para aumentar a otimização na produção de energia, gerenciando dados para planejamentos de curto a longo prazo. Ele fornecendo maior clareza para a criação de estratégias frente às dificuldades encontradas no mercado.

5 METODOLOGIA

Para o estudo desse trabalho, o modelo de usina analisada faz parte de uma rede de gerenciamento e geração de energia, hidrelétrica e eólica, de uma das maiores empresas do mercado brasileiro, sendo a usina desse trabalho um dos complexos gerenciados.

A Unidade Hidrelétrica utilizada para a análise desse trabalho está vinculada a empresa Energia Automação LTDA e todos os objetos usados no sistema de supervisão são propriedade intelectual e exclusiva da empresa. Com isso, foi possível obter uma supervisão remota da usina modelo, acarretando nos benefícios do gerenciamento remoto, que traz menores custos em relação a operação local, eliminando muitas vezes a necessidade de se deslocar até a usina, além de permitir maior segurança contra acidentes, envolvendo barragens e outros meios que permeiam a geração de energia, para os contribuintes da empresa.

5.1 Modelador

O modelador apresentado nesse trabalho pode ser usado, em tese, em qualquer tipo de usina hidrelétrica, porém, foi utilizado em uma usina com as seguintes características.

A Usina Hidrelétrica modelo, objeto de estudo do trabalho, se localiza em uma bacia do estado de Minas Gerais com 7.481 km², capacidade instalada total é de 60 MW e possui regime de operação Fio D'água, com reservatório de 0,1 km².

A planta estrutural da usina modelo, compõe as seguintes condições:

- 3 unidades geradoras;
- Diagrama unifilar elétrico da subestação;
- 3 válvulas borboletas na Tomada d'água.

Um sistema supervisor que permite o gerenciamento de uma usina hidrelétrica precisa controlar e monitorar: as operações e geração das unidades geradoras, a distribuição da energia produzida por meio do diagrama unifilar elétrico para conduzir a cargas externas, gerenciar os sistemas auxiliares possibilitando os essenciais funcionarem regularmente, além de apresentar todos os alarmes e eventos, desenvolver intertravamentos para as manobras fornecendo segurança e prevenção contra acidentes e perdas de equipamentos, evitando prejuízos.

O Elipse Power IHM foi utilizado como ferramenta de software para o desenvolvimento do sistema de supervisão da usina modelo analisada. Esse software possui recursos especiais para desenvolver aplicações nas subestações, fornecendo operações locais ou acessos remotos nos centros de controle, além de servir como funcionalidade de porta de entrada de protocolos. Ele possui, também, uma poderosa ferramenta de CAD (*Computer-Aided Design* - Desenho Assistido por Computador) para modelar sistemas elétricos e gerar telas de operação SCADA. As telas, utilizadas para subsidiar a supervisão da usina modelo pesquisada, foram criadas e alimentadas a partir dos modelos desenvolvidos pela ferramenta CAD.

Os requisitos para se monitorar remotamente uma usina hidrelétrica de maneira eficiente, inclusive a usina modelo, objeto desse estudo, é necessário contemplar o formato de produção da usina, implementando uma melhor distribuição dos sistemas em tela. Com isso, facilita o gerenciamento e navegação no supervisório do dia a dia, apresentando sempre os principais dados considerados cruciais.

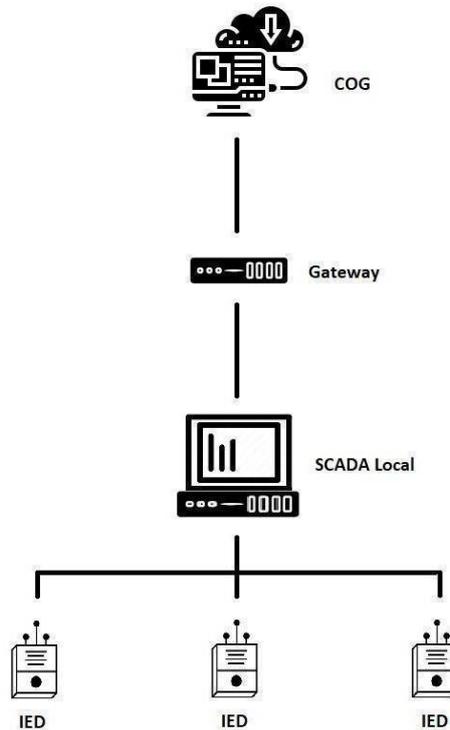
Desta forma, é de grande importância dividir o sistema completo da usina modelo em setores. Essa estrutura de divisão permite projetar uma interface que proporciona uma experiência rápida, fácil e eficiente, onde o usuário possuirá as informações de forma direcionada, objetiva e com confiabilidade.

5.2 Drivers

Todos os elementos que completam o fluxo de dados que alimentam o sistema monitorado da usina precisam seguir a estrutura de divisão que ajuda na manutenção da base de dados e *drivers* de comunicação. Esses elementos são que são essenciais para o desenvolvimento de um supervisório.

Para alimentar o supervisório em tempo real, é necessário que os dados de campo cheguem ao COG de forma eficiente e atualizada, para isso é preciso um fluxo confiável de comunicação. Assim, foi utilizado um *gateway* para a implementação dos *drivers* que transmitem os dados de campo até a central, utilizando os produtos da Elipse Software. NA Figura 7 está esboçada o modelo resumido do fluxo de dados que foi desenvolvido para disponibilizar dados para o supervisório na central.

Figura 7 - Fluxo de dados para disponibilização de dados para o supervisor na central.



Fonte: Do Autor, 2021.

Para que essa comunicação seja organizada e confiável, é necessário estruturar as informações nos *drivers* e na base de dados. Então, os pontos que referenciam cada dado de campo, foram implementados e organizados nos *drivers* e no projeto da aplicação em que a interface foi desenvolvida, seguindo a mesma divisão mencionada anteriormente.

É preciso certificar a disponibilização de dados do sistema para o desenvolvimento da aplicação implementada no COG. Portanto, a comunicação foi realizada seguindo o fluxo de dados da Figura 7.

Com isso, o COG recebeu as informações de um *driver*, que se localiza no *gateway*, implementado no Software Elipse Power Studio. Esse *driver* recebe os dados de outro *driver*, que adquire dados do campo via comunicação OPC (*OLE for Process Control*), localizado também no *gateway*. Vale ressaltar que o *driver* que envia as informações para o COG é denominado *driver* de distribuição, que comunica com o COG via protocolo IEC 60870-5-104. Esse *driver* cumpre o papel de Escravo e o *driver* que recebe as informações no COG é denominado como *driver* Mestre.

Todos os *drivers* seguem a mesma estrutura hierárquica de pastas contendo o caminho correto até os dados. O *driver* OPC recebe as informações de um Servidor OPC e por associação disponibiliza dados para o *driver* Escravo. Essa associação se dá devido a implementação de ambos os *drivers* no Eclipse Power Studio, permitindo diversos recursos e facilidade para configuração dos *drivers* e confiabilidade na comunicação.

5.3 Base de dados

Após estabelecer o processo descrito anteriormente, é necessário determinar a base de dados. A base de dados é fundamental para o desenvolvimento inteligente e eficaz da interface. É nesta base que são tratados os dados que chegam dos *drivers* para um melhor monitoramento, controle, facilidade na manutenção e aprimoramento do supervisor.

Assim como os *drivers* e a base de dados, os alarmes e eventos seguiram a divisão por setores, apresentando a origem e motivos de falhas, caso existam, e exibindo o caminho do alarme pela estrutura até a representação de qual equipamento contempla tal problema. É preciso, também, exibir a gravidade da falha, permitindo ao usuário distinguir de forma clara e intuitiva o motivo e como resolver essas falhas, para facilitar a tomada de decisão. Esses requisitos são primordiais para um bom controle de falhas e manutenção.

O sistema supervisor foi subdividido em duas seções, sendo sistema auxiliar e sistema essencial. Assim o operador pode navegar por elas e acompanhar os estados dos componentes que fazem parte dela. Dessa forma, a divisão foi realizada diferenciando o sistema principal de geração dos sistemas que auxiliam para que a produção de energia fosse efetuada. Com isso, foi proposto que os equipamentos que compõem cada sistema seguissem monitorados e comandados, sendo diferenciados pelas divisões e, conseqüentemente, tornando-se um padrão de desenvolvimento para a aplicação IHM da usina modelo.

5.4 Telas

Realizado todos os processos mencionados anteriormente, é preciso elaborar o projeto de telas. O projeto de telas desenvolvidas contou com a modularização dos objetos, por meio das bibliotecas elaboradas pela empresa Energia Automação LTDA, no qual os objetos representaram os principais equipamentos, nos diferentes sistemas que

complementam a linha de operação da usina modelo, sendo animados conforme o status real do objeto em campo.

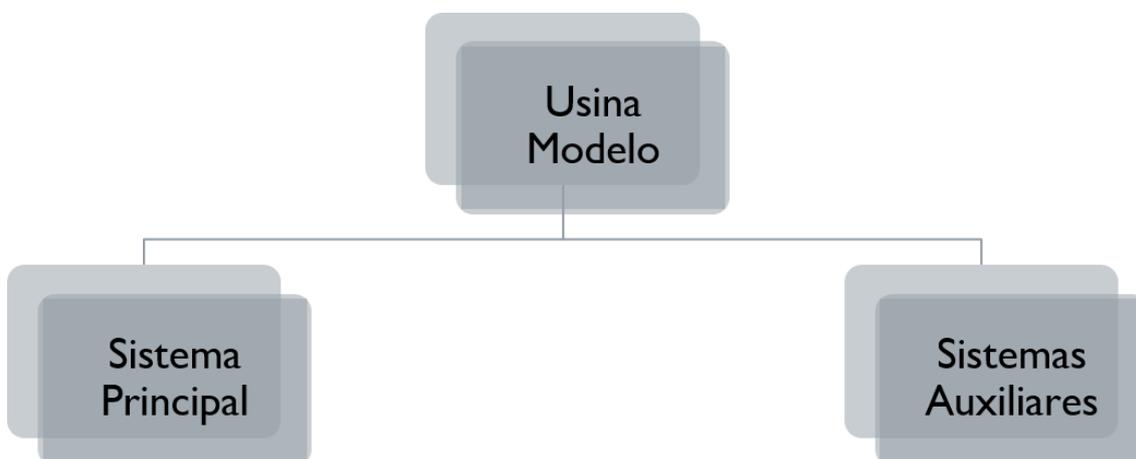
Ao finalizar a implementação da aplicação do supervisório, foi iniciado o processo de testes, visando validar as telas, a base de dados, os comandos, os intertravamentos e animações que foram considerados para a obtenção dos resultados desse trabalho. O processo de validação é chamado de Comissionamento e foi realizado com o acompanhamento de um operador junto ao desenvolvedor, a fim de legitimar todo o processo desenvolvido para que o supervisório fosse utilizado.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para obtenção de resultados precisos, por meio da análise do sistema da usina modelo, foi utilizada uma linha cronológica de atividades, sendo ela: Modelador, Drivers, Base de dados e Telas. Afim de buscar um melhor desenvolvimento, seguido da divisão do sistema, utilização da ferramenta CAD, implementação e comissionamento do supervisor da usina modelo.

Mediante cláusulas contratuais e direitos de imagem, as telas, detalhes mais específicos da metodologia e desenvolvimento do sistema, foram omitidos. Visto que, os objetos usados no sistema de supervisão são propriedade intelectual e exclusiva da Energia Automação LTDA.

Figura 8 - Divisão do sistema da usina modelo.



Fonte: Do Autor, 2021.

No projeto do supervisor da usina, o sistema principal de geração foi composto pelas Unidades Geradoras (UGs), seus reguladores e mancais, contando também com o diagrama unifilar elétrico onde a energia gerada foi transmitida para fontes externas. Os outros sistemas que auxiliam a geração foram agrupados, sendo formados pelos subsistemas mecânico, elétrico e hidrológico, onde cada um desses subsistemas formam o sistema auxiliar da divisão.

Esses sistemas auxiliares contemplam os equipamentos como drenagens, filtros, bombas, tanques que são supervisionados pelo setor mecânico. Já para os circuitos de corrente alternada e corrente contínua, que compõem os quadros de força que alimentam a própria usina, são supervisionados pelo setor elétrico. As comportas, válvulas e todos

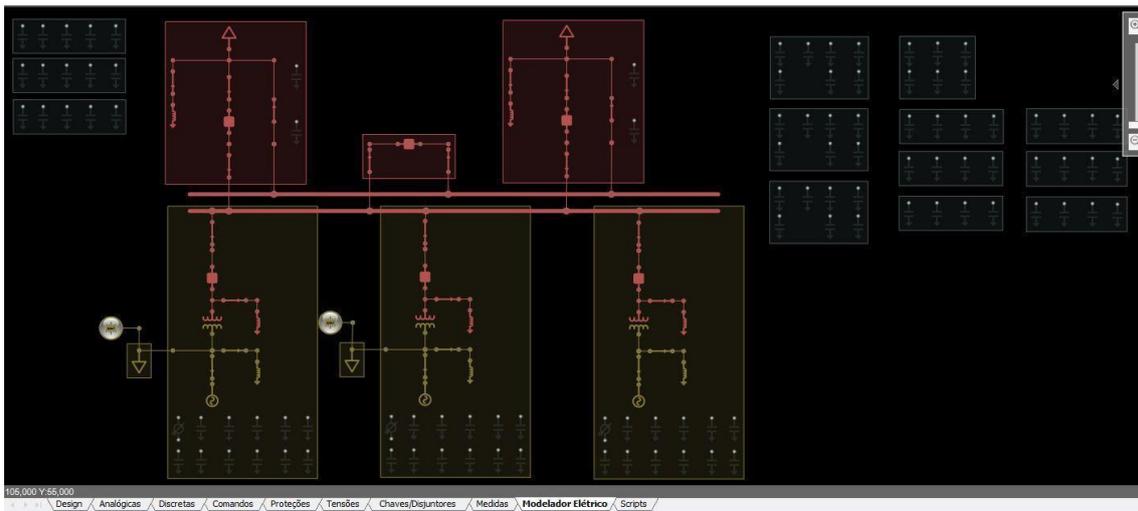
os equipamentos hidráulicos dos setores jusante e montante são supervisionados pelo o setor hidrológico.

A estrutura proposta no projeto do supervisório, a qual divide em setor principal e secundário, começa na modelagem elétrica. Assim, o desenvolvimento de um sistema de supervisão confiável conta com uma modelagem do sistema da usina, servindo como suporte para a criação da base de dados e, posteriormente, o estabelecimento da comunicação.

Desta forma, utilizando as ferramentas de CAD do Software Elipse Power HMI, foi possível modelar os sistemas elétricos, onde são parametrizadas as tensões nominais designando cores para cada uma e propriedades dos equipamentos do circuito. Neste setor foi configurado os '*bays*'. Os *bays* contemplam um conjunto de equipamentos de um nicho específico que permite nomear equipamentos de forma equivalente. Os equipamentos foram diferenciando pelo *bay*, possuindo uma aba onde é configurado as conversões de dados analógicos, discretos e comandos, aumentando o potencial de tratamento dos dados trabalhados. Esse tipo de modelo serve de substrato para a criação dos equipamentos na base de dados e construção das telas que possuem unifilares, seguindo a divisão por sistema e posteriormente por *bays*.

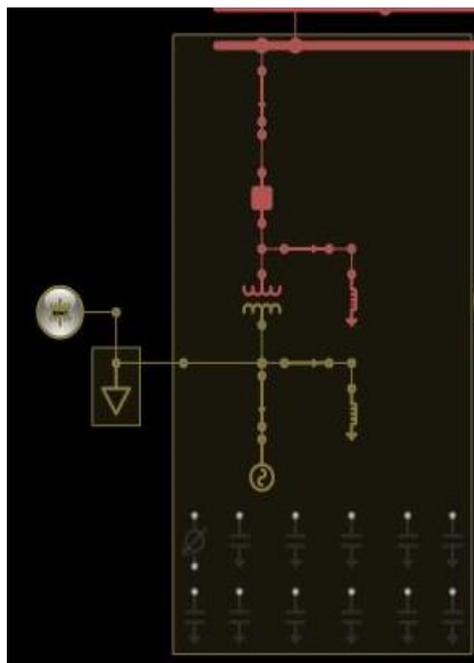
O modelador é apresentado na Figura 8, onde é exibido o sistema principal por completo, sendo perceptível as divisões dos *bays* (retângulos que encapsulam os equipamentos do nicho específico). Nela é possível observar a diferença de cores entre os circuitos, fazendo referência às diferentes tensões presentes nos mesmos, geradas pelos trafos ou transformadores localizados em cada circuito gerador. Na Figura 9, é apresentado o *bay* de uma unidade geradora, onde é exibido o trafeo ou transformador daquela UG, ocasionando a diferenciação do circuito de fase alta e baixa.

Figura 9 - Modelador elétrico da subestação UHE.



Fonte: Do Autor, 2021.

Figura 10 - Bay UG dentro da subestação.



Fonte: Do Autor, 2021.

Os sistemas, tanto principal quanto auxiliar, foram implementados utilizando objetos do Elipse Power. Então, esses sistemas no modelador possuem sua divisão na usina, apresentando o circuito de potência daquela divisão. Assim, o esqueleto da base de dados é formado, permitindo aderir os pontos de cada equipamento em cada seção. A base de dados foi criada por meio da importação dos equipamentos do modelador de cada seção.

A estrutura de *bays* e equipamentos segue desde o modelador até o sistema de supervisão. Na base de dados, os equipamentos ganham mais camadas, sendo essas internas, em que são implementadas as medidas, proteções, permissões e comandos.

O supervisório, criado no COG, contempla o modelador elétrico, o *driver* Mestre, a base de dados e a estrutura de telas do sistema de supervisão. A base de dados após ser criada pelo modelador, foi alimentada com as etiquetas (*tags*) que recebem as informações do *driver* Mestre. Nelas são estruturados os comandos, proteções e as pré-condições desejadas, para cada equipamento e contando com os alarmes. O Eclipse Power Studio possibilitou o manuseio dos dados e diversas ferramentas para o tratamento e apresentação das informações obtidas, permitindo aplicar conversões para o tratamento dos dados gerados pelo sistema que chegam no *driver*, até o desenvolvimento de intertravamentos diversos que bloqueiam comandos arriscados ou indesejados.

O protocolo IEC 60870-5-104 utilizado nos *drivers* Mestre e Escravo substituiu o meio de comunicação feito por Domínio Remoto, que era o estabelecido para outras usinas gerenciadas, fornecendo amplo desempenho, maior confiabilidade no envio e recebimento de informações, facilidade de manutenção e maior possibilidade de tratamentos dos dados para alimentação do supervisório e expansões futuras.

O desenvolvimento das telas do sistema supervisório foi traçado seguindo o conceito de alta performance visual, destacando o que é de maior relevância, sem deixar de mostrar os detalhes como um todo.

A divisão entre os sistemas principal e auxiliar foi planejada para facilitar a navegação do operador, colocando os equipamentos que contemplam aquele sistema com suas informações mais importantes logo de início, e com as demais por meio de alguns *clicks* no próprio objeto de tela, como por exemplo as pré-condições.

Essa hierarquia de exibição e construção entre informações de alta relevância e complementares em tela, somente foi possível utilizando as bibliotecas da Energia Automação LTDA. Ela contempla os objetos necessários para a criação das telas, deixando a IHM com alta performance visual e operacional. Os objetos em tela são organizados para melhor disposição, contando o grau de importância do equipamento para o sistema, facilitando a visualização em operação e tomada de decisão de maneira rápida e objetiva.

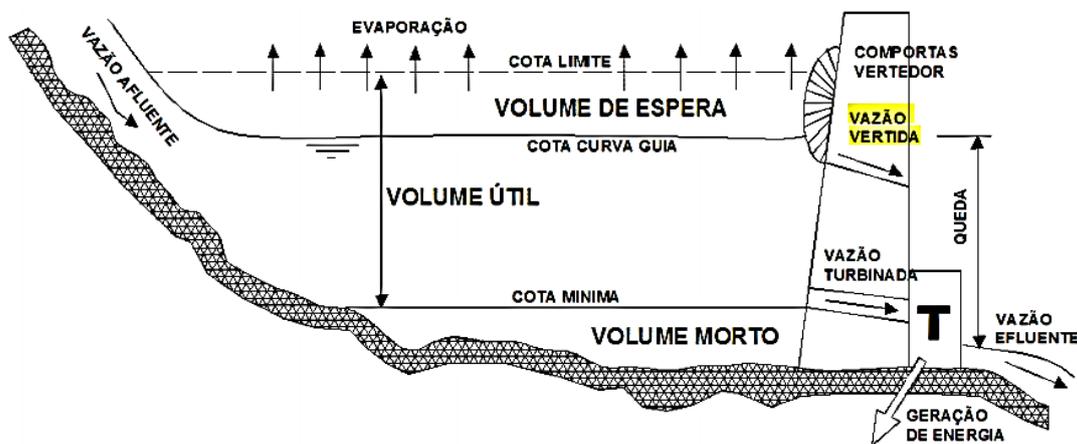
Seguindo a proposta de alta performance visual, a UG foi exibida com maior destaque no setor de geração para que esse fosse o objeto principal, dando maior visibilidade para o equipamento mais importante do subsistema. Os equipamentos que

auxiliam a UG foram organizados para contemplar o objeto principal, possibilitando a exibição de seus estados enquanto a própria máquina geradora estava em operação.

Normalmente, as telas geradas contemplam as informações primordiais vistoriadas pelos órgãos reguladores e no primeiro plano da tela cuja origem implica no sistema em que reside essa informação. Após a associação dos objetos nas telas, configurou-se o banco de dados dos alarmes e eventos para que cada um que sobe para o operador seja armazenado em uma tabela no banco de dados, permitindo análise e gerenciamentos posteriores.

A usina modelo necessita monitorar continuamente a vazão de restrição jusante, que, de acordo com a Operador Nacional do Sistema Elétrico (NOS), quando não há vertimento no trecho entre a barragem e a casa de força deve-se manter uma vazão sanitária de 2,0 m³/s para proteção da ictiofauna local. A vazão de vertimento é a vazão que não é utilizada para a geração de energia, ou seja, vazão de excedente da geração. Dessa forma, o operador pode monitorar e controlar a vazão para que esta sempre permaneça de acordo com a restrição.

Figura 11 – Esquema do vazão de vertimento.



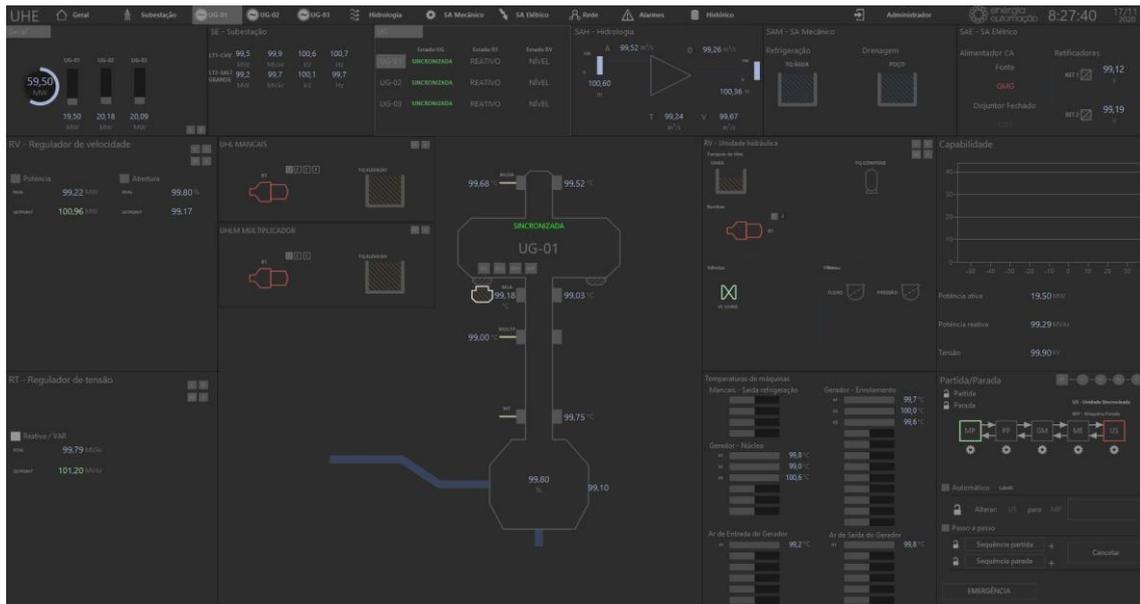
Fonte: Do autor, 2021.

Portanto, o sistema de supervisão conta com alarmes e eventos configurados em cada *tag* para cada dado recebido na base, possibilitando ao usuário monitorar quais equipamentos estão em falha e os eventos proporcionados por manobras, como abertura e fechamento de disjuntores. Os alarmes e eventos são diferenciados por severidade (alta,

média e baixa) e seguem a estrutura de divisão entre sistema principal e auxiliar, contemplando o nome e *bay* do equipamento referenciado.

Na sequência, o supervisório já está apto a ser executado em modo *runtime*, ou seja, tempo real como exibido na Figura 10, com o objetivo de avaliar possíveis erros de associação, comunicação e tratamento dos dados que são exibidos. Logo, o desenvolvedor pode navegar pelo projeto preparando-o para o roteiro de testes.

Figura 12 - Tela completa em modo de execução.



Fonte: Do Autor, 2021.

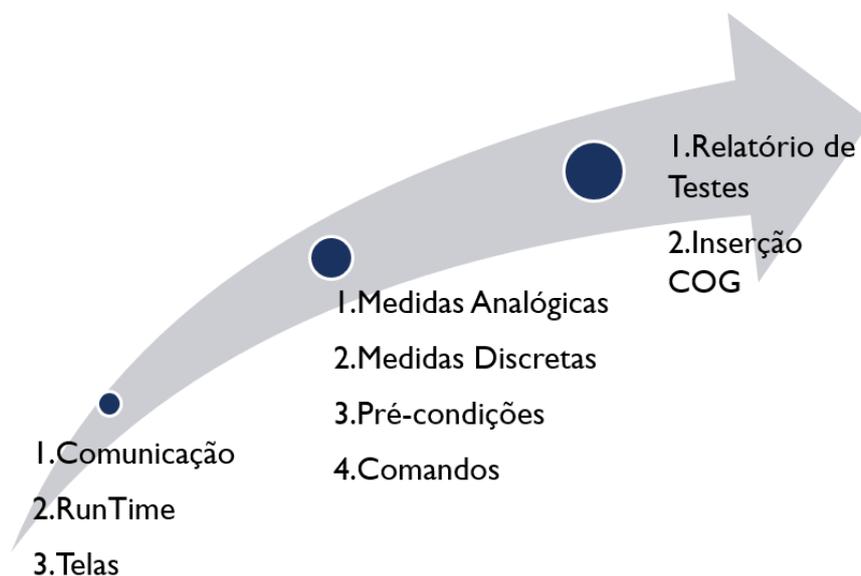
Os equipamentos em *runtime* possuem uma hierarquia de exibição, pensando em facilitar a experiência do operador no uso diário das telas. Então, os equipamentos possuem uma janela que se abre exibindo dados mais detalhados, fornecendo navegação completa do sistema em questão, abrangendo visão e controle do macro ao micro.

Em relação a aplicação do método de alta performance visual que o software proporciona, é permitido ao operador uma experiência clara e objetiva ao monitorar dados e comandar manobras nos sistemas, por meio das bibliotecas desenvolvidas pela Energia Automação, no qual permitem que o sistema supervisório contemple este método em cada objeto de tela, fornecendo ao operador a completa experiência em cada setor navegado da aplicação.

Depois de finalizar a base de dados, associar os equipamentos aos objetos de tela, estabelecer a comunicação com o COG e configurar os alarmes, o supervisório ficou apto para iniciar os testes na planta real. Esse processo é chamado de Comissionamento, onde

foi realizado com o acompanhamento de um operador e o desenvolvedor, a fim de validar todo o processo desenvolvido para que este supervisor fosse utilizado.

Figura 13 - Fluxograma do teste de Comissionamento.



37

Fonte: Do Autor, 2021.

Em relação ao Comissionamento, teve como objetivo testar os comandos implementados nos equipamentos, assim como os intertravamentos, validando toda a rede da operação.

Foram testados todos os sistemas subdivididos em principal e auxiliar, validando o desenvolvimento de cada item, para posteriormente ser inserido no COG, concentrando mais um monitoramento para um melhor gerenciamento.

Já o desenvolvimento desse trabalho e resultados encontrados no relatório técnico, permitiram mais uma integração aos investimentos em tecnologia na centralização das informações para uma melhor gestão da Central de Operações da Geração (COG), ao aprimorar o monitoramento remoto adicionando mais uma usina, na pesquisa nomeada como usina modelo.

Esses investimentos em tecnologia foram iniciados em 2012 com R\$50 milhões, na modernização das usinas objetivando operar remotamente, seguindo com o treinamento dos colaboradores e conseqüentemente aprimorando as ferramentas disponíveis para que sejam usadas com maior desempenho e redução de custos.

7 CONCLUSÃO

A realização deste relatório técnico, reforçou que a centralização do gerenciamento é primordial para alcançar maior desempenho e reduzir os custos, logo o gerenciamento remoto é uma excelente ferramenta para atingir esse objetivo. Dessa forma, é possível ter: Planejamento, organização, direção e distribuição de recursos das usinas em um só local. Por meio da Central de Operações da Geração (COG), as usinas que contemplam a empresa podem ser gerenciáveis pelos sistemas de supervisão implementados no COG.

O Sistema Supervisório que permite o monitoramento e controle remoto de uma usina, abrangendo sua planta como um todo, necessita de uma série de requisitos que validem a confiabilidade, rapidez e facilidade que muitas empresas buscam para reduzir custos e aumentar sua eficiência. Dessa forma, utilizando o software completo Elipse Power Studio da empresa Elipse Software e a estrutura, suporte e bibliotecas da Energia Automação LTDA, onde foi possível observar uma interface amigável e com alta performance visual, possibilitando uma operação e monitoramento eficaz da planta.

Considerando também o sistema de alarmes, foi possível ajudar os operadores fazendo com que eles tenham um maior domínio da ocorrência dos problemas que são gerados, por meio das exibições dos alarmes que descrevendo o caminho da origem, junto com a gravidade e o horário da ocorrência. Assim, os operadores podem gerenciar os alarmes para encontrar uma situação específica. Essa estratégia permite maior dinamismo no modo de operação, além do aumento da segurança e desempenho na tomada de decisões frente às ocorrências.

A implementação do sistema de supervisão possibilitou maior integração da Central de Operações com todos os setores da usina modelo, implicando maior investimento em tecnologia e processos e no treinamento dos colaboradores. A modernização dos sistemas de automação junto com o supervisório aumentou os ganhos de produtividade, desenvolvimento de negócios e uma gestão mais inteligente das informações.

A digitalização do sistema da usina modelo, permitiu operadores especializados supervisionarem remotamente não somente a complexidade da geração de energia, também permitiu monitorar a situação hidrológica dos ativos hidráulicos, além do acompanhamento da vazão de restrição para a proteção da ictiofauna local, vistoriado pela ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico).

A digitalização do sistema da usina modelo, permitiu operadores especializados supervisionarem remotamente não somente a complexidade da geração de energia, também permitiu monitorar a situação hidrológica dos ativos hidráulicos, além do acompanhamento da vazão de restrição para a proteção da ictiofauna local, vistoriado pela ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico).

As divisões estabelecidas entre os sistemas representados em tela, base de dados e na estruturação dos *drivers* de comunicação fornecem um padrão em cada etapa que possibilita a aplicação do COG atingir seu objetivo final. Esse padrão permite maior facilidade de manutenção de todas as etapas que contemplam o sistema de supervisão, além de contribuir para extensões futuras, onde outros equipamentos ou sistemas podem ser inseridos seguindo a divisão padrão já estabelecida.

Após o comissionamento realizado da aplicação, o sistema foi inserido no COG onde um dos sistemas de supervisão remotos da empresa de energia elétrica, sendo utilizado diariamente para monitorar e controlar a usina modelo.

REFERÊNCIAS

ADAM, O. H. A.; HUSSEIN, E. M. Program of SCADA System in Automated Electrical Distribution Substation. **Technology Horizons Journal**, v.2 n. p.110-113, 2018.

AGRAWAL, A.; APRAJITA, A. S.; Scada and its Application in Power Generation and Distribution System. **Journal of Electronic Design Engineering**, v.5, n.1. p.9-14, 2019.

ANTONIJEVIĆ, M.; SUČIĆ, S.; KESERICA, H. Augmented Reality Applications for Substation Management by Utilizing Standards-Compliant SCADA Communication. **Energies**, v.11, n.3, p.599, 2018.

ARUN, T.; LATHESH, L.; SUHAS, A. Substation Automation System. **International Journal of Scientific & Engineering Research**, 7, n. 5, p. 215, 2016.

_____. **Balanco Energético Nacional 2020**. Ministério de Minas e Energia/Empresa de Pesquisa Energética: MME/EPE, 2020. Disponível em: <www.epe.gov.br>. Acesso em: 02 mar. 2021.

BELHADJI, L.; GHENAM, T.; BACHA, S. **Robust supervisory approach for a variable speed micro-hydropower operating as a backup source**. In: 21st European Conference on Power Electronics and Applications. IEEE, v. n. p.-1-9, 2019.

FILIP, B.; DOLGA, L.; FRIGURA-ILIASA, F. M.; ANDEA, P. **Human machine interface for the sluice of a Hydro Power complex**. In: 21st International Conference on Intelligent Engineering Systems. IEEE, p. 147-150, 2017.

GARBRECHT, S. D. The Benefits of Component object-based Supervisory System Application Development versus Traditional HMI Development. **Proceedings of the Water Environment Federation**, v.8, p.7358-7370, 2008.

IOAN, D. S.; NICOLAE, P. G.; DANIELA, C. C. **Experimental investigations of a hydroelectric power plant**. In: International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering. IEEE, p.529-534, 2016.

LEE, J.; LEE, S.; CHO, H.; HAM, K. S. HONG, J. **Supervisory Control and Data Acquisition for Standalone Hybrid Power Generation Systems**. Sustainable Computing: Informatics and Systems, v.20, p.141-154, 2018.

MARQUES NETO, N. S. **Desenvolvimento e teste de plataforma de comunicação de baixo custo para planta laboratorial empregando OPC-UA**. Trabalho de conclusão de curso – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2020.

MNUKWA, S.; SAHA, A. K. Implementation of Substation SCADA and Automation Systems in the Port of Durban. IEEE PES/IAS, **PowerAfrica**, p.214-219, 2018.

NOGUEIRA, B, V. **PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO IEC 61850**. 2007. 48 f. - Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Salvador – Unifacs, Salvador, 2007.

PARMAR, P. A.; SHINGADIYA, S. B.; VADOLIYA, M. N.; POTA, M. I. K. Automatic Hydro Power Plant Monitoring and Controlling using PLC & SCADA. **International Journal of Science Technology and Engineering**, v. 3, n.9, p.440-445, 2017.

PEREZ, A.; JARDINI, J. **Insertion of technological innovations in monitoring and supervision systems of hydroelectric power plants for its design and implementation as intelligent systems**. In: Conference on Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Latin America). IEEE. p.1-5, 2013.

PERTL, M. **Observability and decision support for supervision of distributed power system control**. Technical University of Denmark (Thesis), 216p. 2018.

SIEMENS. **Human Machine Interface Systems/PC-based Automation**. Siemens Aktiengesellschaft, 2020. Disponível em: <https://cache.industry.siemens.com/dl/files/146/109744146/att_1029315/v1/simatic-st80-stpc-complete-english-2020.pdf>. Acesso em: 28 de mai. 2021.

UNDE, M. D.; KURHE, P. S., 2017, **Web based control and data acquisition system for industrial application monitoring**. In: International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS). IEEE. p.246-249, 2017.

VALLEJO, J. N. S. **Diseño para la interoperabilidad entre una central hidroeléctrica y un centro de control mediante el protocolo IEC60870-5-104**. Universidad Politécnica Salesiana, v.1 n. p, 2014.

WALEED, A.; VIRK, U. S.; RIAZ, M. T.; MEHMOOD, S. B.; AHMAD, S.; JAVED, M. R.; RAZA, A. Effectiveness and Comparison of Digital Substations Over Conventional Substations. **Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal**, v.4, n.4, p.431-439, 2019.