

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE GOIÁS – UNIGOIÁS
PRÓ-REITORIA DE ENSINO PRESENCIAL – PROEP
SUPERVISÃO DA ÁREA DE PESQUISA CIENTÍFICA - SAPC
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**SUBESTAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM
MONITORAMENTO REMOTO**

FÁBIO GARCIA
ELIEZER TAVARES

ORIENTADOR: MURILO PARREIRA LEAL

GOIÂNIA
DEZEMBRO/2024

FÁBIO GARCIA
ELIEZER TAVARES

**SUBESTAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM
MONITORAMENTO REMOTO**

Trabalho final de curso apresentando e julgado como requisito para a obtenção do grau de bacharelado no curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Goiás – UNIGOIÁS na data de 09 de dezembro de 2024

Prof. Me. Murilo Parreira Leal (Orientador)
UNIGOIÁS – Centro Universitário de Goiás

Prof. Me. Álvaro Adelino de Oliveira
UNIGOIÁS – Centro Universitário de Goiás

Prof. Me. Stenio Amorim Gomes
UNIGOIÁS – Centro Universitário de Goiás

SUBESTAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM MONITORAMENTO REMOTO

Fábio Garcia
Eliezer Tavares
Murilo Parreira Leal

A subestação de distribuição de energia elétrica é considerada o coração da indústria, sem sombra de dúvidas uma das áreas mais importantes para o bom funcionamento de qualquer empresa. Pensando nisso vamos demonstrar através deste trabalho, meios para automatizar e monitorar remotamente uma subestação de energia elétrica. Com a supervisão e controle é possível rápida reação aos eventos ocorridos dentro da subestação. Com base nessas informações, desenvolvemos este projeto para explicar melhor o funcionamento de uma Subestação de distribuição de energia elétrica com supervisão e controle remoto. Utilizando a interconexão de redes locais, se estabelece uma conexão entre o CLP e o sistema supervisório que torna possível monitorar e controlar todo o processo em tempo real. Isso possibilita o controle em função das rotinas diárias da empresa, visando a aferição de valores pré-existentes que estão disponíveis no dia a dia de uma subestação, melhorando a qualidade de trabalho e segurança dos colaboradores envolvidos nas atividades de checklist, manutenção e operação.

PALAVRAS-CHAVE: Subestação, Energia, Monitoramento, Sistema Supervisório, CLP.

ELECTRIC POWER DISTRIBUTION SUBSTATION WITH REMOTE MONITORING

The electrical energy distribution substation is considered the heart of the industry, without a shadow of a doubt one of the most important areas for the proper functioning of any company. With this in mind, we will demonstrate, through this work, ways to automate and remotely monitor an electrical energy substation. With supervision and control, it is possible to quickly react to events occurring within the substation. Based on this information, we developed this project to better explain the operation of an electrical energy distribution substation with remote supervision and control. Using local network interconnection, a connection is established between the PLC and the supervisory system, making it possible to monitor and control the entire process in real time. This makes it possible to control pre-established values based on the company's daily routines, aiming to measure pre-existing values that are available in the daily routine of a substation, aiming to improve the quality of work and safety of employees involved in checklist activities, maintenance and operation.

KEYWORDS: Substation, Energy, Monitoring, Supervisory System, PLC.

¹ Discente do curso de Engenharia Elétrica do Curso do Centro Universitário de Goiás – UNIGOIÁS. Lattes: E-mail: fabiogarciafg.23@hotmail.com

² Professor do Centro Universitário de Goiás – UNIGOIÁS. Mestre em Engenharia Elétrica - Ênfase em Sistemas de Automação pela Escola Politécnica da USP. Lattes: Currículo do Sistema de Currículos Lattes (Murilo Parreira Leal) (cnpq.br) <http://lattes.cnpq.br/8649834020525057> E-mail: murilo.leal@unigoias.com.br

INTRODUÇÃO

Segundo o site epe.gov.br o consumo nacional de energia elétrica foi de 42.837 GWh em janeiro de 2023, crescimento de 0,6% em comparação com mesmo mês de 2022. A classe residencial (+1,8%) puxou a alta, seguida pelas classes comercial (+1,4%) e industrial (+1,2%). No acumulado em 12 meses o consumo nacional registrou 508.954 GWh, alta de 1,4% em comparação ao período imediatamente anterior. O crescimento vegetativo da população junto com outros fatores tem grande influência nesse aumento do consumo de energia elétrica, tornando-se necessário que empresas do setor elétrico busquem meios de melhorar sua geração e distribuição. Isso pode ser obtido implantando novas subestações de distribuição, investindo em melhorias das redes existentes e construção de novos trechos para melhor atender a demanda atual. Entretanto, sabemos que a maioria das falhas do sistema elétrico brasileiro ocorre nas redes de distribuição, sendo necessário o deslocamento de equipes para verificar a causa dessas falhas.

A criação e implantação do sistema de monitoramento remoto nas concessionárias de energia elétrica possibilita o acompanhamento em tempo real de todo sistema de potência, permitindo a sua supervisão e controle à distância. Isso permitiu o aumento da qualidade do serviço das concessionárias tornando o sistema elétrico de potência mais confiável, com respostas mais rápidas e precisas, além de reduzir os seus custos de operação.

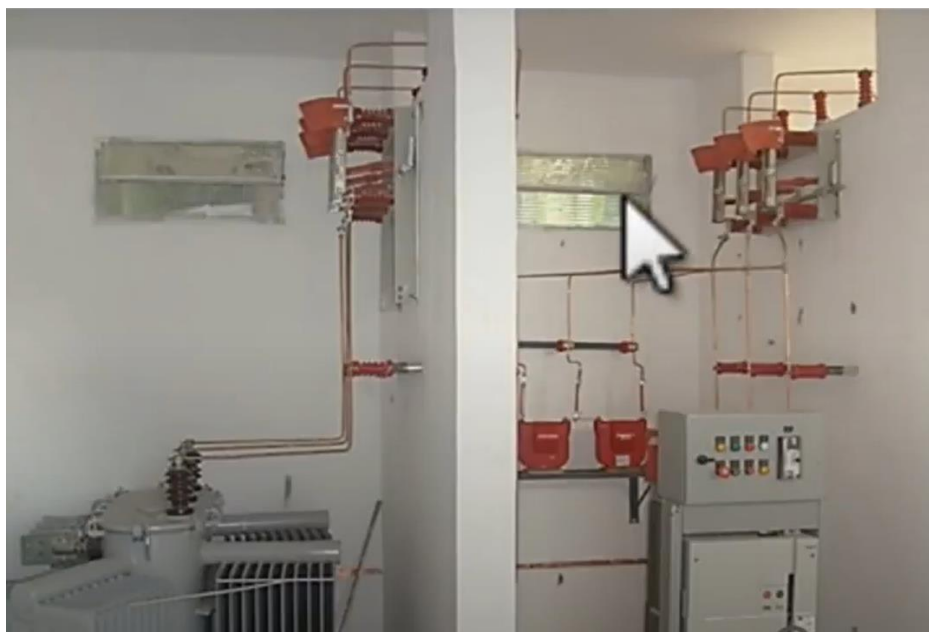
As empresas de grande porte têm liberdade para escolher seu fornecedor de energia elétrica, usando frequentemente o perfil de demanda e nível de tensão no ponto de entrega para negociação dos preços. Além disso, novas regulamentações permitem que os consumidores solicitem o ressarcimento para interrupções de energia; logo, as concessionárias de energia elétrica são forçadas a fornecer um serviço de suprimento de energia de alta qualidade. Assim sendo, mesmo as pequenas subestações de distribuição precisam ser monitoradas, permitindo a prevenção de problemas, detecção de defeitos, melhoria na continuidade do fornecimento, além de registrar as faltas e contribuindo para a aplicação de multas contra a empresa distribuidora.

As subestações das unidades consumidoras do grupo A raramente são supervisionadas. O objetivo do presente trabalho é demonstrar a viabilidade da supervisão e controle desse tipo de subestação através de um simples sistema de automação utilizando CLP e relés de proteção existentes.

MATERIAL E MÉTODOS

Para o modelo estruturado neste trabalho, foi considerada uma subestação de pequeno porte trifásica de 13,8kV abrigada com transformador a óleo de 1.1MVA.

Figura 1 – Modelo de Subestação proposto



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=bsIe0L5Ngw4>

Para a proteção é usado um relé de proteção e sensores do transformador de potência que ao detectar alguma alteração, devem desenergizar o circuito através da abertura do disjuntor, Mamede(2017) lista algumas funções que o sistema de automação da subestação precisa ter: Abaixo separamos o que se entende mais importantes, são:

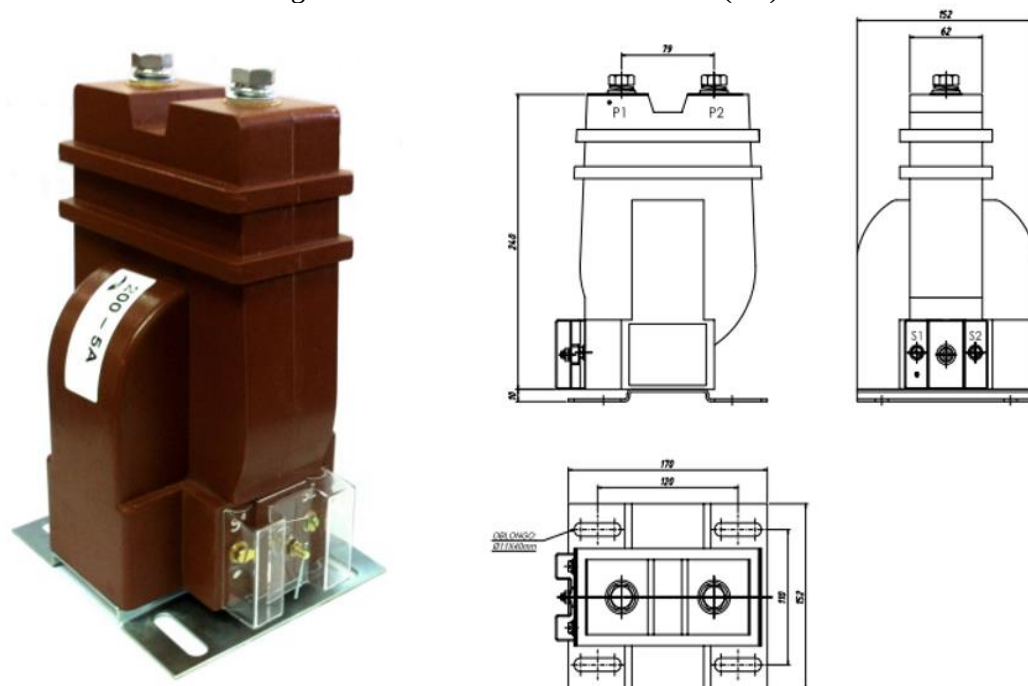
- Monitoração
- Proteção
- Alarme
- Intertravamento
- Armazenamento de informações históricas
- Desligamento seletivo de carga
- Controle de demanda de carga
- Controle de tensão
- Medição
- Supervisório
- Comando

Para medição da corrente da entrada da subestação foi utilizado um transformador de corrente para tensão de 15kV da marca Mult Inst com relação de transformação de 50/5A com exatidão de 10B50. Para medição da tensão da entrada da subestação foi utilizado um transformador de potencial com isolamento epóxi 15kV com potência de 1000VA de tensão primária de 13800V e tensão secundária de 115/220V da marca Mult Inst.

Transformador de Corrente

O transformador de corrente (TC) é responsável por fazer o rebaixamento da corrente nominal do circuito, possibilitando que os instrumentos de medição e proteção operem na corrente do circuito na qual estão ligados. Sendo assim, os instrumentos de medição e proteção podem ter dimensões reduzidas. Basicamente, os TCs transformam as altas correntes que circulam no primário em valores menores no secundário, geralmente 5 A.

Figura 2 – Transformador de Corrente (TC)

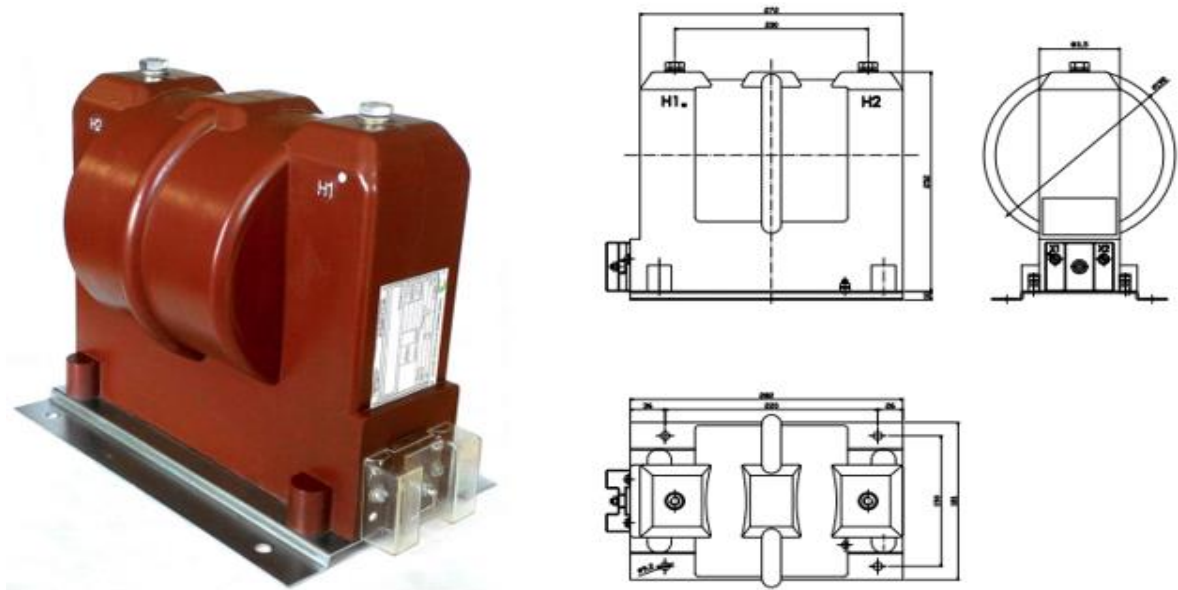


Fonte: <https://multinst.com.br/wp-content/uploads/2022/06/MULT-INST-IP15B2-Rev4-12-18.pdf>

Transformador de Potencial

O transformador de potencial (TP) é responsável pelo rebaixamento da tensão a um nível que possibilita o funcionamento de equipamentos de medição e proteção sem que seja necessário um equipamento mais robusto com isolamento adequada ao nível de tensão do circuito a ser monitorado. Os TPs possuem no enrolamento primário muitas espiras e, no secundário é obtida a tensão em um nível menor, geralmente 115 V ou $115/\sqrt{3}$.

Figura 3 – Transformador de Potencial (TP)



Fonte: <https://multinst.com.br/wp-content/uploads/2022/06/TPB15-%E2%80%93-Transformador-de-Potencial-Classe-15kV.pdf>

Chave seccionadora

Após passar pelas devidas medições na cabine de medição o fluxo de corrente segue através de barramentos devidamente dimensionados para a chave seccionadora tripolar de tensão nominal 15kV 400A da marca American Fuse, foi instalado um contato auxiliar com 1NA+1NF para na chave seccionadora a fim de verificar o status de fechamento ou abertura da chave e, também, para realizar o intertravamento com o acionamento do disjuntor remotamente. Entre o disjuntor de média tensão e o transformador de potência há ainda uma chave seccionadora tripolar de mesma marca, modelo e com contato auxiliar instalado pra acompanhar status da chave. Portanto, com as duas chaves, soma-se 4 contatos auxiliares, assim, faz-se necessário a passagem do cabo de comando $2 \times 1,0 \text{ mm}^2$ 750V PVC 90°C para cada contato de cada chave seccionadora.

A chave seccionadora é um dispositivo de manobra que possibilita a abertura e o fechamento de circuitos desenergizados, garantindo quando aberta, uma distância de isolamento e quando fechada, a continuidade do circuito. De acordo com Mamede (2005), as chaves seccionadoras são utilizadas em subestações para possibilitar manobras de circuitos sem carga, permitindo por exemplo a transferência de carga entre barramentos, ou para realizar o by-pass (desvio) de equipamentos. Outra aplicação pode ser no isolamento de equipamentos que estejam passando por manutenção.

Figura 4 – Chave Seccionadora Tripolar 15KV 400A



Fonte: <https://baldintransformadores.com.br/seccionadoras-de-alta-tensao-138-34kv/chave-seccionadora-tripolar-15kv-400a-e-com-3-baldin/>

Disjuntor de média tensão

O disjuntor de média tensão utilizado neste sistema foi da marca SCHNEIDER, modelo EXE172506B1B220VCA 17,5kV 630A 25kA CB EASYPACT. Este disjuntor contém, bobina de abertura (MX1) 200-250VCA/VCC, bobina de fechamento (XF) 200-250VCA/VCC, motorização para o disjuntor (MCH) 200-250VCA/VCC e 4 contatos auxiliar NAF (OF1, OF2, OF3 e OF4).

O disjuntor é o equipamento responsável pela interrupção do circuito caso haja uma falha no mesmo. Com base nos valores obtidos por equipamentos como TCs e TPs, os relés de proteção analisam os níveis de tensão e corrente e, caso haja alguma alteração que possa prejudicar o funcionamento do sistema, há a interrupção do circuito pelo disjuntor. Basicamente, a interrupção ocorre separando os contatos, que quando fechados possibilitam a continuidade do circuito. Segundo Mamede(2005), durante esta interrupção devido a quantidade de energia armazenada no circuito, surge o arco elétrico que precisa ser eliminado, caso contrário, pode ocasionar danos ao sistema. Esse arco se torna o meio de continuidade do circuito mencionado, até que a corrente atinja o valor zero. Para a extinção de arcos elétricos é necessário provocar o seu alongamento por meios artificiais, e se reduzir sua temperatura substituindo o meio ionizado entre os contatos por um meio isolante. Esse isolante pode ser o ar, óleo ou o gás, sendo assim classificado o meio extintor e as características construtivas do disjuntor.

Figura 5 – Disjuntor Média Tensão até 17,5kv



Fonte: <https://www.se.com/br/pt/product-range/63374-disjuntores-easypact-exe/#products>

1. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1. Subestações de distribuição de energia elétrica

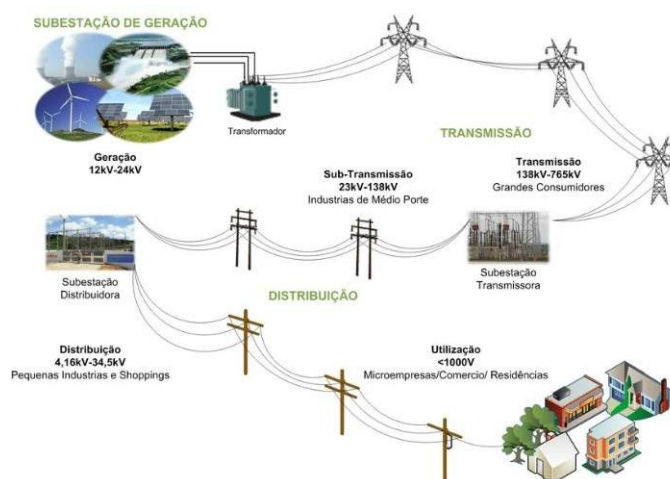
O sistema elétrico de potência é o responsável por manter o fornecimento de energia elétrica aos usuários, garantindo inclusive a qualidade necessária para que ela possa ser utilizada em indústrias, comércios, residências, hospitais etc.

“Os sistemas elétricos de potência têm a função precípua de fornecer energia elétrica aos usuários, grandes ou pequenos, com a qualidade adequada, no instante em que for solicitada. Isto é, o sistema tem as funções de produtor, transformando a energia de alguma natureza, por exemplo, hidráulica, mecânica, térmica ou outra, em energia elétrica, e de distribuidor, fornecendo aos consumidores a quantidade de energia demandada, instante a instante.” (KAGAN, OLIVEIRA, ROBBA, 2005, p.1)

A princípio, utilizando máquinas e/ou equipamentos pode ser transformada energia mecânica em eletricidade como ocorre, por exemplo, com a geração de energia por meio de uma usina hidrelétrica. A turbina do gerador utiliza o movimento obtido pela passagem de água em seu interior, fazendo com que esse movimento gere eletricidade. Além da hidrelétrica existem outras fontes geradoras de energia elétrica como a térmica, a fotovoltaica, eólica, nuclear, entre outras.

Logo após a geração, a energia passa por uma subestação elevadora de tensão. A tensão é elevada para reduzir a corrente, a fim de que a energia possa ser transmitida por longas distâncias sem que haja uma grande perda ocasionada pela impedância da linha de transmissão. Após a transmissão, a tensão é baixada em uma subestação de distribuição (subestação rebaixadora), de forma que permita seu direcionamento ao consumidor final, conforme a figura 6 a seguir:

Figura 6 – Sistema Elétrico de Potência



Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Setores-do-sistema-eletrico-e-voltagem-em-cada-setor_fig3_261875763

As subestações de distribuição são projetadas visando a melhor utilização da energia elétrica é fundamental garantir um fornecimento de energia seguro, eficiente e confiável. O projeto de uma subestação é um processo complexo que exige conhecimento técnico e experiência, um projeto bem elaborado garanti o funcionamento eficiente e seguro da subestação, atendendo às necessidades do cliente contribuindo para o desenvolvimento econômico da empresa. Essa estrutura desempenha um papel crucial na distribuição de eletricidade, adaptando a tensão e controlando o fluxo de energia.

Uma subestação de distribuição recebe energia em uma tensão elevada ex. 34,5 kV ou 13,8 kV, sendo que por meio de transformadores de carga, rebaixam a tensão no secundário do transformador pra tensão desejada de trabalho. Além de rebaixar a tensão é por meio da subestação que ocorre o direcionamento da energia elétrica as áreas produtivas por meio dos circuitos de distribuição.

1.2. Equipamentos utilizados em subestações não mencionados ainda

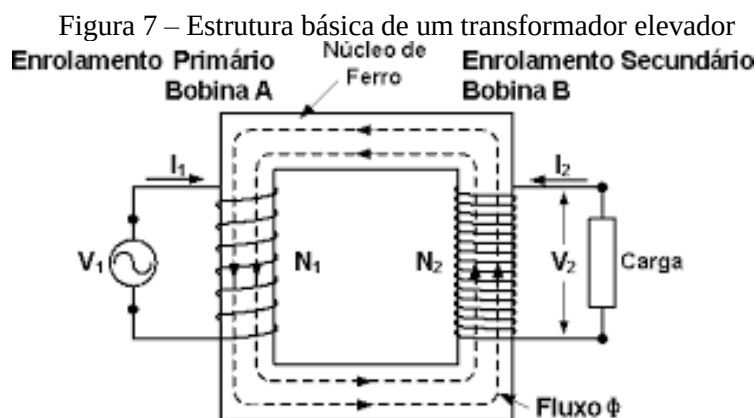
Em subestações de energia elétrica são utilizados diversos equipamentos que, garantem um bom funcionamento em todo o sistema. Dentre esses equipamentos, podem ser destacados os seguintes: transformador de carga, transformador de corrente (TC), transformador de potencial (TP), chave seccionadora, disjuntor, relés de proteção, para-raios e outros, parte desses equipamentos foram detalhados em “Materiais e Métodos”, abaixo segue equipamentos faltantes:

1.2.1. Transformador de Carga

O transformador de carga é o principal equipamento em subestações de energia. Por meio

de indução eletromagnética ele faz a transferência de energia do enrolamento primário para o secundário mantendo frequência e potência iguais, alterando a tensão e a corrente do circuito de acordo com a relação de espiras nos enrolamentos. De acordo com Mamede(2005), um transformador pode ser abaixador ou elevador de tensão, dependendo de suas características construtivas, sendo assim, é possível elevar a tensão para transmitir em longas distâncias reduzindo perdas e, rebaixá-la a um nível que possibilite seu uso em residências.

Geralmente o transformador é constituído por um núcleo de ferro e um par de enrolamentos, também chamados de bobinas, com diferentes números de espiras, N_1 e N_2 , sendo que se $N_1 > N_2$ o transformador funcionará como rebaixador de tensão. Se $N_1 < N_2$ o transformador funcionará como elevador de tensão. O enrolamento ligado à fonte de alimentação é chamado de primário, já o ligado à carga é chamado enrolamento secundário, conforme mostra a figura 2.



Fonte: https://www.cmm.gov.mo/por/Exhibition/secondfloor/MoreInfo/2_4_2_Transformer.html

1.2.2. Religador automático

O religador automático tem por finalidade realizar a interrupção do circuito caso ocorra alguma falha que ocasione o aumento da corrente. Basicamente, o religador atua da seguinte forma: ao perceber aumento na corrente do circuito para valores acima do normal, ocorre a abertura dos seus contatos. Após um tempo pré-determinado, o sistema tenta religar o circuito e caso a falha tenha sido momentânea o circuito volta a operar normalmente. Caso a falha seja permanente ocorre novamente a abertura dos seus contatos devido à alta corrente. O número máximo de tentativas de religamento, bem como o intervalo de tempo entre elas, variam de acordo com os estudos de proteção e operação específicos.

1.2.3. Relés de proteção

Todo sistema elétrico está sempre sujeito a falhas, permanentes ou não. Essas falhas

podem gerar consequências desastrosas, caso o sistema de proteção projetado para proteger aquela instalação não atue de maneira satisfatória. De um modo geral, segundo Mamede(Instalações Elétricas Industriais 9º Edição), as perturbações mais comuns nos sistemas elétricos são as seguintes:

- Curtos-circuitos;
- Sobrecargas;
- Variações do nível de tensão;
- Variações de frequência.

A principal função do relé de proteção é retirar de serviço qualquer parte da subestação que esteja passando por alguma das perturbações acima, o mais rápido possível. Para isso, o relé atua desligando o disjuntor ou religador, isolando assim a parte na qual está ocorrendo a falha, sem que seja necessário parar toda a operação da subestação.

A Tabela ANSI classifica por código e função cada relé usado para proteção de subestações.

1.2.3. Para-raios

Os para-raios são utilizados como uma forma de proteger os demais equipamentos existentes na subestação. As linhas de transmissão e distribuição estão sujeitas a descargas atmosféricas, que podem ocasionar a queima de equipamentos devido à sobretensão. São utilizados para garantir a proteção dos diversos equipamentos que compõem uma subestação de energia, limitando as sobretensões devidas a descargas atmosféricas a um valor máximo, que é tomado como o nível de proteção que ele oferece ao sistema.

1.3. Sistema supervisório

“O sistema supervisório permite ao operador acompanhar processos em tempo real, através de telas de visualização e operação que podem ser configuradas conforme a necessidade do usuário, e seu funcionamento é baseado na interligação de microcomputadores e controladores lógicos programáveis.”
(CARNEIRO, 2005)

Com o sistema supervisório é possível controlar todo um sistema automatizado, que atenda todas as necessidades do usuário, cabe a ele configurar suas telas e associá-las as entradas e saídas do CLP, e assim todo o comando do processo poderá ser feito por meio da interface que foi configurada.

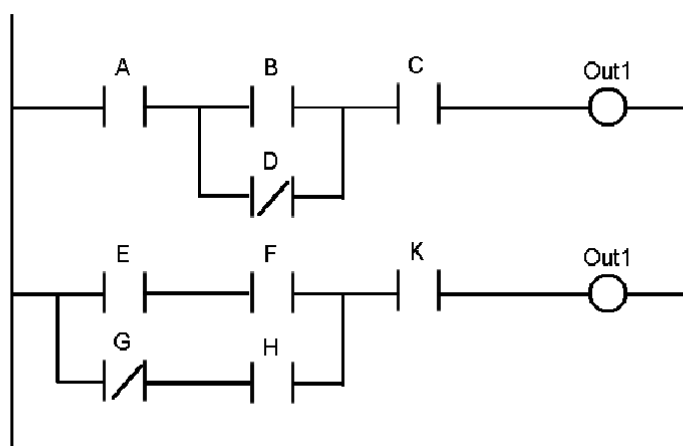
1.4. Linguagem Ladder

“A linguagem Ladder foi a primeira e ainda é a mais utilizada para programar Controladores Lógicos Programáveis, CLPs. A programação Ladder é um paradigma de programação diferente das linguagens de

programação comuns. Ela foi inspirada na descrição de painéis de contatos e reles elétricos através de um diagrama em escada. A linguagem Ladder é uma linguagem gráfica que essencialmente representa redes de conexões de relés, temporizadores, contadores, comutadores, sinais de relógio, linhas de comunicação, operações matemáticas sobre os valores de variáveis. A linguagem ladder é uma das linguagens previstas no padrão IEC 61131-3.” (GEORGINE, 2000).

A linguagem Ladder é conhecida como diagrama de estrutura computacional que ao ser acionada conforme as condições parametrizadas, irá executar o que foi programado. Como por exemplo, acionar uma saída de um CLP. Neste caso iremos usar a linguagem Ladder devido a sua facilidade de programação, por ser semelhante a um esquema elétrico, sendo formado por duas barras verticais interligadas por bobinas e contatos como pode ser visto na figura a seguir.

Figura 8 – Linguagem ladder com contatos e bobinas



Fonte: <https://www.citisystems.com.br/linguagem-ladder/>

1.5. Protocolos de comunicação

Para uma comunicação ser considerada eficiente, ela deve ser de fácil compreensão tanto para o emissor quanto para o receptor. Nas redes de comunicação, os protocolos são responsáveis por garantir que uma informação emitida por algum equipamento, seja recebida e interpretada por outro que esteja conectado na mesma rede. Na implantação de um sistema supervisório para subestações de distribuição, os protocolos mais usuais, conforme Jardini (1997) são: TCP/IP, Modbus e DNP3.

1.5.1. TCP/IP

O TCP/IP é o protocolo mais utilizado atualmente por permitir a comunicação de aparelhos de fabricantes distintos, de acordo com Jardini(1997). O protocolo TCP/IP é composto por um conjunto de protocolos divididos em quatro camadas: camada de aplicação, camada de transporte, camada de rede e camada de interface. Cada camada é responsável pela

execução de tarefas distintas, que juntas garantem a integridade dos dados transmitidos pela rede. O protocolo TCP/IP pode ser usado tanto em redes locais (LAN) quanto em redes de maior alcance (WAN).

1.5.2. Modbus

O protocolo Modbus foi desenvolvido pela Modicon na década de 70, utilizando uma estrutura de mensagem aberta. Sua arquitetura se baseia no modelo cliente-servidor e devido a sua simplicidade e fácil implementação, tem sido muito utilizado em automação industrial. Conforme Jardini(1997), o protocolo Modbus pode ser utilizado em diferentes padrões de meio físico:

- **RS-232:** Geralmente é utilizado em comunicações do tipo ponto a ponto permitindo apenas dois dispositivos na rede, ou seja, o disposto mestre e o escravo. A velocidade máxima de transferência de dados é de aproximadamente 115Kbps e a distância entre os dispositivos da rede deve ser menor que 30m;
- **RS-485:** É um dos padrões mais utilizados no protocolo Modbus para aplicação em redes industriais, por permitir até 32 dispositivos conectados ao mesmo barramento. A velocidade de transferência de dados pode chegar a 50Mbps, e a distância máxima da rede deve ser 1200m;
- **Ethernet:** Quando é utilizado o padrão Ethernet, o protocolo MODBUS realiza a troca de mensagens no modelo cliente-servidor. A velocidade de transmissão de dados pode chegar a 100Mbps e, a distância máxima variar entre 100m a aproximadamente 200m, dependendo das condições de instalação e tipo de cabo usado. É utilizado para comunicação de IEDs com CLP de supervisão. Pontos a serem monitorados

O sistema de supervisão e controle, facilita o monitoramento em tempo real de todas as variáveis da subestação. Para a proteção são usados relés de proteção e sensores do transformador de potência que ao detectar alguma alteração, devem desenergizar o circuito através da abertura do disjuntor.

Para o bom funcionamento do sistema de proteção da subestação, alguns pontos da subestação devem estar sobre constante monitoramento para garantir, no caso de alguma falha, que a atitude correta seja tomada o mais breve possível. Dentre os principais pontos, os que merecem uma maior atenção devido às proporções dos danos que podem causar temos: tensão, corrente e frequência do sistema; status de disjuntores e religadores (aberto ou fechado), temperatura interna e nível do óleo do transformador.

1.5.3. Tensão, Corrente

Algumas falhas podem ocorrer por perturbações causadas durante a transmissão de energia de um ponto a outro. É o que ocorre por exemplo no caso de alterações na tensão e corrente. A variação de tensão pode ser causada por exemplo por descarga atmosférica ao longo da linha. Da mesma forma, a variação da corrente pode ser provocada por descargas atmosféricas ao longo da linha ou por curto-circuito, provocado por queda de galhos, acidentes com máquinas agrícolas etc. Ambas as falhas citadas acima oferecem risco ao sistema e devem ser tratadas em tempo hábil a fim de gerar o menor dano possível a subestação.

O monitoramento dessas variáveis se torna importante por isso, pois o sistema de proteção é o responsável por identificar e tratar essas falhas. O sistema supervisório permite que o operador do sistema tenha essas informações em tempo real, e possibilita alertar por meio de alarme sonoro e visual as falhas identificadas.

1.5.4. Status de disjuntores

Como já exposto anteriormente, o disjuntor é o equipamento responsável pela abertura do circuito em caso de falha na linha de entrada, impedindo que a mesma chegue ao transformador de potência e o danifique. O monitoramento do status do disjuntor se faz importante por esse motivo, pois se houve abertura do mesmo, é provável que tenha ocorrido algum problema que poderia ter causado maiores danos a subestação.

1.5.5. Temperatura e nível de óleo do transformador

Na maior parte dos transformadores de força o fluido isolante mais utilizado para o resfriamento de seu núcleo é o óleo mineral, conforme exposto por Mamede (2005). Dada sua importância para manutenção da qualidade e segurança do transformador é necessário que haja monitoramento constante de seu nível e temperatura, pois este é o equipamento de maior valor e importância na subestação.

É possível pelo sistema supervisório criar alerta sonoro e visual ao operador caso haja alguma alteração em suas características que comprometa o bom funcionamento do transformador.

2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente projeto destacamos os principais resultados obtidos com o desenvolvimento de um sistema de monitoramento remoto completo, desenvolvido pra uso em uma subestação de pequeno e médio porte, podendo ser ajustado conforme necessidade, neste tópico pode se ver os resultados obtidos após a conclusão e implementação do sistema em simulações virtuais mostrando e explicando de forma clara que o sistema de monitoração remoto pra subestação atende os requisitos funcionais e demonstra a eficiência e desempenho deste projeto.

Figura 9 – Tela do Supervisório



Fonte: Autores (2024)

Os dados simulados no projeto foram: monitoração, proteção, alarme, intertravamento, religamento, armazenamento de informações históricas, gráficos de tendência, desligamento seletivo de carga, controle de demanda de carga, controle de tensão, medição, supervisório e comando, com isso tornando um sistema eficiente, confiável, preciso, proporcionando grandes ganhos em termos de operação e manutenção diminuindo a necessidade de um operador dentro da Subestação analisando e tendo que fazer manobras manualmente.

A implementação de monitoramento remoto na subestação de distribuição nos proporciona resultados significativos em termos de melhoria da eficiência operacional e redução de custos e com uma grande eficiência operacional.

2.1. Eficiência Operacional

Justificativa dos custos de implantação: Alguns fatores justificam a implantação do sistema de monitoramento remoto, 1º dificuldade em contratação de mão de obra qualificada, 2º tempo de resposta, 3º tomada de decisão, 4º segurança na operação, 5º visita técnicas com frequência. Somando esses fatores e outros mais, a implementação do sistema de monitoramento remoto se torna muito atrativo e viável financeiramente, pois conseguimos ter ganhos reais sentido operacional, podendo ter todos os dados na tela do PC em tempo real, possibilitando a operação descobrir as falhas e montar um plano de ação de imediato.

2.2. Ganhos de Eficiência

Pode se identificar pontos importantes que demonstram a melhoria da eficiência operacional após a aplicação do monitoramento remoto. Isso inclui tempo de detecção e resolução de falhas, tempo de resposta do sistema a anomalias diante de eventos críticos, em uma subestação onde não possui o monitoramento remoto implantado, o tempo de resposta para detecção de falhas é grande (por motivos de segurança, procedimentos internos, deslocamento entre outros fatores) em uma subestação onde o sistema de monitoramento remoto se encontra instalado esse tempo pode ser bem menor, permitindo a intervenção imediata e prevenindo interrupções prolongadas no fornecimento de energia.

2.3. Redução de Custos Operacionais

Nota se que os custos de operação e manutenção antes e depois da introdução do sistema de monitoramento remoto será reduzido significativamente, pois existe a possibilidade de cortar gastos com visitas técnicas, manutenção preventiva ou corretiva e perdas associadas a interrupções de energia pela metade. De imediato já vamos obter a redução de custos operacionais, redução no número de deslocamentos de equipes e otimização do uso de recursos humanos e materiais.

2.4. Melhoria na Confiabilidade do Sistema

O monitoramento remoto resulta em maior confiabilidade da rede elétrica devido à capacidade de prever falhas ou interrupções com maior antecedência. O monitoramento remoto é capaz de identificar problemas antes que eles resultem em falhas e interrupção no fornecimento de energia, sendo possível concluir de maneira objetiva e assertiva que foram obtidos os resultados esperados com o novo sistema.

O relé de proteção utilizado neste modelo de subestação foi o URPE 7104, da marca PEXTRON, por ser um modelo com preço atrativo, possui comunicação modbus serial RS-485 e que atende aos requisitos para o monitoramento remoto da subestação. Dentre as principais aplicações de

proteção deste relé estão:

- Função 27: Subtensão;
- Função 47: Sequência de fase;
- Função 50: Sobrecorrente instantâneo de fase;
- Função 50N: Sobrecorrente instantâneo de neutro;
- Função 51: Sobrecorrente instantâneo de fase;
- Função 51N-GS: Sobrecorrente instantâneo de neutro ou sensor de terra (GS);
- Função 59: Sobretensão;
- Função 74: Alarme de continuidade da Bobina e falha no circuito da Bobina;
- Função 86: Retenção das proteções (retém a condição de Trip);
- Função 62BF: Relé temporizado para falha de disjuntor;
- Função 81: Sobre e sub frequência.

Figura 10 – Relé de sobrecorrente com comunicação serial



Fonte: <https://www.pextron.com/index.php/pt-br/solucoes-01/coluna-3/cabines-primarias-03>

Através do relé de proteção pode-se parametrizar a curva de atuação, tempo de resposta, entre outros, são definidos com base em estudos de proteção para a subestação. Esse estudo é de extrema importância para o bom funcionamento do sistema de proteção, pois algumas falhas são temporárias e o mal dimensionamento do sistema pode provocar a abertura desnecessária do disjuntor, assim como o retardo da atuação também pode ser prejudicial.

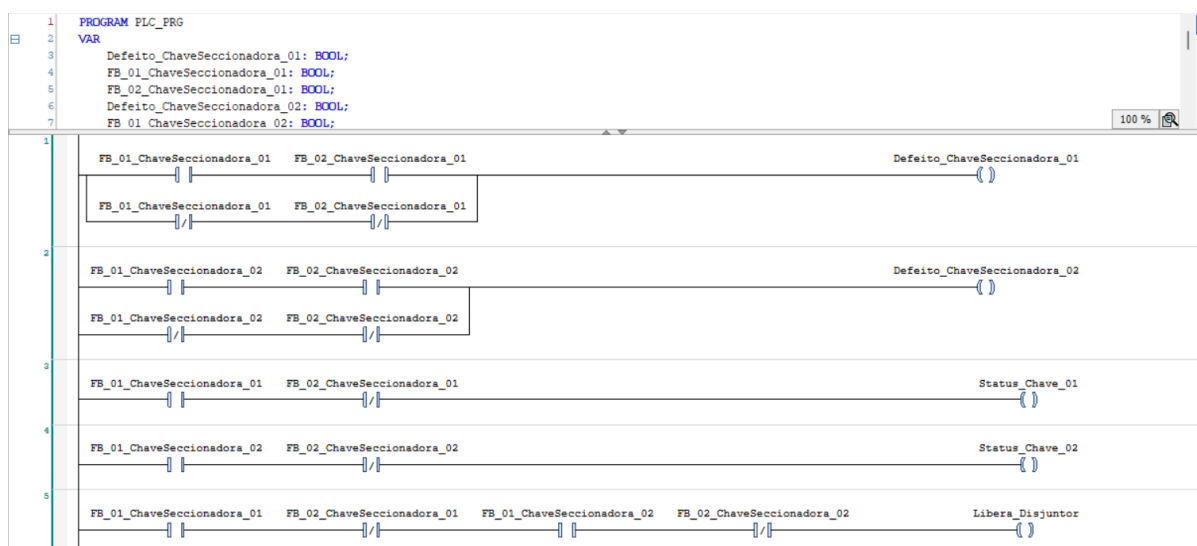
A alimentação do relé de proteção é feita por um cabo PP 3x2,50mm² classe 5 isolamento EPR ou XLPE 90°C 0,6/1kV, em que 2 vias serão ligadas no lado da baixa tensão do transformador de potencial (TP) e a última via no aterramento da subestação. A leitura da corrente é feita através do próprio relé de proteção, por isso, deve-se realizar a passagem de um cabo PP

3x2,5mm² classe 5 isolação EPR ou XLPE 90°C 0,6/1kV blindado entre os 3 transformadores de corrente (1 TC para cada fase) e o relé. Nos transformadores de correntes a conexão S1 deve ser ligada ao aterramento da subestação e a conexão S2 deve ser ligada a uma via do cabo PP 3x2,5mm². No relé de proteção, a primeira via do cabo, que foi conectado no S2 do TC da fase R, deve ser conectada na conexão -X1A do relé. A segunda via do cabo, conectada no S2 do TC da fase S, deve ser conectada na conexão -X1B e por fim a terceira via do cabo, conectada no S2 do TC da fase T, deve ser conectada na conexão -X1C.

Com o intuito de facilitar a ligação em campo de todos os cabos que saem das chaves seccionadoras levando os sinais até o CLP, foi montado dentro do painel uma régua de bornes de passagem de 2 níveis da marca WAGO, modelo 2002-2201, tal que no primeiro nível chega o 24Vcc que vem da fonte e no segundo nível o retorno do sinal que vem de cada contato das chaves. Cada retorno é inserido em uma entrada digital, sendo o retorno do contato NA da Chave Seccionadora_01 ligado na DI1 do CLP, o contato NF dessa mesma chave na DI2. Já para a Chave Seccionadora_02 o retorno do contato NA ligado na DI3 e o contato NF ligado na DI4.

Assim, com dois sinais de entrada digital de cada uma das chaves seccionadoras pode-se realizar uma inspeção em tempo real visando verificar a integridade da chave e se ambos os contatos auxiliares de cada chave estão funcionando corretamente para assim liberar o comando externo para abrir ou fechar o disjuntor, neste caso fechando o contato presente no diagrama LADDER “Libera_Disjuntor”, caso contrário irá indicar no sistema supervisório SCADABR um led apontando falha na devida chave. Além desses sinais, para indicação no sistema supervisório se a chave seccionadora está aberta ou fechada, foram criadas as saídas do tipo booleanas “Status_Chave_01” e “Status_Chave_02”

Figura 11 – Tela de Programação



Fonte: Autores (2024)

Para realizar o fechamento remoto do disjuntor utilizado a bobina XF deve ser alimentada por uma fase diretamente no contato A:2 e a outra fase passa por um contato NAF, do relé de interface da WAGO modelo 857-304 com bobina de 24VCC, e conecta-se no contato A:1 do disjuntor. A bobina do relé de interface deve ser alimentada no contato A2 com 0V da fonte e o contato A1 diretamente da saída digital do CLP DO1. Assim, quando pelo supervisório o operador pressionar o botão para fechar o disjuntor, o contato “Fecha_Disjuntor_Sup” presente no diagrama de programação LADDER fechará o contato e caso o contato “Libera_Disjuntor” estiver em 1 o CLP mandará um sinal 24Vcc pela saída digital DO1 que irá alimentar a bobina do relé de interface, em que este atracará o contato NAF realizando a passagem de corrente para alimentação da bobina XF do disjuntor.

Porém, além do acionamento via supervisório, consideramos que seja possível o mesmo acionamento por botão de retorno por mola instalado na subestação, este acionamento pelo botão “LIGA”, com um contato NA, está conectado na entrada digital DI6 do CLP. Assim, quando um operador pressionar o botão, o CLP receberá este sinal e irá fechar o disjuntor, caso o contato “Libera_Disjuntor” estiver em nível lógico 1. Portanto, para que seja possível o mesmo acionamento por dois meios, estes contatos devem estar ligados em paralelo na lógica em LADDER.

Com intenção de realizar a abertura remota do disjuntor utilizando a bobina MX1, esta deve ser alimentada por uma fase diretamente no contato C:1 e a outra fase passa por um contato NAF, do relé de interface da WAGO modelo 857-304 com bobina de 24VCC, e conecta-se no contato C:2 do disjuntor. A bobina do relé de interface deve ser alimentada no contato A2 com 0V da fonte e o contato A1 diretamente da saída digital do CLP DO2. Assim, quando pelo supervisório o operador clicar no botão para abrir o disjuntor, o contato “Abre_Disjuntor_Sup” contido na programação em LADDER fechará o contato e caso o outro contato “Libera_Disjuntor” estiver em nível lógico 1 o CLP mandará um sinal 24Vcc pela saída digital DO2 que irá alimentar a bobina do relé de interface, em que este atracará o contato NAF realizando a passagem de corrente para alimentação da bobina MX1 do disjuntor.

Porém, assim como no comando para fechar o disjuntor, além do acionamento via supervisório, consideramos que seja possível o mesmo acionamento por botão de retorno por mola instalado na subestação, este acionamento pelo botão “DESLIGA”, com um contato NA, está conectado na entrada digital DI7 do CLP. Assim, quando um operador pressionar o botão, o CLP receberá este sinal e irá abrir o disjuntor, caso o contato “Libera_Disjuntor” estiver em nível lógico 1. Portanto, para que seja possível o mesmo acionamento por dois meios, estes contatos devem estar ligados em paralelo na lógica em LADDER.

Com o propósito de garantir o final do processo de abertura e fechamento do disjuntor

foram utilizados os contatos auxiliares do mesmo, sendo o contato auxiliar OF1 utilizado como NA. Portanto, para que esse sinal chegue ao CLP, foi montado dentro do painel uma régua de bornes de passagem de 2 níveis da marca WAGO, modelo 2002-2201, tal que no primeiro nível chega o 24Vcc que vem da fonte e no segundo nível o retorno do sinal que vem de cada contato do disjuntor. Sendo, o contato OF1 (NA) ligando a alimentação 24Vcc no borne 11 e o retorno para o CLP no borne 14, este retorno digital entrará na entrada digital do CLP DI5 que corresponde a “Status_Disjuntor” no diagrama de programação em LADDER.

Logo, para realizar os 2 acionamentos (abertura e fechamento do disjuntor) deve-se realizar a passagem de 2 cabos PP 2x2,5mm² 750V PVC 90°C e um sinal digital do mesmo, deve-se realizar a passagem de 1 cabo comando 2x1,0mm² 750V PVC 90°C.

Assim, a partir da entrada digital DI5 do CLP conectada ao contato auxiliar OF1 (NA) do disjuntor, este indica ao sistema supervisorório se o disjuntor está aberto ao acionar “LED_Disjuntor_Aberto” ou se o disjuntor está fechado ao acionar “LED_Disjuntor_Fechado”.

Figura 12 – Tela de Programação



Fonte: Autores (2024)

Pontos supervisionados

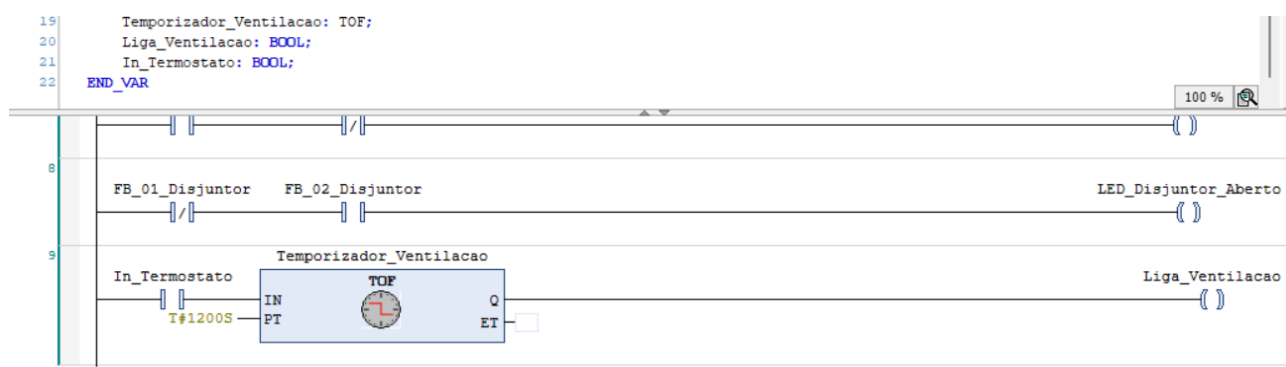
Com o fim de melhorar a temperatura na subestação controlada remotamente, incrementamos um termostato da marca PFANNENBERG modelo FLZ 520 ao qual foi possível ajustar a temperatura em um intervalo entre 0°C e 60°C em que este será acionado ao constatar a temperatura setada no dispositivo. Assim, para incrementar na programação em LADDER é necessária a passagem de 1 cabo PP 2x1,0mm² 750V PVC 90°C a fim de a primeira via realizar a alimentação do contato e a segunda via o retorno do sinal ao alcançar a temperatura selecionada. Neste caso, colocamos a temperatura de 45°C. Assim como nas chaves e no disjuntor, foi utilizado borne de passagem de dois níveis da marca WAGO modelo 2002-2201, em que no primeiro nível se encontra a alimentação em 24Vcc e no segundo nível o retorno que está ligada diretamente na

entrada DI8 do CLP.

Portanto, quando o ambiente da subestação alcançar a temperatura de 45°C o termostato irá chavear seu contato interno levando o sinal até a entrada digital DI8. Por fim, ao receber esse sinal, este está vinculado a TAG “In_Termostato” na programação, que quando estiver em nível lógico 1 acionará o bloco de função TOF “Temporizador_Ventilacao”. O TOF ao receber o sinal de entrada energiza a bobina “Liga_Ventilacao” que está vinculada a saída digital DO3 do CLP. A saída digital DO3 está ligada no A1 de um relé de interface da WAGO modelo 857-304 com bobina de 24VCC, o A2 deste foi ligado ao 0Vcc da fonte. Este relé possui um contato NAF, em que no comum está ligado uma fase do circuito que quando chaveado pela bobina do relé irá energizar uma contatora com bobina 220VCA, no terminal A1 foi ligado a tensão e no terminal A2 desta bobina está conectada no neutro da rede, por fim, ao realizar isso acionará a partida direta que alimentara um ventilador/exaustor industrial 400mm em 220v de marca VENTIOL, modelo 9806 para ventilação da subestação.

Após o acionamento da ventilação a temperatura irá baixar, assim, quando a temperatura da sala for menor do que a temperatura configurada no termostato, este irá voltar ao seu estado inicial e o “In_Termostato” voltará ao nível lógico 0. Assim, ao voltar ao seu nível lógico inicial, começará a contar o tempo indicado no TOF, que neste caso é de 20 minutos (1200 segundos), portanto a ventilação forçada só irá parar após os 20 minutos.

Figura 13 – Tela de Programação



Fonte: Autores (2024)

Importante lembrar que para melhor eficiência da comunicação Modbus serial RS-485 é necessária a passagem de um cabo blindado, a fim de evitar interferências durante a transmissão. Assim, utiliza-se um cabo comando 3x1,0mm² 500V PVC 90°C blindado. Um dos problemas desse tipo de comunicação Modbus são as falhas na comunicação gerada através da reflexão do cabo. Portanto, para sanar este problema coloca-se um resistor de 120Ω, este resistor funciona como um terminador de rede, impedindo a reflexão dos sinais.

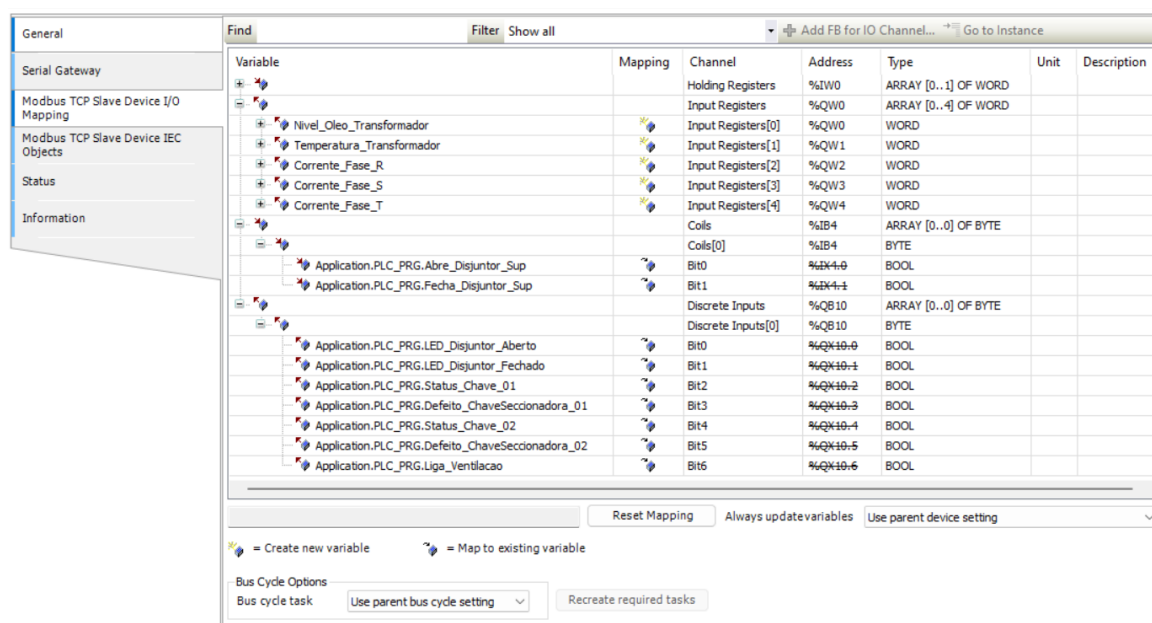
A leitura do nível do óleo do transformador foi coletada a partir de um sensor de nível

acoplado a um transmissor, ao qual recebe a alimentação da fonte com 24Vcc e retorna ao CLP um sinal analógico de corrente entre 4...20mA. Com este sinal analógico, é possível realizar a proporcionalidade entre o range do sensor e o range do sinal analógico, obtendo assim o valor do nível do óleo naquele exato momento. Deve ser realizado a passagem de cabo blindado, a fim de evitar interferência no decorrer do caminho do cabo em decorrência da sensibilidade da corrente analógica. Portanto, utiliza-se um cabo comando 2x1,0mm² 500V PVC 90°C blindado entre o transmissor e a entrada AI1 do CLP.

A leitura do nível da temperatura do transformador foi coletada a partir de um sensor de temperatura acoplado a um transmissor, ao qual recebe a alimentação da fonte com 24Vcc e retorna ao CLP um sinal analógico de corrente entre 4...20mA. Com este sinal analógico, é possível realizar a proporcionalidade entre o range do sensor e o range do sinal analógico, obtendo assim o valor da temperatura do transformador naquele exato momento. Deve ser realizado a passagem de cabo blindado, a fim de evitar interferência no decorrer do caminho do cabo em decorrência da sensibilidade da corrente analógica. Portanto, utiliza-se um cabo comando 2x1,0mm² 500V PVC 90°C blindado entre o transmissor e a entrada AI2 do CLP.

Os valores obtidos nas entradas analógicas 1 e 2 do CLP são variáveis do tipo WORD que serão transmitidos através da comunicação Modbus TCP/IP para o programa supervisorio, a fim de indicar para o operador os valores das leituras naquele exato momento. Esses valores, por se tratar de entradas analógicas, devem ser direcionadas a Input Registers na comunicação com o supervisorio. Assim como as entradas analógicas, os valores coletados via comunicação Modbus serial RS-485 foram transmitidos para o programa supervisorio através do protocolo de comunicação Modbus TCP/IP, então os valores obtidos na comunicação serial devem ser direcionados também as Inputs Registers para comunicação com o supervisorio.

Figura 14 – Tela de Programação

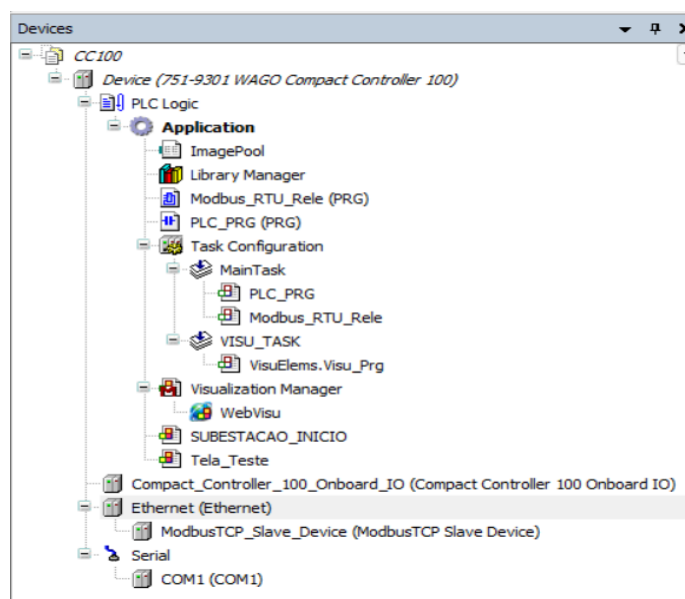


Fonte: Autores (2024)

Sistema de Supervisão e controle

O supervisor utilizado para realizar o monitoramento remoto da subestação foi o software gratuito e de código aberto SCADABR. Assim, para realizar a comunicação entre o CLP e o sistema de supervisão foi utilizado o protocolo de comunicação serial Modbus TCP/IP, assim tanto o CLP quando o supervisor se tornam dispositivos conectados na rede, em que o supervisor é o “mestre” e o CLP o “escravo” dessa comunicação. Portanto, no software de programação CODESYS, foi incrementado um novo dispositivo adaptador de Ethernet, neste foi inserido “ModbusTCP_Slave_Device”.

Figura 15 – Tela de Programação



Fonte: Autores (2024)

Em Ethernet (Ethernet) conforme mostrado na figura acima, para que a comunicação aconteça, deve-se colocar o endereço IP e a máscara de sub-rede referente à máquina em que o sistema supervisor SCADABR está rodando.

Figura 16 – Tela de Programação

General

Ethernet Device I/O Mapping

Ethernet Device IEC Objects

Log

Status

Information

Network interface Browse...

IP address

Subnet mask

Default gateway

☐ Adjust operating system settings

Fonte: Autores (2024)

Em Modbus TCP_Slave_Device na guia general inserimos o valor da porta do “escravo” da rede, neste caso foi a porta 502. Além disso, ainda nesta mesma guia, podemos indicar a quantidade de entradas digitais (discrete inputs), saídas digitais (coils), entradas analógicas (input registers) e saídas analógicas (holding registers).

Figura 17 – Tela de Programação

General

Serial Gateway

Modbus TCP Slave Device I/O Mapping

Modbus TCP Slave Device IEC Objects

Status

Information

Configured Parameters

☐ Watchdog (ms) ☒ Close TCP socket

Slave port ☐ Bind to adapter

Holding registers (%IW) ☐ Writeable

Input registers (%QW)

☒ Discrete Bit Areas

Coils (%IX)

Discrete Inputs (%QX)

Data Model

Start addresses

Coils

Discrete inputs

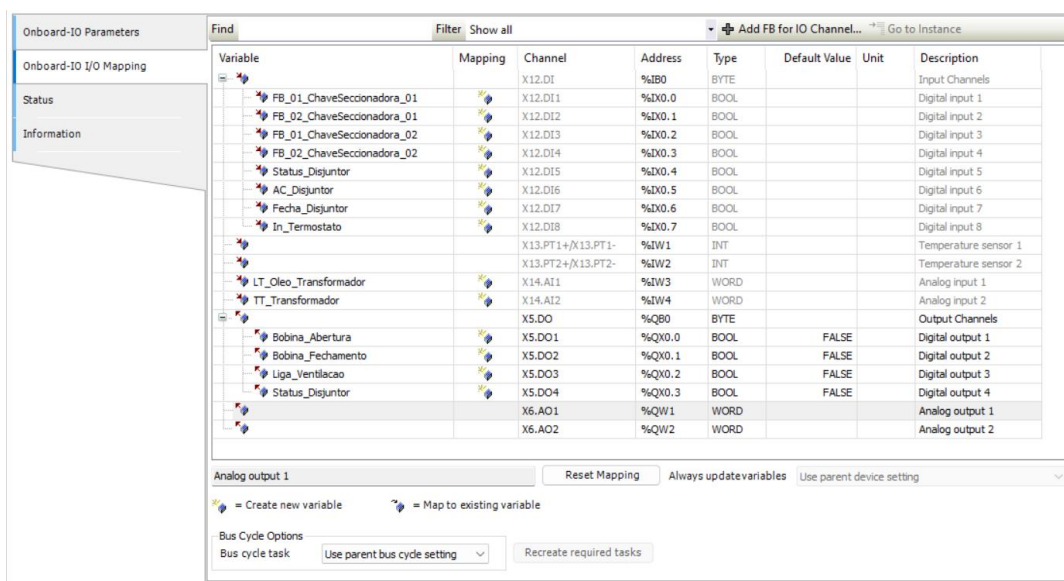
Holding register

Input register

Fonte: Autores (2024)

Após indicar a quantidade de I/O requerida para a automação e supervisão do sistema, deve-se indicar quais dados serão transmitidos entre a comunicação Modbus em cada bit de acordo com cada tipo de variável, essa configuração pode ser feita através da guia “Modbus TCP Slave Device I/O Mapping”. Feito todas as configurações no software de programação do CLP, faltará apenas vincular todos esses dados no sistema supervisor SCADABR para que assim a comunicação Modbus TCP/IP realiza a troca de dados necessária para o funcionamento do sistema.

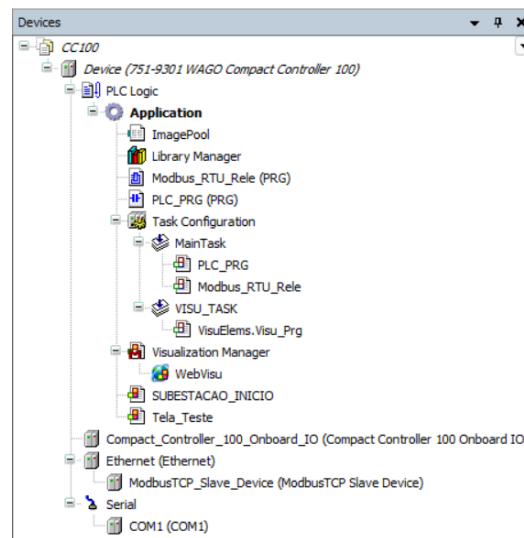
Figura 18 – Tela de Programação



Fonte: Autores (2024)

A fim de realizar a leitura de dados coletados pelo relé de proteção, foi utilizado como meio para aquisição desses dados a partir do relé de proteção a comunicação serial Modbus RS-485. Para isso, no relé devemos indicar no parâmetro BPS (velocidade de transmissão serial em Kpbs) 9600bps, no parâmetro END (endereço do relé na rede de comunicação serial) 1, no parâmetro STB (número de stop bit da serial) 1 stop bit e por fim no parâmetro HABL (habilitação de parametrização do relé através da serial) em 1, ou seja, local e remota. NO CLP utilizado, o CC100 da marca WAGO, este controlador possui uma porta serial RS-232/485 incorporada ao hardware, a porta COM1. Assim, esses mesmos dados da comunicação serial devem ser inseridos na porta de comunicação COM1 para realizar a comunicação serial com o relé de proteção.

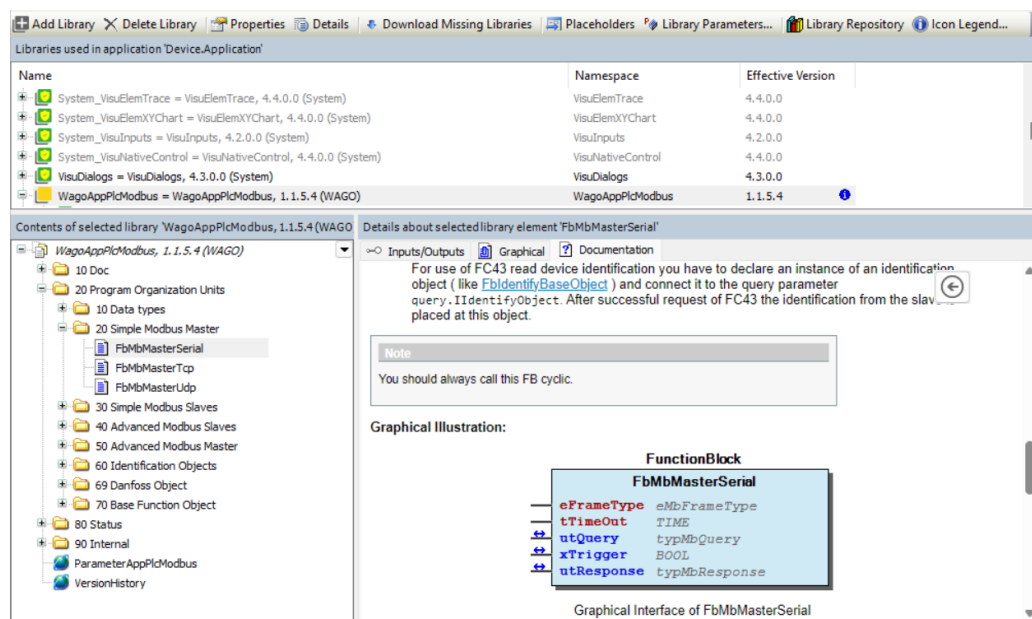
Figura 19 – Tela de Programação



Fonte: Autores (2024)

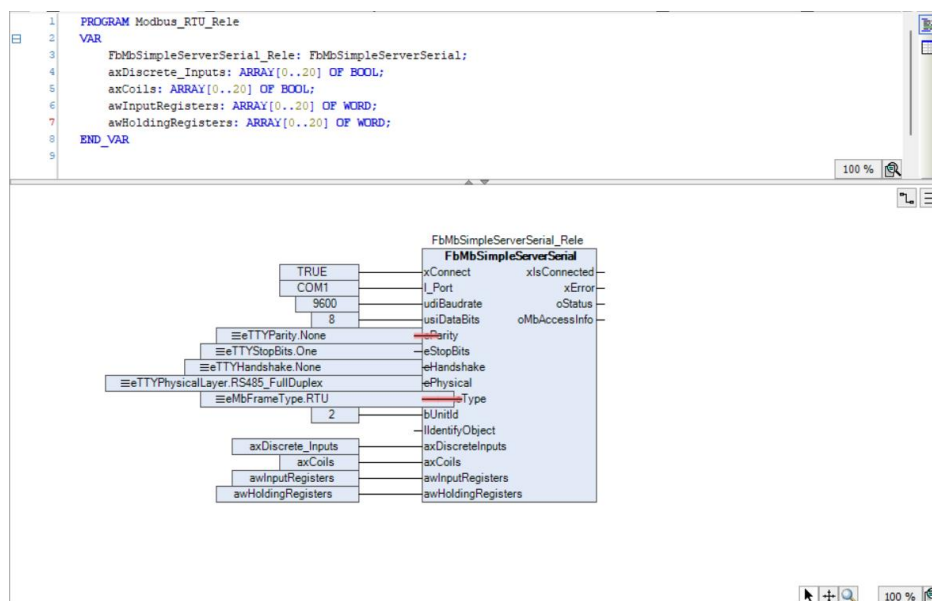
Com o intuito de definir os mesmos parâmetros da rede Modbus configurados no relé, a WAGO disponibiliza uma biblioteca denominada de WagoAppPlcModbus, nesta biblioteca encontra-se os blocos de funções e exemplos de código para aplicação em comunicações Modbus dos tipos TCP/IP, serial e UDP, tanto em Modbus slave quanto Modbus master. Visto isso, utilizamos o FB (FunctionBlock) FbMbSimpleServerSerial para inserir os dados da comunicação e realizar a transmissão de dados.

Figura 20 – Tela de Programação



Fonte: Autores (2024)

Figura 21 – Tela de Programação

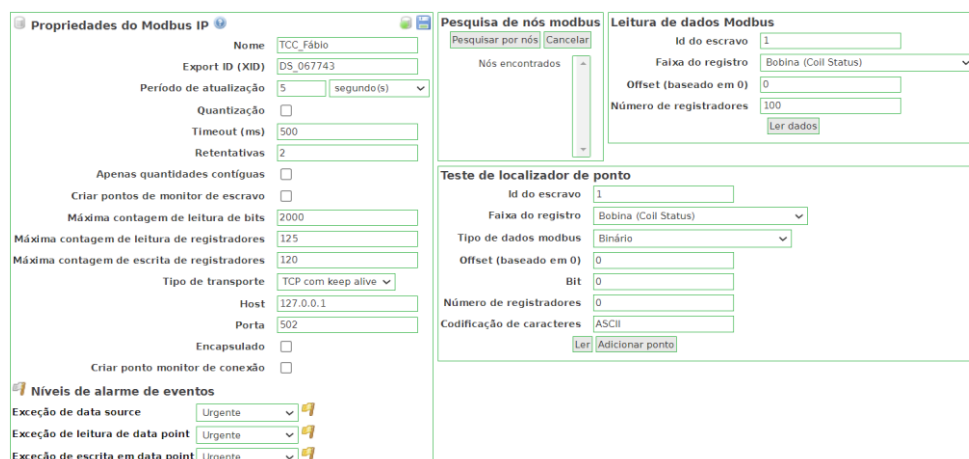


Fonte: Autores (2024)

Após finalizar toda a coleta de dados inerentes ao processo de supervisão remota da subestação, foi iniciado a confecção, criação e parametrização da tela de supervisório do sistema, que neste caso será usado o software SCADABR.

Primeiramente, antes de desenvolver a representação gráfica do sistema, devemos estabelecer o protocolo de comunicação que será usado para a coleta e transmissão dos dados que passarão pelo sistema supervisório, no caso desse sistema de monitoramento remoto será usado o Modbus TCP/IP utilizando o SCADABR como mestre do CLP na comunicação. Após escolher o tipo de protocolo de comunicação, devemos configurá-lo. Dentre as principais configurações tem-se o tipo de transporte que deve ser “TCP com keep alive”, o host que é o endereço IP ao qual está vinculado a coleta dos dados e a porta que deve ser a mesma tanto na programação do CODESYS quanto no supervisório SCADABR.

Figura 22 – Tela do Supervisório



Fonte: Autores (2024)

Após realizar todas as configurações, foram adicionados os chamados “data points” que são as TAG’s para se utilizar na visualização gráfica a partir de uma faixa de leitura e do bit (baseado em 0) dessa faixa. Ou seja, para cada dado seja este binário (sinal digital) ou inteiro (sinal analógico) tem a sua faixa de leitura. Sendo estas, “Coil Status” para saídas digitais, “Input Status” para entradas digitais, “Registrador Holding” para saídas analógicas e “Input Register” para entradas analógicas. Dentro dessas faixas de leitura tem o bit que ele é armazenado, assim cada valor desse deve ser associado à uma TAG para leitura ou escrita no supervísório.

Figura 23 – Tela do Supervísório

Data points					
Nome	Tipo de dado	Status	Escravo	Faixa	Offset (baseado em 0)
Abre_Disjuntor	Binário		1	Bobina (Coil Status)	0
Corrente_Fase_R	Numérico		1	Registrador de entrada (Input Register)	2
Corrente_Fase_S	Numérico		1	Registrador de entrada (Input Register)	3
Corrente_Fase_T	Numérico		1	Registrador de entrada (Input Register)	4
Defeito_Chave_01	Binário		1	Entrada Discreta (Input Status)	3
Defeito_Chave_02	Binário		1	Entrada Discreta (Input Status)	5
Fecha_Disjuntor	Binário		1	Bobina (Coil Status)	1
LED_Disjuntor_Aberto	Binário		1	Entrada Discreta (Input Status)	0
LED_Disjuntor_Fechado	Binário		1	Entrada Discreta (Input Status)	1
Nível_Óleo_Transformador	Numérico		1	Registrador de entrada (Input Register)	0
Status_Chave_01	Binário		1	Entrada Discreta (Input Status)	2
Status_Chave_02	Binário		1	Entrada Discreta (Input Status)	4
Status_Ventilador	Binário		1	Entrada Discreta (Input Status)	6
Temperatura_Transformador	Numérico		1	Registrador de entrada (Input Register)	1

Fonte: Autores (2024)

Após realizar a inserção de todos os data points que foram necessários no sistema, devem-se passar esses pontos para “watch list” assim esses data points podem ser visualizados e/ou acionados a partir da tela do supervísório na área representação gráfica do SCADABR.

Figura 24 – Tela de Programação

Points					
TCC_Fábrio - Abre_Disjuntor	TCC_Fábrio - Corrente_Fase_R	TCC_Fábrio - Corrente_Fase_S	TCC_Fábrio - Corrente_Fase_T	TCC_Fábrio - Defeito_Chave_01	TCC_Fábrio - Defeito_Chave_02
TCC_Fábrio - Fecha_Disjuntor	TCC_Fábrio - LED_Disjuntor_Aberto	TCC_Fábrio - LED_Disjuntor_Fechado	TCC_Fábrio - Nível_Óleo_Transformador	TCC_Fábrio - Status_Chave_01	TCC_Fábrio - Status_Chave_02
TCC_Fábrio - Status_Ventilador	TCC_Fábrio - Temperatura_Transformador				

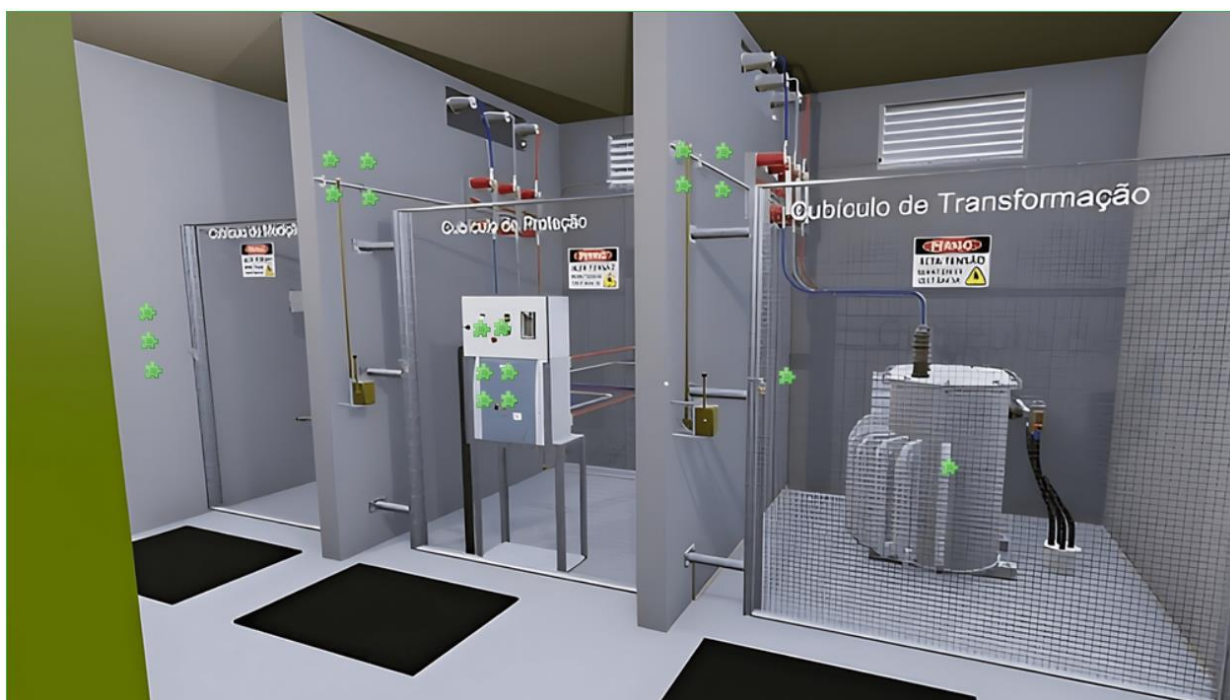
Watch list					
TCC_Fábrio - Abre_Disjuntor	0	11:36:04	☒		
TCC_Fábrio - Status_Chave_01	1	11:36:04	☒		
TCC_Fábrio - Defeito_Chave_01	0	11:36:04	☒		
TCC_Fábrio - Fecha_Disjuntor	0	11:36:04	☒		
TCC_Fábrio - LED_Disjuntor_Aberto	1	11:36:04	☒		
TCC_Fábrio - LED_Disjuntor_Fechado	0	11:36:04	☒		
TCC_Fábrio - Status_Chave_02	1	11:36:04	☒		
TCC_Fábrio - Defeito_Chave_02	0	11:36:04	☒		
TCC_Fábrio - Nível_Óleo_Transformador	0.0	11:36:04	☒		
TCC_Fábrio - Temperatura_Transformador	0.0	11:36:04	☒		
TCC_Fábrio - Corrente_Fase_R	0.0	11:36:04	☒		
TCC_Fábrio - Corrente_Fase_S	0.0	11:36:04	☒		
TCC_Fábrio - Corrente_Fase_T	0.0	11:36:04	☒		
TCC_Fábrio - Status_Ventilador	1	11:36:04	☒		

Gráfico					
De	2024	Set	16	11	36
Até	2024	Set	17	11	36
					00
					Último

Fonte: Autores (2024)

Na área de representação gráfica é onde cria-se a tela de supervisorio, que permite visualizar a imagem de fundo da tela escolhida, os data points que foram adicionados a tela, os gifs binários e gifs analógicos. Para esse modelo de subestação foi utilizado a seguinte imagem de fundo como base para o projeto.

Figura 25 – Tela do Supervisorio



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=3Utkm97wZeE>

A partir desse modelo de imagem, foi criada a tela do supervisorio fazendo uma correlação entre os dispositivos representados na imagem da tela do supervisorio e os data points que foram adicionados, inserindo gifs e imagens para melhor visualização dos status dos componentes. Para representação das entradas digitais, foram usadas os gifs binários em que de acordo com o nível lógico 0 ou 1, indica uma determinada imagem. Então, com esses recursos, fica mais intuitivo para o operador os status de cada componente. Já para as saídas digitais foram usados botão do tipo escrita, em que este ao clicar no ícone o nível lógico do bit relacionado daquele botão muda de 0 para 1 ou de 1 para 0, de acordo com o estado inicial antes da ação de clique. Para as entradas analógicas foram usados dois tipos de representações, o primeiro foram os gifs analógicos que de acordo com a proporcionalidade entre o valor recebido da comunicação Modbus TCP/IP e o valor mínimo e máximo inserido nele, mostra uma determinada imagem de acordo com essa proporcionalidade. O segundo tipo de representação para entradas analógicas foram os data points simples, estes têm a função de apenas indicar o valor recebido através da comunicação Modbus TCP/IP.

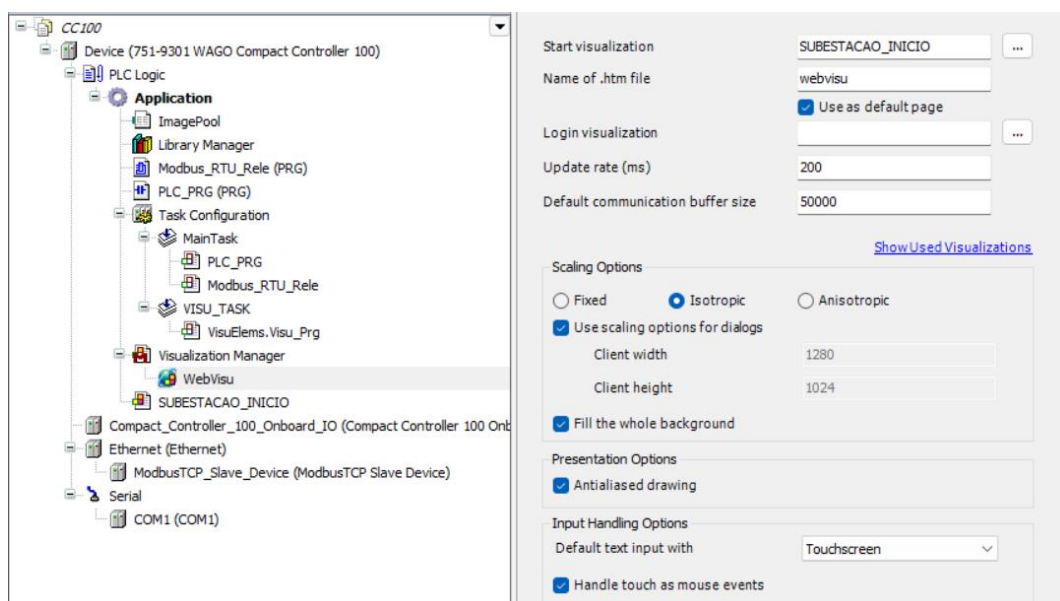
Figura 26 – Tela do Supervisório



Fonte: Autores (2024)

Assim como a representação gráfica da subestação pode ser monitorada pelo programa supervisório SCADABR, o CLP CC100 da marca WAGO wue foi utilizado para realizar esse monitoramento, possui uma função chamada de WEB VISU a qual permite a criação de uma tela para supervisão no software CODESYS. Essa tela pode ser acessada através de uma página web digitando o endereço de IP definido no CLP. Dessa forma, até mesmo com o celular, acessando através da página web, pode-se realizar o monitoramento dessa subestação de forma on-line.

Figura 27 – Tela do Supervisório



Fonte: Autores (2024)

CONCLUSÃO

Por meio deste trabalho podemos entender mais a fundo alguns equipamentos que compõem uma subestação transformadora de energia elétrica e seu sistema de supervisão e controle. A implantação do sistema de supervisão e controle possibilitou otimizar o fornecimento de energia à unidade consumidora, diminuindo o tempo de resposta em caso de falha, permitindo obter diagnóstico preciso do que ocasionou algum problema, relatórios com eventos por período de tempo determinado, acesso remoto, entre outros. O transformador de potência, por exemplo é o equipamento de maior valor presente na subestação e os relés de proteção em conjunto com o sistema supervisório se tornam muito mais eficientes.

Podemos entender que a Subestação que possui implantado o sistema de supervisão e controle, possibilita a melhora na proteção dos equipamentos, tendo em vista todos os benefícios que oferece, podemos considerar que o investimento dessa implantação é muito eficaz, além de trazer mais segurança e confiabilidade ao sistema após sua implantação.

Boa parte dos acidentes de trabalho dentro das Subestações ocorrem por falha humana, quando temos um sistema de supervisão e controle permite desabilitar o acionamento automático de equipamentos em caso de manutenção, impedindo um erro humano.

REFERÊNCIAS

FILHO, J. M. Instalações Elétricas Industriais, 9º edição, ed. LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda. 2017.

FILHO, J. M. Manual de equipamentos elétricos, 3. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2005.

JARDINI, J. A. Sistemas elétricos de potência: automação, São Paulo, 1997.

KAGAN, N; OLIVEIRA, C. C. B.; ROBBA, E. J., Constituição dos sistemas elétricos de potência. In 08/2018. Introdução aos sistemas de distribuição de energia elétrica. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2005. cap. 1.

CARNEIRO, S. Supervisórios, Ano: 2005.

GEORGINI, M. Automação Aplicada – Descrição e Implementação de Sistemas Sequenciais com PLCs, Editora Érica, São Paulo, 2000.

MONTEIRO, R. D. Paulo. Introdução á Subestação e seus Principais equipamentos, Editora Seven Publicações Ltda, 2023