

# MODERNIZAÇÃO DA UNIDADE DE CONTROLE DE TENSÃO DE TRAFOS REGULADORES ANTIGOS: PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM RELÉ 90 A PARTIR DE UM PLC DE BAIXO CUSTO<sup>1</sup>

Patrick Andrade<sup>2</sup>

**Resumo:** A regulação do nível da tensão entregue por uma concessionária de energia elétrica está diretamente relacionada a Qualidade da Energia Elétrica fornecida por ela e, portanto, é objeto de fiscalização por órgãos regulamentadores. No Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é quem dita as normas sobre a Qualidade da Energia Elétrica das concessionárias através dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), Módulo 8. A regulação de tensão na subestação pode ser realizada, principalmente, através de bancos de capacitores ou transformadores reguladores de tensão. Sendo este último o método mais eficiente, pois compreende uma ampla faixa de regulação. Nesses transformadores reguladores existe um relé Regulador Automático de Tensão (função ANSI 90) que é responsável por fazer o controle da tensão de acordo com seus ajustes. Acontece que a vida útil dos transformadores de potência é superior a vida útil desses relés reguladores e eles precisam ser substituídos ao longo da vida útil dos transformadores. O presente trabalho descreve a implementação de um relé 90 - AVR (do inglês: *Automatic Voltage Regulator*), utilizando um relé programável *LOGO!*, da Siemens, para substituição de relés reguladores antigos.

**Palavras-chave:** PLC, CLP, Relé programável, Regulador Automático de Tensão, AVR, Qualidade de Energia, Automação, Subestação.

## 1. INTRODUÇÃO

O controle do nível de tensão entregue por uma concessionária de energia elétrica do Brasil é auditado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e deve obedecer aos critérios de qualidade da energia estabelecidos nos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), especificamente em seu Módulo 8.

A ANEEL estabelece que nenhum consumidor pode receber energia elétrica em um nível de tensão fora da faixa que compreende -5% a +3% da tensão nominal da rede (MAMEDE, 2013). Sabe-se que os diversos equipamentos eletroeletrônicos são projetados para trabalharem em um determinado nível (ou faixa) de tensão, e que o controle da tensão por parte da concessionária serve para garantir que tais equipamentos não venham a sofrer danos pelo excesso de tensão ou não apresentem um bom funcionamento por falta dela.

Na saída das subestações, a tensão que vai para a rede de distribuição deve ser mantida em um

determinado nível (aproximadamente 13,8 kV), para que os transformadores dos postes recebam a tensão de 13,8 kV e a transforme em 220 V (tensão fase-fase) ou 127 V (tensão fase-neutro). No sistema elétrico de potência cada dispositivo possui um número que descreve sua função, baseado na tabela de funções padronizadas pelo *American National Standards Institute* (ANSI). Ao dispositivo eletrônico que exerce a função de controle de tensão dá-se o nome de relé 90, pois, de acordo com a tabela ANSI, o número 90 está associado a função de regulação de tensão.

Sabe-se que a resistência elétrica é proporcional ao comprimento do condutor, e, pela Lei de Ohm, temos que a queda de tensão em um condutor é proporcional à corrente que flui por ele. Como a rede de distribuição muita das vezes é quilométrica, no Sistema Elétrico, temos a presença de transformadores de potência que elevam a tensão gerada para que ela seja transmitida a longas distâncias sem que a queda

<sup>1</sup> Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Automação Agrícola e Industrial, do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Viçosa.

Orientador: Prof. Me. Daniel Khéde Dourado Villa

<sup>2</sup> E-mail: patrickrafael16@hotmail.com

nos condutores das linhas de transmissão apresente um grande problema.

Ocorre que a corrente demandada não é fixa, pois tem a ver com o perfil de carga que é variável durante o dia. Por exemplo, a energia consumida (leia-se corrente demandada) no período das 18h às 20h é muito superior à energia consumida no período da madrugada, das 0h às 6h. Ou seja, a queda de tensão nos condutores ( $V = Z \cdot I$ ) é variável. Para que o nível de tensão entregue nas residências não sofra com essa variação, é preciso que na concessionária de energia elétrica o nível de tensão seja ajustado de acordo com o perfil de carga.

Existem alguns métodos para regulação de tensão disponíveis, como a utilização de bancos de capacitores fixos ou comutáveis, a utilização de elevadores de tensão na rede de distribuição, dentre outros. Dito isso, o foco desse trabalho se concentra no desenvolvimento de um relé para controle de tensão através do equipamento responsável por esse ajuste. O equipamento a ser controlado realizada o ajuste dinâmico da tensão da barra da subestação, que por sua vez, entrega a tensão para alimentadores das redes que saem da subestação, chamado de Regulador de Tensão da subestação.

## 2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE REGULAÇÃO DE TENSÃO

O Regulador de Tensão pode ser bem compreendido como um autotransformador em que a bobina em série com a carga possui derivações, chamadas de tapes, que podem ser comutadas alterando-se a relação de transformação entre a entrada e a saída do equipamento, conforme mostrado em (MAMEDE, 2013).

A Figura 1 mostra o esquema básico de um regulador de tensão de 32 tapes. São 8 derivações, em que cada derivação representa 2 tapes, graças a utilização de um reator em que é possível obter uma tensão intermediária entre duas derivações. Portanto o regulador da Figura 1 possui 16 tapes de elevação de tensão e 16 tapes de diminuição de tensão, a depender da comutação da chave nos pontos A ou B, cuja função é estabelecer a

polaridade, entre aditiva ou subtrativa, da bobina em série com a carga.

O regulador da Figura 1 é um dos mais utilizados nas concessionárias de energia elétrica do Brasil (MAMEDE, 2013), pois permite uma regulação com precisão de  $\pm 10\%$  da tensão nominal do sistema de distribuição, cujo valor gira em torno de 13,8 kV.

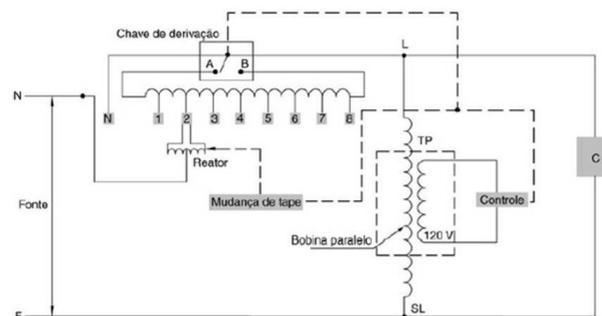


Figura 1 – Esquema básico de um regulador de tensão de 32 tapes (MAMEDE, 2013)

Como exemplo, a Figura 2 mostra um regulador de tensão trifásico de 32 tapes.



Figura 2 – Regulador de tensão trifásico.

Como pode ser observado na Figura 1, o processo de controle de tensão é feito através de um controlador em malha fechada que observa a tensão de saída do regulador. Se esta tensão não estiver dentro de uma faixa de ajuste, o controlador comanda o motor da comutadora para que ela ou diminua ou eleve tapes no regulador até que a tensão de saída do regulador se enquadre dentro da faixa pré-ajustada no controlador.

A Figura 3 mostra uma visão simplificada do sistema de controle normalmente utilizado, e a Figura 4 mostra uma visão geral de um sistema de controle. Observa-se, na Figura 4, que existe uma entrada para corrente da carga através de um TC, que serve para compensar a queda de tensão na linha de transmissão. Contudo para aplicação em rede de distribuição, que é o caso desse trabalho, essa compensação não se faz necessária.

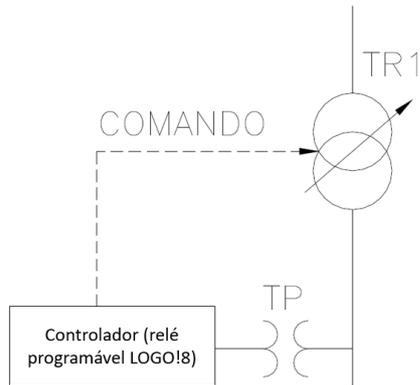


Figura 3 – Visão simplificada do sistema de controle

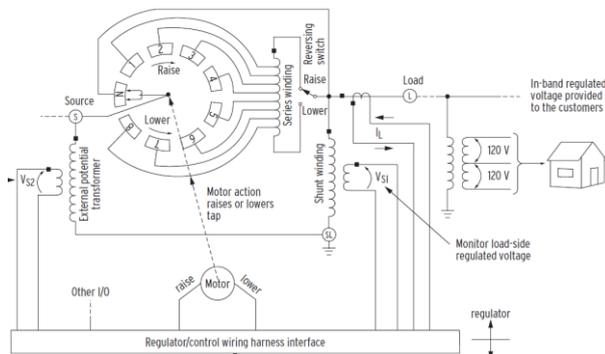


Figura 4 – Visão geral do sistema de controle

### 3. PROPOSTA DE INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE

Observando a Figura 3, percebe-se que se trata de um sistema de controle simples em que se tem apenas uma variável de controle, no caso a tensão de saída do regulador, cujo seu controle se dá de forma indireta com a elevação ou diminuição do tap do regulador de tensão.

Para a implementação do controle, foram necessários os seguintes componentes: Um relé programável Siemens LOGO! 8, uma fonte para o relé programável da Siemens, três relés auxiliares (dois para replicar o comando de elevar e diminuir tape sem onerar os contatos do relé programável,

e um como acoplador para entrada digital de 24V do relé programável Siemens), um transdutor (para adequação da tensão de 115 V proveniente do TP na saída do regulador para o range de 0 – 10 Vcc esperado pelo relé programável Siemens), um disjuntor bipolar de 10 A e fiação.

### 4. O DETALHAMENTO DO PROCESSO E A IMPLEMENTAÇÃO

O diagrama esquemático do sistema de controle, com função de um relé 90 regulador de tensão, pode ser visto na Figura 5. O PLC LOGO! 8 permite configurar as entradas I1, I2, I7 e I8 como entradas digitais ou analógica, sendo que, como entradas analógicas, elas são denominadas AI3, AI4, AI1 e AI2, respectivamente. A Tabela 1 mostra um resumo das entradas e saídas utilizadas no PLC.

Terminal	Tipo	Formato	Função
I1	Entrada	Analógica	Referência de tensão
I3	Entrada	Digital	Bloqueio do relé 90
I4	Entrada	Digital	Fim de curso da comutadora
Q1	Saída	Contato seco	Aumentar Tensão
Q2	Saída	Contato seco	Diminuir Tensão

Tabela 1 – Entradas e saídas do PLC

É possível notar que a entrada AI3 (I1) foi parametrizada e utilizada como entrada analógica recebendo o sinal de tensão do sistema através do transdutor que adequa o sinal para a entrada analógica do relé programável Siemens LOGO! 8 (0 – 10 Vcc). A entrada I3 foi utilizada para bloqueio intencional do sistema de controle por um botão. A entrada I4 foi utilizada para bloqueio do sistema em caso de fim de curso da comutadora (mínimo ou máximo tape alcançados). A saída Q1 foi utilizada para acionar o relé auxiliar de subida de tape e a saída Q2 foi utilizada para acionar o relé auxiliar de descida de tape.

É comum utilizar um TP com relação de transformação de  $13,8 \text{ kV} / 115 \text{ V} = 120$ . O ajuste de tensão se dá através da definição de um *setpoint*, que costuma ser de 117 V, o qual equivale a uma tensão de linha no primário do TP e, portanto, no sistema elétrico de potência de  $117 \text{ V} \times 120 = 14,04 \text{ kV}$ . A partir desse setpoint, define-se uma banda-morta, que costuma ser de 1,5%, isso é, uma tensão aceitável para o sistema entre 13,934 kV e 14,145 kV.

Como a entrada analógica do PLC é limitada a entrada de tensão de 0 a 10 Vcc, foi necessário utilizar um transdutor de tensão de 0 – 150 Vca, em módulo, para 0 – 10 Vcc. Assim, conversões de unidades foram implementadas na lógica do PLC para exibição e parametrização do PLC com tensões do secundário do TP.

Além do setpoint e da banda-morta, existem ainda dois ajustes de tempo necessário para o funcionamento adequado do sistema. O primeiro

ajuste trata-se do tempo-morto, ou seja, qual o tempo mínimo que uma tensão deve permanecer fora da faixa ajustada para que o PLC entenda que se trata de um caso de comutação de tapes. O segundo ajuste trata-se do tempo subsequente entre os comandos de elevar ou diminuir tape, para casos que apenas um comando não seja suficiente para levar a tensão para dentro da faixa desejada. Esses tempos geralmente ficam ajustados em 60 segundos e 10 segundos, respectivamente.

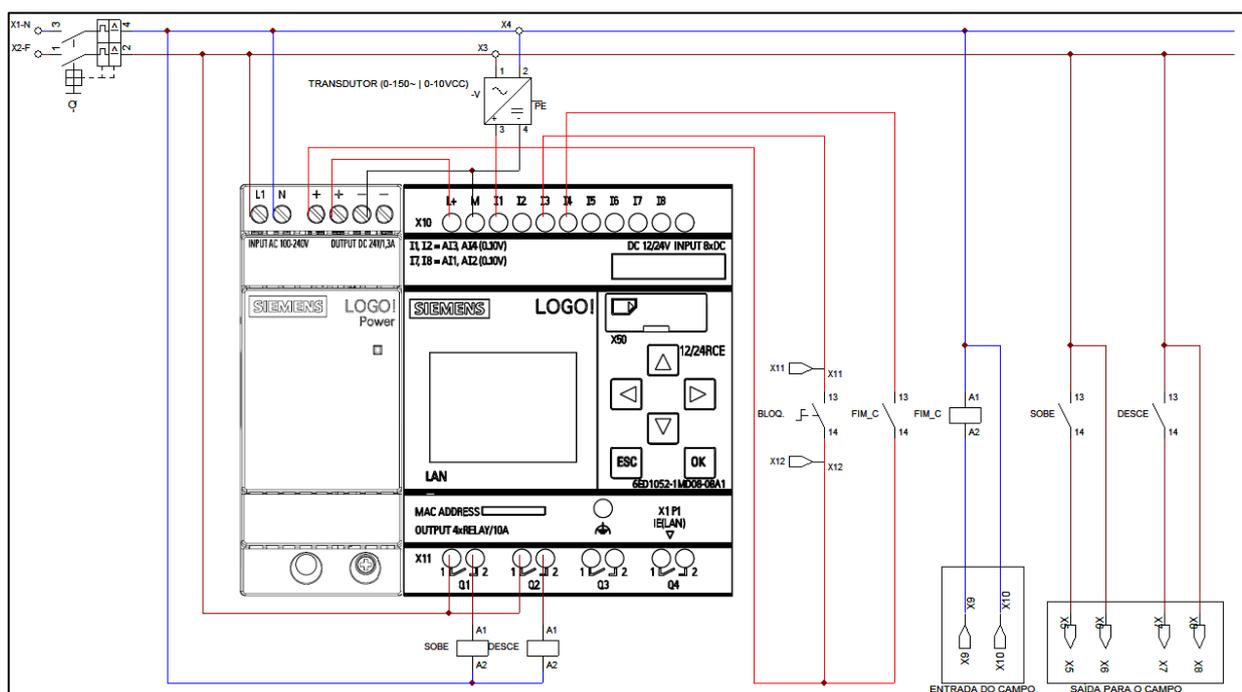


Figura 5 – Diagrama esquemático do sistema de controle

O processo de controle segue o detalhamento apresentado a seguir:

- 1- O PLC verifica se a tensão na entrada analógica é de pelo menos 70% da tensão nominal do sistema. Se a atenção for menor ele entra em modo de bloqueio por baixa tensão, o que pode representar um problema no sistema elétrico de potência, no TP ou no transdutor que fornece a tensão do sistema.
- 2- Sendo uma tensão válida, o PLC verifica se a tensão está dentro da faixa de ajustes definida pelo usuário (*setpoint* e banda-morta). Caso a tensão esteja abaixo da faixa desejada, o controlador aciona a saída Q1 para elevar a tensão. Caso a tensão esteja acima da faixa

desejada, o controlador aciona a saída Q2 para diminuir a tensão.

- 3- A qualquer momento o usuário pode intervir no funcionamento normal do sistema causando um bloqueio no funcionamento (ações de elevar e diminuir tapes) através de um botão de parada.
- 4- Caso o comutador alcance o tape mínimo ou máximo, ele dispara um sinal indicando essa condição, o qual aciona o relé auxiliar ligado na entrada I4 do PLC, cuja função é bloquear o funcionamento do sistema por fim de curso da comutadora.

Foram criadas telas de configuração de ajustes de operação do PLC, bem como telas de indicação da tensão de referência (setpoint) e os limites inferior

e superior calculados de acordo com o parâmetro de banda-morta. As telas de configuração são mostradas na Figura 6, as telas de operação são mostradas na Figura 7 e as telas de bloqueio são mostradas na Figura 8. Foi utilizado um recurso nativo do PLC de colorir o fundo da tela com um LED vermelho para indicar que a tensão está fora da faixa de ajuste ou que alguma ação está para acontecer (elevar ou diminuir o tape).

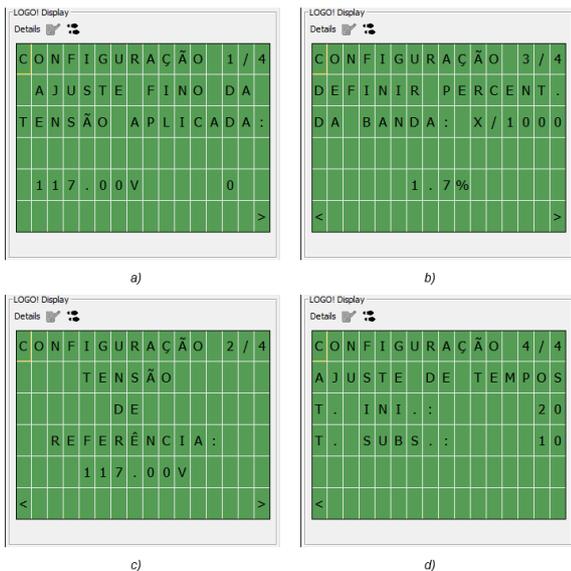


Figura 6 – Telas de configuração

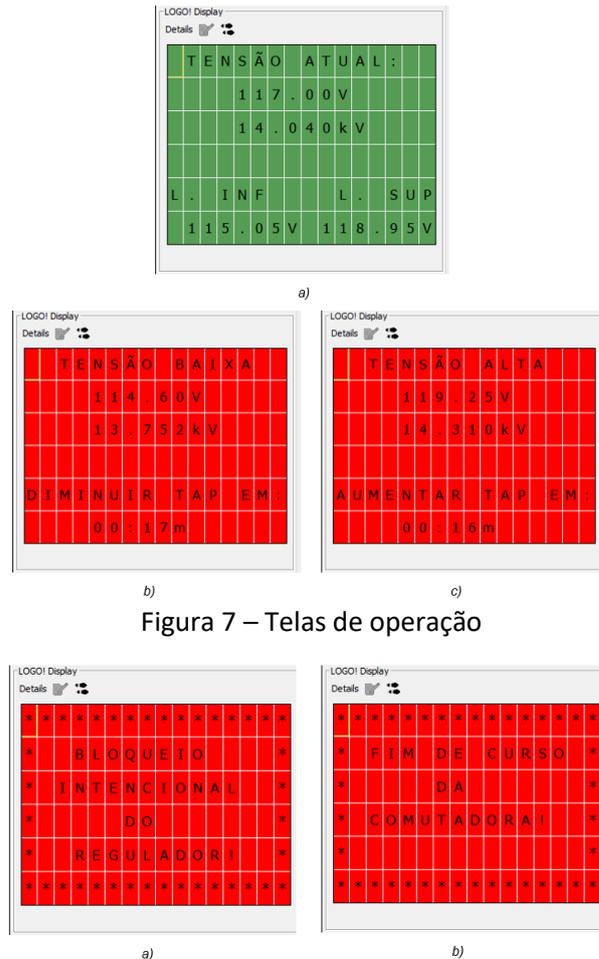


Figura 7 – Telas de operação

Figura 8 – Telas de bloqueio

O programa do PLC foi todo desenvolvido em linguagem de blocos de funções e o código completo do programa pode ser visto nas Figuras 9 e 10.

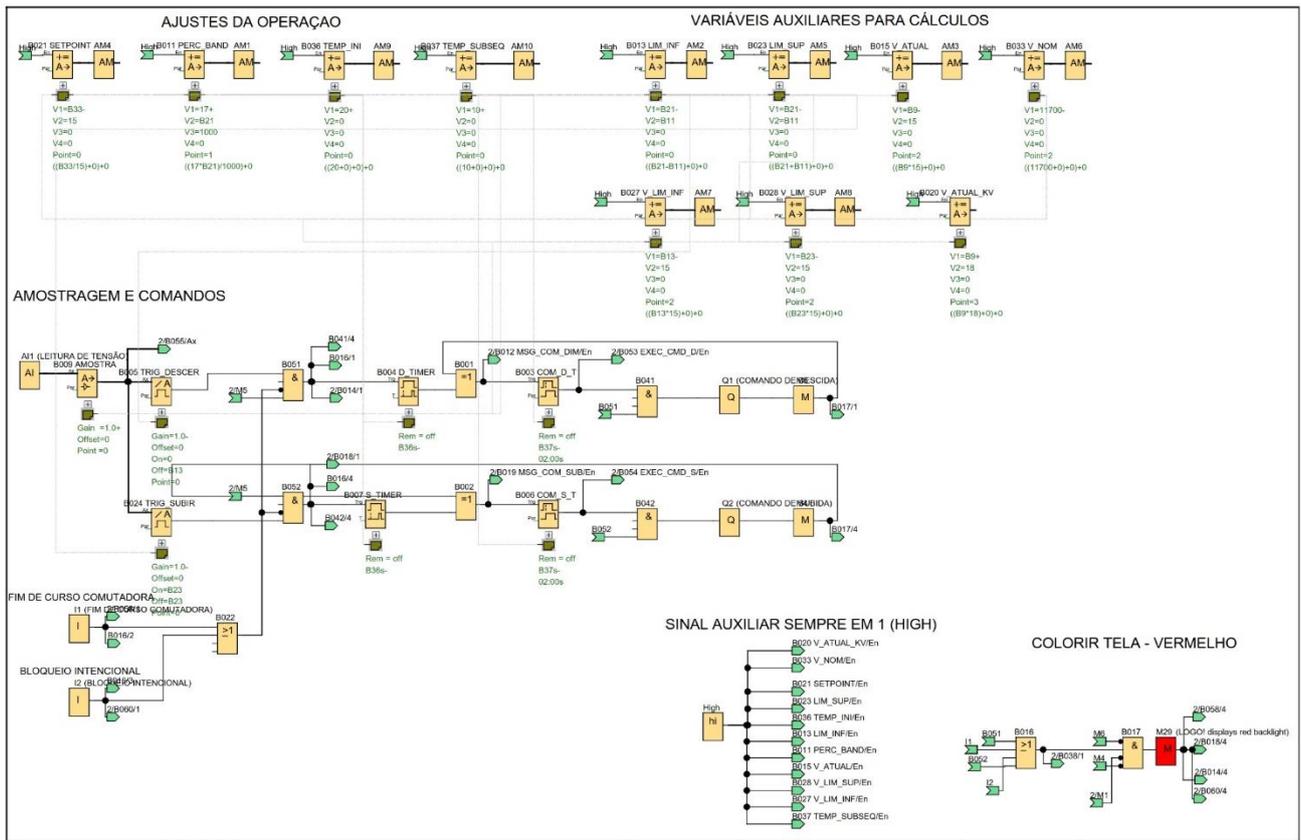


Figura 9 – Programa do PLC com função de relé 90

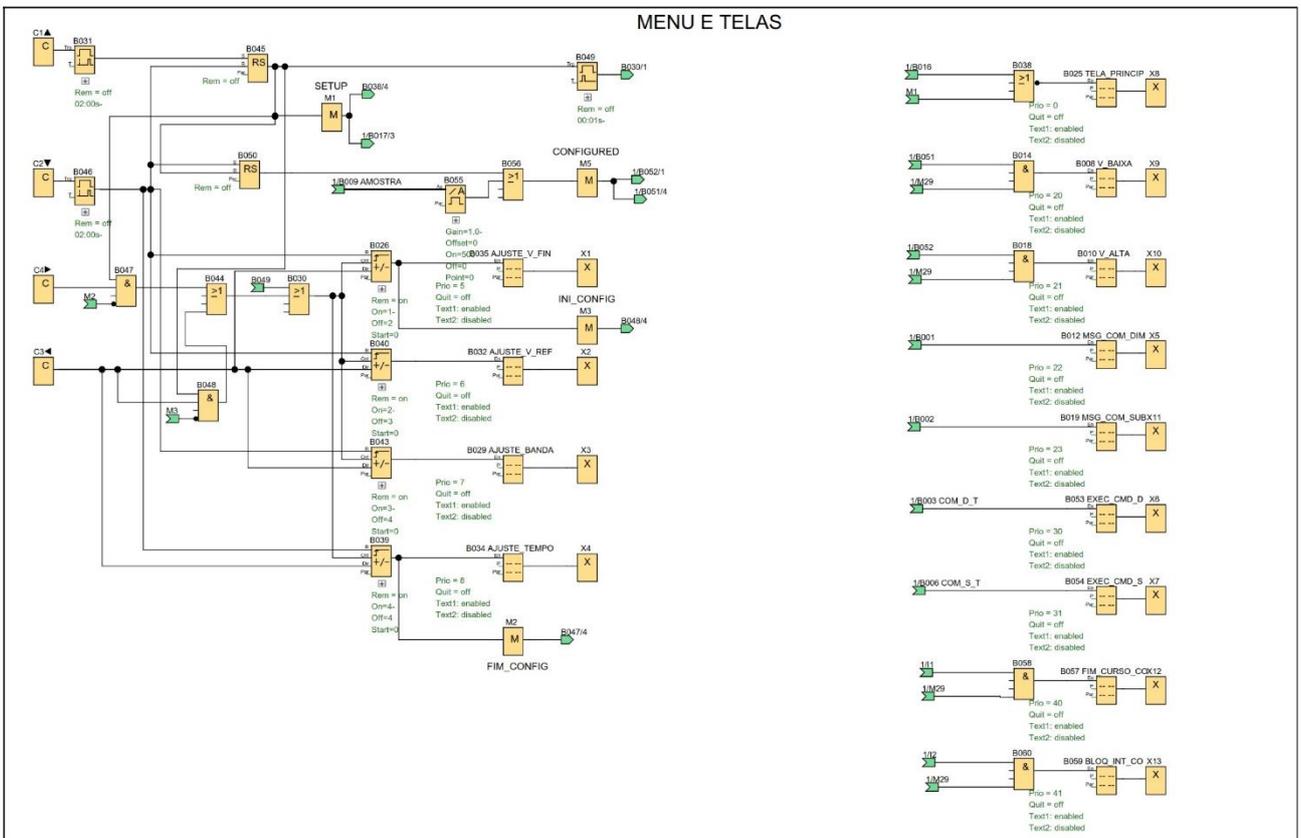


Figura 10 – Programa do PLC com função de relé 90

Para validação, foram feitas duas unidades de controle e ambas estão instaladas em campo funcionando a contento. A primeira unidade mostrada na Figura 11, foi instalada no Trafo regulador T2 da subestação de Frei Inocêncio.



Figura 11 – Instalação do PLC na SE Frei Inocêncio

Já a segunda unidade foi instalada no regulador de tensão R1 da subestação de Nova Era. A Figura 12 mostra a instalação do dispositivo e a Figura 13 mostra uma visão geral do regulador R1 da subestação de Nova Era.

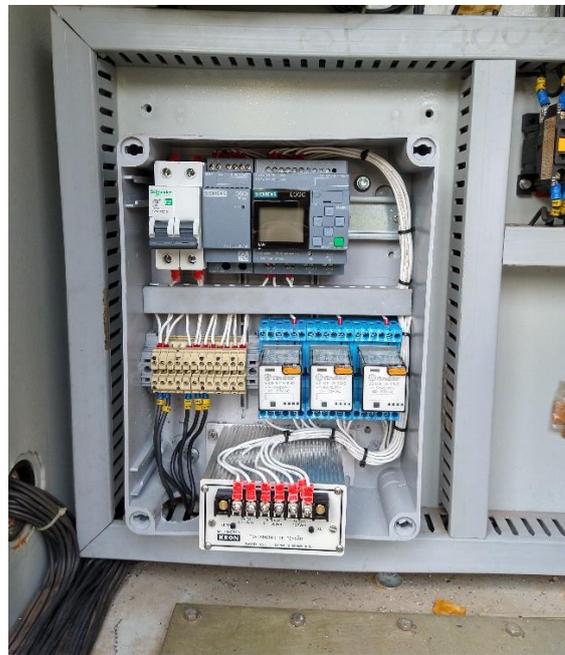


Figura 12 – Instalação do PLC na SE Nova Era



Figura 13 – Visão geral do regulador R1 da SE Nova Era

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma solução para o problema da obsolescência dos relés reguladores de tensão (função ANSI 90) presentes nos reguladores de tensão antigos do sistema elétrico de potência. Tal solução consistiu em um programa para um PLC de baixo custo (também chamado de relé programável), modelo LOGO! 8 da Siemens, através de linguagem de bloco de funções para que ele desempenhasse o papel de um relé regulador de tensão.

A solução se demonstrou bastante confiável e estável e vem sendo utilizada para substituição de relés reguladores antigos na medida em que estes apresentem defeito ou mal funcionamento.

Os leitores interessados podem aprimorar a solução apresentada, por exemplo, incorporando uma comunicação com a Unidade Terminal Remota da subestação através do protocolo Modbus, já que o modelo de PLC utilizado no projeto possui esse recurso. Outra oportunidade para futuros trabalhos é realizar um controle integrado do regulador de tensão e da entrada e retirada do banco de capacitores das subestações, centralizando em um só dispositivo todo o controle de tensão existente nas subestações.

## REFERÊNCIAS

MAMEDE FILHO, João. **Manual de equipamentos elétricos**. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

ROCHA, Joaquim Eloir. **Qualidade da Energia Elétrica**. Curitiba: UFPR, 2016.

STEVENSON, W. D. **Elementos de análise de sistemas de potência**. São Paulo: Ed. McGraw-Hill, 1986.

ELGERD, Olle I. **Introdução à Teoria de Sistemas de Energia Elétrica**. São Paulo: Ed. Mcgraw-Hill do Brasil Ltda, 1982.

TREETECH. **Regulador de Tensão: Manual do produto**. Rev. 4.20. Atibaia, SP: Treetech, 2018.

SEL. **SEL-2431 Voltage Regulator Control**. Datasheet. Pullman, WA 99163-5603 U.S.A.: Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 2016.

CEMIG. **Manuais de equipamentos elétricos**. Belo Horizonte, MG: UniverCemig, 2016.

FRANCHI, Claiton Moro e CAMARGO, Valter Luís Arlindo. **Controladores Lógicos Programáveis: Sistemas Discretos**. Érica, 2008.