

CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE ITAQUERA
PROFESSOR MIGUEL REALE

LUCAS FAVATO CAPELASSO
MAURO PEREIRA DA SILVA FILHO
WESLEY PEREIRA DA SILVA

**Sistema Inteligente de Comutação e Proteção de Tensão para Máquinas Elétricas
Trifásicas**

São Paulo
2026

CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE ITAQUERA
PROFESSOR MIGUEL REALE

LUCAS FAVATO CAPELASSO
MAURO PEREIRA DA SILVA FILHO
WESLEY PEREIRA DA SILVA

**Sistema Inteligente de Comutação e Proteção de Tensão para Máquinas Elétricas
Trifásicas**

Projeto tecnológico elaborado como requisito
parcial para a conclusão do Curso Superior de
Tecnologia em Automação Industrial.

Orientador(a): Prof. Dr. Sergio Turano De Souza

São Paulo

2026

FOLHA DE APROVAÇÃO

LUCAS FAVATO CAPELASSO
MAURO PEREIRA DA SILVA FILHO
WESLEY PEREIRA DA SILVA

Sistema Inteligente de Comutação e Proteção de Tensão para Máquinas Elétricas Trifásicas

Trabalho acadêmico realizado como requisito parcial para a conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial.

Orientador(a): Prof. Dr. Sergio Turano De Souza

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Sergio Turano De Souza
Instituição: FATEC ITAQUERA

Assinatura: _____
Data ____/____/____

Prof. Me. David Tadami Suzuki
Instituição: FATEC ITAQUERA

Assinatura: _____
Data ____/____/____

Prof. Me. Ervaldo Garcia Junior
Instituição: FATEC ITAQUERA

Assinatura: _____
Data ____/____/____

AGRADECIMENTOS

Expressamos nossa sincera gratidão ao nosso orientador, Dr. Sergio Turano De Souza, pela dedicação, paciência, valiosos insights técnicos e orientação metodológica fundamental que direcionaram o desenvolvimento deste trabalho, desde a concepção até a conclusão.

À Faculdade de Tecnologia de Itaquera e aos professores do curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial, pelo ensino de excelência e pelo conhecimento técnico que serviu de base para a inovação proposta neste projeto.

Lucas Favato Capelasso Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, pela saúde e pela perseverança que me guiaram ao longo desta desafiadora jornada. Em especial, à minha mãe e minha irmã, meu alicerce de apoio e amor incondicional, que estiveram ao meu lado em cada passo. A todos os demais familiares e amigos que, com sua crença em meu potencial, ofereceram o incentivo necessário.

Mauro Pereira da Silva Filho Registro meu agradecimento a Deus, aos meus pais Mauro Pereira da Silva e Daltiva Alves da Silva pela paciência e apoio de sempre.

Wesley Pereira da Silva Agradeço aos meus pais, Valmi Francisco e Ilda Pereira, que sempre me apoiaram e incentivaram a seguir meus sonhos. Sua amorosa dedicação e ensinamentos foram fundamentais na minha jornada

Dedicamos a conclusão desta etapa fundamental às nossas famílias, pelo incentivo constante e por serem o nosso porto seguro diante de cada desafio. Aos amigos e colegas de turma, pela parceria indescritível, pelas trocas de conhecimento e por tornarem a rotina acadêmica muito mais leve e enriquecedora. Aos docentes desta instituição, que com dedicação e paciência guiaram nossos passos, moldando nossa visão profissional e científica.

“O insucesso é apenas uma oportunidade para
recomeçar com mais inteligência.”

(Henry Ford)

RESUMO

O funcionamento da indústria global depende da operação contínua e segura de máquinas elétricas trifásicas. No Brasil, a presença de múltiplos padrões de tensão elétrica (220 V, 380 V e 440 V) nas instalações industriais gera um risco operacional elevado. Conectar uma máquina a uma tensão incorreta é um erro comum que pode levar a danos graves: subtensão e sobretensão. A subtensão causa superaquecimento e reduz a vida útil do equipamento, enquanto a sobretensão pode resultar em falha dielétrica e destruição imediata. As soluções atuais para corrigir essa incompatibilidade são manuais, lentas e propensas a falhas humanas. Este projeto apresenta uma solução automatizada para resolver esta necessidade. O objetivo central é garantir que o painel da máquina receba uma alimentação constante e segura de 220 V, ajustando automaticamente as tensões de entrada de 220 V, 380 V ou 440 V. O sistema foi desenvolvido com um transformador de múltiplas entradas e uma lógica de controle baseada em relés de potência, que detecta e chaveia automaticamente para o tap de tensão correto. Ao mitigar o erro humano e proteger ativamente o equipamento, este sistema eleva a segurança, agilidade operacional e a durabilidade das máquinas industriais.

Palavras chave: Comutação automática. Proteção elétrica. Máquinas trifásicas. Flexibilidade operacional. Tensão Elétrica.

ABSTRACT

The functioning of global industry depends on the continuous and safe operation of threephase electrical machines. In Brazil, the presence of multiple electrical voltage standards (220 V, 380 V, and 440 V) in industrial installations generates a high operational risk. Connecting a machine to an incorrect voltage is a common mistake that can lead to serious damage: undervoltage causes overheating and reduces the equipment's lifespan, while overvoltage can result in dielectric failure and immediate destruction. Current solutions to correct this incompatibility are manual, slow, and prone to human error. This project presents an automated solution to address this need. The objective is to ensure that the machine panel receives a constant and safe 220 V power supply, automatically adjusting the input voltages to 220 V, 380 V, or 440 V. The system will be developed with a multiinput transformer and a control logic based on power relays, which automatically detects and switches to the correct voltage tap. By mitigating human error and actively protecting equipment, this system enhances the safety, operational agility, and durability of industrial machines.

Keywords: Automatic switching. Electrical protection. Threephase machines. Operational flexibility. Voltage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama de blocos do sistema.	30
Figura 2 - Fluxograma de operação do projeto.....	32
Figura 3 - Circuito de alimentação.	41
Figura 4 - Circuito de proteção das tensões de entrada.	42
Figura 5 - Circuito de alimentação em 24Vcc.	44
Figura 6 - Alimentação e controle do CLP.....	45
Figura 7 - Circuito de entradas digitais do sistema.	46
Figura 8 - Circuito de saídas digitais e controle dos contadores.	47
Figura 9 - Circuito do sistema de sinalização.....	48
Figura 10 - Layout interno do painel elétrico.	50
Figura 11 - Layout externo do painel elétrico.	52
Figura 12 - Circuito eletrônico.	53
Figura 13 - Entrada de 220 V.	55
Figura 14 - Entrada de 380 V.	55
Figura 15 - Entrada de 440 V.	56
Figura 16 - Vout para a entrada de 220 V.	57
Figura 17 - Vout para a entrada de 380 V.	58
Figura 18 - Vout para a entrada de 440 V.	58
Figura 19 - Saída do circuito para o CLP.	60
Figura 20 - Conversão do sinal analógico utilizando os blocos NORM_X e SCALE_X.	65
Figura 21 - Lógica de identificação das tensões de alimentação.....	66
Figura 22 - Lógica de acionamento dos contadores com intertravamento e temporização.....	68
Figura 23 - Lógica da supervisão de subtensão e sobretensão.	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrões de tensão e frequência elétrica nos países da América do Sul.....	22
Tabela 2 - Lista de materiais, componentes eletroeletrônicos e orçamento do sistema.	27
Tabela 3 - Lista de componentes do sistema.	33
Tabela 4 - Parâmetros adotados na simulação do circuito identificador de tensão.	36
Tabela 5 - Limitações da simulação e respectivas tratativas adotadas.	37
Tabela 6 - Resultados do dimensionamento dos condutores.	38
Tabela 7 - Dimensionamento dos disjuntores de proteção.	39
Tabela 8 - Dimensionamento dos contadores.	40
Tabela 9 - Comparativo entre os valores de tensão calculados e simulados.	56
Tabela 10 - Comparação entre tensões calculadas e simuladas no divisor resistivo.	59
Tabela 11 - Comparação entre os valores calculados e simulados da tensão de pico após a retificação.	63
Tabela 12 - Comparação entre os valores calculados e simulados da tensão de saída do divisor resistivo.	63
Tabela 13 - Valores processados pela Network 1 durante as simulações.	65
Tabela 14 - Faixas de identificação automática da tensão programadas no CLP.	66
Tabela 15 - Resultados da identificação automática das tensões simuladas.	67
Tabela 16 - Resultados do acionamento automático dos contadores.	68
Tabela 17 - Condições de alarme e limites de disparo implementados na Network 4.	69
Tabela 18 - Verificação do intertravamento e proteção por subtensão e sobretensão.	71
Tabela 19 - Resumo dos ensaios realizados e validação dos resultados.	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CLP	Controlador Lógico Programável
CNC	Comando Numérico Computadorizado
DB	Data Block (bloco de dados do CLP)
DOI	Digital Object Identifier
EMI	Interferência Eletromagnética
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEC	International Electrotechnical Commission
IP23	Grau de proteção do invólucro do transformador
IT1	Identificador de Tensão 1 (módulo eletrônico)
KM	Contator de potência (seguido de numeral 1, 2 ou 3)
NBR	Norma Brasileira
NR12	Norma Regulamentadora de Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos
TON	Timer OnDelay (temporizador na energização)
TR1	Identificação do Autotransformador 1
VCA	Volts de Corrente Alternada
VCC	Volts de Corrente Contínua

LISTA DE SIMBOLOS

L	Comprimento do condutor
I	Corrente elétrica
→	Indicação de fluxo ou direção
S	Potência aparente
ρ	Resistividade elétrica do material
3 Φ	Sistema trifásico
V	Tensão eficaz
VA	Volt-ampere — unidade de potência aparente
VCA	Volts de corrente alternada
VCC	Volts de corrente contínua

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVO GERAL	16
1.1.1	<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>16</i>
2	REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1	EVOLUÇÃO E PADRONIZAÇÃO DAS TENSÕES E FREQUÊNCIAS NO BRASIL	20
2.2	PANORAMA DAS TENSÕES E FREQUÊNCIAS NA AMÉRICA DO SUL.....	21
2.3	FUNDAMENTOS DE CONVERSÃO E CONDICIONAMENTO DE ENERGIA	22
2.3.1	<i>Transformadores</i>	<i>22</i>
2.3.2	<i>Ponte Retificadora e Filtro Capacitivo</i>	<i>23</i>
2.3.3	<i>Dispositivos de Proteção Elétrica</i>	<i>23</i>
2.4	FONTES DE ALIMENTAÇÃO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	23
2.4.1	<i>Fontes Chaveadas</i>	<i>23</i>
2.5	DISPOSITIVOS DE CONTROLE E ACIONAMENTO	24
2.5.1	<i>Relés de Potência.....</i>	<i>24</i>
2.5.2	<i>Transistores NPN e Resistores Associados</i>	<i>24</i>
2.5.3	<i>Módulo Detector de Tensão AC</i>	<i>24</i>
2.6	CONFORMIDADE COM NORMAS E SEGURANÇA ELÉTRICA.....	24
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	26
3.2	JUSTIFICATIVA DA OPÇÃO PELA PROTOTIPAGEM VIRTUAL	26
3.3	APRESENTAÇÃO DO SISTEMA - DIAGRAMA DE BLOCOS	30
3.4	FLUXOGRAMA DE OPERAÇÃO DO SISTEMA	31
3.5	MATERIAIS	33
3.6	FERRAMENTAS DE VALIDAÇÃO	34
3.6.1	<i>Software Proteus Design Suite</i>	<i>34</i>
3.6.2	<i>Ferramenta Para Documentação e Diagramação Elétrica.....</i>	<i>34</i>
3.6.3	<i>Ferramenta de Engenharia e Integração (TIA Portal)</i>	<i>35</i>
3.7	PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO DO MÓDULO IDENTIFICADOR IT1	35
3.8	LIMITAÇÕES DA ABORDAGEM METODOLÓGICA	36
4	DESENVOLVIMENTO.....	38

4.1	DIMENSIONAMENTO DO AUTOTRANSFORMADOR TRIFÁSICO TR1.....	38
4.2	DIMENSIONAMENTO DOS CABOS DE POTÊNCIA E CORRENTES NOMINAIS	38
4.3	ANÁLISE DE QUEDA DE TENSÃO	39
4.4	DIMENSIONAMENTO DOS DISJUNTORES DE PROTEÇÃO	39
4.5	DIMENSIONAMENTO DOS CONTADORES KM1, KM2 E KM3	40
4.6	DIAGRAMA ELÉTRICO	40
4.6.1	<i>Funcionamento Geral do Sistema</i>	40
4.6.2	<i>Entrada de Alimentação e Seccionamento Geral.....</i>	41
4.6.3	<i>Circuito de Proteção das Tensões de Entrada</i>	41
4.6.4	<i>Acionamento dos Contadores e Seleção da Tensão.....</i>	42
4.6.5	<i>Funcionamento do Autotransformador Trifásico.....</i>	43
4.6.6	<i>Circuito de Alimentação em 24 VCC</i>	43
4.6.7	<i>Alimentação e Controle do CLP.....</i>	44
4.6.8	<i>Entradas Digitais do Sistema</i>	45
4.6.9	<i>Saídas Digitais e Controle dos Contadores</i>	46
4.6.10	<i>Sistema de Sinalização</i>	47
4.6.11	<i>Layout Interno do Painel Elétrico.....</i>	48
4.6.12	<i>Layout Externo do Conjunto Painel–Transformador.....</i>	50
4.7	SISTEMA DE DETECÇÃO E CONDICIONAMENTO DE SINAL	52
4.7.1	<i>Arquitetura e Princípio de Operação.....</i>	53
4.7.2	<i>Especificação dos Componentes e Proteção</i>	53
4.7.3	<i>Memorial de Cálculo e Grandezas Elétricas</i>	54
4.7.4	<i>Integração com a Lógica de Controle.....</i>	59
4.8	DESENVOLVIMENTO DA LÓGICA DE CONTROLE (LADDER).....	60
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
5.1	APRESENTAÇÃO GERAL DOS RESULTADOS	62
5.2	DESEMPENHO DO MÓDULO IDENTIFICADOR DE TENSÃO IT1.....	62
5.3	VALIDAÇÃO DA LÓGICA DE CONTROLE LADDER NO TIA PORTAL V18	64
5.3.1	<i>Network 1 – Conversão do Sinal Analógico.....</i>	64
5.3.2	<i>Network 2 – Identificação Automática da Tensão de Alimentação</i>	65
5.3.3	<i>Network 3 – Acionamento dos Contadores, Intertravamentos e Temporização.....</i>	67
5.3.4	<i>Network 4 – Supervisão de Subtensão e Sobretensão</i>	69

5.4	VALIDAÇÃO DA CONDIÇÃO DE EMERGÊNCIA E INTERTRAVAMENTOS	70
5.5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	71
6	CONCLUSÃO.....	73
	REFERÊNCIAS.....	75
	APÊNDICE A – DIAGRAMA ELÉTRICO.....	77
	APÊNDICE B – PROGRAMAÇÃO DO CLP	88
	APÊNDICE C – SIMULAÇÃO DO CLP	92
	ANEXO A – COTAÇÃO DO TRANSFORMADOR.....	120

1 INTRODUÇÃO

O cenário industrial, tanto no Brasil quanto no mundo, depende fundamentalmente da operação consistente e confiável de máquinas elétricas trifásicas. Essas máquinas, em particular os motores de indução, são os motores de trabalho de praticamente todos os setores de produção, acionando sistemas tão variados quanto correias transportadoras, bombas, compressores e complexas linhas de produção automatizadas. Sua robustez, eficiência e custos de manutenção relativamente baixos as tornaram componentes indispensáveis da indústria moderna (Chapman; Laschuk, 2013). O funcionamento adequado desse ecossistema industrial, no entanto, depende de um fator crítico, a qualidade e a estabilidade da energia elétrica fornecida a esses equipamentos.

Um desafio operacional significativo em ambientes industriais é a falta de um padrão de tensão único e universal. Embora existam padrões internacionais, a realidade no Brasil é um cenário elétrico complexo com múltiplas tensões padronizadas. A norma *International Electrotechnical Commission* (IEC) 60038 especifica sistemas trifásicos preferenciais, como 220 V/127 V e 380 V/ 220 V, amplamente utilizados em todo o país. No entanto, aplicações industriais específicas frequentemente empregam tensões mais altas, como 440 V, para atender às demandas de máquinas de alta potência (Creder, 2021; International Electrotechnical Commission, 2021). Essa heterogeneidade de tensão, frequentemente presente em uma única instalação, introduz complexidade e risco significativos nas operações diárias, visto que os equipamentos são projetados para operar com segurança e eficiência apenas dentro de uma estreita faixa de tolerância de sua tensão nominal. A norma brasileira para instalações elétricas de baixa tensão, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) Norma Brasileira (NBR) 5410, reforça que os equipamentos devem ser selecionados conforme a tensão nominal da instalação, garantindo desempenho e segurança adequados (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004).

Conectar uma máquina a uma fonte de alimentação de tensão incorreta é um erro operacional comum e frequentemente dispendioso. As consequências de tal incompatibilidade são graves e bem documentadas. Em uma condição de subtensão, um motor tentará consumir mais corrente para fornecer a potência mecânica necessária, levando à geração excessiva de calor em seus enrolamentos. É um princípio bem estabelecido que para cada aumento de 10 °C na temperatura de operação acima do limite de projeto, a vida útil do isolamento do enrolamento é efetivamente reduzida à metade (Beaty; Fink, 2012). Esse estresse térmico reduz a vida útil do motor e pode levar à falha. Por outro lado, o cenário de sobretensão é mais prejudicial no

curto período. Expor os enrolamentos de uma máquina e seus controles eletrônicos a uma tensão superior à sua classificação de projeto pode causar uma ruptura dielétrica instantânea do isolamento, levando a curto-circuito e danos irreversíveis a componentes sensíveis.

Além do risco imediato de destruição do equipamento, essa falta de compatibilidade de tensão impõe severas limitações à flexibilidade operacional. Uma máquina projetada para 380 V não pode ser facilmente realocada para uma área da planta onde apenas 220 V esteja disponível, dificultando a otimização do processo e a reconfiguração dinâmica da área de produção. As soluções atuais são frequentemente manuais, complexas e propensas a erros. Normalmente, envolvem o uso de transformadores dedicados para cada combinação de tensão ou a reconexão manual dos enrolamentos do motor, um procedimento que requer mão de obra especializada, gera tempo de inatividade significativo e apresenta alto risco de conexões incorretas (Creder, 2021).

Portanto, o desenvolvimento de um sistema inteligente e automatizado capaz de proteger máquinas trifásicas de entradas de tensão variável não é meramente um exercício acadêmico, é uma solução para uma necessidade industrial urgente. Tal sistema mitigaria uma causa primária de falha prematura de equipamentos, eliminaria o risco de erro humano na seleção de tensão e alcançaria um novo nível de agilidade operacional. Ao criar uma interface universal que identifica automaticamente a tensão de entrada e fornece uma saída constante e segura, é possível tornar qualquer máquina elétrica compatível efetivamente *plug-and-play*, independentemente da tensão de alimentação disponível. Este projeto aborda o desenvolvimento e teste de tal sistema.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste projeto é desenvolver um sistema de controle para máquinas elétricas trifásicas que garanta uma alimentação contínua e segura de 220 V ao painel principal, independentemente da tensão de entrada (220 V, 380 V ou 440 V), proporcionando flexibilidade operacional e proteção do equipamento.

1.1.1 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral estabelecido, definem-se os seguintes objetivos específicos:

- Dimensionar um transformador com múltiplas entradas e uma única saída primária, capaz de converter tensões de alimentação de 220 V, 380 V e 440 V em uma saída estável de 220 V adequada para o painel principal da máquina;
- Desenvolver um sistema de detecção para medir e identificar automaticamente a tensão de alimentação específica (220 V, 380 V ou 440 V) presente no painel elétrico;
- Desenvolver uma interface de indicação visual clara que informe ao operador a tensão de alimentação detectada pelo sistema, confirmando seu funcionamento;
- Criar uma lógica de controle para a comutação automática e segura da tensão de entrada para o *tap* correspondente do transformador, garantindo que o painel de controle da máquina seja alimentado apenas com a tensão correta de 220 V;
- Validar a funcionalidade e a segurança do sistema completo em um ambiente de teste controlado, verificando a operação correta de uma máquina elétrica trifásica representativa em todas as tensões de alimentação especificadas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A estabilidade da tensão elétrica em sistemas de alimentação trifásicos representa um pilar fundamental para a operação segura e eficiente de máquinas elétricas industriais, especialmente em contextos de automação industrial onde interrupções ou variações podem acarretar perdas econômicas significativas, danos ao equipamento e também riscos à segurança dos operadores. No Brasil, a coexistência de padrões de tensão residencial e industrial, como 127/220 V em monofásico e 220/380 V em trifásico, agrava esses desafios, uma vez que flutuações na rede elétrica – frequentemente causadas por picos de demanda, falhas na distribuição ou eventos climáticos – podem exceder os limites normativos estabelecidos pela ABNT NBR 5410 (2004), que recomenda variações de no máximo $\pm 10\%$ em relação ao valor nominal. Em ambientes industriais, máquinas trifásicas, como motores de indução e transformadores, são particularmente vulneráveis a esses desequilíbrios, que provocam superaquecimento, redução de torque e aceleração do desgaste mecânico e elétrico (Neves, 2014).

De acordo com estudos globais, as falhas relacionadas à qualidade da energia elétrica respondem por até 30 % das paradas não programadas em linhas de produção, impactando setores como manufatura e processamento agroindustrial (Çolak *et al.*, 2005). Nesse cenário, sistemas de comutação e proteção de tensão emergem como soluções essenciais, permitindo a detecção automática de anomalias e o redirecionamento da alimentação para configurações bivolt ou estabilizadas, garantindo continuidade operacional. O desenvolvimento de protótipos baseados em controladores lógicos programáveis (CLP) e relés inteligentes alinha-se à Indústria 4.0, promovendo monitoramento em tempo real e integração com plataformas de supervisão em nuvem via protocolos de comunicação industrial como MQTT ou OPC UA para predição de falhas, o que não apenas mitiga riscos, mas também otimiza o consumo energético em até 15 a 20 % em aplicações trifásicas (Kumbhar *et al.*, 2023).

As pesquisas iniciais sobre proteção de tensão em máquinas elétricas trifásicas remontam à década de 2000, com ênfase em sistemas de monitoramento online e relés eletromecânicos para detecção de sobrecargas e desequilíbrios. Çolak *et al.* (2005) pioneiramente propuseram um sistema de proteção em linha para motores de indução trifásicos, utilizando microcontroladores para análise de parâmetros como corrente, tensão e temperatura, com foco em eficiência e torque. O estudo demonstrou que a implementação de algoritmos de equivalência de fase única permite calcular perdas com precisão de 95 %, reduzindo falsos

disparos em comparação a relés tradicionais, embora limitado à ausência de integração digital avançada, o que restringia sua aplicação em ambientes de alta variabilidade.

Posteriormente, Spatti *et al.* (2011) avançaram nessa linha ao desenvolver *hardware* de controlador inteligente para regulação automática de tensão em sistemas de distribuição, empregando redes neurais artificiais para previsão de flutuações. Testado em transformadores trifásicos de 13,8 kV, o protótipo alcançou estabilidade de ± 2 % em cenários de carga variável, destacando a superioridade de abordagens computacionais sobre métodos reativos. No entanto, a dependência de processamento local limitava a escalabilidade para redes industriais distribuídas, um gap explorado em trabalhos subsequentes que incorporaram sensores remotos.

Esses estudos iniciais estabeleceram as bases para a transição de proteções passivas para ativas, enfatizando a necessidade de comutação rápida para mitigar efeitos como o desequilíbrio de fases, que, conforme Neves (2014), pode reduzir o rendimento de motores de indução em até 25 % sob variações de 5 a 10 %. A análise experimental desses autores validou fatores normativos da NBR 5410, confirmando que desequilíbrios acima de 2 % aceleram o envelhecimento isolante, pavimentando o caminho para soluções híbridas que combinam *hardware* e *software*.

Avanços recentes na automação industrial têm impulsionado sistemas inteligentes de comutação e proteção, integrando tecnologias IoT, microcontroladores e algoritmos adaptativos para operação trifásica em tempo real. Aswin *et al.* (2020) apresentaram um mecanismo de comutação automática para motores de indução trifásicos sob falhas, utilizando Arduino para alternância entre motor primário e reserva, com detecção de sobrecarga via relés e notificações SMS através de um módulo de comunicação celular *Global System for Mobile Communications* (GSM.) O sistema, validado em protótipos de 5 kW, garante continuidade em 99 % dos casos de falha de fase, superando métodos convencionais em tempo de resposta (menos de 500 ms), embora ainda dependa de intervenção manual para reset, limitando sua autonomia em cenários industriais críticos.

Complementarmente, Kumbhar *et al.* (2023) desenvolveram um dispositivo de partida adaptativo e inteligente para motores trifásicos, capaz de detectar queda de fase, subtensão e sobretensão por meio de transformadores de corrente/potencial e microcontrolador ATMEGA 2560. A inovação reside na conversão automática para operação bifásica com capacitores de fase dividida, integrada a alertas GSM e *display* de cristal líquido (LCD) para monitoramento, alcançando proteção contra danos em 98 % dos testes laboratoriais. Essa abordagem destaca a viabilidade de soluções baixo custo (abaixo de R\$ 500 por unidade) para indústrias emergentes, alinhando-se à Indústria 4.0 ao permitir integração com CLPs para escalabilidade.

No âmbito de monitoramento distribuído, Fabrício, Behrens e Bianchini (2020) exploraram o uso de IoT para supervisão de equipamentos elétricos industriais, incluindo transformadores e motores trifásicos, com sensores de tensão/corrente conectados a plataformas nuvem para análise preditiva. O modelo proposto reduz tempo de inatividade em 40 % via detecção precoce de anomalias, utilizando protocolos *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) para baixa latência em redes 4G/5G. Apesar dos benefícios, desafios como cibersegurança em ambientes IoT permanecem, sugerindo a necessidade de criptografia avançada em implementações futuras.

Esses trabalhos representam o estado da arte, com ênfase em inteligência embarcada e conectividade, mas revelam lacunas em sistemas bivolt específicos para transformadores trifásicos em 220 V, onde a comutação automática via CLP para simulação de cargas industriais ainda carece de protótipos robustos e acessíveis, justificando a proposta deste estudo.

2.1 Evolução e Padronização das Tensões e Frequências no Brasil

A formação do setor elétrico brasileiro reflete uma expansão desordenada que perdurou até o final da década de 1920. Nesse período a ausência de um órgão regulador centralizado permitiu que as concessionárias estrangeiras (Light e a Amforp) instalassem infraestruturas baseadas em padrões técnicos de seus países de origem (Cachapuz, 2006). Isso produziu "ilhas tecnológicas" onde a coexistência de diferentes níveis de tensão e frequências que dificultava qualquer tentativa de integração energética regional limitando o crescimento industrial às fronteiras geográficas de cada concessão (Cachapuz, 2006).

Um dos maiores obstáculos à integração energética nacional residia na existência de diferentes frequências, o que impedia a interconexão de sistemas regionais. Enquanto o sistema da Rio Light funcionava em 50 Hz, a São Paulo Light operava em 60 Hz (Cachapuz, 2006). Embora o governo tenha tentado impor o padrão de 50 Hz em 1938, a medida enfrentou resistência devido aos elevados custos de conversão e à elevada presença de motores fabricados para 60 Hz, o que levou à prorrogação indeterminada do prazo de unificação em 1942 (Cachapuz, 2006).

A superação desse problema iniciou-se apenas a partir da década de 1950 quando as tensões de transmissão até então estagnadas no patamar de 100 kV, passaram por um salto qualitativo. A conexão entre os sistemas Rio Light e São Paulo Light operando em 220 kV, estabeleceu o primeiro paradigma de coordenação entre grandes centros (Cachapuz, 2006). No entanto a construção de uma rede nacional demandava uma padronização legislativa, o que

aconteceu em 1964 com a Lei nº 4.454. Este marco legal consolidou a frequência de 60 Hz em todo o país, forçando a unificação progressiva das instalações e preparando o terreno para os troncos de transmissão de alta capacidade (Cachapuz, 2006).

Com a implantação da usina de Furnas na década de 1960 o sistema alcançou o nível de 345 kV interligando Rio de Janeiro, São Paulo e Belo Horizonte. Esse movimento de expansão intensificou-se em 1969, quando a Companhia Energética de São Paulo (Cesp) introduziu circuitos de 440 kV para escoar a energia gerada no Rio Paraná (Cachapuz, 2006). A necessidade de transportar blocos massivos de energia a distâncias superior a mil quilômetros especialmente da Amazônia e de Itaipu, empurrou a engenharia nacional para o desafio da ultra-alta tensão. A implementação de linhas de 500 kV tornou-se a espinha dorsal do Sistema Interligado Nacional (SIN), culminando na complexidade operativa de Itaipu que integrou circuitos de corrente contínua em 600 kV e corrente alternada em 750 kV (Cachapuz, 2006).

Este caminho histórico demonstra que o aumento e variedade das tensões não foi apenas uma necessidade geográfica, mas um propulsor de inovação tecnológica. O gerenciamento de níveis de tensão tão elevados exigiu o desenvolvimento de equipamentos de isolamento e manobra mais robustos, o que consolidou a indústria brasileira de material elétrico pesado e garantiu a confiabilidade necessária para sustentar a demanda energética contemporânea (Cachapuz, 2006).

2.2 Panorama das Tensões e Frequências na América Do Sul

A configuração da infraestrutura elétrica na América do Sul é marcada por uma divisão histórica e técnica entre dois padrões principais de frequência, o que impõe desafios e exige soluções de engenharia para a integração energética regional (Comisión de Integración Energética Regional, 2024). Enquanto uma parcela significativa do continente opera na frequência de 60 Hz, o bloco do Cone Sul mantém o padrão de 50 Hz, herança das primeiras concessões e tecnologias importadas da Europa e da América do Norte no início do século XX (Cachapuz, 2006; Comisión de Integración Energética Regional, 2024).

Os países que adotam o padrão de 60 Hz incluem o Brasil, a Colômbia, a Venezuela, o Equador, o Peru, a Guiana e o Suriname. Em contraste, o padrão de 50 Hz é utilizado pela Argentina, Bolívia, Chile, Paraguai e Uruguai. Essa diferença exige a instalação de estações conversoras de frequência em pontos estratégicos de conexão internacional para viabilizar a troca de energia entre sistemas incompatíveis conforme detalhado na Tabela 1. No caso do Brasil a unificação nacional para 60 Hz foi um processo complexo consolidado apenas na

década de 1960, visando eliminar a ineficiência de operar com padrões distintos em diferentes estados (Cachapuz, 2006).

Tabela 1 - Padrões de tensão e frequência elétrica nos países da América do Sul.

País	Tensão monofásica (V)	Tensão trifásica (V)	Frequência (Hz)
Argentina	220	380	50
Bolívia	230	400	50
Brasil	127 / 220	220 / 380	60
Chile	220	380	50
Colômbia	110	220 / 440	60
Equador	120	208	60
Guiana	120 / 240	190	60
Guiana Francesa	220	380	50
Paraguai	220	380	50
Peru	220	220	60
Suriname	127 / 230	220 / 400	60
Uruguai	220	380	50
Venezuela	120	120	60

Fonte: Os autores (2026).

2.3 Fundamentos de Conversão e Condicionamento de Energia

2.3.1 Transformadores

O transformador é um dos principais elementos de um sistema elétrico, sendo responsável pela conversão de níveis de tensão alternada, mantendo a mesma frequência de operação. Seu princípio de funcionamento baseia-se na indução eletromagnética entre os

enrolamentos primário e secundário, proporcionando isolamento galvânico e maior segurança para os circuitos de baixa tensão (Fitzgerald; Kingsley Junior; Umans, 2006).

2.3.2 *Ponte Retificadora e Filtro Capacitivo*

Após a conversão de tensão, é necessário transformar a corrente alternada (CA) em corrente contínua (CC), o que é feito pela ponte retificadora. O circuito mais comum é o de Graetz, composto por quatro diodos semicondutores, permitindo a retificação de onda completa e garantindo melhor aproveitamento da energia disponível (Floyd, 2007).

Entretanto, o sinal retificado ainda apresenta ondulações residuais. Para minimizar esse efeito, utiliza-se um capacitor eletrolítico, que atua como filtro de linha contínua, armazenando carga e liberando-a durante as quedas de tensão, reduzindo o *ripple* e estabilizando a alimentação (Boylestad; Nashelsky, 2013).

2.3.3 *Dispositivos de Proteção Elétrica*

A proteção dos circuitos é indispensável para a confiabilidade e durabilidade do sistema. Neste projeto, são empregados diversos dispositivos de proteção que atuam em diferentes situações de risco elétrico:

- Diodo *Transient Voltage Suppressor* (TVS): absorve picos de tensão e protege componentes sensíveis contra surtos transitórios (Ott, 2009);
- Varistor *Metal Oxide Varistor* (MOV) de 275 VAC: conduz apenas quando a tensão ultrapassa determinado limite, desviando a corrente e preservando os dispositivos (Ott, 2009);
- Termistor *Negative Temperature Coefficient* (NTC): limita a corrente de partida, reduzindo os picos iniciais que ocorrem na energização (Horowitz; Hill, 2015);
- Fusíveis: elementos de proteção contra sobrecorrente, interrompendo o circuito quando o valor de corrente ultrapassa o limite estabelecido (Boylestad; Nashelsky, 2013).

2.4 **Fontes de Alimentação e Eficiência Energética**

2.4.1 *Fontes Chaveadas*

As fontes chaveadas *Switched-Mode Power Supply* (SMPS) são amplamente utilizadas em sistemas industriais modernos por sua alta eficiência e baixo peso. O princípio de

funcionamento baseia-se na comutação em alta frequência, o que reduz as perdas e permite o uso de transformadores menores (Malvino; Bates, 2016).

2.5 Dispositivos de Controle e Acionamento

2.5.1 Relés de Potência

Os relés de potência desempenham papel fundamental na comutação de circuitos elétricos. Trata-se de dispositivos eletromecânicos capazes de controlar cargas de maior potência a partir de sinais de baixa corrente, utilizando o princípio da indução magnética na bobina de acionamento (Malvino; Bates, 2016).

2.5.2 Transistores NPN e Resistores Associados

Os transistores Negativo-Positivo-Negativo (NPN) são utilizados como chaves eletrônicas responsáveis por acionar as bobinas dos relés, convertendo o sinal de baixa corrente proveniente da lógica de controle em corrente suficiente para comutação (Sedra; Smith, 2007).

Os resistores de base limitam a corrente de acionamento e evitam sobrecargas, enquanto outros resistores limitam a corrente nos Diodos Emissores de Luz (LEDs) indicadores. Essa configuração assegura a operação estável do circuito de acionamento e prolonga a vida útil dos componentes.

2.5.3 Módulo Detector de Tensão AC

O módulo detector de tensão alternada é responsável por identificar a faixa de tensão presente na rede elétrica (127 V ou 220 V) e enviar um sinal lógico correspondente à placa de controle. O circuito é composto por divisores resistivos e optoacopladores, que permitem isolar o sistema de medição da rede e garantir a integridade do circuito lógico (Horowitz; Hill, 2015).

Sua função é essencial para o correto funcionamento da comutação automática, evitando acionamentos incorretos e protegendo o transformador contra sobrecargas.

2.6 Conformidade com Normas e Segurança Elétrica

A conformidade com normas técnicas é indispensável em qualquer projeto que envolva energia elétrica. No presente trabalho, consideram-se as principais diretrizes da NBR 5410, que estabelece os requisitos para instalações elétricas de baixa tensão, bem como as orientações da NR-10, voltadas à segurança em serviços com eletricidade.

O atendimento a essas normas garante a integridade do operador e dos equipamentos, além de assegurar que o sistema funcione dentro dos parâmetros de segurança exigidos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção, são descritos os materiais utilizados e os métodos e procedimentos aplicados no projeto do Sistema Inteligente de Comutação e Proteção de Tensão para Máquinas Elétricas Trifásicas.

3.1 Classificação da Pesquisa

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa de natureza aplicada, uma vez que suas motivações "decorrem do desejo de conhecer com vistas a fazer algo de maneira mais eficiente ou eficaz" (Gil, 2002, p. 17). Sob essa perspectiva, o trabalho busca produzir conhecimentos passíveis de aplicação prática na solução do problema técnico de automação industrial identificado.

Quanto ao delineamento, a investigação fundamenta-se na pesquisa experimental, modalidade em que o pesquisador atua como um "agente ativo" ao manipular variáveis independentes para observar seus efeitos sobre o objeto de estudo (Gil, 2002, p. 47). A utilização de simulações em ambiente computacional equivale à pesquisa de laboratório, permitindo um "completo controle experimental" e a "maximização do efeito das variáveis independentes sobre a dependente", garantindo que os fenômenos ocorram de forma pura e notável (Gil, 2002, p. 99–100).

O trabalho adota uma abordagem quantitativa, pautando-se na característica original do método científico de configurar-se como experimental-matemático (Severino, 2013, p. 122). Esse método privilegia a exatidão e a objetividade ao traduzir os fenômenos em "termos quantitativos e na manipulação estatística", o que viabiliza a comprovação de relações causais e a obtenção de generalizações fundamentadas sobre a natureza do sistema (Lakatos; Marconi, 2003, p. 108).

3.2 Justificativa da Opção Pela Prototipagem Virtual

O presente trabalho fundamenta-se na prototipagem virtual por meio de simulação computacional, sem a necessidade de construção de um protótipo físico com base em critérios de viabilidade econômica e respaldo metodológico. Segundo Gil (2002), a utilização de ambientes computacionais para experimentação equivale à pesquisa de laboratório, pois proporciona um "completo controle experimental", permitindo que as variáveis sejam manipuladas de forma a isolar fenômenos de interesse de maneira notável.

Considerando os aspectos econômicos a implementação física do sistema exigiria investimento para a aquisição de componentes como, por exemplo, CLP, Autotransformador, entre outros (Tabela 2). Tais custos somados à infraestrutura necessária para testes em diferentes patamares de tensão (220 V, 380 V e 440 V) inviabilizariam a execução da pesquisa dentro das restrições orçamentárias e do cronograma previstos. Assim, a simulação atende ao critério de viabilidade, sendo uma prática consolidada na indústria para a redução de tempo e custos de desenvolvimento.

Do ponto de vista acadêmico Gavira (2003) repete que a simulação computacional é uma ferramenta essencial de aquisição de conhecimento na engenharia, pois permite a transformação de informações em aprendizado aplicado ao estimular a análise crítica e a otimização do projeto lógico. Essa abordagem viabiliza o teste de múltiplos cenários e a detecção precoce de falhas sem riscos físicos ao operador ou danos aos equipamentos garantindo que o sistema de controle opere com a confiabilidade necessária antes de uma futura implementação em campo.

No entanto reconhece-se que os resultados apresentados estão limitados às condições modeladas no ambiente virtual. Dessa forma a ausência de uma validação experimental física é apresentada como uma limitação deste trabalho de modo que a construção de um protótipo real para prova de conceito definitiva é recomendada como sugestão para trabalhos futuros.

Tabela 2 - Lista de materiais, componentes eletroeletrônicos e orçamento do sistema.

TAG	Código / Modelo	Fabricante	Descrição	Qtd.	Valor Unit. (R\$)
CLP1	6ED1052 2MD08 0BA2	Siemens	CLP LOGO! 8	1	1.187,90
FO1	PSS24W 3,0	WEG	Fonte chaveada 24 Vcc / 3A	1	282,30
F1	MSW 63 B3	WEG	Seccionador tripolar 63 A	1	438,75
DJ1.1	MDWC2	WEG	Disjuntor monopolar curva C 2A	1	37,80
DJ3.1	MDWC63 3	WEG	Disjuntor tripolar curva C 63 A	1	318,40
DJ3.2	MDWC40 3	WEG	Disjuntor tripolar curva	1	247,90

TAG	Código / Modelo	Fabricante	Descrição	Qtd.	Valor Unit. (R\$)
DJ3.3	MDWC323	WEG	C 40 A Disjuntor tripolar curva C	1	228,60
DJ3.4	MDWC23	WEG	C 32 A Disjuntor tripolar curva C	1	96,70
KM1	CWB651130C03	WEG	C 2A Contator tripolar 65 A, bobina 24 Vcc	1	812,45
KM2	CWB381130C03	WEG	C Contator tripolar 38 A, bobina 24 Vcc	1	468,90
KM3	CWB321130C03	WEG	C Contator tripolar 32 A, bobina 24 Vcc	1	421,35
IT1	Projeto Próprio	Autor	Identificador de tensão 220 V, 380 V e 440 V	1	100,00
TR1	ATF20kVA	ETNA	Autotransformador trifásico 20 kV A 220 V, 380 V e 440 V com gabinete IP23	1	5.500,00
H1	L20AR7WP	Metaltex	Sinalizador branco — indicação 220 Vca	1	34,80
H2	L20AR7WP	Metaltex	Sinalizador branco — indicação 380 Vca	1	34,80
H3	L20AR7WP	Metaltex	Sinalizador branco — indicação 440 Vca	1	34,80
H4	L20AR7R	Metaltex	Sinalizador vermelho — falha 220 Vca	1	34,80
H5	L20AR7R	Metaltex	Sinalizador vermelho — falha 380 Vca	1	34,80

TAG	Código / Modelo	Fabricante	Descrição	Qtd.	Valor Unit. (R\$)
H6	L20AR7R	Metaltex	Sinalizador vermelho — falha 440 Vca	1	34,80
H7	L20AR7Y	Metaltex	Sinalizador amarelo — subtensão/sobretensão	1	34,80
EME1	CPD30F 22V25	WEG	Botão de emergência com trava	1	148,20
X1	UK16N (Conjunto)	Phoenix	Conectores de potência	1	412,60
X2	UK2,5N (Conjunto)	Phoenix	Conectores de comando	1	198,40
PE1	400x600x300 mm IP54	Cemar	Painel metálico de comando	1	798,90
TD1	TS35	Steck	Trilho DIN galvanizado	2 m	42,80
CD1	Canaleta 30 mm x80 mm	Dutoplast	Canaleta para passagem de cabos	3 m	114,30
CBP	HEPR 16 mm 2	Prysmian	Cabo de potência	15 m	447,75
CBC	Flexível 1 mm 2	Prysmian	Cabo de comando	50 m	139,50
PG1	PG21 IP68	Sibratec	Prensacabos	10	96,40
AC1	Diversos	Diversos	Terminais, ilhós e acessórios	1 lote	347,90
Total Geral (R\$)					13.947,40

Fonte: Os autores (2026).

O método adotado combina três frentes complementares:

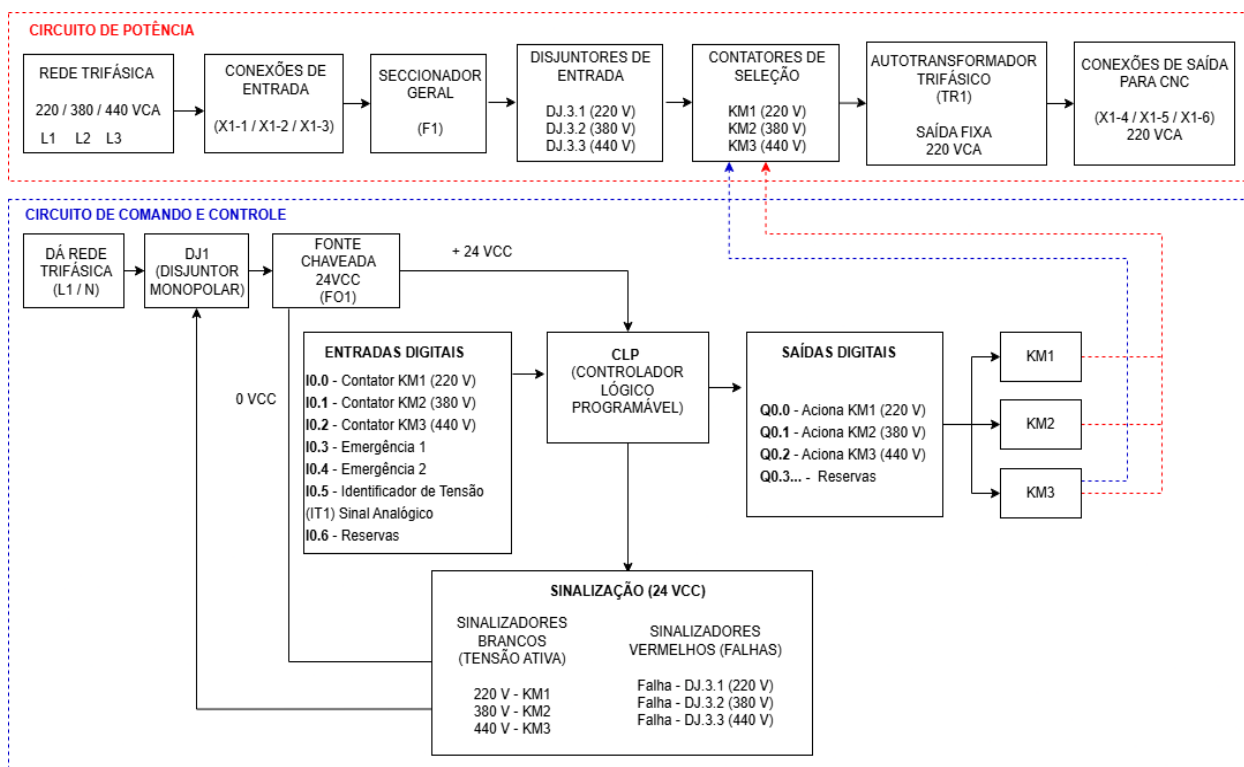
1. Dimensionamento dos componentes de potência, baseado nas características nominais do torno CNC ROMI C30D;
2. Desenvolvimento do programa Ladder para o CLP;
3. Simulação eletrônica do circuito identificador de tensão no software Proteus Design Suite;
4. Representação do circuito de potência trifásica por meio de diagrama elétrico normatizado elaborado conforme a ABNT NBR 5444 e NBR 5410 no *software* EPLAN ELETRIC P8.

Essa abordagem é amplamente aceita na engenharia de sistemas elétricos industriais como etapa de validação de conceito antes da fabricação do protótipo físico, sendo consistente com os trabalhos correlatos que embasam a revisão de literatura deste projeto como (Kumbhar *et al.*, 2023) e (Aswin.S *et al.*, 2020).

3.3 Apresentação do Sistema - Diagrama de Blocos

O sistema é composto por dois subsistemas principais, o Circuito de Potência, responsável pelo chaveamento e conversão das tensões trifásicas de entrada (220 V, 380 V e 440 V) para a saída padronizada de 220 V, e o Circuito de Comando e Controle, responsável pela identificação automática da tensão, lógica de seleção via CLP e sinalização. A Figura 1 apresenta o Diagrama de Blocos completo.

Figura 1 - Diagrama de blocos do sistema.



Fonte: Os autores (2026).

Conforme ilustrado na Figura 1, o Circuito de Potência consiste de conexão de entrada (X1-1/X1-2/X1-3), seccionador geral (F1), disjuntores tripolares de proteção por nível de tensão (DJ3.1, DJ3.2, DJ3.3), contadores de seleção (KM1, KM2, KM3), autotransformador trifásico (TR1) e conexão de saída para o torno CNC (X1-4/X1-5/X1-6). Já o Circuito de

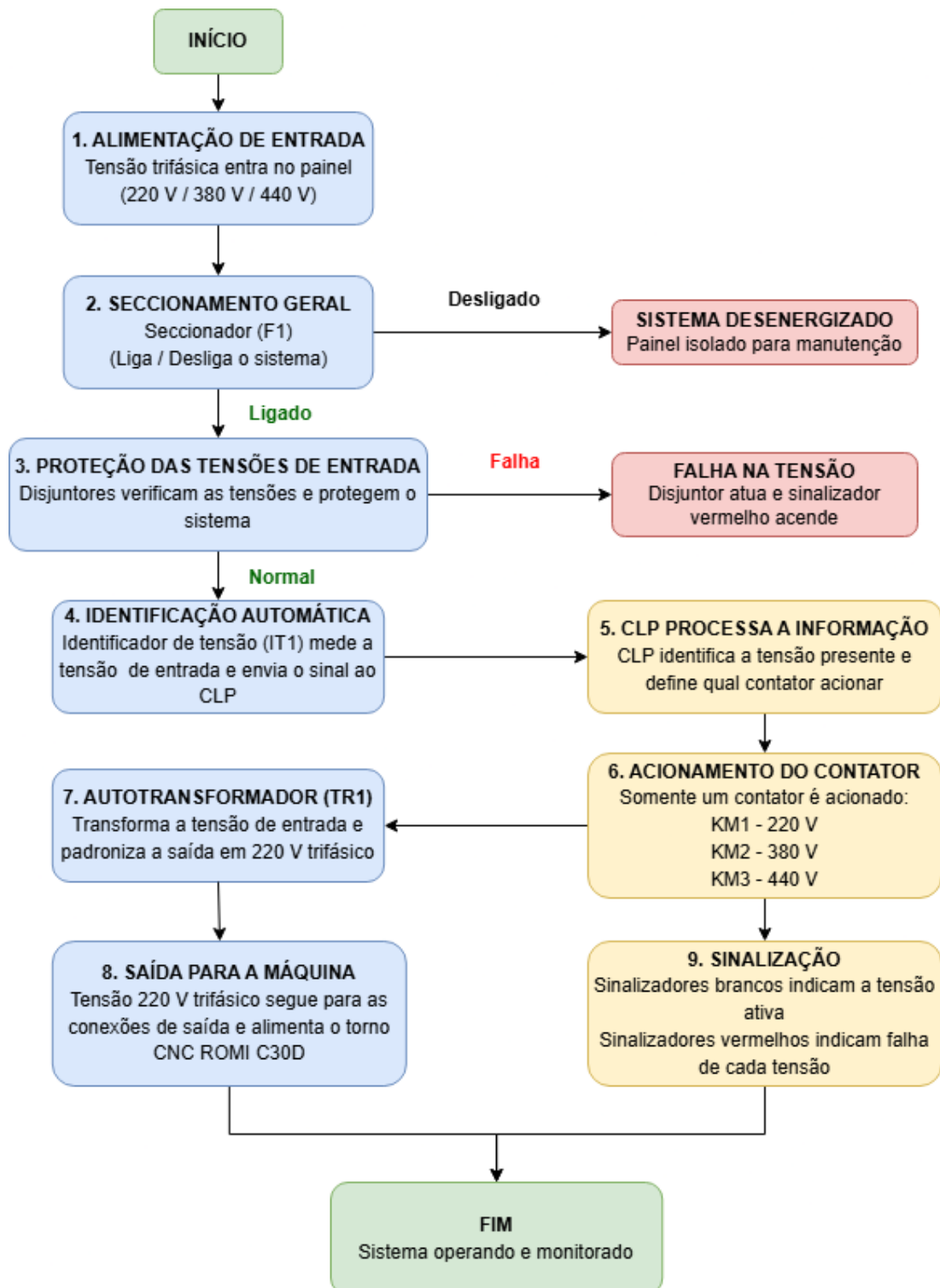
Comando e Controle possui disjuntor monopolar (DJ1), fonte chaveada 24 VCC (FO1), identificador de tensão analógico (IT1), CLP Siemens LOGO! e sistema de sinalização com sinalizadores brancos (tensão ativa) e vermelhos (falha de disjuntor).

3.4 Fluxograma de Operação do Sistema

A sequência lógica de operação do sistema foi documentada por meio do fluxograma apresentado na Figura 2, que descreve o ciclo completo desde a energização até a saída estabilizada de 220 V para o torno CNC ROMI C30D.

O fluxograma evidencia as etapas críticas do sistema (1) energização da rede trifásica; (2) seccionamento geral via F1; (3) verificação de proteções pelos disjuntores DJ3.1/DJ3.2/DJ3.3, com desvio para estado de falha caso qualquer disjuntor atue; (4) identificação automática da tensão pelo módulo IT1 com envio do sinal analógico ao CLP; (5) processamento lógico pelo CLP e seleção do contator correspondente (KM1, KM2 ou KM3); (6) transformação da tensão pelo autotransformador TR1; e (7) entrega de 220 V trifásico a conexão de saída para alimentação do torno.

Figura 2 - Fluxograma de operação do projeto.



Fonte: Os autores (2026).

3.5 Materiais

A Tabela 3 lista os componentes utilizados, assim como seu respectivo modelo, especificação técnica e uma breve descrição da função de cada um no sistema.

Tabela 3 - Lista de componentes do sistema.

Código	Componente	Modelo / Fabricante	Especificação	Função no sistema
X1	Régua de Conectores	PT16 – Phoenix Contact	76 A / 1000 V	Interligação de potência
F1	Seccionador	MSW 63 B3 WEG	63 A / AC23A	Seccionamento geral do sistema
DJ3.1	Disjuntor Tripolar 220 V	MDWSD633 – WEG	63 A / Curva C	Proteção do circuito 220 VCA
DJ3.2	Disjuntor Tripolar 380 V	MDWSD403 – WEG	40 A / Curva C	Proteção do circuito 380 VCA
DJ3.3	Disjuntor Tripolar 440 V	MDWSD323 – WEG	32 A / Curva C	Proteção do circuito 440 VCA
KM1	Contator 220 V	CWB651130C03 – WEG	65 A / Bobina 24 VCC	Seleção do tap 220 V
KM2	Contator 380 V	CWB381130C03 – WEG	38 A / Bobina 24 VCC	Seleção do tap 380 V
KM3	Contator 440 V	CWB321130C03 – WEG	32 A / Bobina 24 VCC	Seleção do tap 440 V
TR1	Autotransformador Trifásico	20 kVA - Externo	220 V, 380 V e 440 V → 220 V	Conversão para saída 220 VCA
IT1	Identificador de Tensão	Desenvolvimento próprio	Saída 0 a 10 VCC	Envio de sinal ao CLP
DJ1	Disjuntor Monopolar	MDWPC21 – WEG	2A	Proteção do circuito auxiliar
FO1	Fonte Chaveada	WEG	24 VCC / 3 A	Alimentação do sistema de controle
CLP1	CLP	LOGO! 6ED1052 2MD080BA2 – Siemens	24 VCC / 8E+4S+AI	Controle e identificação da tensão

Código	Componente	Modelo / Fabricante	Especificação	Função no sistema
X2	Conectores Fusíveis	Phoenix Contact	24 VCC	Proteção dos circuitos auxiliares
EME1	Botão de Emergência	WEG	Categoria 0 – NR12	Parada de emergência
H (b)	Sinalizadores Brancos	L20 – Metaltex	24 VCC	Indicação da tensão selecionada
H (v)	Sinalizadores Vermelhos	L20AR7 – WEG	24 VCC	Indicação de falha dos disjuntores

Fonte: Os autores (2026).

3.6 Ferramentas de Validação

3.6.1 *Software Proteus Design Suite*

Para a validação eletrônica do módulo identificador de tensão IT1, selecionou-se a plataforma Proteus Design Suite, ferramenta que integra a concepção de esquemáticos e simulações dinâmicas de alta fidelidade (LABSIS Comércio de Equipamentos Educacionais Ltda., 2010). O *software* fundamenta-se na tecnologia *Virtual System Modeling* (VSM), que integra simulações analógicas e digitais baseadas no núcleo PRO-SPICE, utilizando modelos SPICE3F5 (*Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis*) para emular o comportamento elétrico dos componentes com rigor matemático (LABSIS Comércio de Equipamentos Educacionais Ltda., 2010). Essa arquitetura de simulação mista viabilizou o exame do divisor resistivo, da ponte retificadora, do filtro capacitivo e do diodo zener de proteção, permitindo a observação de grandezas em regime permanente e transitório (LABSIS Comércio de Equipamentos Educacionais Ltda., 2010). Consequentemente, o uso do Proteus proporcionou um ambiente de laboratório virtual controlado, essencial para a depuração de falhas e a otimização dos estágios de condicionamento de sinal antes da integração com a lógica de controle.

3.6.2 *Ferramenta Para Documentação e Diagramação Elétrica*

Para o desenvolvimento da documentação técnica e representação do circuito de potência trifásica, selecionou-se a plataforma EPLAN Electric P8, um *software* de engenharia

auxiliada por computador (CAE). A arquitetura do *software* fundamentou-se na integração entre a representação gráfica e o processamento de informações lógicas por meio de propriedades, o que permitiu que cada componente do sistema de comutação fosse mapeado com precisão em termos de função e endereçamento (Gischel, 2016).

No contexto deste trabalho o EPLAN viabilizou a elaboração de diagramas elétricos normatizados em conformidade com as normas ABNT NBR 5444 e NBR 5410, essenciais para demonstrar a viabilidade técnica da solução proposta. Além da diagramação, a utilização da ferramenta proporcionou a organização automática de referências cruzadas e a gestão eficiente dos dispositivos de proteção e manobra garantindo que a documentação técnica final do painel elétrico atingisse o nível de detalhamento exigido para uma futura implementação física.

3.6.3 Ferramenta de Engenharia e Integração (TIA Portal)

Para o desenvolvimento da lógica de controle e integração dos dispositivos, selecionou-se a plataforma de engenharia TIA Portal (*Totally Integrated Automation Portal*) em sua versão V18. Esta ferramenta possibilita a digitalização e a integração completa dos componentes de automação que compõem o projeto, permitindo uma engenharia eficiente para atender a novos requisitos técnicos (SIEMENS BRASIL, 2023). No contexto deste trabalho, o *software* viabilizou a criação do programa Ladder utilizado para gerenciar as decisões do CLP em tempo real, garantindo que o torno CNC ROMI C30D receba uma alimentação estabilizada de 220 V (SIEMENS BRASIL, 2023). Além disso, a utilização desta plataforma proporcionou maior segurança operativa ao projeto, visto que a versão V18 foca na aplicação de padrões de segurança de última geração, fundamentais para proteger o sistema contra as anomalias de rede identificadas durante as simulações (SIEMENS BRASIL, 2023).

3.7 Parâmetros de Simulação do Módulo Identificador IT1

A simulação do módulo IT1 foi configurada com os parâmetros apresentados na Tabela 4, derivados dos cálculos realizados e detalhados na subseção 4.7.

Tabela 4 - Parâmetros adotados na simulação do circuito identificador de tensão.

Parâmetro	Valor Adotado	Justificativa
Tensões de entrada simuladas	220 VCA, 380 VCA e 440 VCA	Padrões industriais conforme IEC 60038 e ABNT NBR 5410
Frequência da rede	60 Hz	Padrão brasileiro de distribuição elétrica
Resistores série R1 a R5	$5 \times 100 \text{ k}\Omega = 500 \text{ k}\Omega$	Redução da tensão para faixa segura ($<10 \text{ V}$)
Resistor divisor R6	6,8 k Ω	Ajuste proporcional da tensão de saída
Capacitores de filtro	$2 \times 680 \text{ }\mu\text{F}/400 \text{ V}$ em série	Filtragem do sinal e adequação à tensão
Diodo zener de proteção	1N4740A (10 V)	Limitação da saída em 10 V para proteção do CLP
Diodos da ponte retificadora	1N4007	Compatibilidade com a corrente do circuito detector
Faixa de saída analógica esperada	0 a 10 VCC	Compatível com entrada analógica do CLP
Tempo de análise transitória	$\geq 200 \text{ ms}$	Tempo suficiente para estabilização do sinal
Tolerância de saída (NBR 5410)	$220 \text{ V} \pm 10 \%$	Faixa permitida 198 a 242 V

Fonte: Os autores (2026).

3.8 Limitações da Abordagem Metodológica

Em conformidade com os princípios da metodologia científica as limitações da abordagem adotada são declaradas conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Limitações da simulação e respectivas tratativas adotadas.

Limitação	Tratativa no Trabalho
Modelos SPICE idealizados	Tolerâncias construtivas e efeitos de envelhecimento serão avaliados durante a prototipagem física.
Ausência de efeitos térmicos	O aquecimento em operação contínua não foi simulado; a análise térmica foi realizada separadamente no memorial técnico.
Interferências eletromagnéticas (EMI)	A simulação considera ambiente sem ruído; interferências no sinal do IT1 deverão ser verificadas em operação real.
Ausência de carga dinâmica	Transitórios de partida e variações de carga do torno CNC não foram representados no modelo.
Validação sem ensaio físico	O diagrama valida o projeto elétrico; o desempenho dos dispositivos será confirmado no protótipo.

Fonte: Os autores (2026).

4 DESENVOLVIMENTO

Esta seção apresenta o desenvolvimento do sistema e contempla o dimensionamento dos componentes elétricos de potência, o projeto do circuito eletrônico identificador de tensão (IT1) e a lógica de controle implementada no CLP.

4.1 Dimensionamento do Autotransformador Trifásico TR1

O cálculo da potência aparente (S) necessária para alimentação do torno CNC ROMI C30D foi realizado com base na corrente nominal do equipamento de 52 A e na tensão de alimentação de 220 VCA trifásico, conforme a Equação 1.

$$S = \sqrt{3} V I = 1,732 \times 220 \times 52 \approx 19\,814 \text{ VA} \approx 19,8 \text{ kVA} \quad (1)$$

Com base no valor calculado de 19,8 kVA, foi especificado autotransformador trifásico de 20 kVA com entradas em 220 VCA, 380 VCA e 440 VCA e saída padronizada em 220VCA, garantindo margem de segurança operacional.

4.2 Dimensionamento dos Cabos de Potência e Correntes Nominais

As correntes nominais (I) para cada nível de tensão foram calculadas a partir da potência do autotransformador, conforme a Equação 2.

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} V} \quad (2)$$

A corrente nominal foi determinada por meio da Equação 2. Os resultados obtidos e o dimensionamento correspondente dos condutores são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Resultados do dimensionamento dos condutores.

Tensão de Entrada	Corrente Calculada	Cabo Selecionado	Capacidade do Cabo
220 VCA	52,48 A	16 mm ²	68 A
380 VCA	30,39 A	6 mm ²	36 A
440 VCA	26,24 A	4 mm ²	28 A

Fonte: Os autores (2026).

No protótipo virtual o dimensionamento dos condutores priorizou a validação utilizando modelos ideais que não reproduzem efeitos térmicos reais, conforme indicado nas limitações metodológicas do projeto (Tabela 5). Devido a essa limitação os fatores de correção por agrupamento e temperatura, assim como os métodos de instalação previstos na NBR 5410 não foram aplicados nesta etapa. Contudo, em uma futura implementação física o projeto deverá seguir rigorosamente a esses critérios o que poderá resultar na adoção de seções de cabos diferentes das utilizadas na simulação.

4.3 Análise de Queda de Tensão

A análise da queda de tensão (ΔV) foi realizada para o cabo de maior solicitação (220 VCA, 52 A), considerando comprimento de 25 m e cabo de 16 mm², conforme a Equação 3.

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} L I \rho}{S} = \frac{1,732 \times 25 \times 52 \times 0,0175}{16} \approx 2,46 \text{ V} \quad (3)$$

em que: ρ corresponde à resistividade do cobre, adotada como 0,0175 $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$

O valor de 2,46 V representa aproximadamente 1,12 % da tensão nominal de 220 V, ficando bem abaixo do limite de 5 % estabelecido pela ABNT NBR 5410 para circuitos terminais. Esse resultado confirma a adequação do cabo de 16 mm² selecionado.

4.4 Dimensionamento dos Disjuntores de Proteção

Os disjuntores foram dimensionados (Tabela 7) com margem operacional de 20 % sobre a corrente nominal de cada ramal, conforme a Equação 4.

$$I_{\text{corr}} = I_{\text{nominal}} \times 1,2 \quad (4)$$

Tabela 7 - Dimensionamento dos disjuntores de proteção.

Tensão	Inom (A)	Icorr (A)	Disjuntor (A)	Modelo
220 VCA	52,48	62,97	63	MDWS-D63-3
380 VCA	30,39	36,46	40	MDWS-D40-3
440 VCA	26,24	31,48	32	MDWS-D32-3

Fonte: Os autores (2026).

A curva de disparo tipo C foi adotada para todos os disjuntores, pois é adequada para circuitos com transformadores, que apresentam elevada corrente transitória de magnetização no momento da energização (faixa magnética de 5 a 10 x I_n conforme a norma IEC 60898).

Para a implementação física, recomenda-se a substituição pela curva D para suportar transientes de partida da carga.

4.5 Dimensionamento dos Contatores KM1, KM2 E KM3

Os contatores foram especificados (Tabela 8) com margem de segurança de 25 % sobre a corrente nominal de cada ramal, conforme a Equação 5.

$$I_{\text{cont}} = I_{\text{nominal}} \cdot 1,25 \quad (5)$$

Tabela 8 - Dimensionamento dos contatores.

Contator	I_{nom} (A)	I_{cont} (A)	Modelo	Corrente (A)
KM1 (220 V)	52,48	65,6	CWB65	65
KM2 (380 V)	30,39	37,98	CWB38	38
KM3 (440 V)	26,24	32,8	CWB32	32

Fonte: Os autores (2026).

As bobinas dos três contatores operam em 24 VCC, alimentadas pelas saídas digitais do CLP, garantindo que o circuito de comando opere em Extra Baixa Tensão (EBT) conforme os requisitos das normas NR-10 e NR-12. O sistema foi programado para que apenas um contator permaneça energizada por vez, evitando energizações simultâneas no autotransformador.

Para a implementação física, recomenda-se a substituição pela curva D para suportar transientes de partida da carga mais elevadas.

4.6 Diagrama Elétrico

4.6.1 Funcionamento Geral do Sistema

Este painel elétrico viabiliza a alimentação do torno CNC ROMI C30D em diferentes tensões trifásicas, estabilizando a saída em 220 VCA por meio de um autotransformador controlado por CLP. O sistema automatiza a identificação da tensão de entrada e o acionamento dos contatores, integrando proteção elétrica e sinalização de status operacional. A

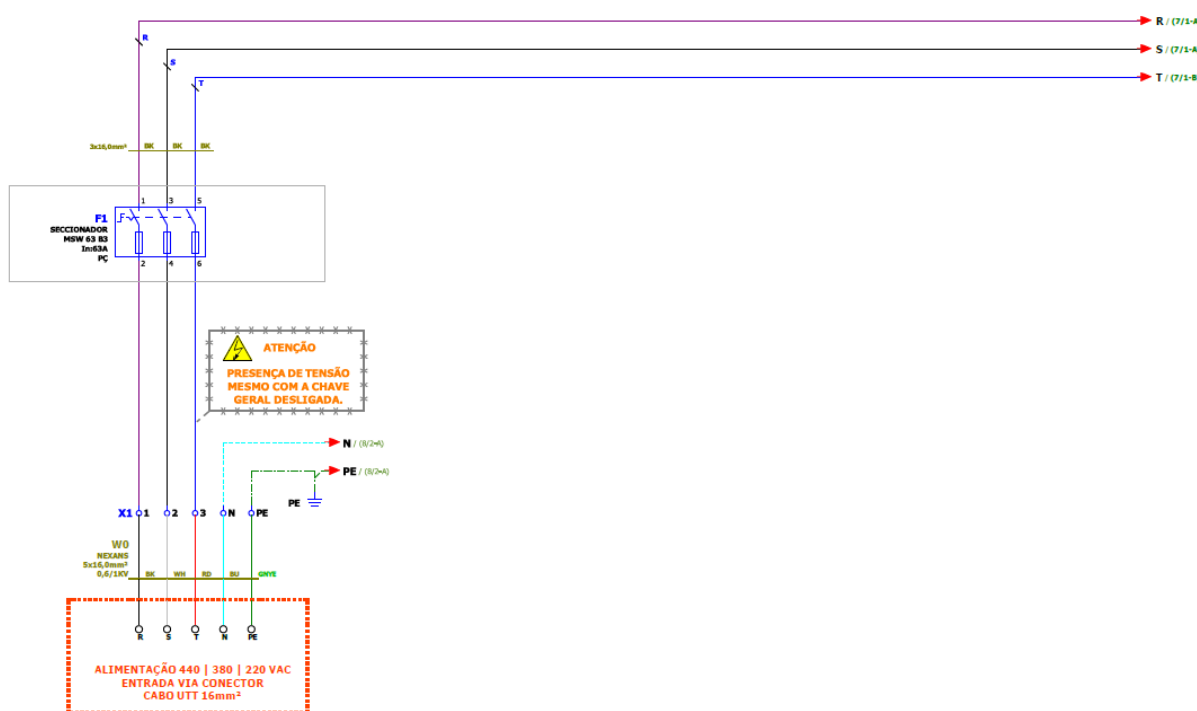
compatibilidade com redes de 220 VCA, 380 VCA, e 440 VCA (60 Hz) amplia a flexibilidade do equipamento para integração em diferentes plantas industriais.

4.6.2 Entrada de Alimentação e Seccionamento Geral

A alimentação trifásica da rede industrial conecta-se ao sistema pelos conectores “X1-1”, “X1-2” e “X1-3” (fases R, S e T), integrando também o neutro e o aterramento de proteção (PE). Esses terminais otimizam a organização elétrica e garantem a confiabilidade mecânica e a facilidade de manutenção (PHOENIX CONTACT, 2022).

Na sequência, a energia alimenta o seccionador geral “F1” (modelo MSW 63 B3, 63 A), que centraliza o seccionamento do painel elétrico. Este dispositivo viabiliza o desligamento seguro em intervenções técnicas e inspeções, assegurando o isolamento elétrico visível exigido pela norma NR-10 (WEG, 2022a; BRASIL, 2022a). O circuito é mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Circuito de alimentação.



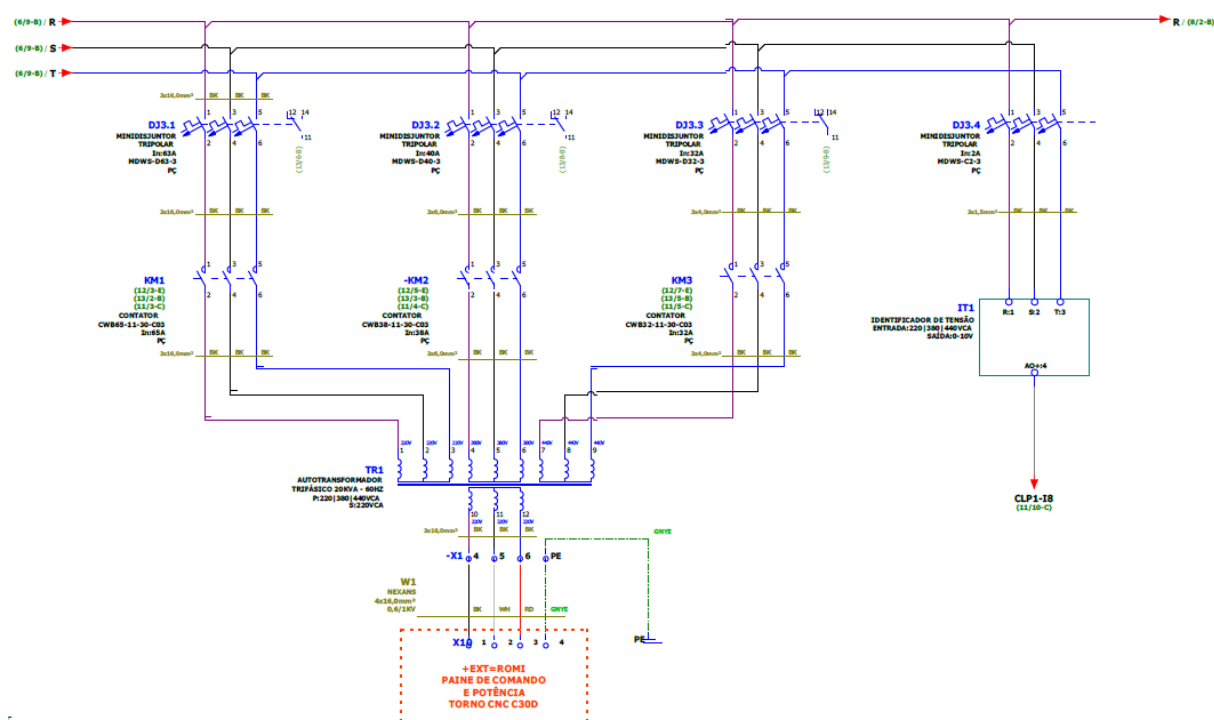
Fonte: Os autores (2026).

4.6.3 Circuito de Proteção das Tensões de Entrada

Após o seccionamento geral, os disjuntores tripolares “DJ3.1”, “DJ3.2” e “DJ3.3” distribuem a alimentação trifásica e asseguram a proteção individualizada das tensões de entrada (Figura 4). O modelo MDWS-D63-3 (“DJ3.1”) atua em 220 VCA, o MDWS-D40-3

(“DJ3.2”) em 380 VCA e o MDWS-D32-3 (“DJ3.3”) em 440 VCA. Esses dispositivos detectam anomalias como sobrecorrente e curto-circuito, interrompendo automaticamente o fornecimento de energia para preservar a integridade do sistema (WEG, 2022b). Adicionalmente, o disjuntor monopolar “DJ1.1” resguarda a alimentação de 24 VCC da fonte chaveada e os circuitos eletrônicos de comando.

Figura 4 - Circuito de proteção das tensões de entrada.



Fonte: Os autores (2026).

4.6.4 Acionamento dos Contatores e Seleção da Tensão

Concluída a etapa de proteção, os contatores “KM1”, “KM2” e “KM3” automatizam o chaveamento da alimentação do autotransformador trifásico. O modelo CWB65-11-30-C03 (“KM1”) gerencia a entrada de 220 VCA, enquanto os modelos CWB38-11-30-C03 (“KM2”) e CWB32-11-30-C03 (“KM3”) operam, respectivamente, em 380 VCA e 440 VCA.

As saídas digitais do CLP controlam as bobinas de 24 VCC desses contatores, reforçando a segurança elétrica nos circuitos de comando (WEG, 2022c). O sistema integra uma lógica de intertravamento que permite a energização de apenas um dispositivo por vez; essa configuração impede acionamentos simultâneos e mitiga falhas operacionais no autotransformador.

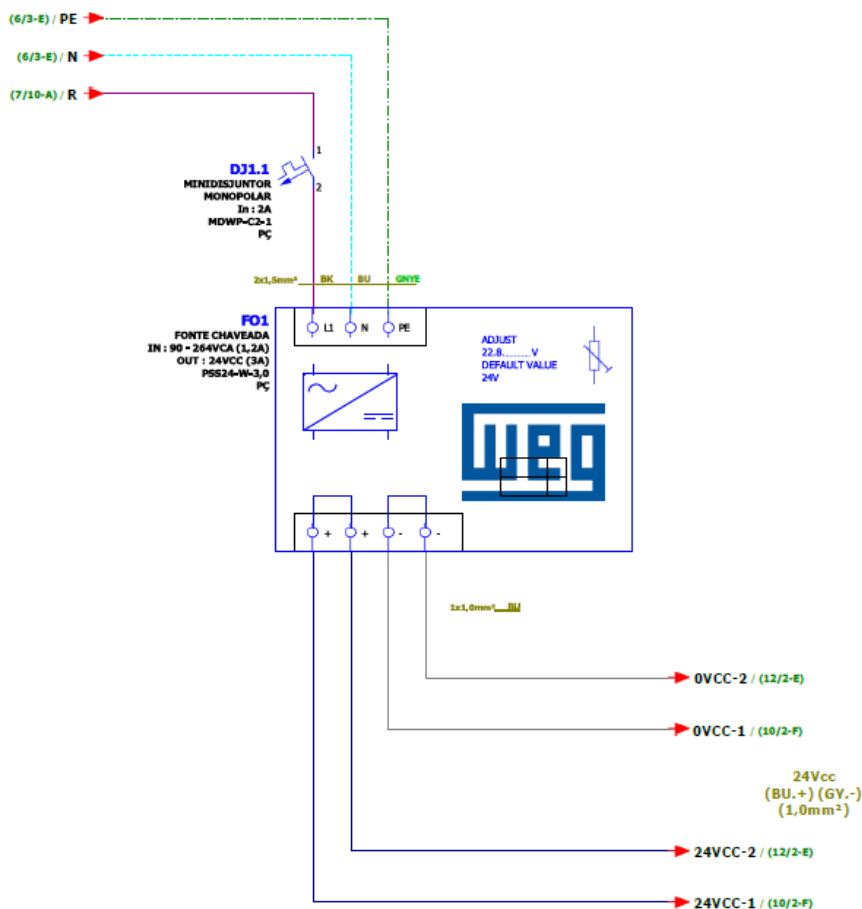
4.6.5 *Funcionamento do Autotransformador Trifásico*

O autotransformador trifásico “TR1” (20 kVA, 60 Hz) dispõe de derivações específicas para operação em 220 VCA, 380 VCA e 440 VCA. Este equipamento padroniza a saída do sistema em 220 VCA trifásico, independentemente da tensão detectada na entrada do painel. Concluída a transformação, o sistema direciona o fluxo elétrico aos conectores “X1-4”, “X1-5” e “X1-6” para a alimentação do torno CNC ROMI C30D. O uso deste componente amplia a flexibilidade operacional em distintas plantas industriais, preservando a integridade do maquinário por dispensar alterações em seus circuitos internos.

4.6.6 *Circuito de Alimentação em 24 VCC*

O painel integra um circuito auxiliar de 24 VCC fundamentado na fonte chaveada “FO1” (WEG), conforme ilustrado na Figura 5. Este dispositivo processa tensões de entrada entre 90 a 264 VCA para disponibilizar uma saída estável de 24 VCC (3 A), que alimenta o CLP, as interfaces de entrada e saída, as bobinas dos contadores e o sistema de sinalização. A adoção da Extra Baixa Tensão (EBT) no comando minimiza riscos elétricos ao operador e assegura a conformidade com as diretrizes de segurança das normas NR-10 e NR-12.

Figura 5 - Circuito de alimentação em 24Vcc.

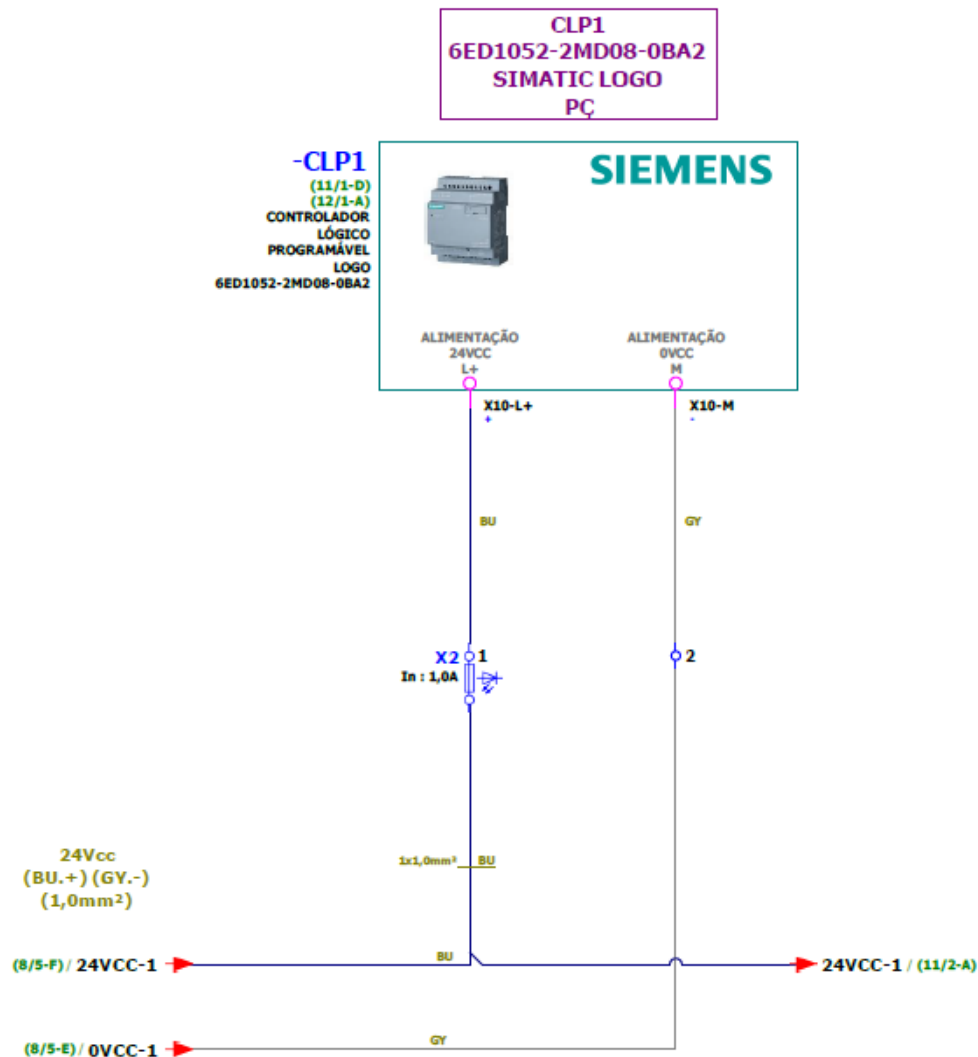


Fonte: Os autores (2026).

4.6.7 Alimentação e Controle do CLP

Um CLP Siemens SIMATIC LOGO! (modelo 6ED1052-2MD08-0BA2) centraliza o controle da automação, operando sob 24 VCC nos terminais “L+” e “M” (Figura 6). Conectores fusíveis instalados na régua “X2” distribuem a energia ao dispositivo e resguardam os circuitos eletrônicos contra sobrecorrentes e curtos-circuitos. Este controlador executa o processamento lógico do sistema, monitora as entradas digitais, interpreta os sinais analógicos do identificador de tensão e comanda o acionamento dos contadores via saídas digitais.

Figura 6 - Alimentação e controle do CLP.



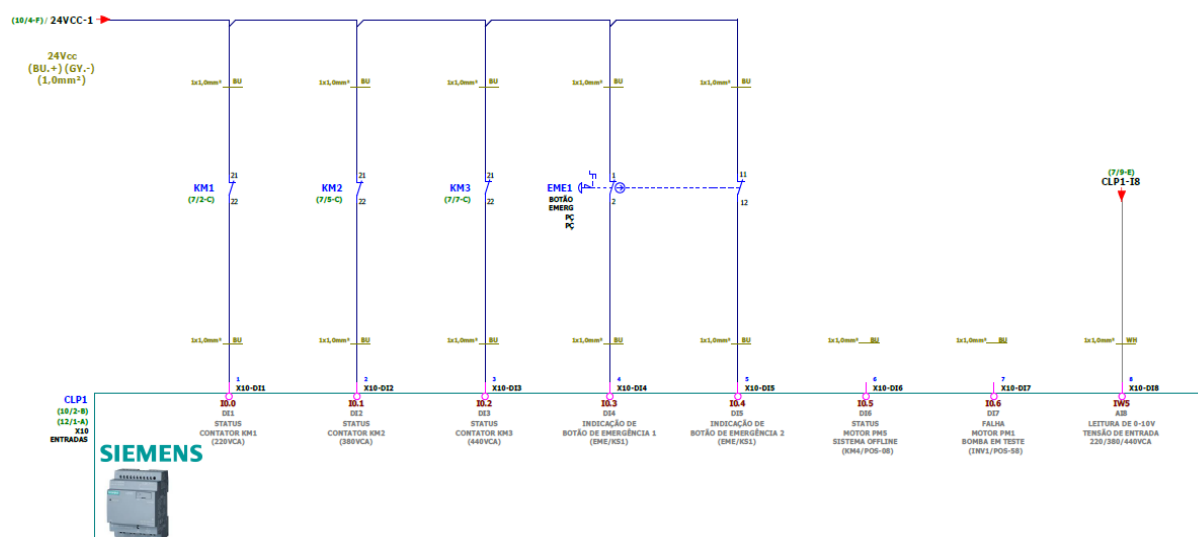
Fonte: Os autores (2026).

4.6.8 Entradas Digitais do Sistema

As entradas digitais do controlador supervisionam as condições operacionais do painel conforme ilustrado no diagrama da Figura 7. Os terminais “I0.0”, “I0.1” e “I0.2” verificam o status dos contadores “KM1”, “KM2” e “KM3”, vinculadas às redes de 220 VCA, 380 VCA e 440 VCA, respectivamente. Para a segurança operacional, as interfaces “I0.3” e “I0.4” executam o monitoramento redundante do botão de emergência “EME1”, cumprindo as diretrizes da norma NR-12. Adicionalmente, as entradas “I0.5” e “I0.6” configuram uma reserva técnica para expansões e funções auxiliares.

O identificador “IT1” viabiliza o reconhecimento automático da rede ao converter a tensão de entrada em um sinal analógico proporcional (0 a 10 V), transmitido ao CLP pela porta “IW5/AI8”. Com base nessa grandeza, o controlador discrimina o padrão de tensão presente e comanda o acionamento do contator pertinente.

Figura 7 - Circuito de entradas digitais do sistema.



Fonte: Os autores (2026).

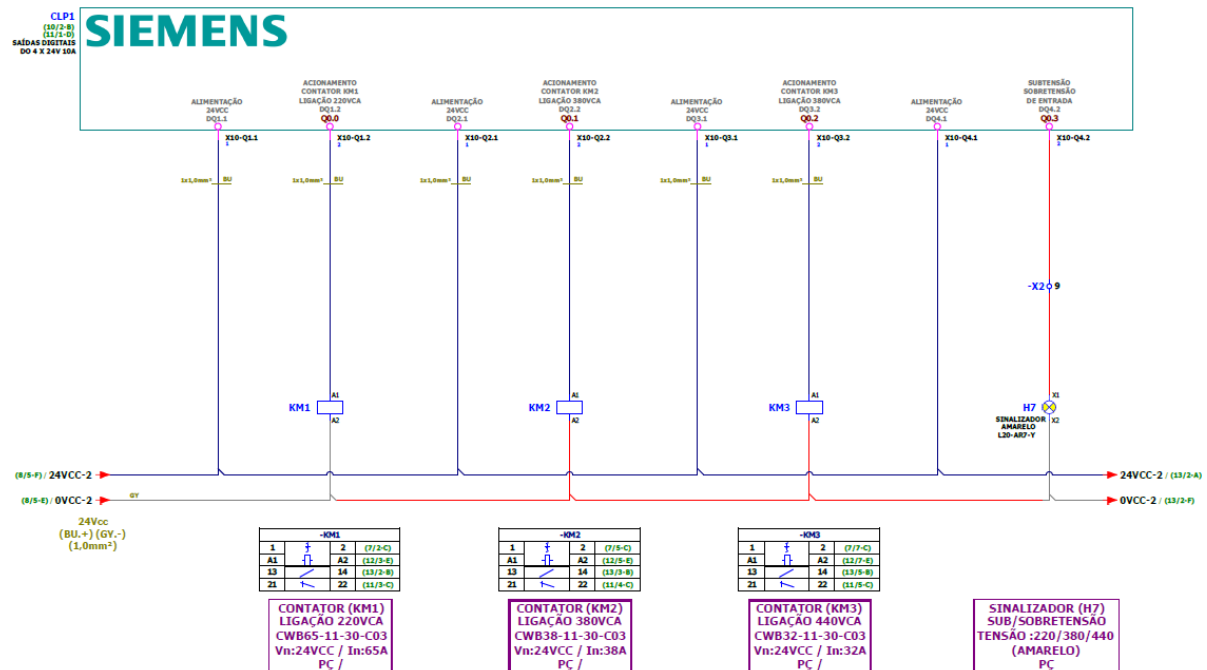
4.6.9 Saídas Digitais e Controle dos Contatores

As saídas digitais do CLP operam em 24 VCC e são responsáveis pelo acionamento das bobinas dos contatores que realizam a seleção da tensão de entrada do autotransformador (Figura 8). A saída Q0.0 aciona o contator KM1, responsável pela conexão em 220 VCA, enquanto a saída Q0.1 comanda o contator KM2, destinada à operação em 380 VCA. A saída Q0.2 aciona o contator KM3, utilizada para a seleção da tensão de 440 VCA.

Adicionalmente, a saída Q0.3 foi destinada ao acionamento do sinalizador H7, responsável pela indicação de condições de subtensão ou sobretensão na alimentação de entrada, permitindo a sinalização visual de anormalidades elétricas ao operador.

A lógica implementada no CLP garante que apenas um contator seja energizado por vez, evitando o chaveamento simultâneo das tensões disponíveis e assegurando a operação segura do sistema de transformação.

Figura 8 - Circuito de saídas digitais e controle dos contatores.



Fonte: Os autores (2026).

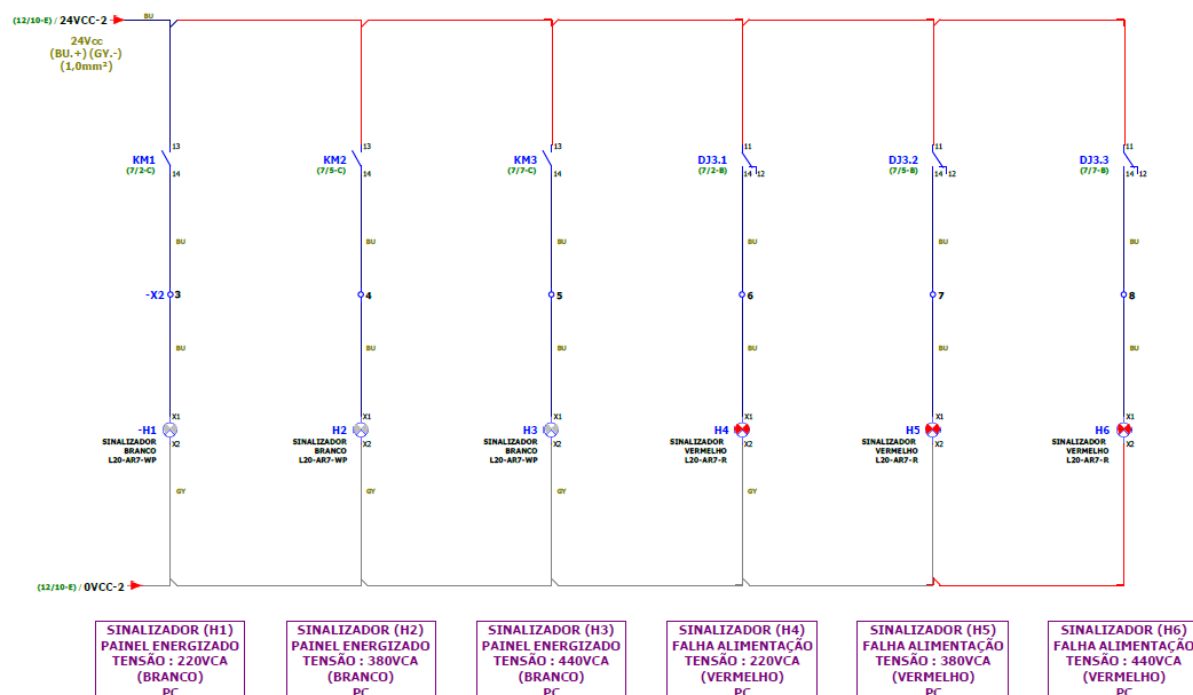
4.6.10 Sistema de Sinalização

O sistema de sinalização (Figura 9) utiliza sinalizadores da linha L20, alimentados em 24 VCC, para fornecer informações visuais sobre o estado operacional do painel. Os sinalizadores H1, H2 e H3, na cor branca, indicam respectivamente a energização do sistema nas tensões de 220 VCA, 380 VCA e 440 VCA, sendo acionados pelos contatos auxiliares dos contatores KM1, KM2 e KM3.

Para a indicação de falhas, os sinalizadores H4, H5 e H6, na cor vermelha, monitoram os disjuntores DJ3.1, DJ3.2 e DJ3.3. Quando ocorre uma condição de falha ou atuação da proteção em qualquer uma das tensões monitoradas, o respectivo sinalizador é acionado, facilitando a identificação rápida do problema pela equipe de manutenção.

Complementando o sistema, o sinalizador H7, na cor amarela, é comandado pelo CLP para indicar situações de subtensão ou sobretensão na rede de entrada, contribuindo para o monitoramento contínuo das condições elétricas do equipamento.

Figura 9 - Circuito do sistema de sinalização.



Fonte: Os autores (2026).

4.6.11 Layout Interno do Painel Elétrico

O *layout* interno do painel elétrico foi desenvolvido visando facilitar a montagem, manutenção e organização dos componentes, respeitando critérios de segregação funcional e distribuição térmica (Figura 10). O painel possui dimensões de 400 x 600 x 300 mm e será instalado sobre a estrutura do transformador trifásico, permitindo a formação de um conjunto compacto e de fácil instalação em campo.

Conforme apresentado no *layout* interno, o seccionador F1 encontra-se posicionado na região inferior esquerda do painel, recebendo a alimentação proveniente dos conectores de entrada X1. A partir da chave geral, a energia é distribuída para os disjuntores de proteção DJ3.1, DJ3.2 e DJ3.3, responsáveis pela proteção dos circuitos de seleção das tensões de 220 VCA, 380 VCA e 440 VCA, conforme descrito no diagrama de potência.

Os contatores KM1, KM2 e KM3 encontram-se centralizados no painel, reduzindo o comprimento dos cabos de potência entre os dispositivos de proteção e o autotransformador TR1, apresentado no circuito de potência. A disposição adotada também facilita a identificação visual dos componentes durante procedimentos de manutenção corretiva ou preventiva.

Na parte superior do painel foram posicionados o CLP LOGO! 8 (CLP1), a fonte chaveada FO1, o disjuntor monopolar DJ1.1 e a régua de conectores X2, responsáveis pelos

circuitos de comando, alimentação em 24 VCC e distribuição dos sinais de entrada e saída do sistema.

O identificador de tensão IT1 foi instalado próximo aos dispositivos de potência para facilitar a aquisição das tensões de entrada monitoradas pelo CLP através da entrada analógica AI8.

Para organização da fiação, foi prevista a utilização de canaleta 30 x 80 mm, permitindo segregação entre os circuitos de potência e comando, reduzindo interferências eletromagnéticas e facilitando futuras intervenções técnicas.

configuração proporciona melhor aproveitamento do espaço físico, reduz a área ocupada na instalação e simplifica o processo de interligação entre os equipamentos.

O *layout* externo apresenta (Figura 11), na porta frontal do painel, os dispositivos de operação e sinalização necessários para o monitoramento do sistema. A chave geral de energização corresponde ao dispositivo F1, responsável pelo seccionamento da alimentação principal do conjunto.

O botão de emergência (EME1) está associado à entrada digital I0.3 do CLP, permitindo a supervisão do estado de segurança do equipamento.

Os sinalizadores brancos de indicação de alimentação em 220 VCA (H1), 380 VCA (H2) e 440 VCA (H3) estão diretamente vinculados aos contatos auxiliares dos contatores KM1, KM2 e KM3, respectivamente, indicando ao operador qual tensão está atualmente selecionada pelo sistema.

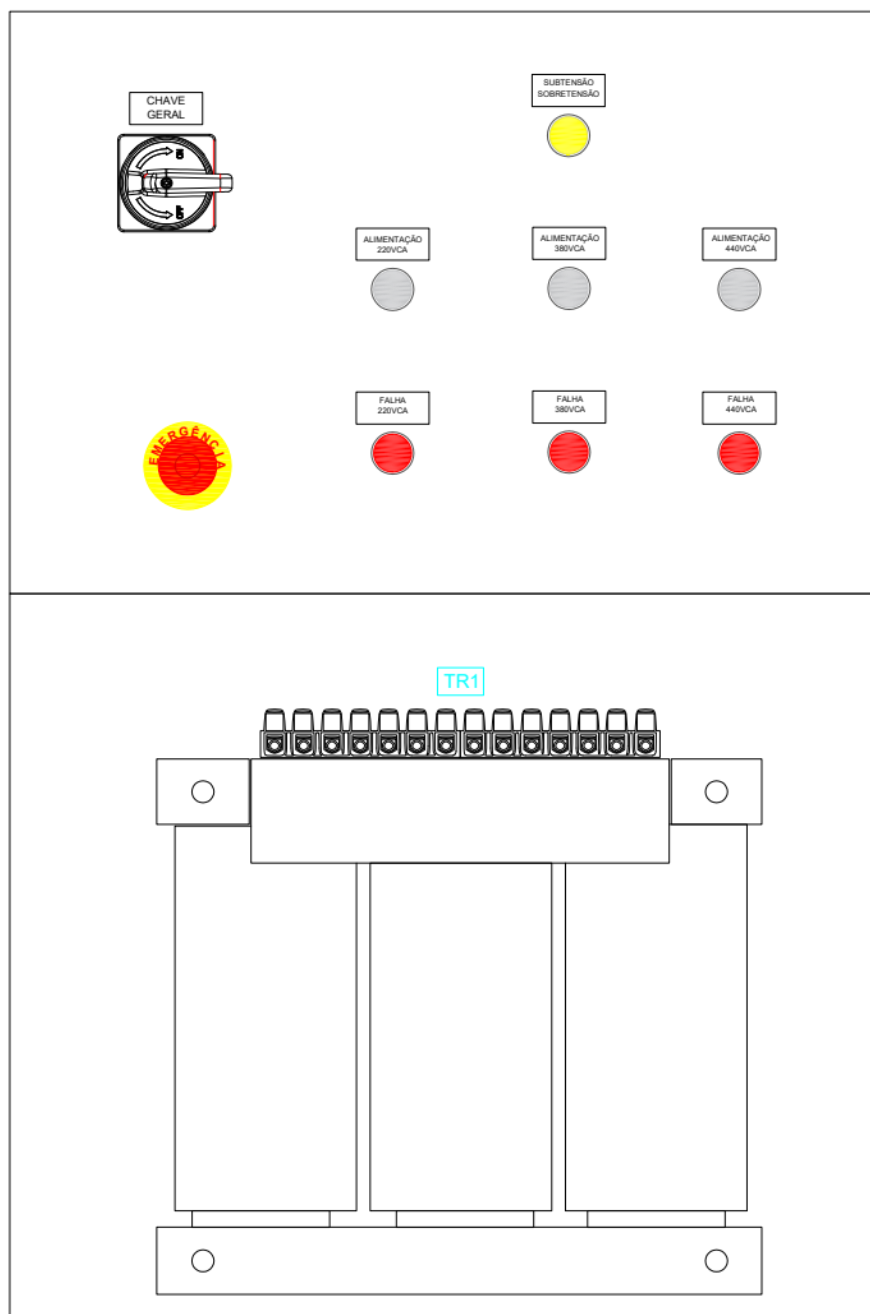
Os sinalizadores vermelhos de falha em 220 VCA (H4), 380 VCA (H5) e 440 VCA (H6) estão associados aos contatos auxiliares dos disjuntores DJ3.1, DJ3.2 e DJ3.3, respectivamente, permitindo rápida identificação de falhas ou atuações das proteções elétricas.

O sinalizador amarelo H7 é responsável pela indicação de condições de subtensão ou sobretensão monitoradas pelo CLP por meio do identificador de tensão IT1, possibilitando o diagnóstico imediato de anomalias na rede de alimentação.

O autotransformador TR1, instalado abaixo do painel elétrico, é o elemento responsável pela adequação das tensões de entrada de 220 VCA, 380 VCA ou 440 VCA para a tensão de saída requerida pelo torno CNC ROMI C30D.

A interligação entre o painel elétrico e o transformador será realizada pela parte inferior da estrutura, por meio de eletrodutos e prensa-cabos adequados, permitindo uma instalação mais organizada, protegida mecanicamente e de fácil manutenção. Essa configuração reduz a exposição dos condutores, melhora a organização do conjunto e facilita futuras intervenções técnicas, mantendo conformidade com os requisitos de segurança estabelecidos pelas normas NR-10 e NR-12.

Figura 11 - Layout externo do painel elétrico.



Fonte: Os autores (2026).

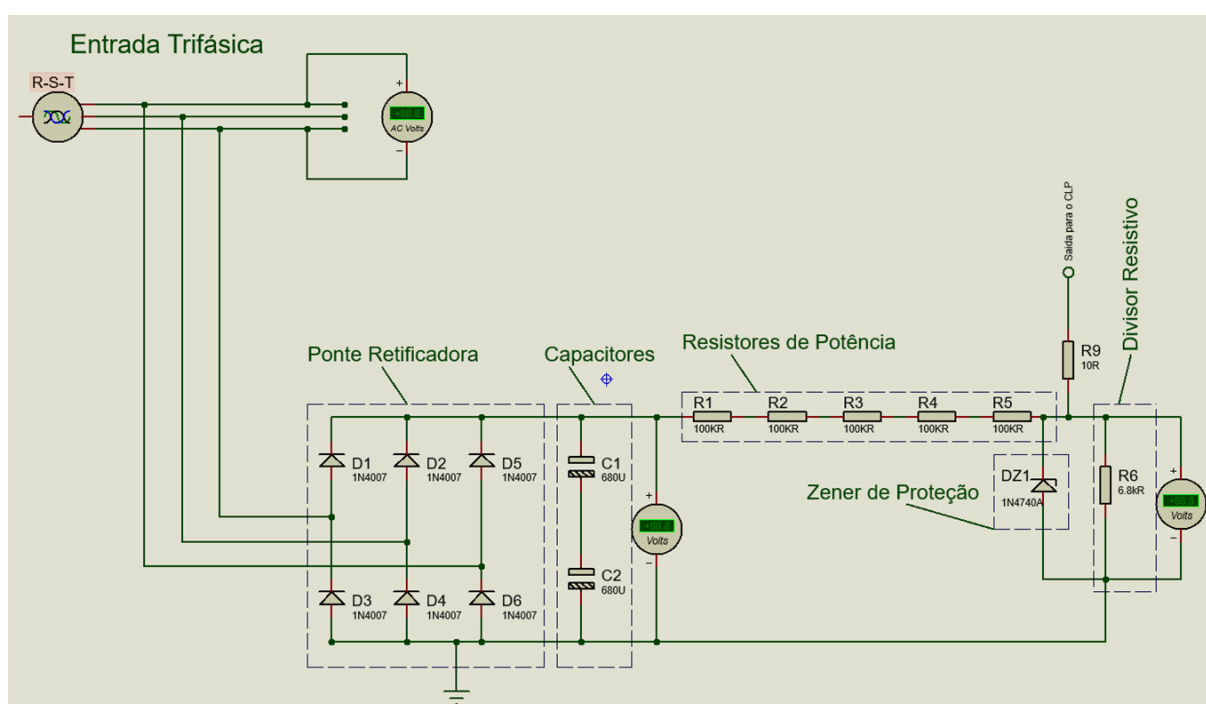
4.7 Sistema de Detecção e Condicionamento de Sinal

Nesta subseção, detalha-se o funcionamento e o dimensionamento do circuito eletrônico responsável por converter as tensões industriais em sinais compatíveis com o Controlador Lógico Programável (CLP).

4.7.1 Arquitetura e Princípio de Operação

O circuito eletrônico que pode ser visto na Figura 12, processa a tensão da rede trifásica para gerar uma referência analógica de 0 a 10 V. O sistema integra diodos para retificação, capacitores para filtragem, resistores de alta potência para redução de amplitude e um diodo Zener para proteção ativa. Sob alimentação, os diodos convertem a tensão alternada em contínua, enquanto o conjunto capacitivo estabiliza o sinal, eliminando oscilações para garantir um referencial linear e limpo aos estágios subsequentes.

Figura 12 - Circuito eletrônico.



Fonte: Os autores (2026).

4.7.2 Especificação dos Componentes e Proteção

A implementação integra componentes selecionados para suportar regimes de alta tensão e baixa corrente. No estágio de retificação, diodos do tipo 1N4007 compõem a ponte retificadora; a especificação desse modelo garante operação com ampla margem de segurança, visto que a entrada analógica do CLP demanda corrente mínima.

Para a filtragem, dois capacitores de 680 µF / 400 V conectados em série estabilizam o sinal, atenuando as oscilações e adequando o circuito aos requisitos de isolamento exigidos. Resistores de alto valor, com potência nominal de 5 W, promovem a queda de tensão principal e dissipam a maior parcela de energia, enquanto um divisor resistivo com potência de 2 W

ajusta a saída para patamares compatíveis com o CLP, o que impede que o sinal ultrapasse o limite de 10 V.

Por fim, um diodo Zener do tipo 1N4740A limita a tensão de saída em 10 V, resguardando a interface analógica contra sobretensões transitórias e picos provenientes da rede elétrica.

4.7.3 Memorial de Cálculo e Grandezas Elétricas

Antes de definir os limiares de detecção, mensurou-se a tensão de pico (V_{pico}) resultante da retificação, aplicando-se a Equação 6.

$$V_{\text{pico}} = V_{\text{rms}} \cdot \sqrt{2} \quad (6)$$

Onde:

V_{pico} - tensão de pico da onda senoidal após a conversão do valor eficaz (V);

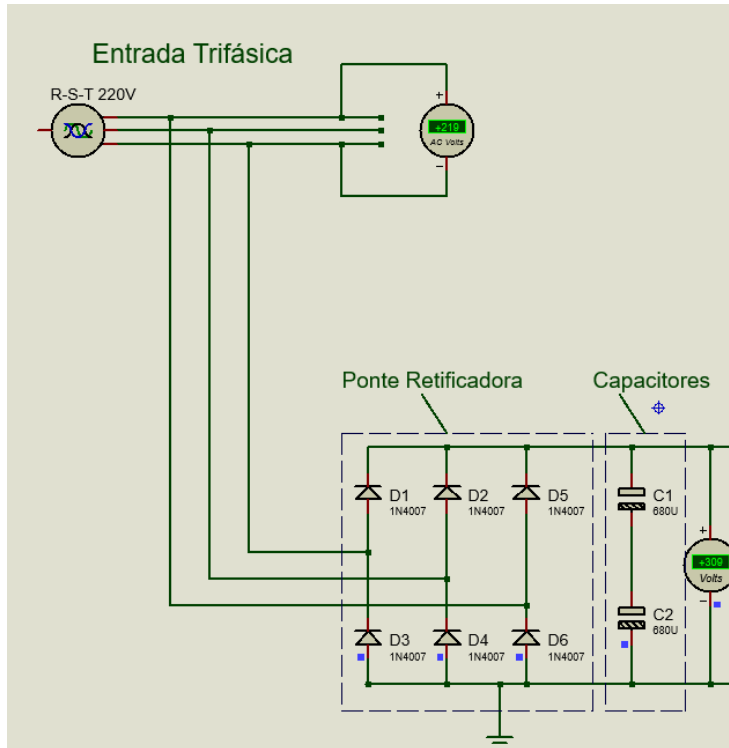
V_{rms} - tensão eficaz (*Root Mean Square*) da rede elétrica, também chamada de tensão nominal (V);

$\sqrt{2}$ - fator de conversão entre tensão eficaz e tensão de pico para uma onda senoidal ($\approx 1,414$).

Considerando as tensões nominais empregadas nas redes elétricas brasileiras, foram obtidos os valores de tensão de pico de 311 V para a rede de 220 V, 537 V para a rede de 380 V e 622 V para a rede de 440 V.

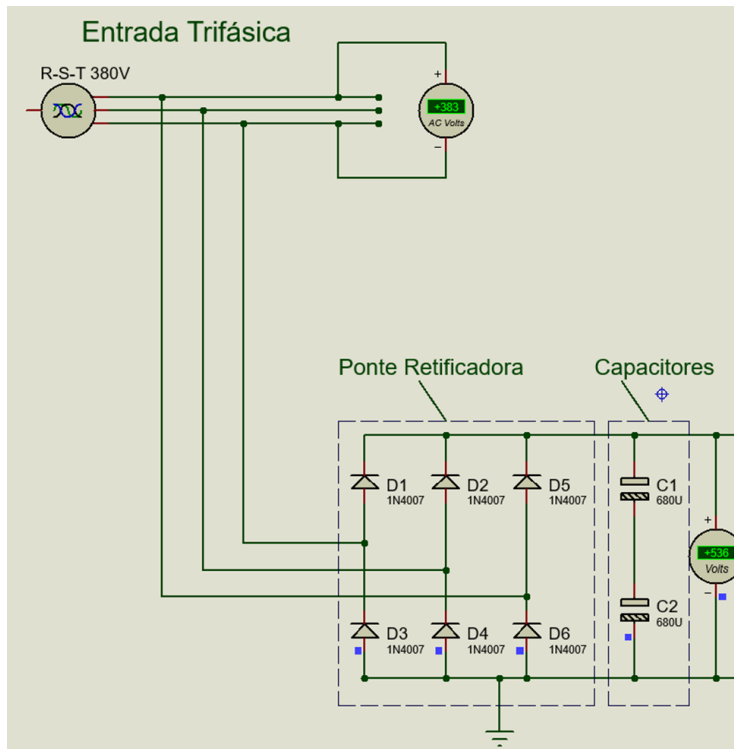
As Figura 13, Figura 14 e Figura 15 validam o memorial de cálculo ao demonstrarem as tensões de pico capturadas no ambiente de simulação Proteus.

Figura 13 - Entrada de 220 V.

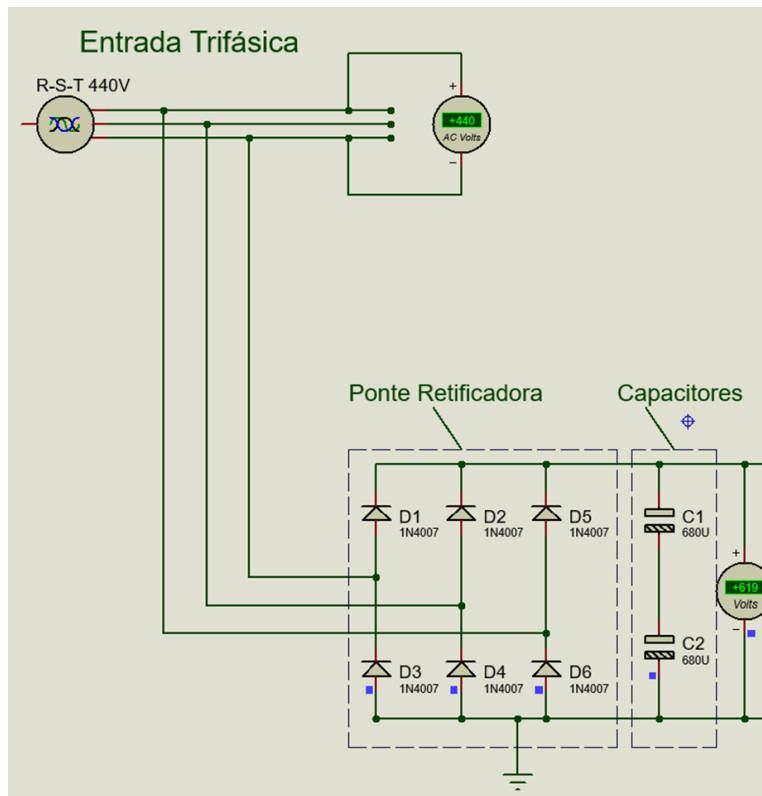


Fonte: Os autores (2026).

Figura 14 - Entrada de 380 V.



Fonte: Os autores (2026).

Figura 15 - Entrada de 440 V.

Fonte: Os autores (2026).

A Tabela 9 compara os valores calculados e simulados, mostrando a exatidão da detecção de tensão no estágio de retificação. Como observado, os desvios calculados permanecem abaixo de 1 %, com um erro máximo de 0,68 % para a rede de 220 VCA e uma precisão ainda superior (0,26 %) na tensão de 380 VCA. Esses dados comprovam a eficácia do circuito de condicionamento de sinal e valida o memorial de cálculo. Consequentemente, a estabilidade desses valores assegura que o CLP interprete informações fidedignas da rede, o que garante a confiabilidade necessária para o acionamento automatizado dos contadores.

Tabela 9 - Comparativo entre os valores de tensão calculados e simulados.

Tensão de Rede (VCA)	Valor Calculado (V)	Valor Simulado (V)	Desvio (%)
220	311,12	309,00	0,68
380	537,40	536,00	0,26
440	622,25	619,00	0,52

Fonte: Os autores (2026).

Para o divisor resistivo, adotaram-se valores comerciais, utilizando cinco resistores de 100 k Ω associados em série, resultando em uma resistência equivalente de $R_{eq} = 500$ k Ω , juntamente com um resistor de carga de $R_6 = 6,8$ k Ω . É utilizado também um diodo zener 1N4740A fixando a tensão máxima em 10 V para proteção.

A tensão de saída (V_{out}) foi determinada por meio da Equação 7.

$$V_{out} = V_{pico} \times \frac{R_6}{R_{eq} + R_6} \quad (7)$$

Onde:

V_{pico} - é a tensão de pico da rede retificada (V);

V_{rms} - é a tensão eficaz da rede (V);

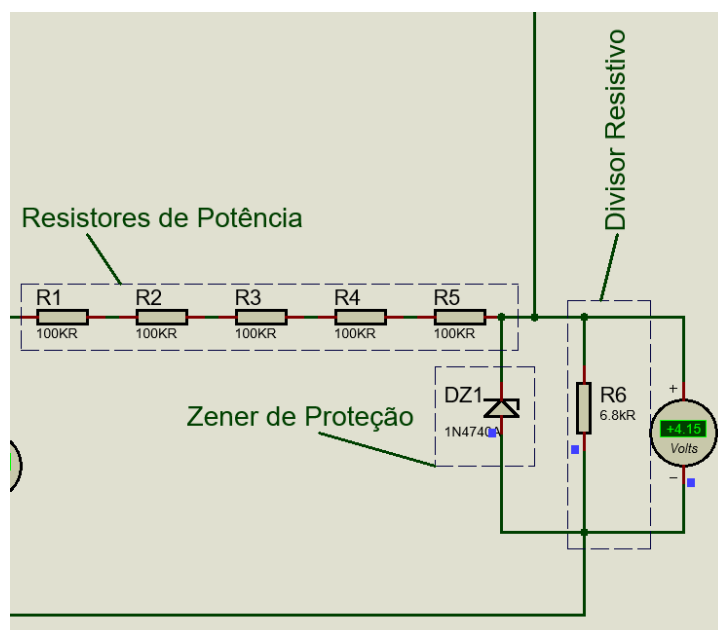
V_{out} - é a tensão de saída do divisor resistivo (V);

R_{eq} - é a resistência equivalente do conjunto de resistores em série (Ω);

R_6 - é a resistência do resistor de saída do divisor de tensão (Ω).

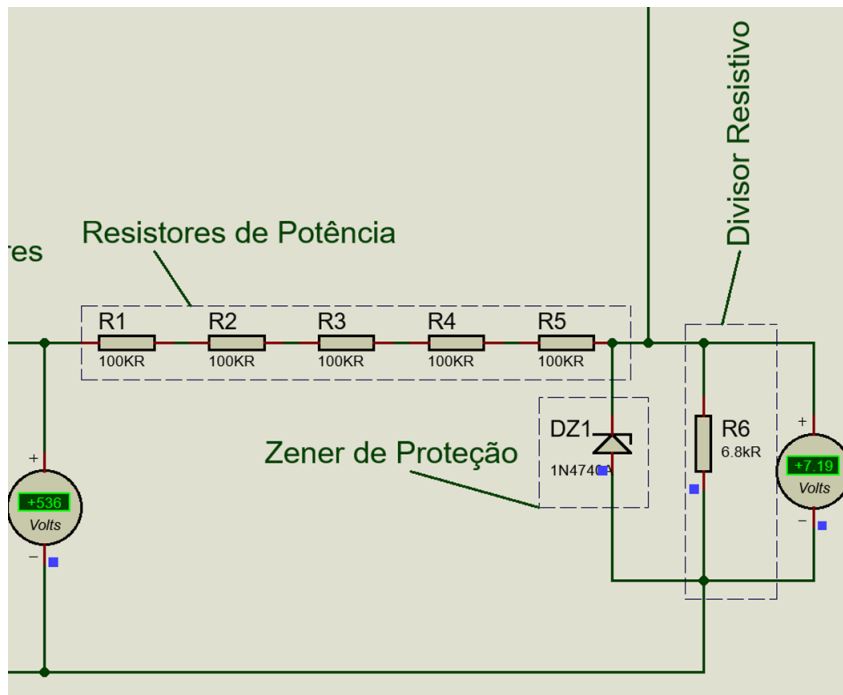
Com base nos cálculos realizados, foram obtidos níveis de referência analógica de 4,17 V, 7,2 V e 8,34 V para tensões de entrada de 220 V, 380 V e 440 V, respectivamente, conforme pode ser visto nas Figura 16, Figura 17 e Figura 18.

Figura 16 - V_{out} para a entrada de 220 V.



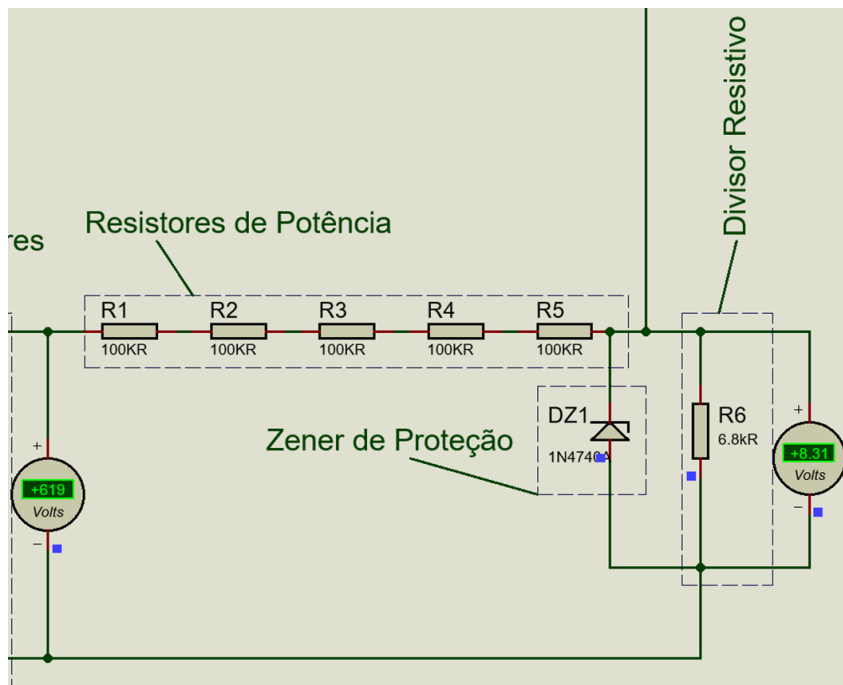
Fonte: Os autores (2026).

Figura 17 - Vout para a entrada de 380 V.



Fonte: Os autores (2026).

Figura 18 - Vout para a entrada de 440 V.



Fonte: Os autores (2026).

A Tabela 10 compara os valores de saída do divisor resistivo, mostrando a precisão do condicionamento de sinal para a interface analógica do CLP. Como observado, os níveis de

tensão simulados nas Figura 16, Figura 17 Figura 18 convergem com os valores calculados estabelecidos na Equação 7, mantendo desvios inferiores a 0,50 %. Essa estabilidade assegura que a amostra de tensão enviada ao controlador represente o mais próximo possível da rede elétrica, o que viabiliza a identificação automática das tensões de 220 V, 380 V e 440 V.

Tabela 10 - Comparação entre tensões calculadas e simuladas no divisor resistivo.

Tensão de Rede (VCA)	Valor Calculado (V)	Valor Simulado (V)	Desvio (%)
220	4,17	4,15	0,48
380	7,21	7,19	0,28
440	8,34	8,31	0,48

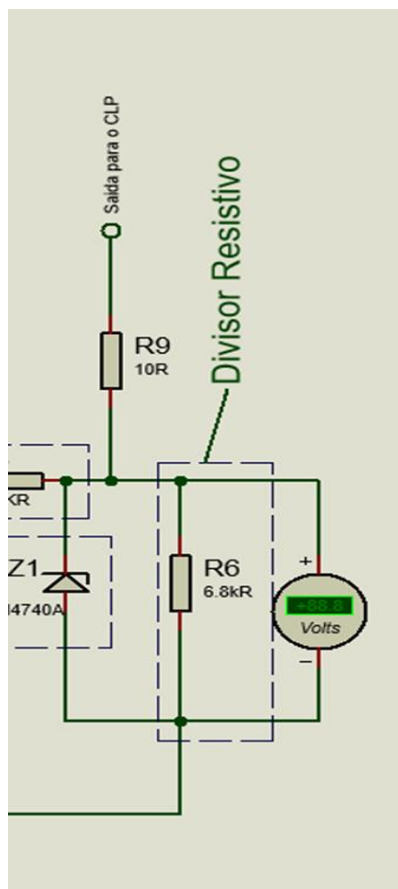
Fonte: Os autores (2026).

4.7.4 Integração com a Lógica de Controle

O CLP interpreta esses valores via entrada analógica e comanda o acionamento do contator correspondente ao padrão detectado. O sistema incorpora um retardo (*delay*) mínimo na lógica de programação para validar a estabilidade da tensão antes de realizar o fechamento das bobinas, o que previne comutações indevidas.

O divisor de tensão resistiva, ponto de onde será retirado a amostra de tensão de 0 a 10 V para referência do CLP pode ser visto na Figura 19.

Figura 19 - Saída do circuito para o CLP.



Fonte: Os autores (2026).

4.8 Desenvolvimento da Lógica de Controle (Ladder)

O controle do sistema foi desenvolvido utilizando o programa Ladder, escolhido por sua facilidade de visualização e semelhança com diagramas elétricos industriais. A programação foi realizada no *software* TIA Portal V18 para gerenciar as decisões do CLP em tempo real. O objetivo principal da lógica consiste em monitorar a tensão da rede por meio do módulo identificador de tensão e acionar o contator adequado, garantindo que o torno CNC receba continuamente uma tensão de saída de 220 V.

Na primeira etapa da programação, o CLP processa o sinal analógico proveniente do módulo IT1. Para isso, foram utilizados os blocos funcionais NORM_X e SCALE_X. O bloco NORM_X é responsável pela normalização do sinal de entrada, enquanto o bloco SCALE_X converte o valor normalizado para uma escala de tensão real compreendida entre 0 V e 529,48 V. A partir dessa conversão, o programa identifica automaticamente se a tensão da rede corresponde a 220 V, 380 V ou 440 V.

A lógica de acionamento foi projetada com foco na segurança operacional do equipamento. Para isso, foram implementados intertravamentos que impedem o acionamento simultâneo de dois contadores, condição que poderia provocar curto-circuito no autotransformador. Adicionalmente, foram empregados temporizadores do tipo TON, garantindo que a comutação ocorra somente após a estabilização da leitura da rede elétrica.

Caso a tensão medida ultrapasse os limites de tolerância estabelecidos de $\pm 7\%$, o sistema interrompe o acionamento das saídas e ativa um alarme de segurança. Dessa forma, evita-se a operação do equipamento sob condições inadequadas de alimentação elétrica, preservando a integridade dos componentes e aumentando a confiabilidade do sistema.

O programa Ladder completo, incluindo todas as *networks* e a lista de variáveis utilizadas no desenvolvimento do projeto, encontra-se apresentado no Apêndice B.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Apresentação Geral dos Resultados

O Sistema Inteligente de Comutação e Proteção de Tensão foi desenvolvido para atender a uma demanda operacional recorrente na indústria brasileira: a necessidade de alimentar máquinas elétricas trifásicas com tensão de saída estável de 220 V, independentemente de a rede local operar em 220 V, 380 V ou 440 V. Essa heterogeneidade tensional, presente em grande parte das instalações industriais nacionais e agravada pela ausência de uma padronização histórica consolidada apenas na década de 1960 (Cachapuz, 2006), expõe os equipamentos a riscos significativos de subtensão e sobretensão. A subtensão pode provocar sobreaquecimento dos equipamentos e redução da vida útil dos sistemas de isolamento, enquanto a sobretensão é capaz de ocasionar ruptura dielétrica imediata e danos severos aos componentes elétricos (Beaty; Fink, 2012).

A validação do sistema estruturou-se em duas frentes complementares, ambas conduzidas em ambiente virtual controlado, conforme metodologia de prototipagem virtual adotada neste trabalho (Gil, 2002). A primeira consistiu na simulação eletrônica do módulo identificador de tensão IT1 no *software* Proteus Design Suite, com análise comparativa entre valores calculados e medidos. A segunda envolveu a realização de ensaios da lógica Ladder no ambiente TIA Portal V18, com verificação das respostas do controlador Siemens LOGO! 8.4 para sete cenários operacionais distintos. Os resultados consolidados dessas duas frentes são apresentados e discutidos nas subseções a seguir.

5.2 Desempenho do Módulo Identificador de Tensão IT1

O módulo identificador IT1 converteu corretamente as três tensões industriais de entrada em sinais analógicos proporcionais dentro da faixa de 0 a 10 V requerida pela entrada analógica do CLP LOGO! 8.4. O circuito, composto por ponte retificadora de onda completa (diodos 1N4007), filtro capacitivo ($2\ \mu\text{F} \times 680\ \mu\text{F} / 400\ \text{V}$ em série) e divisor resistivo ($R_{eq} = 500\ \text{k}\Omega$; $R_6 = 6,8\ \text{k}\Omega$), executou em três estágios sequenciais: retificação, filtragem e condicionamento proporcional, com proteção final por diodo zener 1N4740A limitando a saída em 10 V.

A primeira grandeza verificada foi a tensão de pico resultante da retificação, calculada pela relação encontrada na Equação 6. A Tabela 11 confronta os valores teóricos com os obtidos na simulação Proteus.

Tabela 11 - Comparação entre os valores calculados e simulados da tensão de pico após a retificação.

Tensão de Rede (VCA)	Vpico Calculado (V)	Vpico Simulado (V)	Desvio (%)
220	311,12	309,00	0,68
380	537,40	536,00	0,26
440	622,25	619,00	0,52

Fonte: Os autores (2026).

Os desvios máximos apurados de 0,68 % para 220 VCA, 0,26 % para 380 VCA e 0,52 % para 440 VCA, situam-se muito abaixo do limite de ± 10 % estabelecido pela ABNT NBR 5410 para variações admissíveis na tensão nominal. Esse resultado valida o memorial de cálculo e demonstra que os modelos SPICE3F5 empregados pelo núcleo PRO-SPICE do Proteus reproduzem fielmente o comportamento elétrico dos componentes selecionados (LABSIS Comércio de Equipamentos Educacionais Ltda., 2010).

No estágio de condicionamento, o divisor resistivo produziu tensões de saída proporcionais que constituem as referências analógicas enviadas ao CLP. A Tabela 12 apresenta o confronto entre os níveis calculados pela Equação 7 e os valores efetivamente medidos no ambiente de simulação.

Tabela 12 - Comparação entre os valores calculados e simulados da tensão de saída do divisor resistivo.

Tensão de Rede (VCA)	Vout Calculado (V)	Vout Simulado (V)	Desvio (%)
220	4,17	4,15	0,48
380	7,21	7,19	0,28
440	8,34	8,31	0,48

Fonte: Os autores (2026).

Os níveis obtidos de 4,15 V, 7,19 V e 8,31 V, distribuem-se de forma não uniforme ao longo da faixa de 0 a 10 V do módulo analógico, o que confere separação suficiente entre as três janelas de detecção e minimiza o risco de classificações errôneas decorrentes de ruído ou flutuações transitórias. A diferença entre os pontos centrais das faixas de 220 VCA e 380 VCA é de 3,04 V entre 380 VCA e 440 VCA, de 1,12 V, margem ainda confortável diante dos

desvios observados. A estabilidade dos sinais confirma que o circuito IT1 fornece ao controlador amostras bastante aproximadas da rede elétrica, condição essencial para comutação automatizada confiável.

5.3 Validação da Lógica de Controle Ladder no TIA Portal V18

A lógica Ladder estruturou-se em quatro Networks interdependentes, cada uma responsável por uma função específica dentro do ciclo de varredura do controlador, primeiro aquisição e conversão do sinal analógico, segundo identificação automática da tensão de alimentação, depois acionamento dos contadores com intertravamentos e temporização e por fim supervisão contínua de subtensão e sobretensão.

5.3.1 Network 1 – Conversão do Sinal Analógico

A Network 1 processa o valor bruto lido na entrada analógica %IW5 (tag TENSÃO_DE_ENTRADA) e o converte em grandeza física expressa em volts. O bloco NORM_X normaliza o inteiro de 0 a 27648 bits para a faixa adimensional, segundo a Equação 8:

$$\text{NORM} = \frac{\text{Valor} - \text{MIN}}{\text{MAX} - \text{MIN}} \quad (8)$$

O resultado parcial, armazenado na variável NORM_1 do tipo REAL alimenta o bloco SCALE_X que escala o valor normalizado para a faixa física de 0 a 529,48 V, segundo a Equação 9:

$$\text{Valor} = (\text{NORM} \times (\text{MAX} - \text{MIN})) + \text{MIN} \quad (9)$$

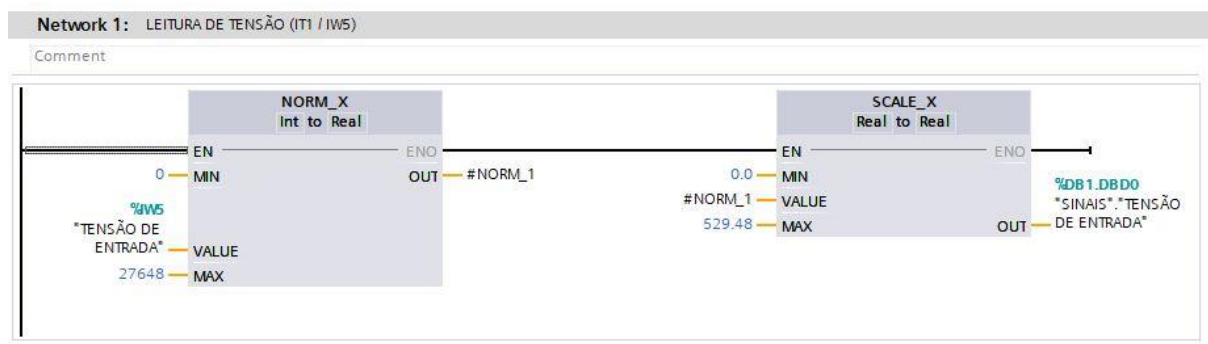
A tensão resultante é gravada no bloco de dados DB1--SINAIS, tornando-se a variável de referência consumida por todas as Networks subsequentes.

A Tabela 13 reúne os valores injetados nas simulações, suas representações digitais em bits, o fator de normalização intermediário e a tensão calculada resultante, demonstrando a consistência matemática da cadeia de processamento e a Figura 20 ilustra a Network 1.

Tabela 13 - Valores processados pela Network 1 durante as simulações.

Condição Simulada	%IW5 (bits)	NORM_1	Tensão (0–10 V) (V)	Tensão Calc. (V)
Sistema desligado	0	0,0000	0,000	0,00
Operação 220 V	11.419	0,4129	4,129	218,63
Operação 380 V	19.873	0,7288	7,188	380,60
Operação 440 V	22.974	0,8309	8,309	440,00
Subtensão	10.000	0,3617	3,617	191,52
Sobretensão	25.000	0,9042	9,042	478,75
Emergência	11.419	0,4129	4,129	218,63

Fonte: Os autores (2026).

Figura 20 - Conversão do sinal analógico utilizando os blocos NORM_X e SCALE_X.

Fonte: Os autores (2026).

A coerência entre os valores calculados e as faixas programadas observada durante as simulações confirma o correto funcionamento da etapa de normalização e escalonamento, base sobre a qual todas as decisões lógicas do sistema são tomadas.

5.3.2 Network 2 – Identificação Automática da Tensão de Alimentação

A identificação automática da tensão operou por comparação contínua entre o valor calculado pela Network 1 e as faixas de operação definidas com tolerância de $\pm 7\%$ sobre os valores nominais, compatível com as especificações do autotransformador trifásico ETNA

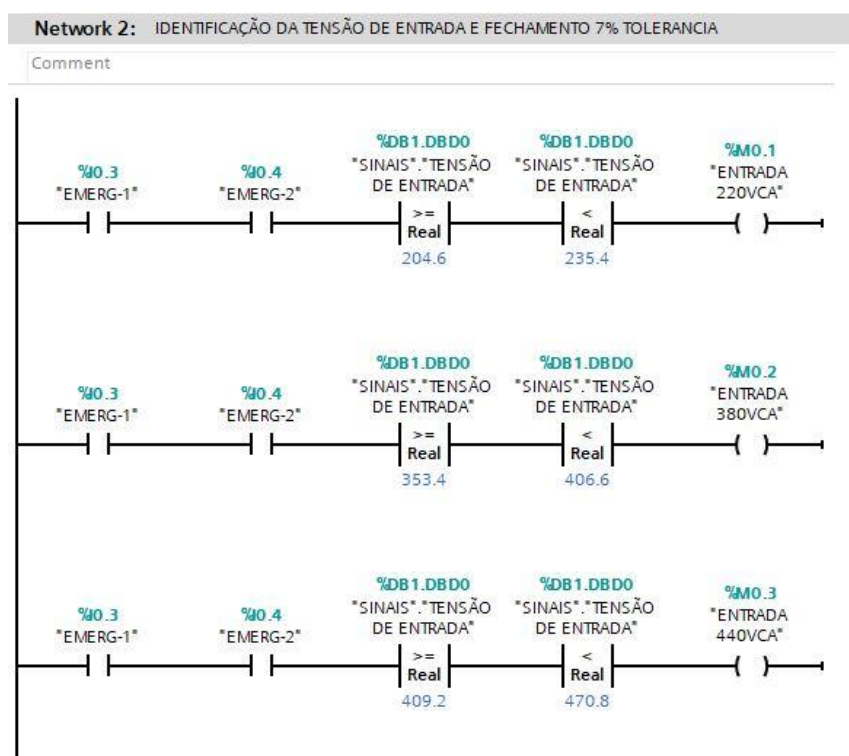
ATF- 20 kVA. Adotou-se a tolerância de $\pm 7\%$ para as faixas de identificação e proteção com o objetivo de elevar o nível de segurança em relação à norma NBR 5410, que permite variações de até $\pm 10\%$. Como o *hardware* IT1 demonstrou alta precisão durante os ensaios, com erro máximo de 0,68 %, foi possível trabalhar com uma margem mais segura. Dessa forma, o sistema interrompe a alimentação antes mesmo de a rede atingir limites críticos, o que preserva a integridade da eletrônica e evita manobras indevidas do autotransformador. A Tabela 14 apresenta os limites programados em bits e em volts e a Figura 21 mostra a lógica de identificação das tensões.

Tabela 14 - Faixas de identificação automática da tensão programadas no CLP.

Faixa	Lim. Inf. (bits)	Lim. Sup. (bits)	Lim. Inf. (V)	Lim. Sup. (V)	Memória
220 V	11.150	11.870	204,6	235,4	%M0.1
380 V	19.250	20.490	353,4	406,6	%M0.2
440 V	22.350	23.590	409,2	470,8	%M0.3

Fonte: Os autores (2026).

Figura 21 - Lógica de identificação das tensões de alimentação.



Fonte: Os autores (2026).

Em todos os cenários de operação normal simulados o sistema identificou corretamente a faixa correspondente à tensão injetada ativando exclusivamente a memória interna associada à condição válida e mantendo as demais desativadas. A lógica comparativa mostrou seletividade plena: nenhuma sobreposição de estados foi registrada entre as três faixas programadas resultado este, consistente com a separação física mínima de 1,12 V entre janelas próximas do sinal analógico de referência. A Tabela 15 mostra os resultados obtidos.

Tabela 15 - Resultados da identificação automática das tensões simuladas.

Tensão Simulada	Faixa Reconhecida	Resultado
220 V	Rede 220 V (%M0.1)	Conforme esperado
380 V	Rede 380 V (%M0.2)	Conforme esperado
440 V	Rede 440 V (%M0.3)	Conforme esperado

Fonte: Os autores (2026).

5.3.3 *Network 3 – Acionamento dos Contatores, Intertravamentos e Temporização*

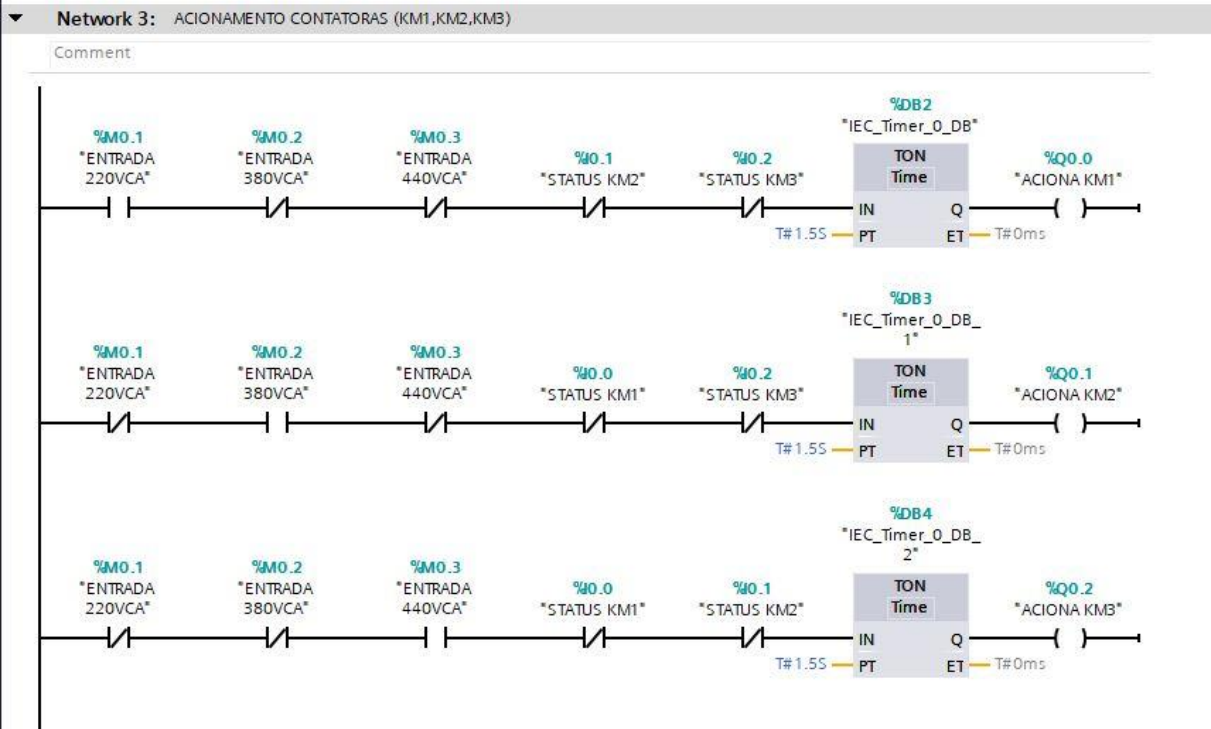
Os ensaios realizados no ambiente TIA Portal V18 comprovaram que o acionamento dos contatores executou a função central de automação com precisão. Por meio das saídas digitais %Q0.0 (KM1), %Q0.1 (KM2) e %Q0.2 (KM3), o CLP energizou a derivação correspondente do autotransformador TR1 de acordo com a rede identificada, garantindo que a alimentação de saída para o torno CNC ROMI C30D permanecesse em 220 V. Conforme observado nos relatórios de monitoramento apresentados no Apêndice C, a lógica de controle validou simultaneamente dois mecanismos de segurança fundamentais o intertravamento lógico e a temporização.

O intertravamento lógico impediu o acionamento simultâneo de dois contatores durante todos os cenários testados (Figura 22). Para que uma bobina, como a KM1, fosse energizada, o programa verificava previamente se as demais (KM2 e KM3) encontravam-se desenergizadas, cruzando essa informação com a realimentação física proveniente das entradas digitais %I0.0, %I0.1 e %I0.2. Essa proteção é essencial, pois a energização simultânea de duas derivações distintas do autotransformador provocaria circulação de corrente entre os enrolamentos, podendo resultar em danos irreversíveis ao equipamento por falha dielétrica (Fitzgerald; Kingsley Junior; Umans, 2006).

Quanto à estabilidade operacional a utilização de temporizadores TON configurados nos Data Blocks DB2, DB3 e DB4, com tempo de retardo ajustado para 1,5 s, garantiu uma

etapa de confirmação antes de cada manobra de comutação. Esse atraso assegurou que o sistema ignorasse oscilações transitórias de tensão e ruídos momentâneos presentes no sinal analógico proveniente do módulo IT1, efetuando a troca de rede somente após a estabilização da grandeza monitorada. Tal abordagem corroborou a adoção das boas práticas de projeto para painéis industriais de baixa tensão, reduzindo significativamente o risco de comutações indevidas que poderiam comprometer a integridade dos circuitos eletrônicos sensíveis do torno CNC.

Figura 22 - Lógica de acionamento dos contadores com intertravamento e temporização.



Fonte: Os autores (2026).

Os ensaios demonstraram que apenas o contator correspondente à faixa identificada é energizado após a confirmação pelo temporizador. A Tabela 16 ilustra os resultados.

Tabela 16 - Resultados do acionamento automático dos contadores.

Tensão Identificada	Contator Acionado	Resultado
220 V	KM1 (%Q0.0)	Conforme esperado
380 V	KM2 (%Q0.1)	Conforme esperado
440 V	KM3 (%Q0.2)	Conforme esperado

Fonte: Os autores (2026).

5.3.4 Network 4 – Supervisão de Subtensão e Sobretensão

A Network 4 (Figura 23) realizou o monitoramento contínuo da alimentação elétrica confrontando a tensão calculada com os limites de tolerância de $\pm 7\%$ para cada nível nominal. Durante os ensaios de falha observou-se que o programa bloqueou imediatamente todas as saídas de acionamento sempre que a tensão ultrapassou esses limites seja por subtensão ou sobretensão. Nessas condições o CLP energizou a saída digital %Q0.3 (tag SUB/SOBRETENSÃO), o que ativou o sinalizador amarelo H7 no painel externo, garantindo o alerta visual da irregularidade.

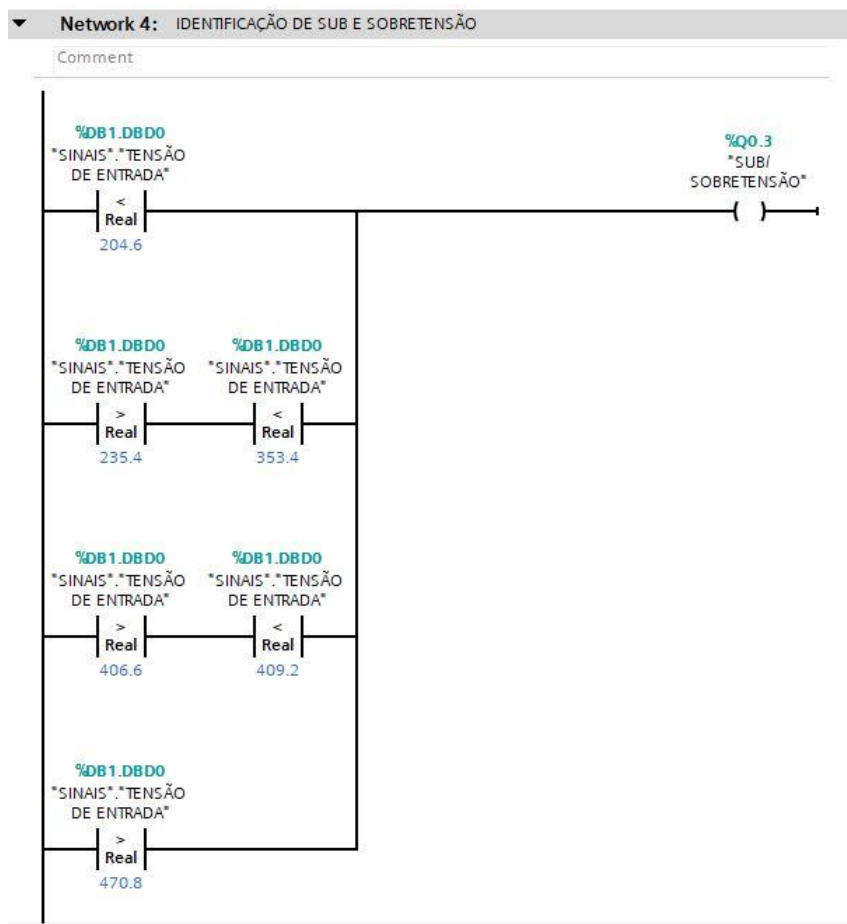
Conforme os dados apresentados na Tabela 17 o sistema manteve o rigor nos critérios de disparo em todos os cenários simulados.

Tabela 17 - Condições de alarme e limites de disparo implementados na Network 4.

Condição	Critério de Disparo	Saída Ativada
Subtensão 220 V	Tensão < 204,6 V	%Q0.3
Sobretensão 220 V	Tensão > 235,4 V	%Q0.3
Subtensão 380 V	Tensão < 353,4 V	%Q0.3
Sobretensão 380 V	Tensão > 406,6 V	%Q0.3
Subtensão 440 V	Tensão < 409,2 V	%Q0.3
Sobretensão 440 V	Tensão > 470,8 V	%Q0.3

Fonte: Os autores (2026).

Figura 23 - Lógica da supervisão de subtensão e sobretensão.



Fonte: Os autores (2026).

Os ensaios de subtensão (191,52 V; %IW5 = 10.000 bits) e de sobretensão (478,75 V; %IW5 = 25.000 bits) confirmaram a atuação correta do mecanismo: em ambas as situações, o sistema bloqueou automaticamente os comandos de saída e ativou a sinalização de alarme, sem que nenhum contator fosse energizado. Esse comportamento protege o autotransformador e o torno CNC contra operação em condições inadequadas de alimentação, prevenindo, em particular, o superaquecimento por subtensão descrito por (Beaty; Fink, 2012) , o qual reduz à metade a vida útil do isolamento para cada 10 °C acima do limite de projeto.

5.4 Validação da Condição de Emergência e Intertravamentos

A condição de emergência foi simulada com o valor de %IW5 correspondente à operação nominal em 220 V (11419 bits) com o botão de emergência EME1 acionado. O sistema monitorou redundantemente as entradas %I0.3 (EMERG-1) e %I0.4 (EMERG-2). O acionamento do botão bloqueou imediatamente todas as saídas digitais interrompendo a operação do sistema independentemente da tensão de alimentação detectada.

Os intertravamentos entre contadores demonstrou funcionamento pleno em todos os cenários testados. A Tabela 18 consolida os resultados dos ensaios.

Tabela 18 - Verificação do intertravamento e proteção por subtensão e sobretensão.

Condição Avaliada	Resultado
KM1 acionada → KM2 e KM3	KM2 e KM3 permaneceram bloqueadas
KM2 acionada → KM1 e KM3	KM1 e KM3 permaneceram bloqueadas
KM3 acionada → KM1 e KM2	KM1 e KM2 permaneceram bloqueadas
Subtensão (191,52 V)	Todos os acionamentos bloqueados; alarme ativo
Sobretensão (478,75 V)	Todos os acionamentos bloqueados; alarme ativo

Fonte: Os autores (2026).

A verificação dos intertravamentos revela que o sistema elimina por *software* a possibilidade de curto-circuito entre derivações do autotransformador condição equivalente a conectar duas fontes em tensões diferentes sobre o mesmo barramento, situação de alto risco descrita por (Fitzgerald; Kingsley Junior; Umans, 2006).

5.5 Discussão dos Resultados

O conjunto de ensaios realizados mostrou que todas as funcionalidades previstas no projeto foram executadas conforme esperado em ambiente virtual. A Tabela 19 apresenta o resumo geral dos resultados.

Tabela 19 - Resumo dos ensaios realizados e validação dos resultados.

Ensaio Realizado	Resultado
Identificação da rede 220 V	Conforme esperado na simulação
Identificação da rede 380 V	Conforme esperado na simulação
Identificação da rede 440 V	Conforme esperado na simulação
Acionamento KM1 (220 V)	Conforme esperado na simulação
Acionamento KM2 (380 V)	Conforme esperado na simulação
Acionamento KM3 (440 V)	Conforme esperado na simulação
Intertravamentos lógicos	Conforme esperado na simulação
Subtensão (191,52 V)	Conforme esperado na simulação
Sobretensão (478,75 V)	Conforme esperado na simulação
Condição de emergência	Conforme esperado na simulação

Fonte: Os autores (2026).

Os resultados demonstraram que a solução proposta atende ao objetivo geral do projeto garantir alimentação contínua e segura de 220 V ao painel da máquina independentemente da tensão de entrada disponível. Do ponto de vista técnico dois pontos merecem destaque na discussão.

Primeiro o circuito IT1 revelou-se uma solução de condicionamento de sinal de custo reduzido e precisão adequada para aplicações industriais de automação desvios inferiores a 0,68 % nos valores de referência analógica garantem que o controlador opere sobre uma representação fiel da rede sem necessidade de módulos de medição de tensão comerciais dedicados, cujos custos são significativamente superior (Kumbhar *et al.*, 2023).

Segundo a arquitetura de controle em quatro Networks mostrou ser um padrão modular que facilita futuras expansões como a incorporação de comunicação MQTT ou OPC UA para supervisão em nuvem tendência identificada no estado da arte por Fabrício, Behrens e Bianchini (Fabrício; Behrens; Bianchini, 2020) e Kumbhar et al. (Kumbhar *et al.*, 2023), como vetor de redução de tempo de inatividade de até 40 % em ambientes de Indústria 4.0.

No entanto cabe pontuar as limitações metodológicas desta validação os modelos SPICE utilizados são idealizados e não capturam efeitos térmicos em regime contínuo, interferências eletromagnéticas (EMI) nem transitórios de partida do torno CNC ROMI C30D. Conforme explicitado na Tabela 14 tais pontos deverão ser avaliados durante a prototipagem física recomendada como trabalho futuro. Por fim a abordagem de protótipo virtual adotada é amplamente aceita na engenharia de sistemas elétricos industriais como etapa de validação de conceito (Gil, 2002; Gavira, 2003), e os resultados obtidos fornecem embasamento sólido para a posterior fabricação do protótipo.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho propôs e desenvolveu um Sistema Inteligente de Comutação e Proteção de Tensão destinado à alimentação segura de máquinas elétricas em ambientes industriais com redes elétricas de 220 V, 380 V ou 440 V. O problema central que motivou o projeto a ausência de um mecanismo automatizado capaz de identificar a tensão disponível e entregar ao equipamento uma saída estabilizada e invariável de 220 V, foi endereçado por meio de uma solução integrada que combina circuito analógico de condicionamento de sinal, autotransformador trifásico de 20 kVA e lógica de controle programável via CLP Siemens LOGO!.

Todos os objetivos estabelecidos foram alcançados. O autotransformador trifásico TR1, dimensionado com entradas em 220 V, 380 V e 440 V e saída única em 220 V, atende à demanda de potência aparente calculada de 19,8 kVA. O módulo identificador IT1, simulado no Proteus Design Suite, demonstrou desvios máximos de 0,68 % para a rede de 220 V, de 0,26 % para 380 V e de 0,52 % para 440 % em relação aos valores calculados todos muito inferiores ao limite de 10 % admitido pela ABNT NBR 5410. Esses desvios garantem ao controlador uma representação analógica mais próxima da rede, dispensando módulos de medição comerciais de custo elevado.

A lógica Ladder desenvolvida e validada no TIA Portal V18 estruturou-se em quatro Networks interdependentes. A Network 1 realizou a conversão e normalização do sinal analógico. A Network 2 identificou automaticamente a faixa de tensão ativa, ativando exclusivamente a memória interna correspondente sem sobreposição de estados entre as três janelas programadas. A Network 3 acionou os contatores KM1, KM2 e KM3, impondo intertravamento lógico cruzado, para que qualquer bobina fosse energizada confirmava-se previamente a desenergização das demais, eliminando por *software* o risco de circulação de corrente entre derivações distintas do transformador. Os temporizadores TON com retardo de 1,5 s, implementados nos Data Blocks DB2, DB3 e DB4, asseguraram estabilidade da comutação diante de oscilações transitórias. Por fim, a Network 4 supervisionou continuamente os limites de subtensão e sobretensão ao simular 191,52 V o sistema bloqueou todos os acionamentos e ativou o alarme, o mesmo comportamento se reproduziu ao simular 478,75 V. Todos os ensaios produziram resultado conforme o esperado.

Os resultados validam que a solução proposta é tecnicamente viável e atende ao objetivo geral do projeto, garantir alimentação contínua de 220 V ao painel da máquina independentemente da tensão de entrada disponível. A arquitetura modular em quatro Networks

também se mostrou favorável a expansões futuras, como a incorporação de comunicação MQTT ou OPC UA para supervisão remota integrada a ambientes de Indústria 4.0.

Reconhece-se, contudo, a principal limitação do estudo, toda a validação foi conduzida em ambiente de simulação. Os modelos SPICE do Proteus são idealizados e não reproduzem efeitos térmicos em regime contínuo, interferências eletromagnéticas nem os transitórios de partida característicos do torno CNC ROMI C30D. Esses fenômenos só poderão ser avaliados adequadamente após a fabricação do protótipo físico.

Para projetos futuros recomenda-se, primeiramente a construção do painel físico e a realização de ensaios experimentais nas três tensões de rede com medições de temperatura nos componentes de potência e testes de compatibilidade eletromagnética. Em segundo lugar, sugere-se a integração do CLP com protocolos de comunicação industrial (MQTT ou OPC UA) para supervisão em nuvem e registro de histórico de eventos.

Sugere-se também incorporar Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS) de Classe I e II na entrada de alimentação principal do painel. Embora o projeto utilize varistores (MOV) e diodos TVS para resguardar os circuitos internos, a transição para um ambiente industrial real exige proteções robustas contra descargas atmosféricas ou surtos de manobra. Realizar ensaios de imunidade a surtos no protótipo físico permitirá medir a eficácia dessas defesas, garantindo que tanto a eletrônica quanto o CLP permaneçam operacionais mesmo sob anomalias severas da rede elétrica.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASWIN,S; JAGADESH.P; S.P, keerthi; ..P, kesava; ..I, B. Automatic Switching of Three Phase Induction Motor during Fault Condition. **International Journal of Engineering and Advanced Technology**, [S.l.], v. 9, ago. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.35940/ijeat.F1580.089620>.

BEATY, H. W.; FINK, D. G. **Standard Handbook for Electrical Engineers**. [S.l.]: McGraw-Hill Professional Publishing, 2012.

BOYLESTAD, R. L.; NASHELSKY, L. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos**. 11. ed. São Paulo: Pearson Universidades, 2013.

CACHAPUZ, P. B. de B. **Panorama do setor de energia elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro: Centro da Memória da Eletricidade no Brasil, 2006. 812 p.

CHAPMAN, S. J.; LASCHUK, A. **Fundamentos de Máquinas Elétricas**. Brazil: AMGH, 2013.

ÇOLAK, İ.; ÇELİK, H.; SEFA, İ.; DEMIRBAŞ, Ş. On line protection systems for induction motors. **Energy Conversion and Management**, [S.l.], v. 46, n. 17, p. 2773–2786, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2005.01.008>.

COMISIÓN DE INTEGRACIÓN ENERGÉTICA REGIONAL. **Interconexiones Internacionales: Situación e intercambios de energía eléctrica América del Sur y América Central: Situación de las interconexiones eléctricas y gasíferas en América del Sur y América Central (2024). Intercambios anuales de energía eléctrica (2013 al 2023)**. Montevideo: Comisión de Integración Energética Regional (CIER), 2024. Disponível em: <https://www.cier.org>. Acesso em: 1 jun. 2026.

CREDER, H. **Instalações Elétricas**. Brazil: LTC, 2021.

FABRÍCIO, M. A.; BEHRENS, F. H.; BIANCHINI, D. Monitoring of Industrial Electrical Equipment using IoT. **IEEE Latin America Transactions**, [S.l.], v. 18, n. 8, p. 1425–1432, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TLA.2020.9111678>.

FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY JUNIOR, C.; UMANS, S. D. **Máquinas elétricas: com introdução à eletrônica de potência**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

FLOYD, T. L. **Sistemas digitais: fundamentos e aplicações**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.

GAVIRA, M. de O. **Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento**. 2003. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. .

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GISCHEL, B. **EPLAN Electric P8 Reference Handbook**. 4. ed. Munich: Carl Hanser Verlag, 2016.

HOROWITZ, P.; HILL, W. **The art of electronics**. 3. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2015.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60038: IEC standard voltages**. 7.1. [S. l.]: IEC, 2021.

KUMBHAR, A.; JADHAV, S. S.; KADAM, K. J.; PATIL, A. P.; SAKURDE, H. R. Adaptive and Smart Starter for 3 Phase Induction Motor. **International Journal of Engineering Research & Technology**, [S.l.], v. 12, n. 5, maio 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18335206>.

LABSIS COMÉRCIO DE EQUIPAMENTOS EDUCACIONAIS LTDA. **Treinamento de PROTEUS VSM**. [S.l.]: LABSIS Comércio de Equipamentos Educacionais Ltda., nov. 2010.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MALVINO, A.; BATES, D. J. **Eletrônica**. Tradutor: Antonio Pertence Junior. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

NEVES, A. B. F. **Análise dos efeitos do desequilíbrio e da distorção harmônica de tensão no conjugado e no rendimento de um Motor de Indução Trifásico**. [S.l.]: [S.n.], dez. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.26512/2014.10.D.17461>.

OTT, H. W. **Electromagnetic compatibility engineering**. Hoboken: Wiley, 2009.

SEDRA, A. S.; SMITH, K. C. **Microeletrônica**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do Trabalho Científico**. 1. ed. São Paulo: Cortez, 2013.

SIEMENS BRASIL. Nova versão da plataforma de engenharia TIA Portal V18. 2023. Disponível em: <https://press.siemens.com/br/pt/comunicadodeimprensa/nova-versao-da-plataforma-de-engenharia-tia-portal-v18>. Acesso em: 1 jun. 2026.

SPATTI, D. H.; SILVA, I. N.; USIDA, W. F.; FLAUZINO, R. A. Regulação automática de tensão em transformadores de subestação de distribuição usando implementação fuzzy. **SBA Controle & Automação**, [S.l.], v. 22, p. 169–183, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-17592011000200006>.

APÊNDICE A – DIAGRAMA ELÉTRICO

[illegible]

PROIBIDA A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE DESENHO, BEM COMO SUA UTILIZAÇÃO PARA OUTROS FINS SEM A PRÉVIA AUTORIZAÇÃO DE ACORDO COM A LEI 9968/73 - ART. 25

NOTAS

1. TENSÃO DE ALIMENTAÇÃO 440VAC+N+PE / 3Φ / 60Hz / 26,24A.

2. TENSÃO DE ALIMENTAÇÃO 380VAC+N+PE / 3Φ / 60Hz / 30,38A.

3. TENSÃO DE ALIMENTAÇÃO 380VAC+N+PE / 3Φ / 60Hz / 52,49A.

4. TODAS AS MEDIDAS DESTE DOCUMENTO ESTÃO EM MILÍMETROS (mm).

5. TENSÃO DE COMANDO EM 24VCC+PE (EBT - EXTRA BAIXA TENSÃO).

6. NÃO UTILIZAR O EQUIPAMENTO COM O PAINEL ABERTO DENTRO DE ÁREA CLASSIFICADA!.

CUIDADOS NA INSTALAÇÃO

1. DESLIGAR A ALIMENTAÇÃO PARA INSTALAÇÃO E MANUTENÇÃO DO EQUIPAMENTO.

2. TODO O EQUIPAMENTO DEVE SER DEVIDAMENTE ATERADO (COMPONENTES ELÉTRICOS E CARÇA).

3. ANTES DA INSTALAÇÃO VERIFICAR SE A TENSÃO DO EQUIPAMENTO É A MESMA DA REDE.

4. AS CONEXÕES ELÉTRICAS DEVEM SER FEITAS DE FORMA CORRETA, E REAPERTADAS EM MANUTENÇÃO.

5. O CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO DO EQUIPAMENTO DEVE SER INDEPENDENTE E PROTEGIDO.

1

H

G

F

E

D

C

B

A

07/05/2026

CE

CERTIFICADO

WESLEY

LUCAS

MAURO

WESLEY

PROJETO

EXECUÇÃO

VERIFICAÇÃO

EMISSÃO

PROFÓTIPO

Fatec

Requisita

For Power System

CPS

Center for Power Systems

ROMI

ROMI

ORDEN DE FABRICAÇÃO:
OP994610

LAYOUT ELÉTRICO Nº:
E706524

LAYOUT ELÉTRICO FABRICANTE Nº:
ROMI-2022039201

ANO DE FABRICAÇÃO¹:
2016

NÍVEL DE STABILIZ
OSTENSIVO

VERIFICADOR / APROVADOR (CLIENTE):
NÃO INFORMADO

ARQUIVO Nº:
OP994610-ROMI.PDF

TÍTULO:
ADEQUAÇÃO AO TORNO ROMI C30D

CLIENTE:
Industrias Romi SA

DESCRIÇÕES:
PAINEL DE transformação

NOTAS
AGUARDANDO APROVAÇÃO

ESCALA:
1:1

NÚMERO INTERNO:
OP994610

NÚMERO CLIENTE:
NÃO INFORMADO

LOCALIZAÇÃO E
CÓDIGO DO PAINEL ELÉTRICO:
= UM
+ POT1

REVISÃO:
2 de 18

REVISÃO:
A

FORMATO:
A3

PROIBIDA A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE DESENHO, BEM COMO SUA UTILIZAÇÃO PARA OUTROS FINS SEM A PRÉVIA AUTORIZAÇÃO. DE ACORDO COM A LEI 5998/73 - ART.25

Visão geral de símbolos

SÍMBOLOS WP

Nome abreviado	Descrição
FS3	Interruptor com fusível, tripolar
Variantes	
KA	Contator Tripolar
Variantes	
TR(3E/1S)	Transformador trifásico, conexão estrela / estrela
Variantes	

H

G

F

E

D

C

B

A

Revisão

DATA

PROPÓSITO

DESCRIÇÃO

PROJETO

EXECUÇÃO

VERIFICAÇÃO

EMISSÃO

PROPÓSITO

Fatec

Escola Técnica Federal de São Paulo

CPS

Centro de Projetos Sociais

ROMI

Industrias Romi SA

ORDEN DE FABRICAÇÃO:
0P994610

LAYOUT ELÉTRICO Nº:
67865134

LAYOUT ELÉTRICO FABRICANTE Nº:
ROMI-36239303

ANO DE FABRICAÇÃO:
2026

NÍVEL DE SIGILO:
CONFIDENCIAL

VERIFICADOR / APROVADOR (CLIENTE):
NÃO INFORMADO

ARQUIVO Nº:
0P994610-ROMI.PDF

TÍTULO:
ADEQUAÇÃO AO TORNO ROMI C30D

CLIENTE:
Industrias Romi SA

DESCRIÇÕES:
PAINEL DE transformação
VISÃO GERAL DE SÍMBOLOS
AGUARDANDO APROVAÇÃO

ESCALA:
1:1

NÚMERO INTERNO:
0P994610
NÚMERO CLIENTE:
NÃO INFORMADO

FOLHA:
4.ª de 18

REVISÃO:
A

FORMATO:
A3

LOCALIZAÇÃO E
CÓDIGO DO PAINEL ELÉTRICO:
= UH
+ PDT1

DEFINIÇÃO DE FIOS E CABOS	
TENSÃO PRIMÁRIA/SECUNDÁRIA	BITOLAS GERAIS (16,0mm ²) (6,0mm ²) (4,0mm ²)
■ PRETO - BLACK	BK
24VCC(+)	(1,0mm ²)
■ AZUL ESCURO - BLUE	BU
0VCC(-)	(1,0mm ²)
■ CINZA - GRAY	GY
SINAL ANALÓGICO	(1,0mm ²)
■ BRANCO - WHITE	WH
ATERRAMENTO (GND)	(16,0mm ²)
■ VERDE E AMARELO-GREEN YELLOW	GN/YE
RETÂNGULO COM LINHA PONTILHADA (LARANJA-ORANGE) • Ligação Externa Do Painel Elétrico • Para Outro Painel Elétrico	

F1 - Seccionador (F1)
TR - Autotransformador Trifásico (TR1)
KM - Contador De Potência (KM1 ... KM3)
DJ - Minidisjuntor Termomagnético
 ☐ DJ3 - Minidisjuntor Tripolar (DJ3.1 ... DJ3.3)
 ☐ DJ2 - Minidisjuntor Bipolar ()
 ☐ DJ1 - Minidisjuntor Monopolar (DJ1.1)
FO - Fonte Chaveada (FO1)

CLP - Controlador Lógico Programável (CLP1)
H - Sinalização Externa (H1 ... H6)
X - Régua De conectores (X1 ... X2)

TAGs Dos Componentes

PSH1

- Número Do Componente
- TAG Raiz Do Componente

Referência Cruzada

(10/D-4)

- Número Da Linha
- Letra De Coluna
- Número Da Página

Lista De Peças

PC 1

- Número Da Peça
- Peça

Identificação Da Fiação / Conectores / Cabos

Identificação Da Fiação Terminal Ilhós

Identificação Da Fiação

DI-2 / [PSH1-NF:2]

- Parênteses () - Presente No Painel
- Colchetes [] - Presentes Externamente No Painel
- Identificação Do Componente De Saída
- Identificação Do Componente De Chegada

W2 : 3X10mm²

- Bitola Do Cabo
- Quantidade De Vias
- Número Do Cabo

6

[illegible]

PROIBIDA A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE DESENHO, SEM COMO SUA UTILIZAÇÃO PARA OUTROS FINS SEM A PRÉVIA AUTORIZAÇÃO, DE ACORDO COM A LEI 5998/73 - ART. 25

Diagrama CLP

DIAGRAMA CLP WP

Designação do CLP =UH+PDT1-CLP1

CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVELLOGO 6ED1052-2MD08-0BA2

Endereço	Endereço simbólico	Conector	Alvo	Texto de Função	Posicionamento	Fiação	
I0.0	DI1	X10-DI1	-KM1	STATUS CONTATOR KM1 (220VCA)	(11/3-D)	Azul	
I0.1	DI2	X10-DI2	-KM2	STATUS CONTATOR KM2 (380VCA)	(11/4-D)	Azul	
I0.2	DI3	X10-DI3	-KM3	STATUS CONTATOR KM3 (440VCA)	(11/5-D)	Azul	
I0.3	DI4	X10-DI4	-EME1	INDICAÇÃO DE BOTÃO DE EMERGÊNCIA 1 (EME/KS1)	(11/6-D)	Azul	
I0.4	DI5	X10-DI5	-EME1	INDICAÇÃO DE BOTÃO DE EMERGÊNCIA 2 (EME/KS1)	(11/7-D)	Azul	
I0.5	DI6	X10-DI6		STATUS MOTOR PMS SISTEMA OFFLINE (KM4/POS-08)	(11/8-D)		
I0.6	DI7	X10-DI7		FALHA MOTOR PM1 BOMBA EM TESTE (INV1/POS-58)	(11/9-D)		
IW5	AI8	X10-DI8	-IT1-A0+	LEITURA DE 0-10V TENSÃO DE ENTRADA 220/380/440VCA	(11/10-D)	Branco	
	L+	X10-L+	-X2	ALIMENTAÇÃO 24VCC	(12/3-C)	Azul	
	M	X10-M	-X2	ALIMENTAÇÃO 0VCC	(12/4-C)	Cinza	
	DQ1.1	X10-Q1.1	-FO1;-CLP1	ALIMENTAÇÃO 24VCC	(12/3-B)	Azul;Azul	
	Q0.0	DQ1.2	X10-Q1.2	-KM1	ACIONAMENTO CONTATOR KM1 LIGAÇÃO 220VCA	(12/3-B)	Azul
		DQ2.1	X10-Q2.1	-CLP1;-CLP1	ALIMENTAÇÃO 24VCC	(12/4-B)	Azul;Azul
	Q0.1	DQ2.2	X10-Q2.2	-KM2	ACIONAMENTO CONTATOR KM2 LIGAÇÃO 380VCA	(12/5-B)	Azul
		DQ3.1	X10-Q3.1	-CLP1;-CLP1	ALIMENTAÇÃO 24VCC	(12/6-B)	Azul;Azul
	Q0.2	DQ3.2	X10-Q3.2	-KM3	ACIONAMENTO CONTATOR KM3 LIGAÇÃO 380VCA	(12/7-B)	Azul
		DQ4.1	X10-Q4.1	-CLP1;-KM1	ALIMENTAÇÃO 24VCC	(12/8-B)	Azul;Azul
	Q0.3	DQ4.2	X10-Q4.2	-X2	SUBTENSÃO SOBRETENSÃO DE ENTRADA	(12/9-B)	

13

15

H

G

F

E

D

C

B

07/05/2024

CE

CERTIFICADO

WESLEY

LUCAS

MAURO

WESLEY

Revisão

DATA

PROPÓSITO

DESCRIÇÃO

PROJETO

EXECUÇÃO

VERIFICAÇÃO

EMISSÃO

PROPÓSITO

LOGOTIPOS

Fatec

Brasão

Unicamp/Fatec

CPS

Centro

Paulista São Carlos

ROMI

ORDEN DE FABRICAÇÃO:
0994610

LAYOUT ELÉTRICO N°:
07885134

LAYOUT ELÉTRICO FABRICANTE N°:
ROMI-2023052025

ANO DE FABRICAÇÃO:
2025

NÍVEL DE SIGILO:
OSTENSIVO

VERIFICADOR / APROVADOR (CLIENTE):
NÃO INFORMADO

ARQUIVO N°:
0994610-ROMI.PDF

TÍTULO:
ADEQUAÇÃO AO TORNO ROMI C30D

CLIENTE:
Indústria Romi SA

DESCRIÇÕES:
PAINEL DE transformação
DIAGRAMA DO CLP
AGUARDANDO APROVAÇÃO

ESCALA:
1:1

NÚMERO INTERNO:
0994610

NÚMERO CLIENTE:
NÃO INFORMADO

FOLHA:
14 de 18

REVISÃO:
A

FORMATO:
A3

LOCALIZAÇÃO E
CÓDIGO DO PAINEL ELÉTRICO:
= UH
+ PDT1

DIAGRAMA DE CONECTORES WP

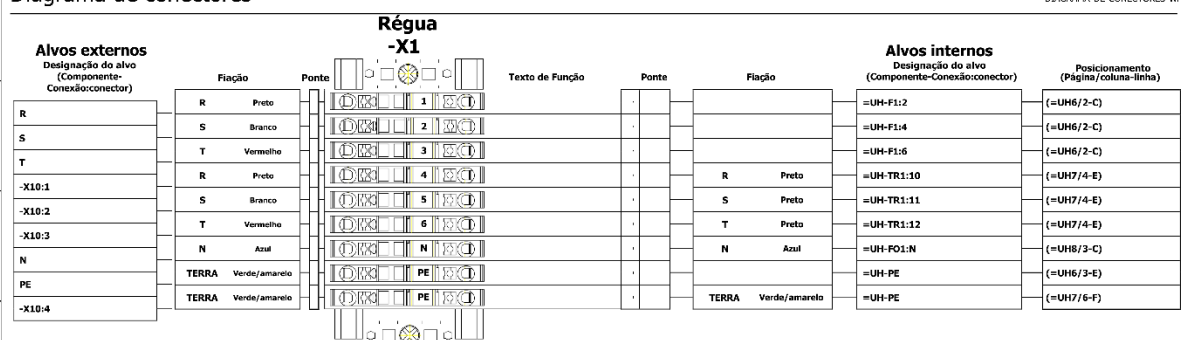
[illegible]

Diagrama de conectores

DIAGRAMA DE CONECTORES WP

Alvos externos

Designação do alvo
(Componente-
Conexão:conector)

Fliação

Ponte

24VCC
Azul

24VCC
Azul

0VCC
Cinza

24VCC
Azul

24VCC
Azul

24VCC
Azul

24VCC
Azul

24VCC
Azul

24VCC
Azul

1

2

3

4

5

6

7

8

9

CLP1 6ED1052-2HD08-0BA2 SIMATIC LOGO/PC

Alvos internos

Designação do alvo
(Componente- Conexão:conector)

Fliação

Ponte

24VCC
Azul

0VCC
Cinza

24VCC
Azul

24VCC
Azul

24VCC
Azul

24VCC
Azul

24VCC
Azul

24VCC
Azul

=UH-CLP1:X10-L+

=UH-CLP1:X10-M

=UH-KM1:14

=UH-KM2:14

=UH-KM3:14

=UH-DJ3.1:14

=UH-DJ3.2:14

=UH-DJ3.3:14

=UH-CLP1:L+X10-Q4.2

=UH10/3-C

=UH10/4-C

=UH13/2-B

=UH13/3-B

=UH13/5-B

=UH13/6-B

=UH13/8-B

=UH13/9-B

=UH12/9-B

15

H

G

F

E

D

C

B

A

07/05/2026

CE

CERTIFICADO

WESLEY

LUKAS

MAURO

WESLEY

PROPOSTO

LOCOTIPOS

CP994619-BOMEL.PDF

Fatec

Itaquera

Fatec Mauá Rec

CPS

Construção e Projetos S/A

ROMI

ORDEN DE FABRICAÇÃO:
OP994619

LAYOUT ELÉTRICO Nº:
07865134

LAYOUT ELÉTRICO FABRICANTE Nº:
BOMEL-80259291

ANO DE FABRICAÇÃO:
2026

NÍVEL DE SIGELO:
OSTENSIVO

VERIFICADORA / APROVADOR (CLIENTE):
NÃO INFORMADO

ARQUIVO Nº

TÍTULO:

ADEQUAÇÃO AO TORNO ROMI C30D

CLIENTE:
Indústria Romi SA

DESCRIÇÕES:
PAINEL DE transformação
DIAGRAMA DE CONECTORES
AGUARDANDO APROVAÇÃO

LOCALIZAÇÃO E
CÓDIGO DO PAINEL ELÉTRICO:
= UH
+ PD11

ESCALA:
1:1

NÚMERO INTERNO:
OP994619

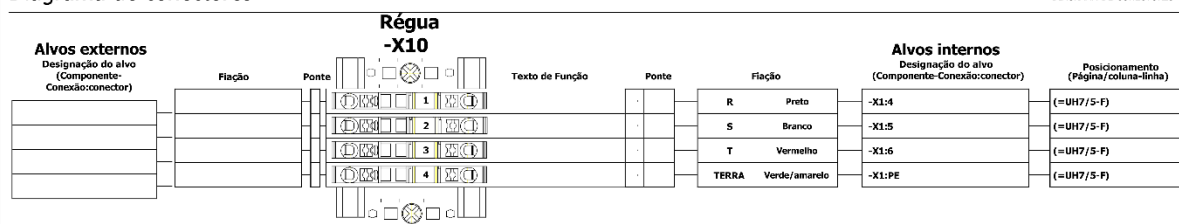
NÚMERO CLIENTE:

FOLHA:
16 de 18

REVISÃO:
A

FORMATO:
A3

DIAGRAMA DE CONECTORES WP



16											Fatec Escola Paulista Paulista		CPS Centro Paulista Sociedade		ORDEN DE FABRICAÇÃO: 0F994610		TÍTULO: ADEQUAÇÃO AO TORNO ROMI C30D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
H																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				

APÊNDICE B – PROGRAMAÇÃO DO CLP

Totally Integrated AutomationPortal

CLP1 [CPU 1215C DC/DC/DC] / Program blocks

Main [OB1]

Main Properties

General

Name	Main	Number	1	Type	OB	Language	LAD
Numbering	Automatic						

Information

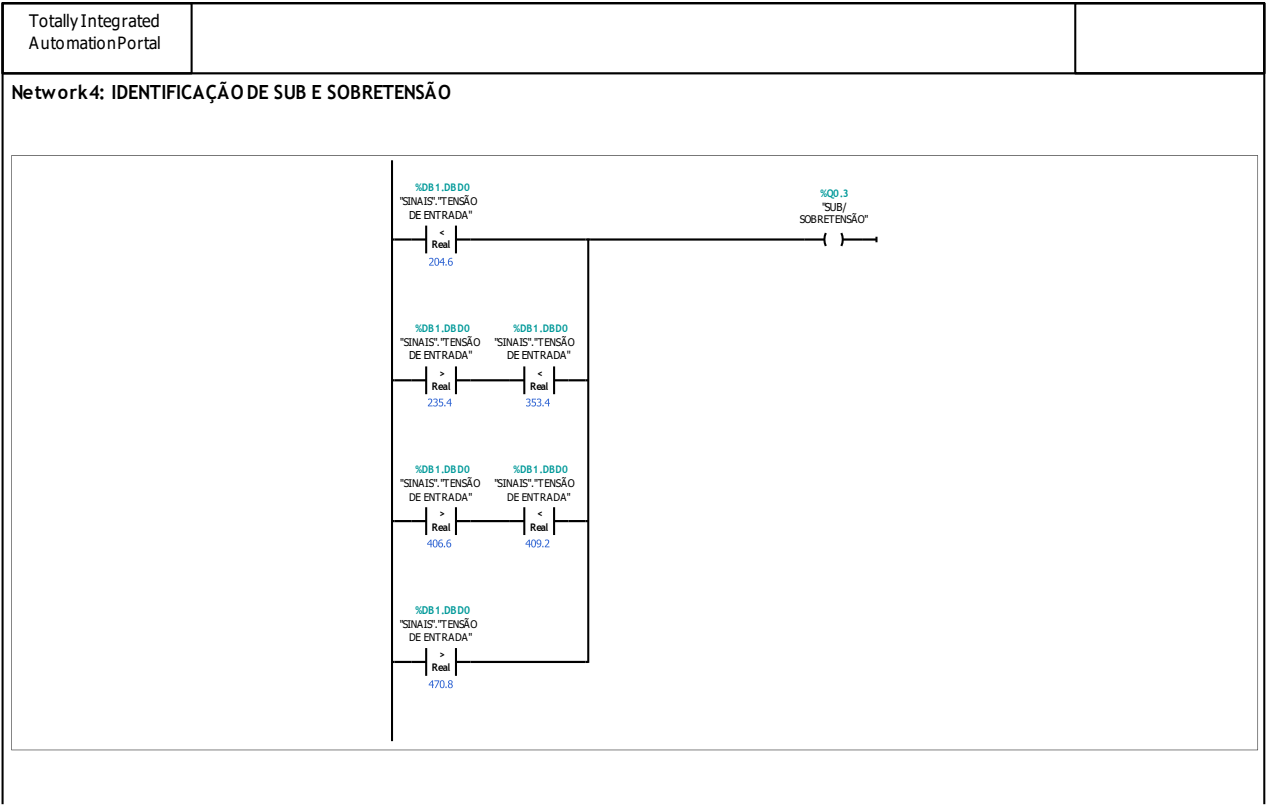
Title	"MainProgram Sweep(Cycle)"	Author		Comment		Family	
Version	0.1	User-definedID					

Name	Data type	Default value	Comment
▼ Input			
Initial_Call	Bool		Initial call of this OB
Remanence	Bool		= True, if remanent data are available
▼ Temp			
NORM_1	Real		
Constant			

Network 1: LEITURA DE TENSÃO (IT1 / IW5)

Network 2: IDENTIFICAÇÃO DA TENSÃO DE ENTRADA E FECHAMENTO 7% TOLERANCIA

Network 3: ACIONAMENTO CONTADORES (KM1,KM2,KM3)



Totally Integrated Automation Portal

CLP1 [CPU 1215C DC/DC/DC] / Program blocks

SINAIS [DB1]

SINAIS Properties

General							
Name	SINAIS	Number	1	Type	DB	Language	DB
Numbering	Automatic						
Information							
Title		Author		Comment		Family	
Version	0.1	User-defined ID					

Name	Data type	Offset	Start value	Retain	Accessible from HMI/OPC UA/Web API	Writeable HMI engineering from HMI/OPC UA/Web API	Setpoint	Supervision	Comment
▼ Static									
TENSÃO DE ENTRADA	Real	0.0	0.0	False	True	True	True	False	

Totally Integrated Automation Portal											
--------------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

CLP1 [CPU 1215C DC/DC/DC] / Program blocks / System blocks / Program resources

IEC_Timer_0_DB [DB2]

IEC_Timer_0_DB Properties

General										
Name	IEC_Timer_0_DB	Number	2	Type	DB	Language	DB			
Numbering	Automatic									
Information										
Title		Author	Simatic	Comment		Family	IEC			
Version	1.0	User-defined ID	IEC_TMR							

Name	Data type	Start value	Retain	Accessible from HMI/OPC UA/Web API	Writable from HMI/OPC UA/Web API	Visible in HMI engineering	Setpoint	Supervision	Comment
▼ Static									
PT	Time	T#0ms	False	True	True	True	False		
ET	Time	T#0ms	False	True	False	True	False		
IN	Bool	false	False	True	True	True	False		
Q	Bool	false	False	True	False	True	False		

Totally Integrated Automation Portal											
--------------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

CLP1 [CPU 1215C DC/DC/DC] / Program blocks / System blocks / Program resources

IEC_Timer_0_DB_1 [DB3]

IEC_Timer_0_DB_1 Properties

General										
Name	IEC_Timer_0_DB_1	Number	3	Type	DB	Language	DB			
Numbering	Automatic									
Information										
Title		Author	Simatic	Comment		Family	IEC			
Version	1.0	User-defined ID	IEC_TMR							

Name	Data type	Start value	Retain	Accessible from HMI/OPC UA/Web API	Writable from HMI/OPC UA/Web API	Visible in HMI engineering	Setpoint	Supervision	Comment
▼ Static									
PT	Time	T#0ms	False	True	True	True	False		
ET	Time	T#0ms	False	True	False	True	False		
IN	Bool	false	False	True	True	True	False		
Q	Bool	false	False	True	False	True	False		

Totally Integrated Automation Portal

CLP1 [CPU 1215C DC/DC/DC] / Program blocks / System blocks / Program resources

IEC_Timer_0_DB_2 [DB4]

IEC_Timer_0_DB_2 Properties

General

Name	IEC_Timer_0_DB_2	Number	4	Type	DB	Language	DB
Numbering	Automatic						

Information

Title		Author	Simatic	Comment		Family	IEC
Version	1.0	User-defined ID	IEC_TMR				

Name	Data type	Start value	Retain	Accessible from HMI/OPC UA/Web API	Writable from HMI/OPC UA/Web API	Visible in HMI engineering	Setpoint	Supervision	Comment
▼ Static									
PT	Time	T#0ms	False	True	True	True	False		
ET	Time	T#0ms	False	True	False	True	False		
IN	Bool	false	False	True	True	True	False		
Q	Bool	false	False	True	False	True	False		

Totally Integrated Automation Portal

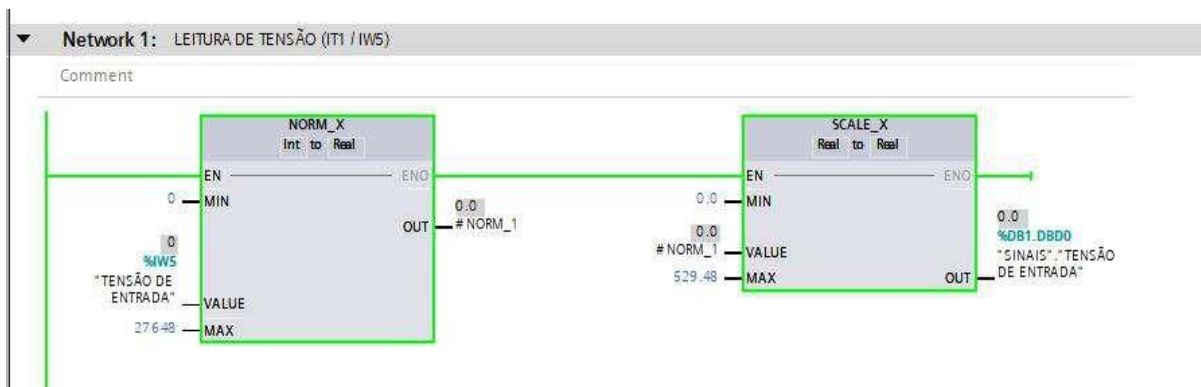
CLP1 [CPU 1215C DC/DC/DC] / PLC tags / Default tag table [43]

PLC tags

PLC tags											
	Name	Data type	Address	Retain	Accessible from HMI/OPC UA/Web API	Writable from HMI/OPC UA/Web API	Visible in HMI engineering	Supervision			Comment
	STATUS KM1	Bool	%I0.0	False	True	True	True				
	STATUS KM2	Bool	%I0.1	False	True	True	True				
	STATUS KM3	Bool	%I0.2	False	True	True	True				
	EMERG1	Bool	%I0.3	False	True	True	True				
	EMERG2	Bool	%I0.4	False	True	True	True				
	TENSÃO DE ENTRADA	Int	%IW5	False	True	True	True				
	AÇÃO KM1	Bool	%Q0.0	False	True	True	True				
	AÇÃO KM2	Bool	%Q0.1	False	True	True	True				
	AÇÃO KM3	Bool	%Q0.2	False	True	True	True				
	ENTRADA 220V CA	Bool	%M0.1	False	True	True	True				
	ENTRADA 380V CA	Bool	%M0.2	False	True	True	True				
	ENTRADA 40V CA	Bool	%M0.3	False	True	True	True				
	SUB/SOBRETENSÃO	Bool	%Q0.3	False	True	True	True				

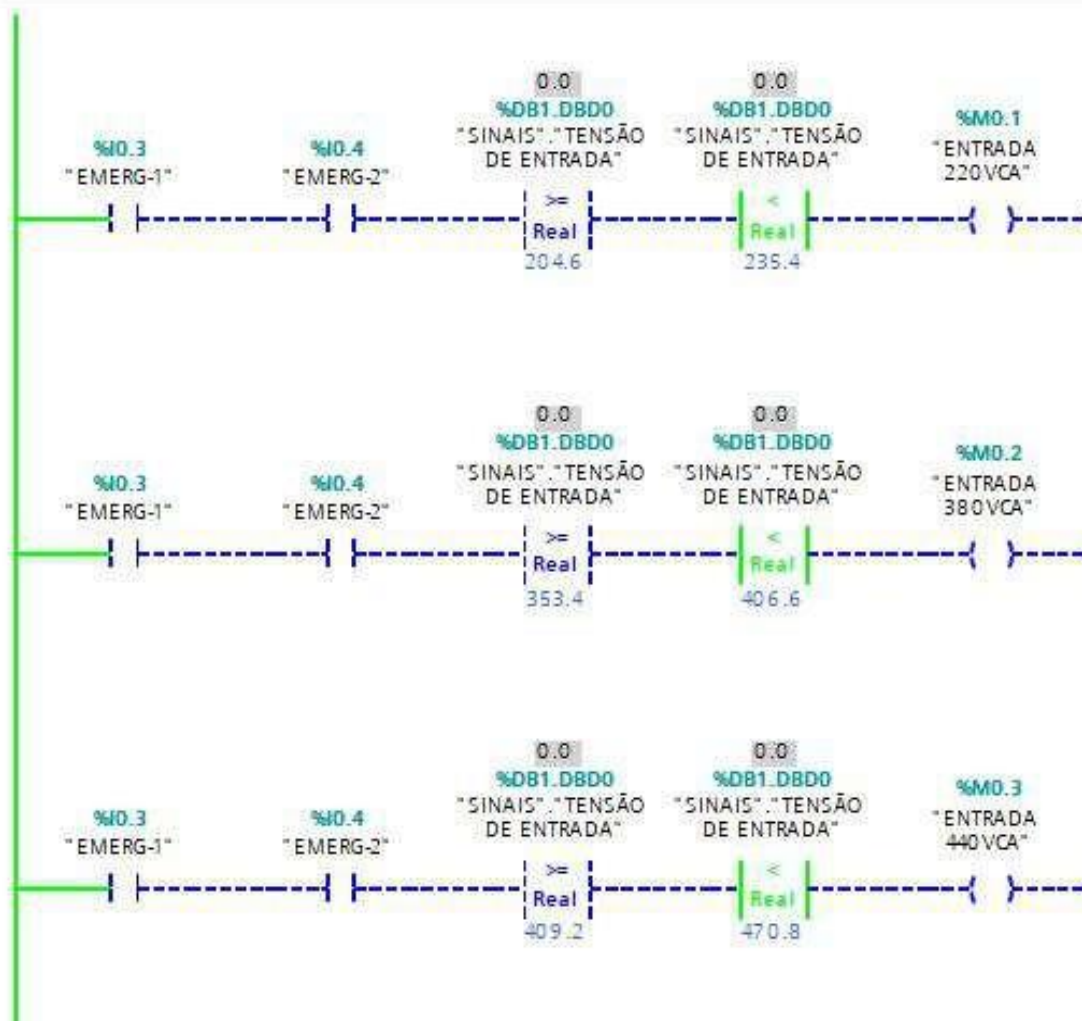
APÊNDICE C – SIMULAÇÃO DO CLP

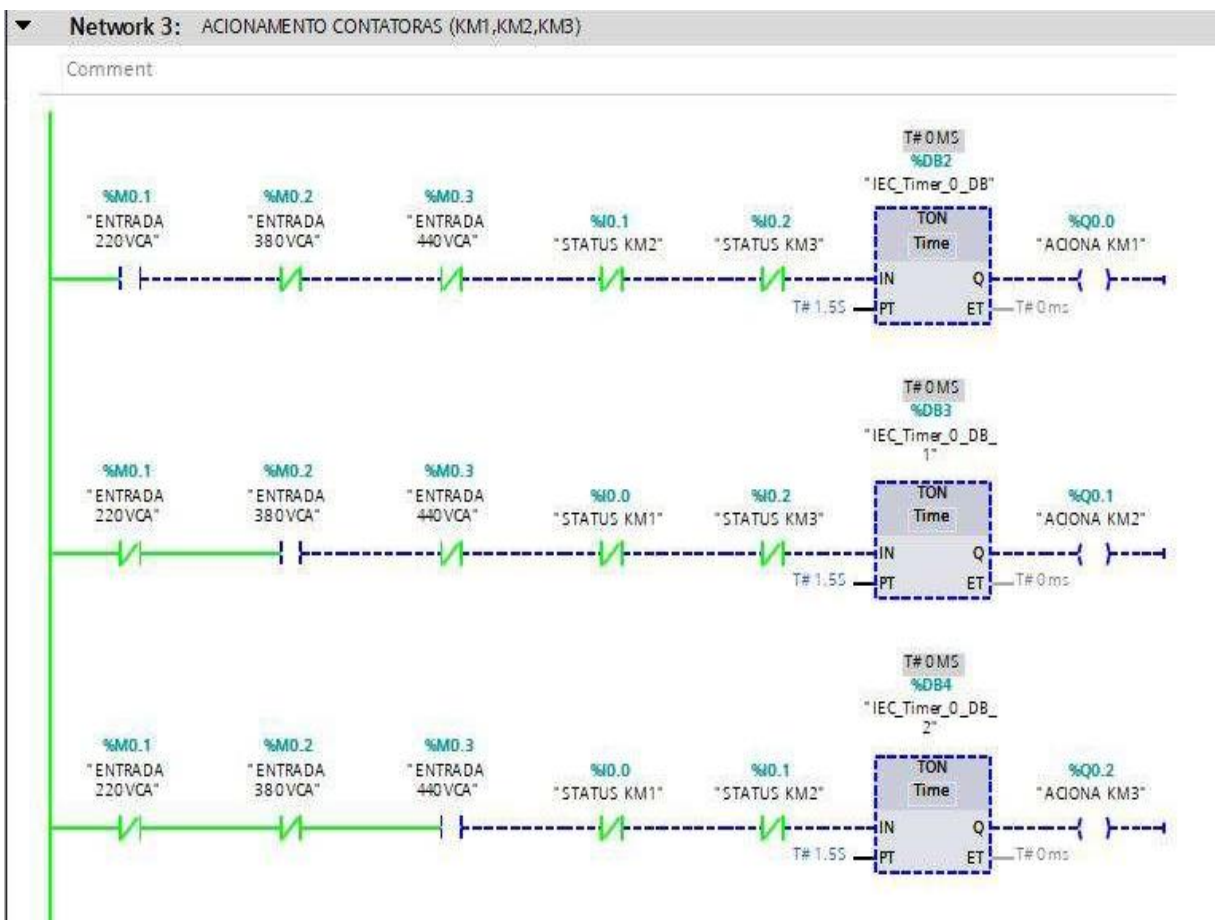
Monitoring						
SimTable_1						
PLC_1[S7_1200] ⓘ						
☐	Name	Address	Display Format		Monitor/Modify State	Comment
☐	STATUS KM1	I0.0	Bool	▼	false	
☐	STATUS KM2	I0.1	Bool	▼	false	
☐	STATUS KM3	I0.2	Bool	▼	false	
☐	EMERG-1	I0.3	Bool	▼	false	
☐	EMERG-2	I0.4	Bool	▼	false	
☐	TENSÃO DE ENTRADA	IW5	DEC	▼	0	
☐	ACIONA KM1	Q0.0	Bool	▼	false	
☐	ACIONA KM2	Q0.1	Bool	▼	false	
☐	ACIONA KM3	Q0.2	Bool	▼	false	
☐	SUB/SOBRETENSÃO	Q0.3	Bool	▼	true	
☐	ENTRADA 220VCA	M0.1	Bool	▼	false	
☐	ENTRADA 380VCA	M0.2	Bool	▼	false	
☐	ENTRADA 440VCA	M0.3	Bool	▼	false	



▼ **Network 2:** IDENTIFICAÇÃO DA TENSÃO DE ENTRADA E FECHAMENTO 7% TOLERANCIA

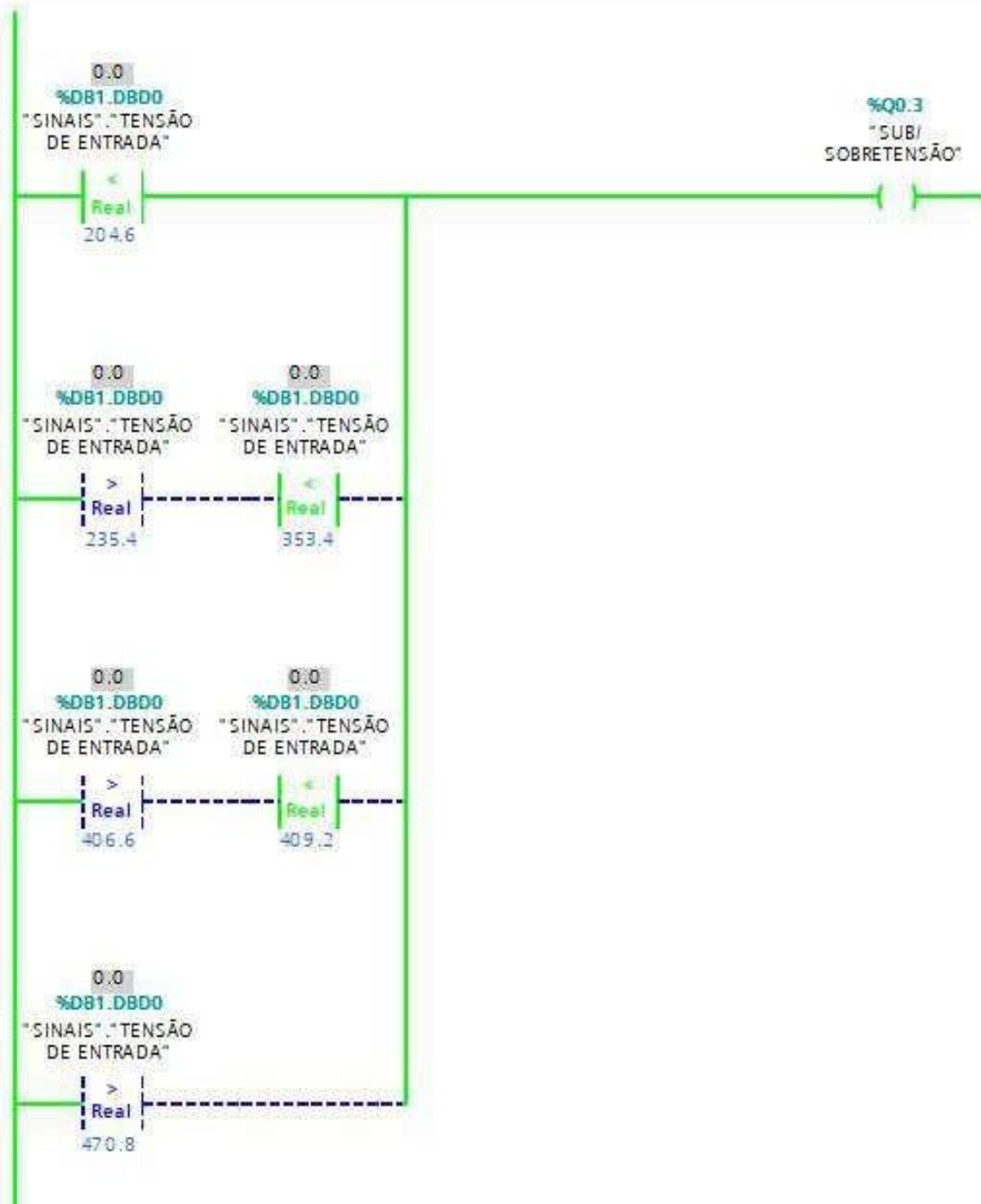
Comment:





Network 4: IDENTIFICAÇÃO DE SUB E SOBRETENSÃO

Comment



PLC_1[S7_1200] ⓘ

☐	Name	Address	Display Format		Monitor/Modify State	Comment
☐	STATUS KM1	I0.0	Bool	▼	true	
☐	STATUS KM2	I0.1	Bool	▼	false	
☐	STATUS KM3	I0.2	Bool	▼	false	
☐	EMERG-1	I0.3	Bool	▼	true	
☐	EMERG-2	I0.4	Bool	▼	true	
☐	TENSÃO DE ENTRADA	IW5	DEC	▼	11419	
☐	ACIONA KM1	Q0.0	Bool	▼	true	
☐	ACIONA KM2	Q0.1	Bool	▼	false	
☐	ACIONA KM3	Q0.2	Bool	▼	false	
☐	SUB/SOBRETENSÃO	Q0.3	Bool	▼	false	
☐	ENTRADA 220VCA	M0.1	Bool	▼	true	
☐	ENTRADA 380VCA	M0.2	Bool	▼	false	
☐	ENTRADA 440VCA	M0.3	Bool	▼	false	

+ ↑ ↓ 🗑

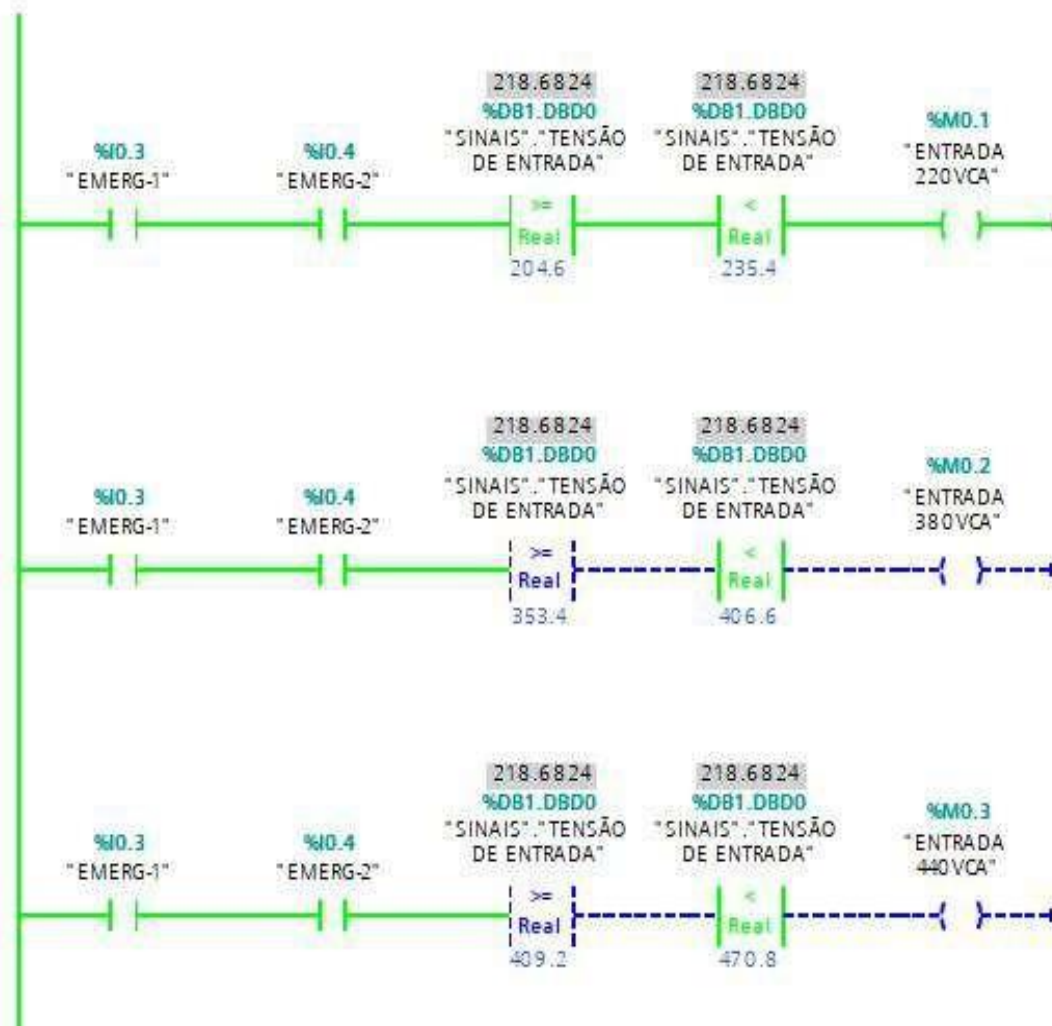
▼ **Network 1:** LEITURA DE TENSÃO (IT1 / IW5)

Comment



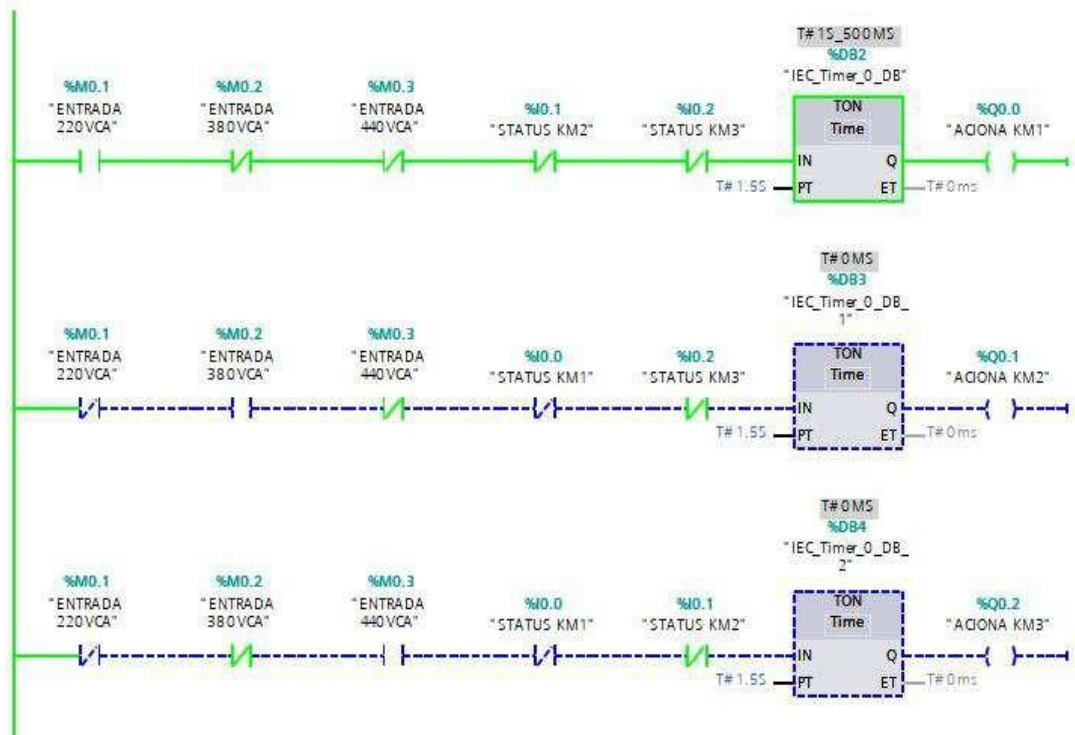
Network 2: IDENTIFICAÇÃO DA TENSÃO DE ENTRADA E FECHAMENTO 7% TOLERANCIA

Comment



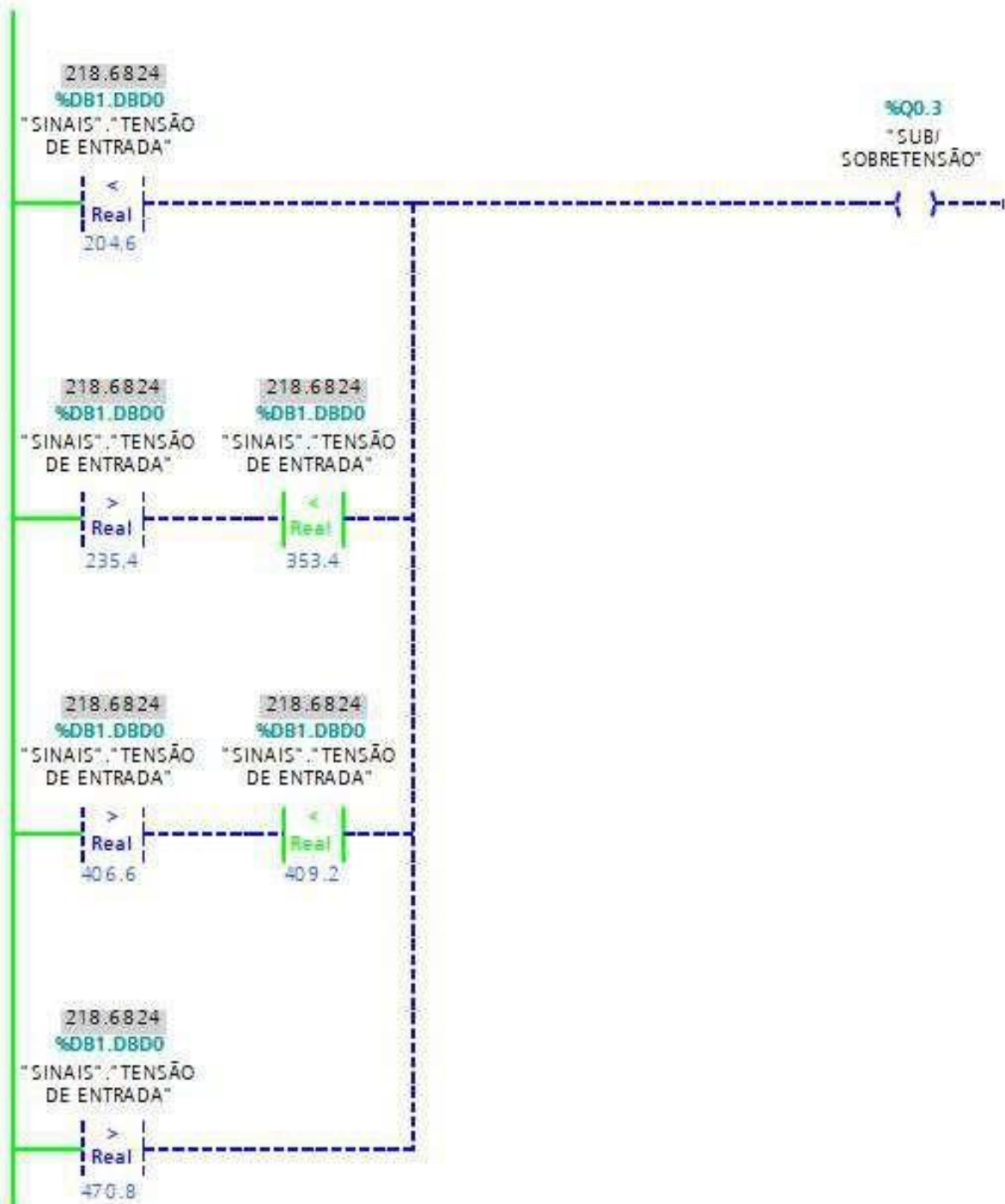
▼ Network 3: ACIONAMENTO CONTADORAS (KM1,KM2,KM3)

Comment



Network 4: IDENTIFICAÇÃO DE SUB E SOBRETENSÃO

Comment

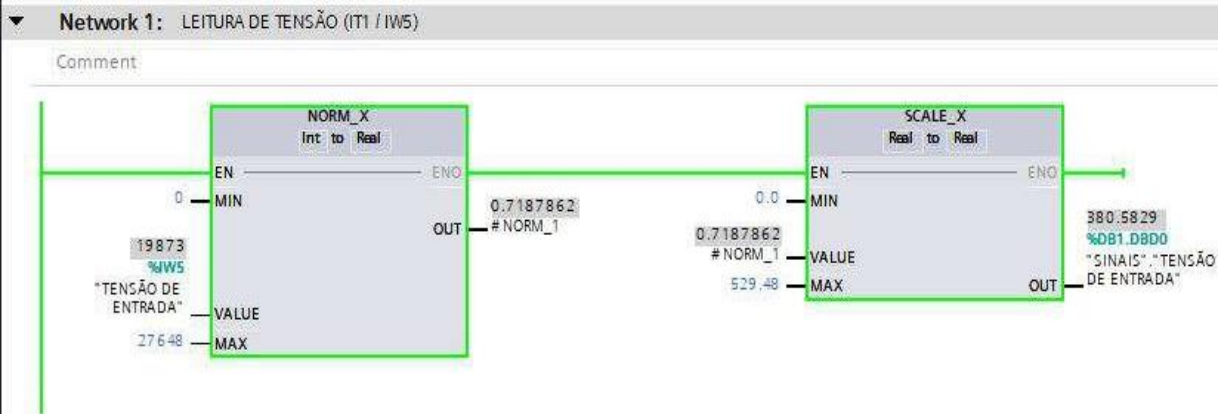


Monitoring

SimTable_1

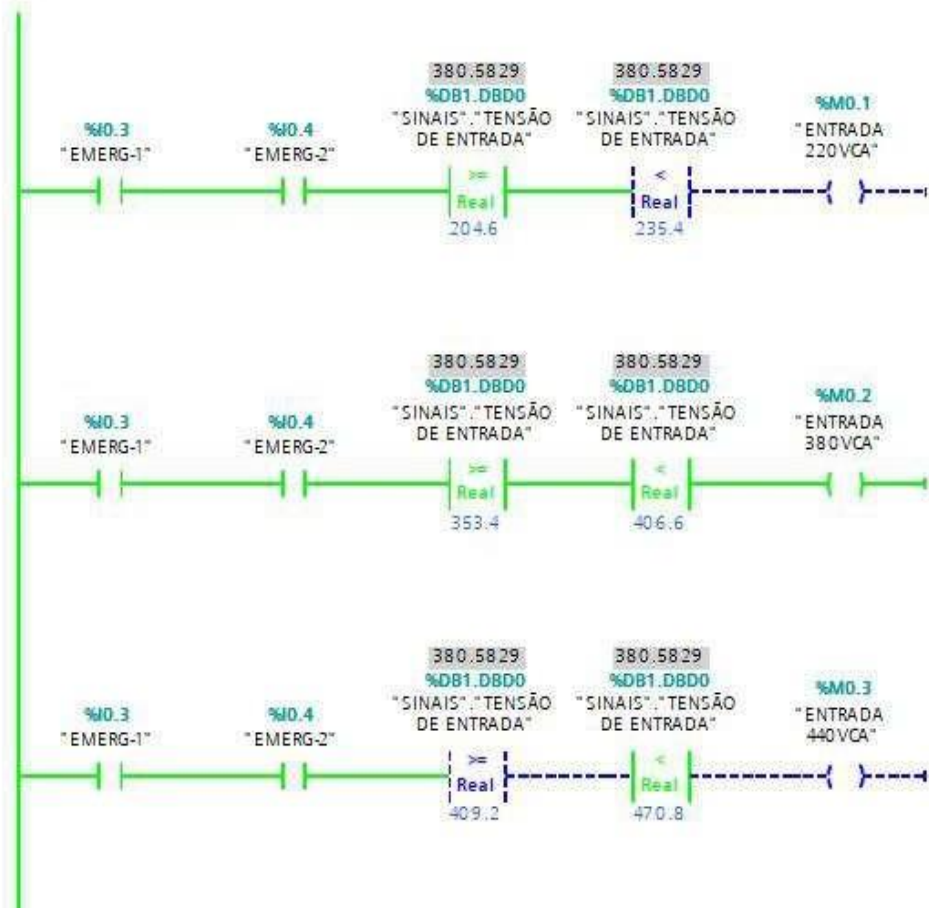
PLC_1[S7_1200] ⓘ

☐	Name	Address	Display Format		Monitor/Modify State	Comment
☐	STATUS KM1	I0.0	Bool	▼	false	
☐	STATUS KM2	I0.1	Bool	▼	true	
☐	STATUS KM3	I0.2	Bool	▼	false	
☐	EMERG-1	I0.3	Bool	▼	true	
☐	EMERG-2	I0.4	Bool	▼	true	
☐	TENSÃO DE ENTRADA	IW5	DEC	▼	19873	
☐	ACIONA KM1	Q0.0	Bool	▼	false	
☐	ACIONA KM2	Q0.1	Bool	▼	true	
☐	ACIONA KM3	Q0.2	Bool	▼	false	
☐	SUB/SOBRETENSÃO	Q0.3	Bool	▼	false	
☐	ENTRADA 220VCA	M0.1	Bool	▼	false	
☐	ENTRADA 380VCA	M0.2	Bool	▼	true	
☐	ENTRADA 440VCA	M0.3	Bool	▼	false	



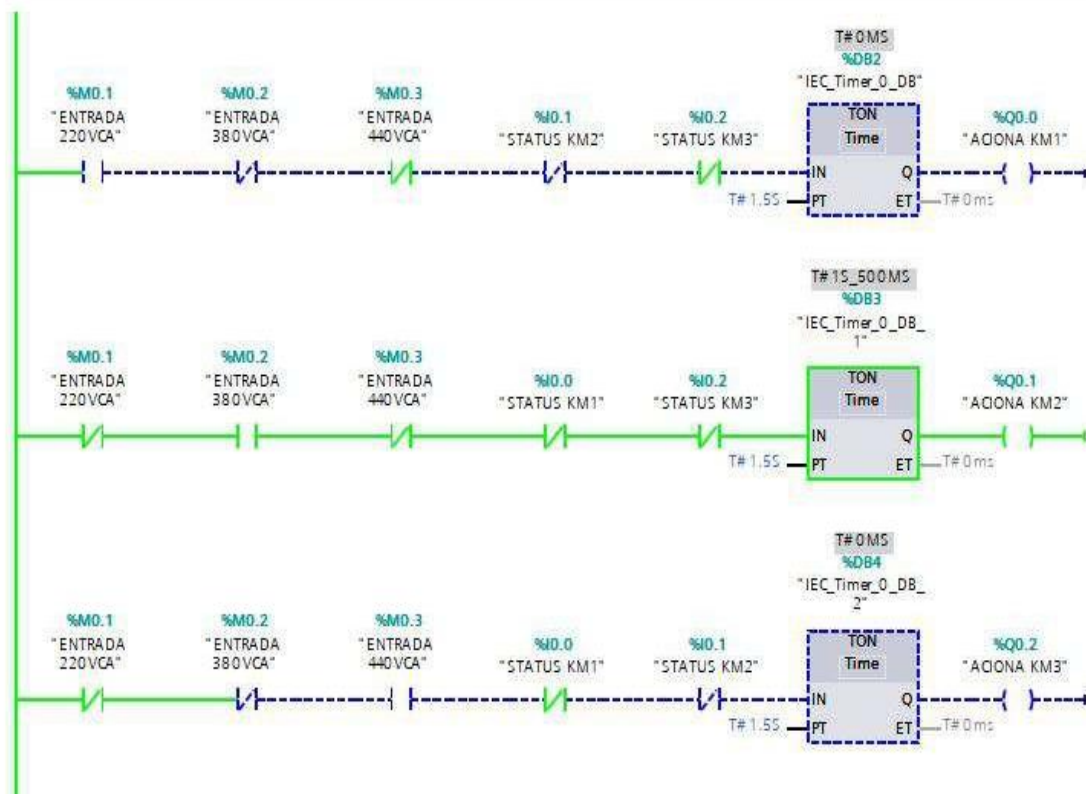
▼ **Network 2:** IDENTIFICAÇÃO DA TENSÃO DE ENTRADA E FECHAMENTO 7% TOLERANCIA

Comment



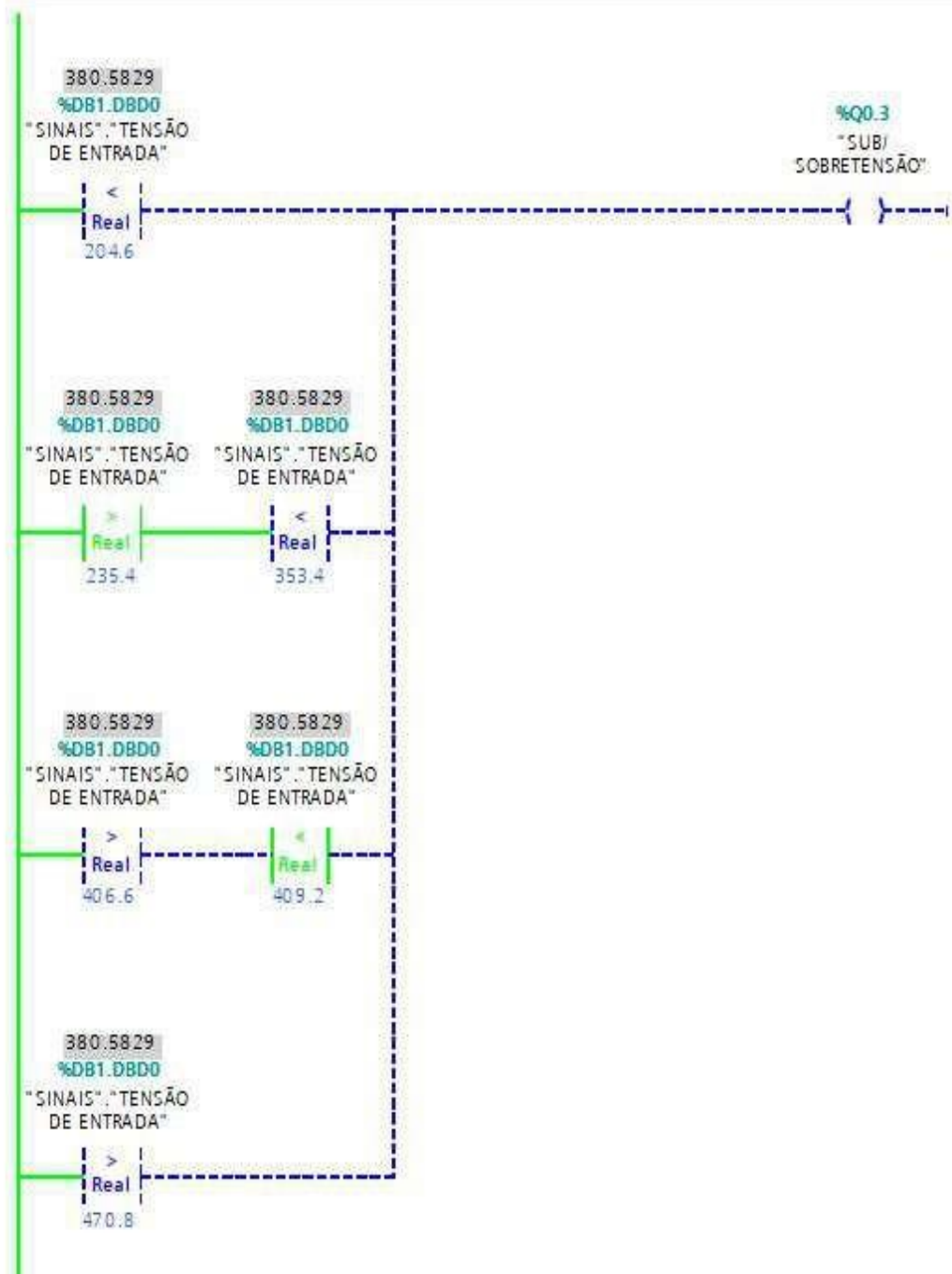
▼ **Network 3:** ACIONAMENTO CONTADORAS (KM1,KM2,KM3)

Comment



Network 4: IDENTIFICAÇÃO DE SUB E SOBRETENSÃO

Comment



Monitoring						
SimTable_1						
PLC_1[S7_1200] ⓘ						
☐	Name	Address	Display Format		Monitor/Modify State	Comment
☐	STATUS KM1	I0.0	Bool	▼	false	
☐	STATUS KM2	I0.1	Bool	▼	false	
☐	STATUS KM3	I0.2	Bool	▼	true	
☐	EMERG-1	I0.3	Bool	▼	true	
☐	EMERG-2	I0.4	Bool	▼	true	
☐	TENSÃO DE ENTRADA	IW5	DEC	▼	22974	
☐	ACIONA KM1	Q0.0	Bool	▼	false	
☐	ACIONA KM2	Q0.1	Bool	▼	false	
☐	ACIONA KM3	Q0.2	Bool	▼	true	
☐	SUB/SOBRETENSÃO	Q0.3	Bool	▼	false	
☐	ENTRADA 220VCA	M0.1	Bool	▼	false	
☐	ENTRADA 380VCA	M0.2	Bool	▼	false	
☐	ENTRADA 440VCA	M0.3	Bool	▼	true	

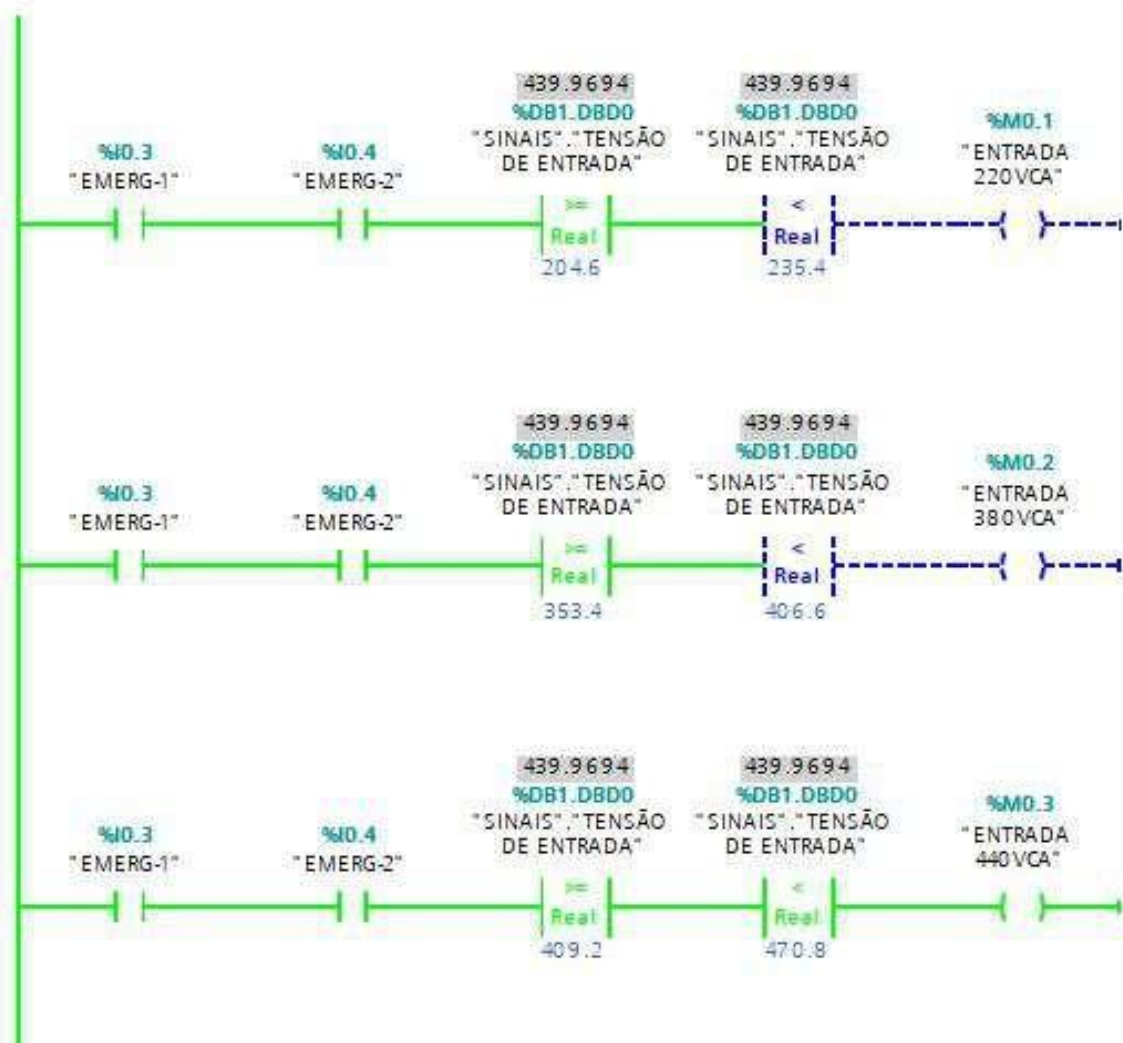
▼ Network 1: LEITURA DE TENSÃO (IT1 / IW5)

Comment



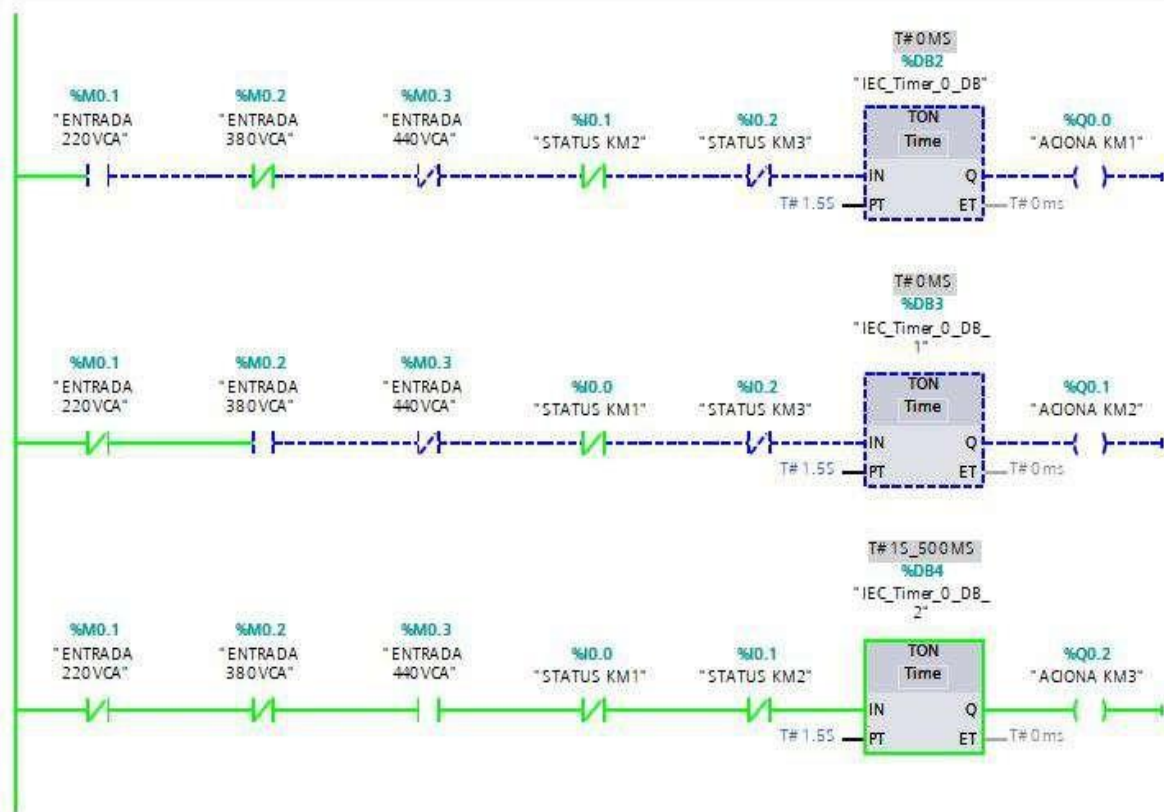
▼ **Network 2:** IDENTIFICAÇÃO DA TENSÃO DE ENTRADA E FECHAMENTO 7% TOLERANCIA

Comment



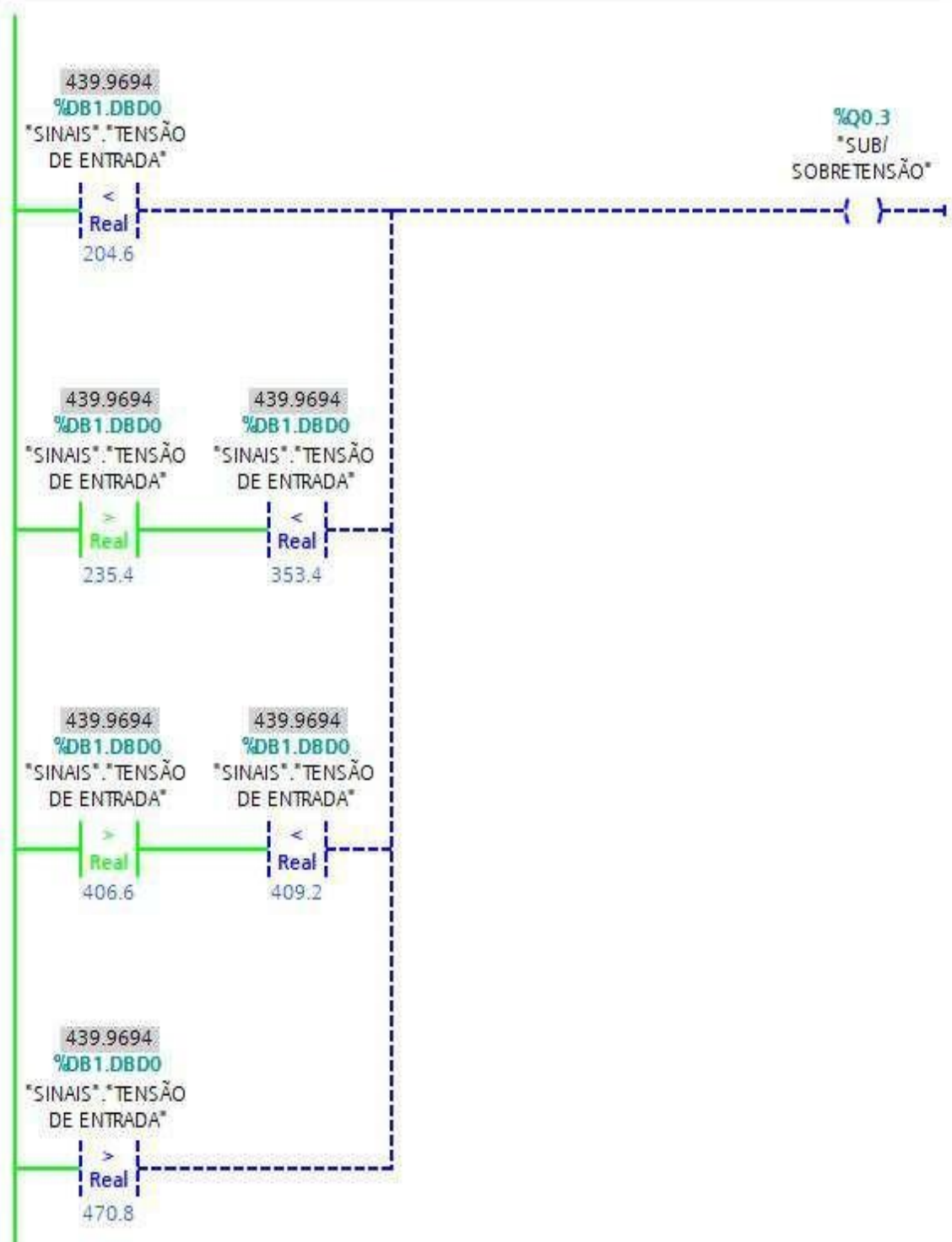
▼ **Network 3:** ACIONAMENTO CONTADORAS (KM1,KM2,KM3)

Comment



Network 4: IDENTIFICAÇÃO DE SUB E SOBRETENSÃO

Comment



Monitoring

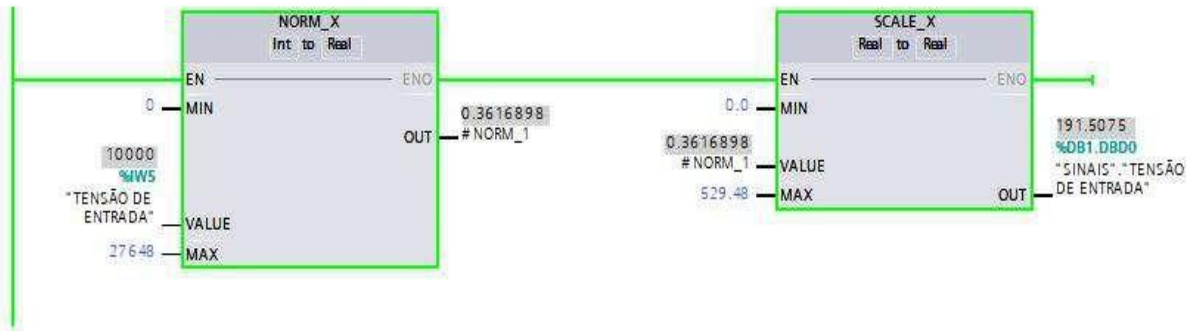
SimTable_1

PLC_1[S7_1200]

☐	Name	Address	Display Format		Monitor/Modify State	Comment
☐	STATUS KM1	I0.0	Bool	▼	false	
☐	STATUS KM2	I0.1	Bool	▼	false	
☐	STATUS KM3	I0.2	Bool	▼	false	
☐	EMERG-1	I0.3	Bool	▼	true	
☐	EMERG-2	I0.4	Bool	▼	true	
☐	TENSÃO DE ENTRADA	IW5	DEC	▼	10000	
☐	ACIONA KM1	Q0.0	Bool	▼	false	
☐	ACIONA KM2	Q0.1	Bool	▼	false	
☐	ACIONA KM3	Q0.2	Bool	▼	false	
☐	SUB/SOBRETENSÃO	Q0.3	Bool	▼	true	
☐	ENTRADA 220VCA	M0.1	Bool	▼	false	
☐	ENTRADA 380VCA	M0.2	Bool	▼	false	
☐	ENTRADA 440VCA	M0.3	Bool	▼	false	

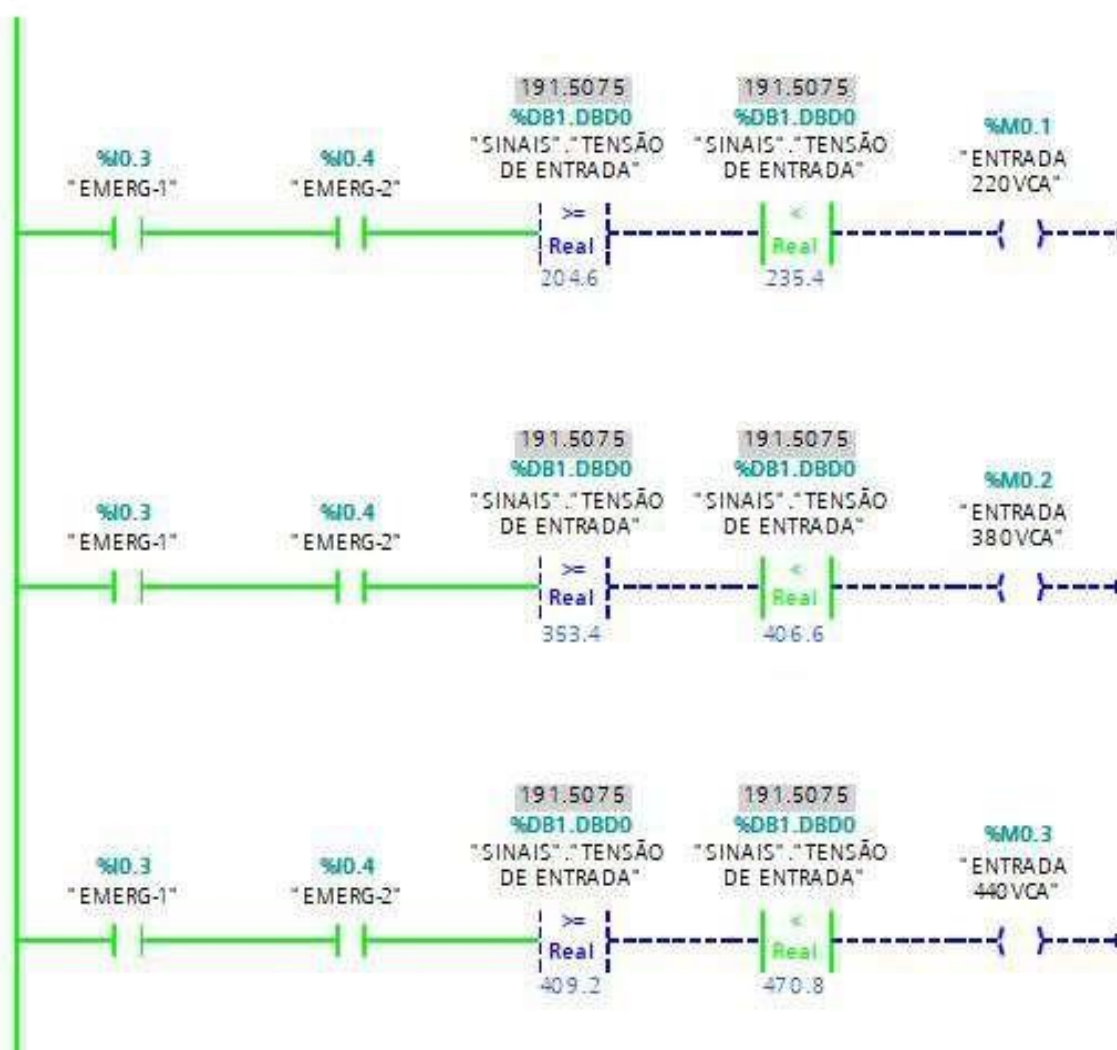
Network 1: LEITURA DE TENSÃO (I1 / IW5)

Comment



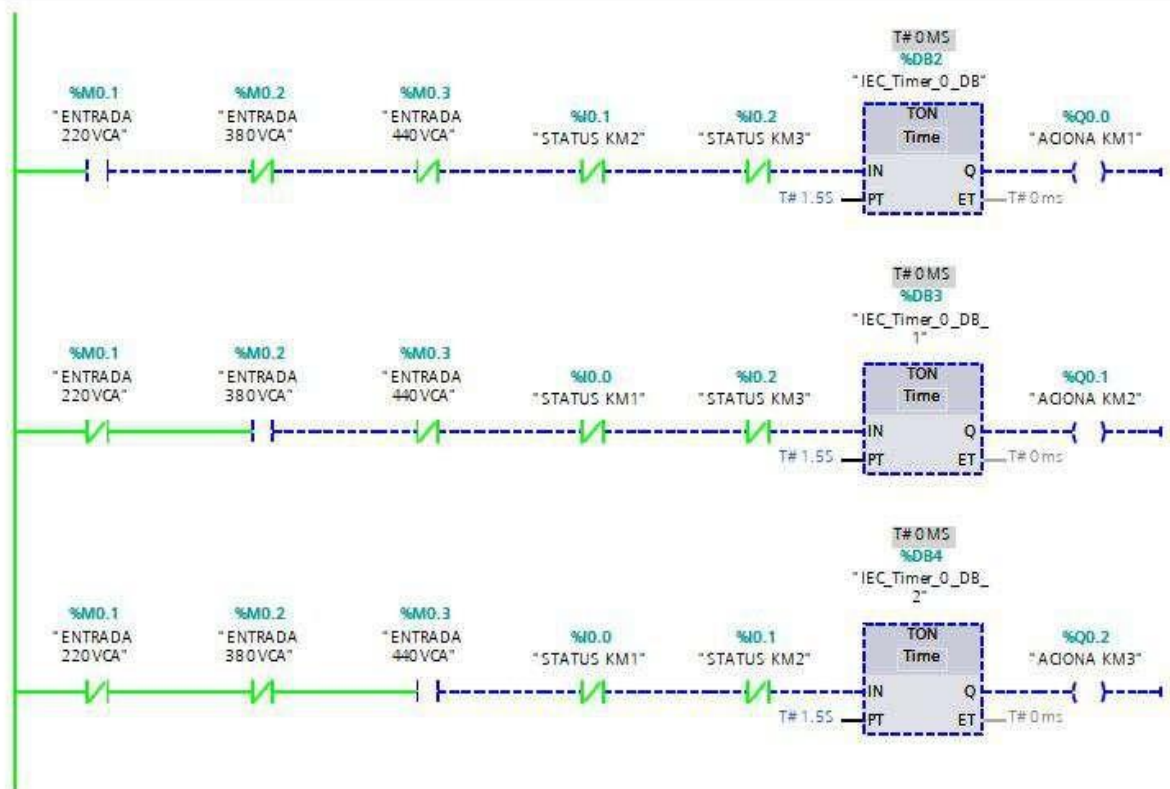
▼ **Network 2:** IDENTIFICAÇÃO DA TENSÃO DE ENTRADA E FECHAMENTO 7% TOLERANCIA

Comment



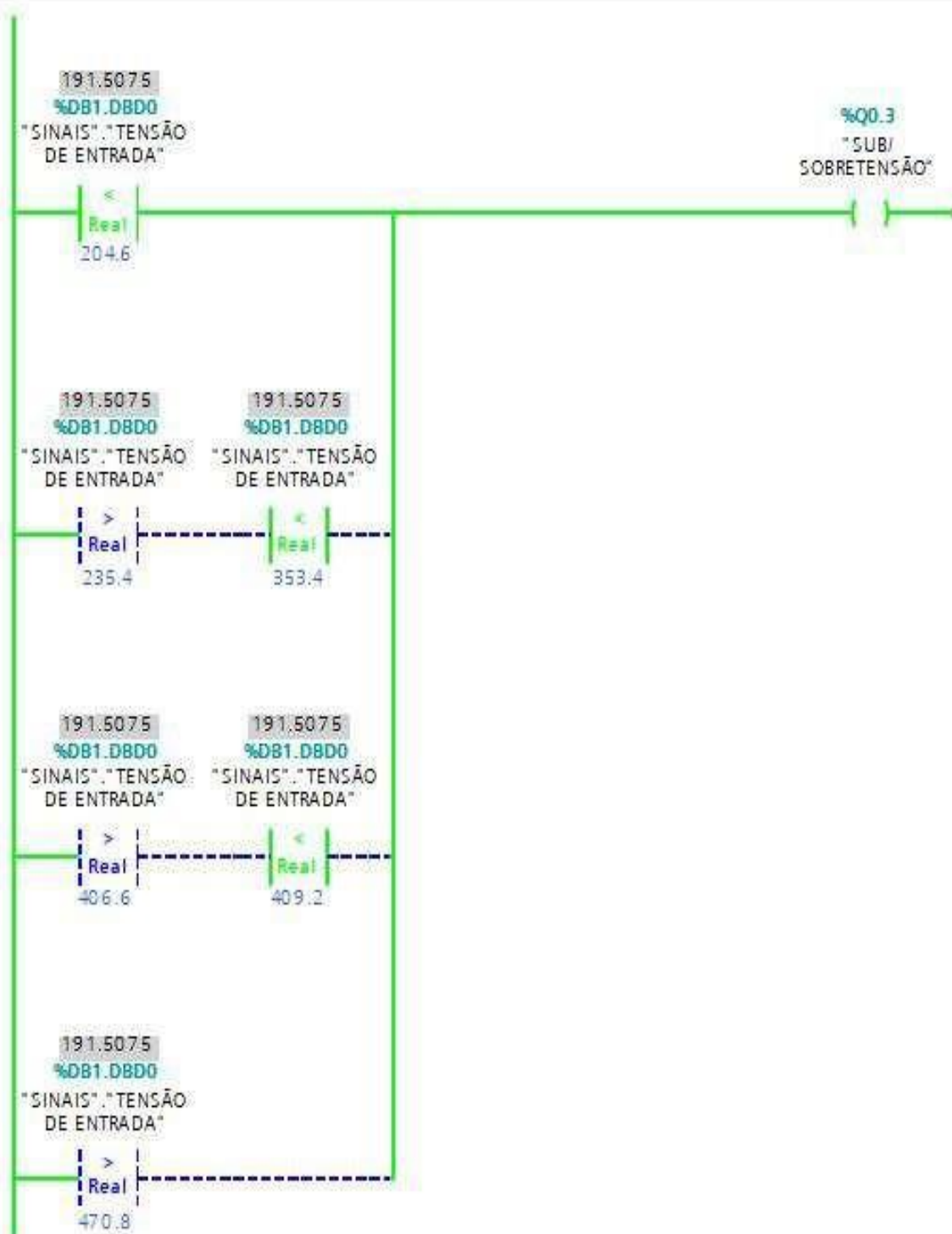
Network 3: ACIONAMENTO CONTADORAS (KM1,KM2,KM3)

Comment



Network 4: IDENTIFICAÇÃO DE SUB E SOBRETENSÃO

Comment

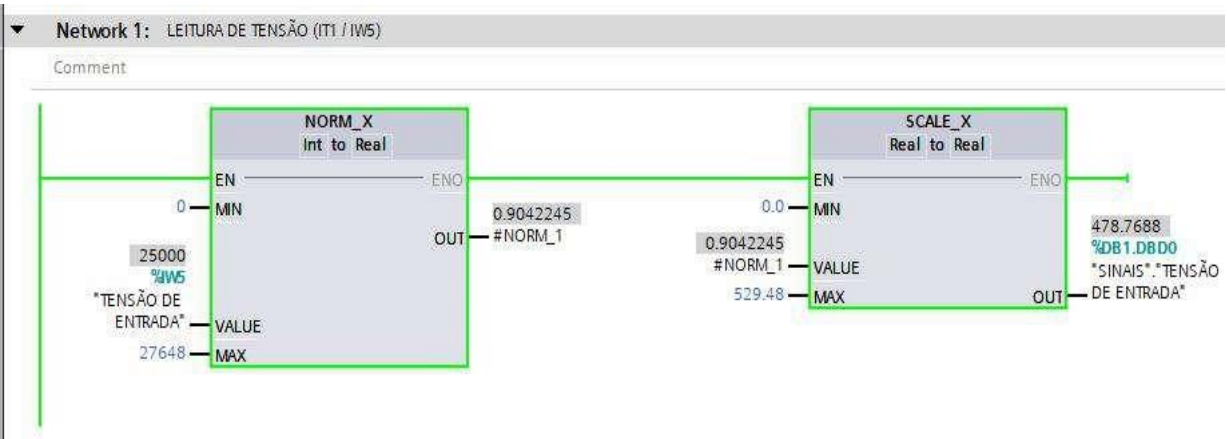


Monitoring

SimTable_1

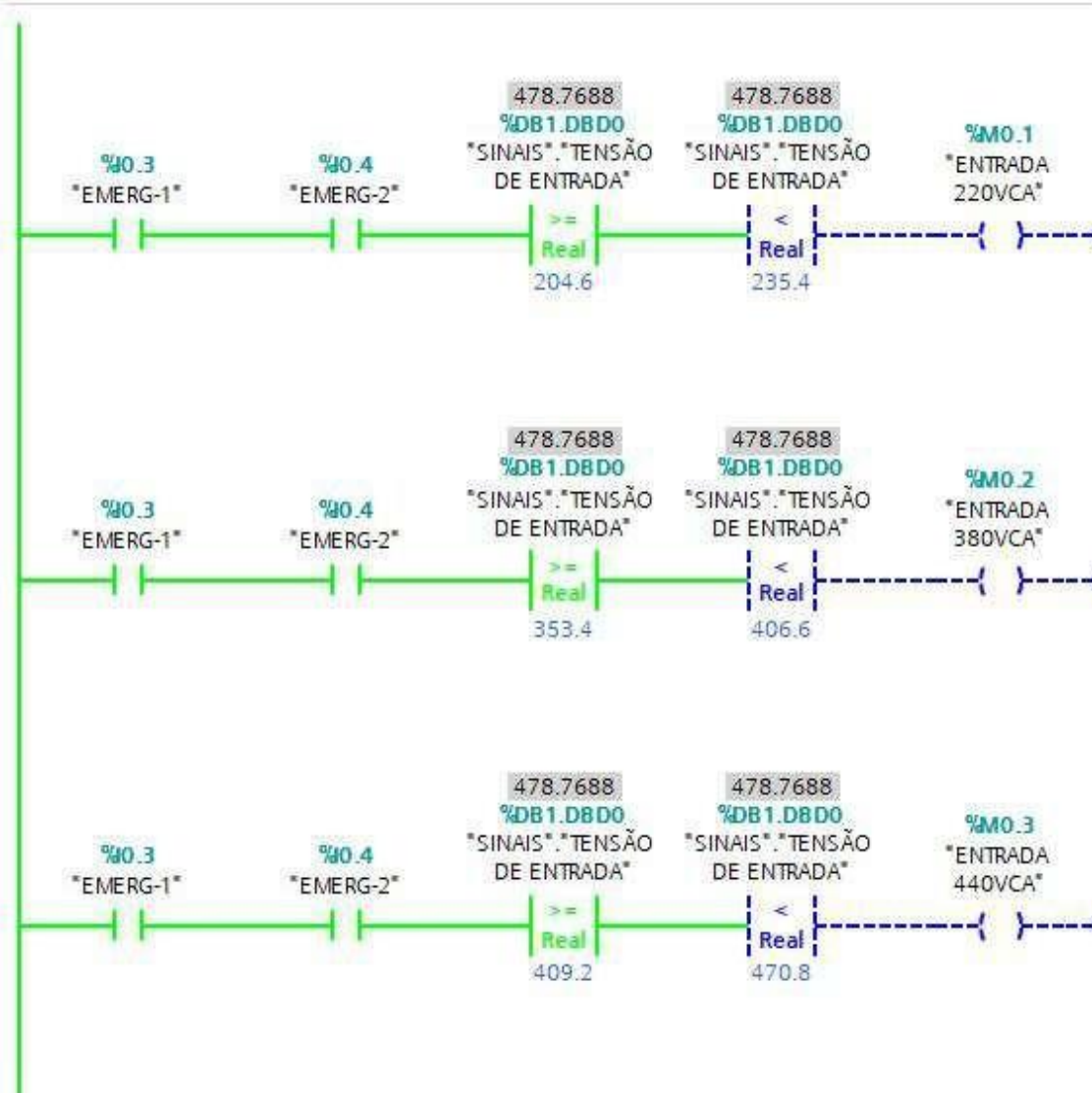
PLC_1[S7_1200] ⓘ

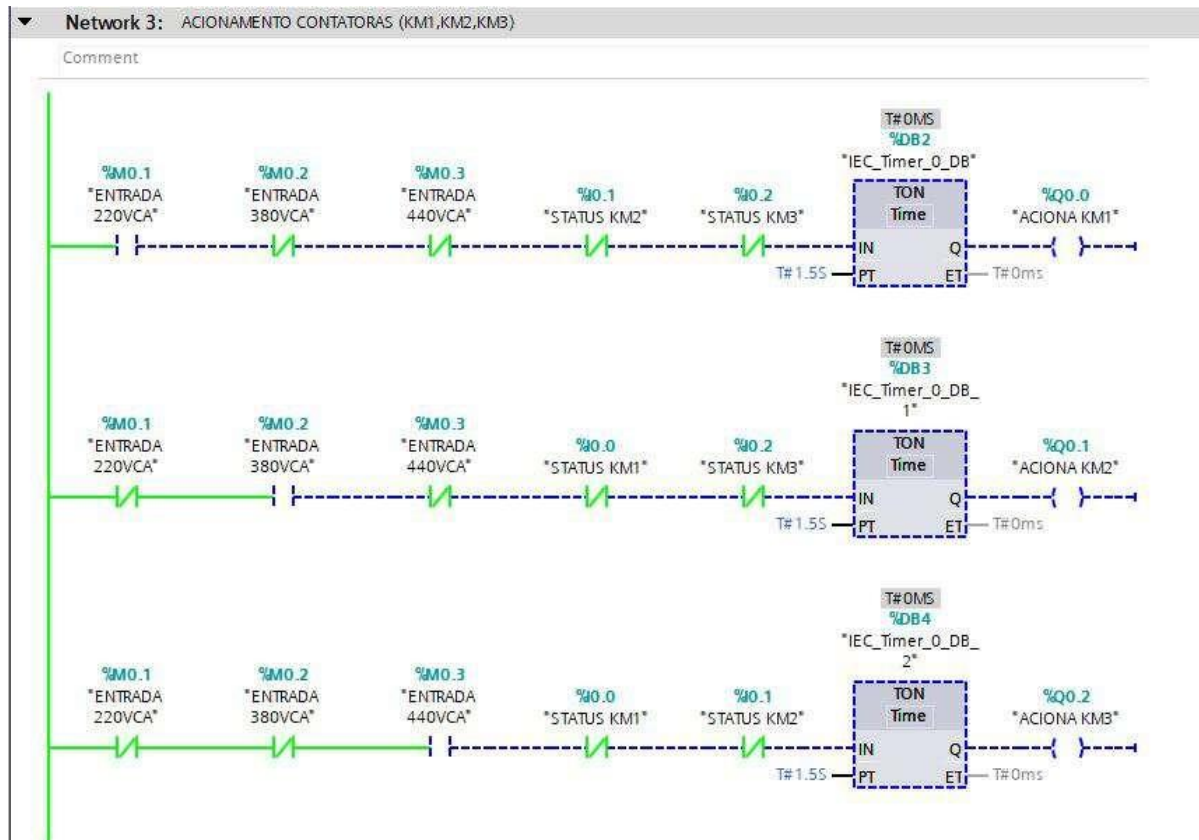
☐	Name	Address	Display Format		Monitor/Modify State	Comment
☐	STATUS KM1	I0.0	Bool	▼	false	
☐	STATUS KM2	I0.1	Bool	▼	false	
☐	STATUS KM3	I0.2	Bool	▼	false	
☐	EMERG-1	I0.3	Bool	▼	true	
☐	EMERG-2	I0.4	Bool	▼	true	
☐	TENSÃO DE ENTRADA	IW5	DEC	▼	25000	
☐	ACIONA KM1	Q0.0	Bool	▼	false	
☐	ACIONA KM2	Q0.1	Bool	▼	false	
☐	ACIONA KM3	Q0.2	Bool	▼	false	
☐	SUB/SOBRETENSÃO	Q0.3	Bool	▼	true	
☐	ENTRADA 220VCA	M0.1	Bool	▼	false	
☐	ENTRADA 380VCA	M0.2	Bool	▼	false	
☐	ENTRADA 440VCA	M0.3	Bool	▼	false	

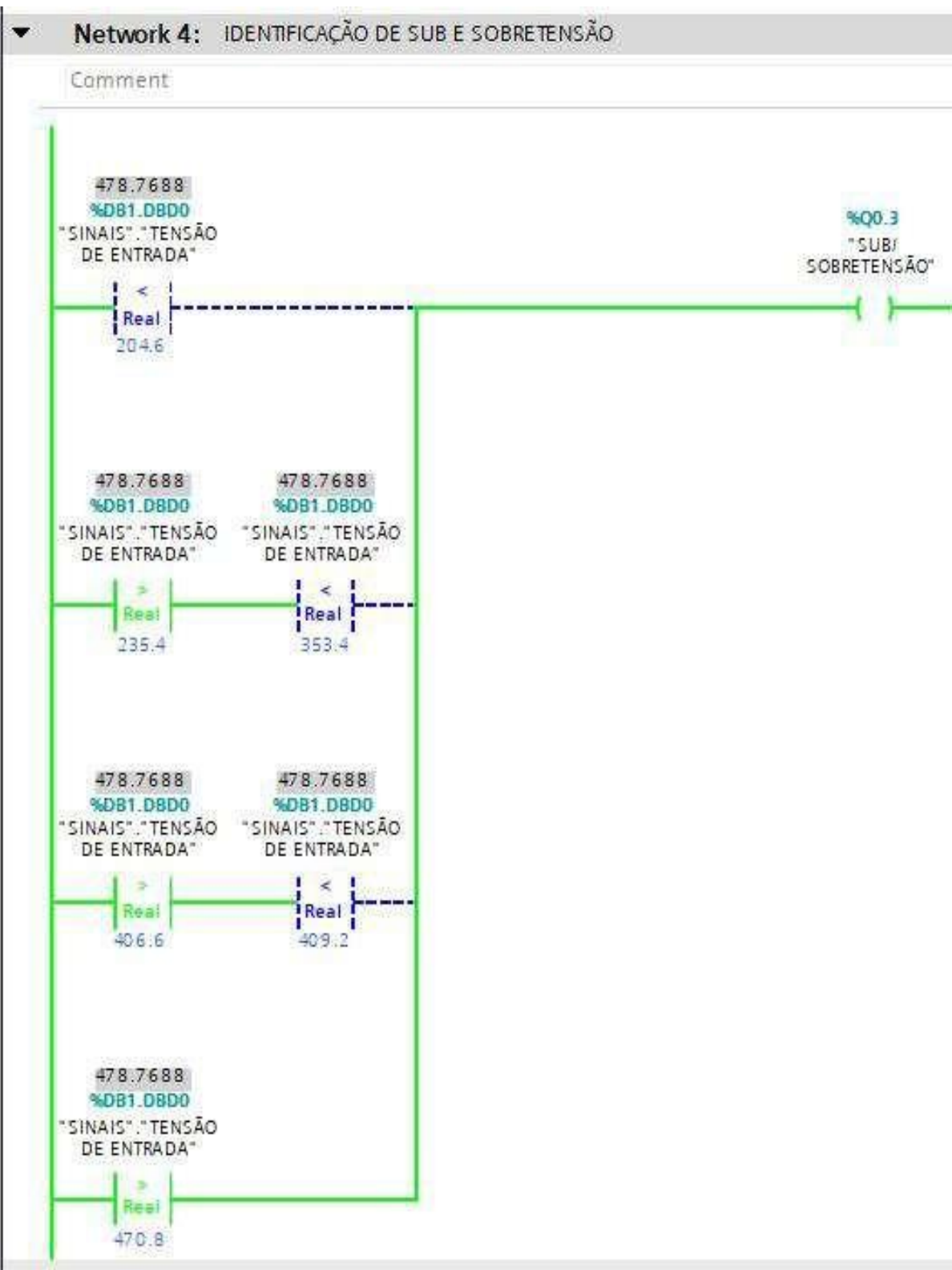


▼ **Network 2:** IDENTIFICAÇÃO DA TENSÃO DE ENTRADA E FECHAMENTO 7% TOLERANCIA

Comment



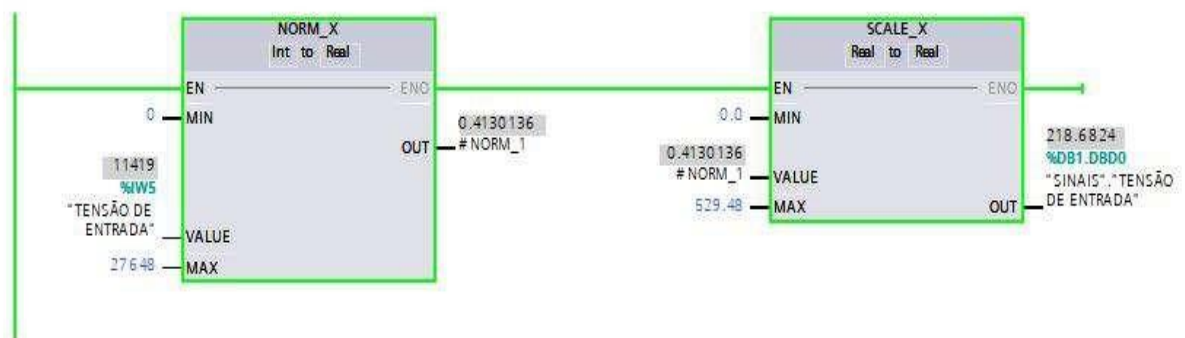




Monitoring						
SimTable_1						
PLC_1[S7_1200] ⓘ						
☐	Name	Address	Display Format		Monitor/Modify State	Comment
☐	STATUS KM1	I0.0	Bool	▼	false	
☐	STATUS KM2	I0.1	Bool	▼	false	
☐	STATUS KM3	I0.2	Bool	▼	false	
☐	EMERG-1	I0.3	Bool	▼	false	
☐	EMERG-2	I0.4	Bool	▼	true	
☐	TENSÃO DE ENTRADA	IW5	DEC	▼	11419	
☐	ACIONA KM1	Q0.0	Bool	▼	false	
☐	ACIONA KM2	Q0.1	Bool	▼	false	
☐	ACIONA KM3	Q0.2	Bool	▼	false	
☐	SUB/SOBRETENSÃO	Q0.3	Bool	▼	false	
☐	ENTRADA 220VCA	M0.1	Bool	▼	false	
☐	ENTRADA 380VCA	M0.2	Bool	▼	false	
☐	ENTRADA 440VCA	M0.3	Bool	▼	false	

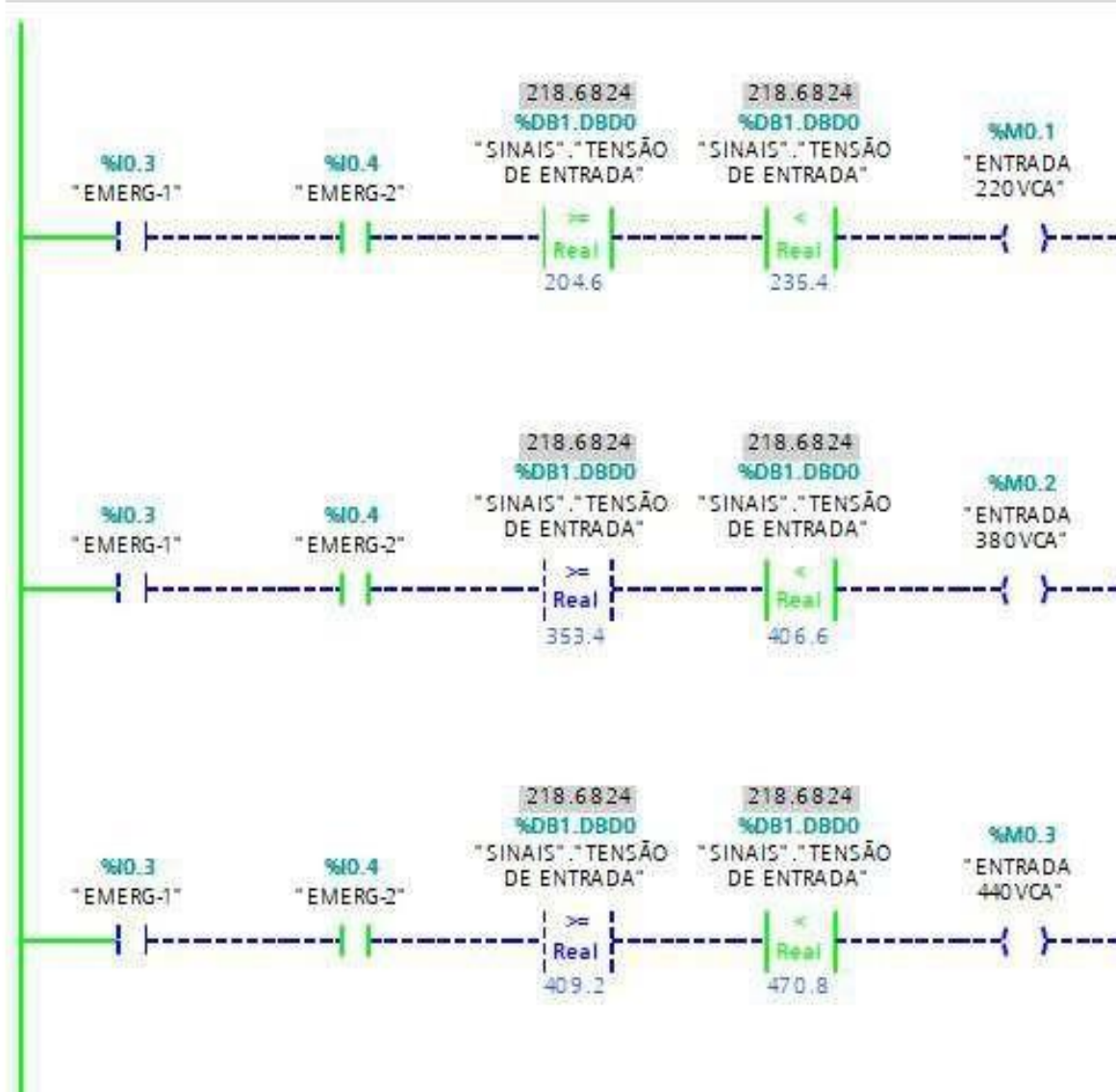
▼ Network 1: LEITURA DE TENSÃO (IT1 / IW5)

Comment



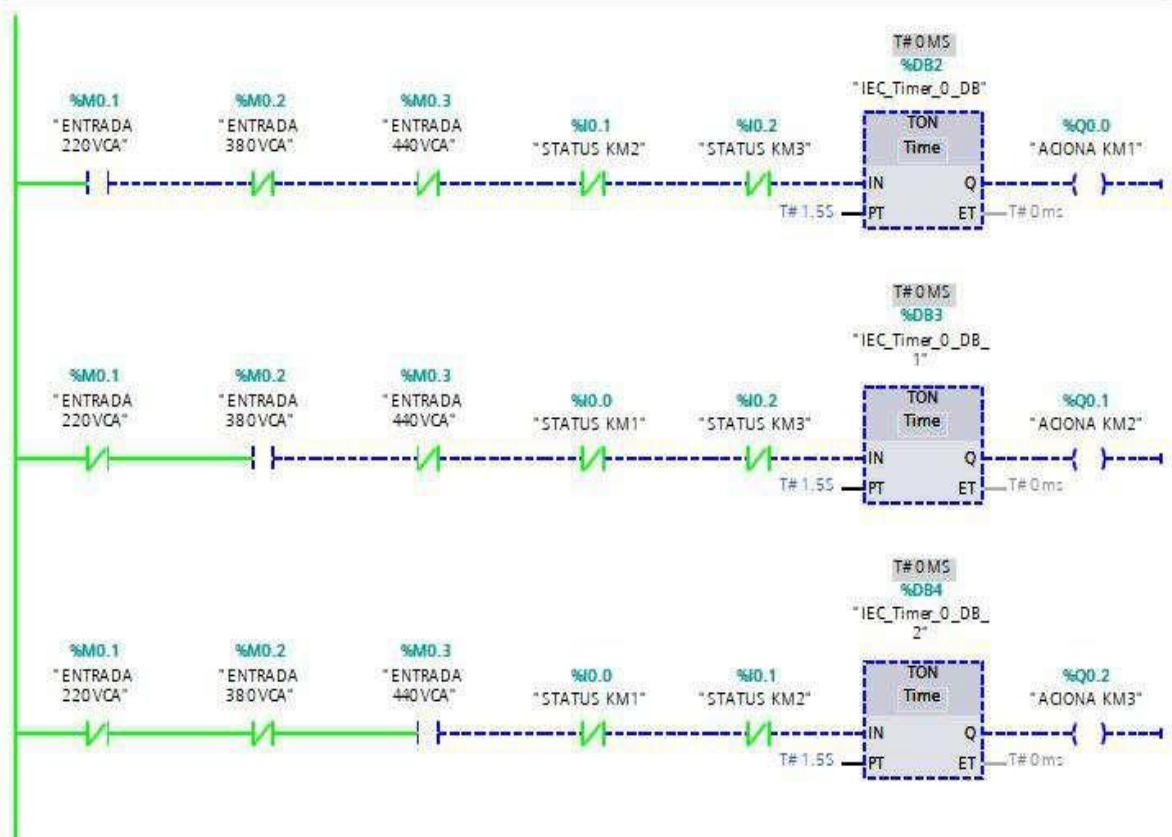
▼ **Network 2:** IDENTIFICAÇÃO DA TENSÃO DE ENTRADA E FECHAMENTO 7% TOLERANCIA

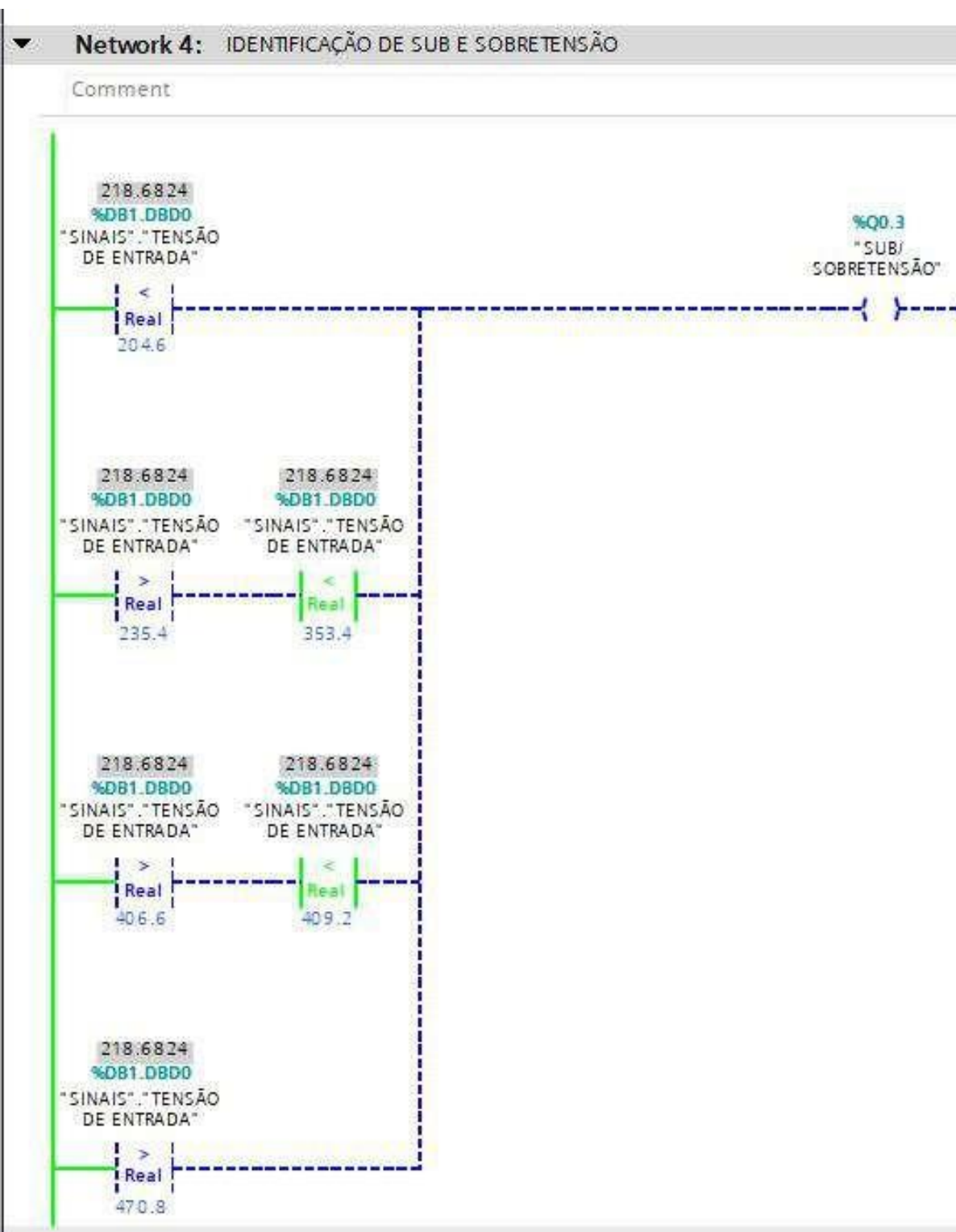
Comment



▼ **Network 3:** ACIONAMENTO CONTADORAS (KM1,KM2,KM3)

Comment





ANEXO A – COTAÇÃO DO TRANSFORMADOR

São Paulo, 04 de maio de 2026.

À
Global
A/C: **Wesley**

ASSUNTO.: COTAÇÃO DE TRANSFORMADOR

MARCA:	ETNA
TIPO:	TTS - TRANSFORMADOR TRIFÁSICO SECO
POTÊNCIA:	20 KVA (K-1)
TENSÃO PRIMÁRIA:	220/380/440V
LIGAÇÃO PRIMÁRIA:	ESTRELA
TENSÃO SECUNDÁRIA:	220V(127N)
LIGAÇÃO SECUNDÁRIA:	ESTRELA + NEUTRO
FREQUÊNCIA:	60HZ
CLASSE DE TEMPERATURA:	F
ISOLAÇÃO:	1,1KV
NORMAS:	NBR-5356
INSTALAÇÃO:	ABRIGADA
PREÇO UNITÁRIO:	• IP-23 R\$ 5550,00