



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA
CAMPUS PALMAS**

HUMBERTO RODRIGUES MACEDO

**AUTOMAÇÃO DE PROCESSO DE OBTENÇÃO DE BODIESEL EM PLANTAS DE
PEQUENO PORTE, UTILIZANDO CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL**

**PALMAS - TO
2018**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA
CAMPUS PALMAS**

HUMBERTO RODRIGUES MACEDO

**AUTOMAÇÃO DE PROCESSO DE OBTENÇÃO DE BIODIESEL EM PLANTAS DE
PEQUENO PORTE, UTILIZANDO CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL**

Dissertação de mestrado apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agroenergia pela Universidade Federal do Tocantins (UFT), Campus Palmas.

Orientador: Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski Junior

Coorientador: Prof. Dr. Valci Ferreira Victor

**PALMAS - TO
2018**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- M141a Macedo, Humberto Rodrigues.
Automação de processo de obtenção de biodiesel em plantas de pequeno porte, utilizando controlador lógico programável. / Humberto Rodrigues Macedo. – Palmas, TO, 2018.
90 f.
Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em Agroenergia, 2018.
Orientador: Joel Carlos Zukowski Junior
Coorientador: Valci Ferreira Victor
1. Planta de produção de biodiesel. 2. Automação de plantas. 3. Lógica Ladder para CLP. 4. Sistema supervisorio. I. Título

CDD 333.7

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITARIO DE PALMAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA**

**AUTOMAÇÃO DE PROCESSO DE OBTENÇÃO DE BIODIESEL EM PLANTAS DE
PEQUENO PORTE, UTILIZANDO CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL**

ALUNO: HUMBERTO RODRIGUES MACEDO

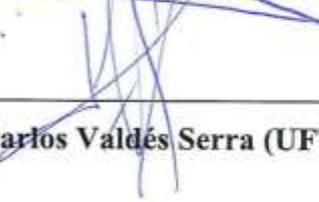
COMISSÃO EXAMINADORA

Presidente:



Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski Junior (UFT)

Examinadores:



Prof. Dr. Juan Carlos Valdés Serra (UFT)



Prof. Dr. Joenes Mucci Peluzio (UFT)



Prof. Dr. Valci Ferreira Victor (IFTO)

Data da Defesa: 13/12/2018

As sugestões da Comissão Examinadora e as Normas PGA para o formato da Dissertação foram contempladas:



Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski Junior (UFT)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo seu imenso amor, carinho e atenção para com minha vida e para com minha família. Por ser o refúgio e o descanso, as mãos poderosas que sempre estão estendidas para me ajudar. Por ser meu amigo de todas as horas. Meu pai eterno. A Ti Senhor seja a honra e a glória.

A minha família: esposa Alessandra; filhos Sophia e Noah. Obrigado por entenderem, apoiarem, e serem meu suporte sempre.

Aos meus pais: Ernane Rodrigues da Silva e Ilza Macedo da Silva, pelo esforço despendido para que eu pudesse continuar os estudos no ensino médio e pelo incentivo para que fizesse uma graduação. Aos senhores minha eterna gratidão.

Ao professor Dr. Joel Carlos Zukowski Junior por ter aceitado e me orientado neste trabalho. Ao prof. Dr. Valci Ferreira Victor pela coorientação.

Aos ilustres professores que aceitaram compor a banca examinadora, e a todo o corpo docente do programa de mestrado em Agroenergia da UFT - Palmas. Muito obrigado.

Aos professores da coordenação de área de indústria do IFTO – Campus Palmas, pelo suporte, reconhecimento e ajuda oferecida na composição dos horários para que eu pudesse me dedicar as disciplinas do mestrado.

Ao meu estagiário de Automação Industrial, Adriano Ferreira Mendonça, pela ajuda na elaboração das figuras dos tanques utilizados no supervisório da planta.

*“Aquele que habita no esconderijo do Altíssimo, à sombra do
Onipotente descansará”
Salmo 91:1*

RESUMO

MACEDO, Humberto Rodrigues. **Automação de Processo de Obtenção de Biodiesel em Plantas de Pequeno Porte, Utilizando Controlador Lógico Programável**. Palmas: UFT, 2018. 90p. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, 2018.

O controle automático do processo de produção de biodiesel contribui para a qualidade e homogeneidade do produto final e para liberação do homem de trabalhos insalubres. Este trabalho propõe um modelo de planta de produção de biodiesel automática e o seu sistema de controle para plantas de pequeno porte. Foram realizadas pesquisas sobre processos de obtenção de biodiesel para propor um modelo de planta automático. A maleta de automação Power system 3000, contendo um CLP SIMATIC S7-1214C, sensores e atuadores foi utilizado para simular o funcionamento do protótipo da planta. Para comprovação do funcionamento da automação da planta foi desenvolvido a tela supervisório da planta com o software *Eclipse E3 Studio* na versão demonstrativa. Como resultados, obteve-se um projeto de planta e automação que realiza a mistura prévia do álcool com o catalisador; realiza ciclos de lavagens do biodiesel em quantidade previamente desejada, e faz a separação automática entre o biodiesel e a glicerina. O modelo de planta e da programação e controle podem ser adaptados a diferentes capacidades de produção. A estimativa de custo com o processo de automação foi de R\$ 11.118,47 para aplicação em novas plantas. Este valor pode ser reduzido em casos de adaptações de plantas manuais ou semiautomáticas existentes.

Palavras Chave: Supervisório. Planta Biodiesel. Programação. CLP.

ABSTRACT

MACEDO, Humberto Rodrigues. **Automation of Process of Obtaining Biodiesel in Small Plants, Using Programmable Logic Controller**. Palmas: UFT, 2018. 90p. Dissertation (Masters in Agroenergy) - Federal University of Tocantins, 2018.

The automatic control biodiesel production process contributes to the quality and homogeneity of the final product and for the liberation of man from unhealthy jobs. This work proposes a model of automatic biodiesel production plant and its control system for small plants. Research was carried out on the processes of obtaining biodiesel to propose an automatic plant model. A Power system 3000 automation case containing a SIMATIC S7-1214C CLP, sensors and actuators was used to simulate the operation of the plant prototype. In order to prove the operation of the plant automation, the supervisor screen of the plant was developed with the software Elipse E3 Studio in the demo version. As a result, obtained a plant and automation project that pre-mixes the alcohol with the catalyst; performs cycles of washing biodiesel in the amount previously reported and makes the automatic separation between biodiesel and glycerin. Both the plant model and the programming and control model can be adapted to different production capacities. The cost estimate with the automation process was of R\$ 11,118.47 for application in new plants. This value may be reduced in cases of adaptations existing manual or semiautomatic plants.

Keywords: Supervisory, Biodiesel Plant, Programming and PLC.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produção de Biodiesel por matéria-prima.....	19
Figura 2 - Produção de Biodiesel puro no Brasil.....	20
Figura 3 – Transesterificação: óleo vegetal e etanol, produzindo biodiesel e glicerol.	21
Figura 4 - CLP Siemens S7-1200 SIMATIC.	24
Figura 5 - Arquitetura de Hardware do CLP.	25
Figura 6 - Princípio de funcionamento do CLP.....	25
Figura 7 - Modelo de sensor digital capacitivo	27
Figura 8 - Diferentes tipos de sensores analógicos.....	27
Figura 9 - Exemplo de misturador	28
Figura 10 - Exemplo de resistência elétrica para aquecimento de óleos	28
Figura 11 - Exemplos de eletroválvula	29
Figura 12 - Diagrama em blocos de um processo automatizado.....	29
Figura 13 - Fluxo de lógica de programação ladder.	30
Figura 14 - Exemplo de tela supervisão.	33
Figura 15 - Maleta de Automação Power System 3000 – DK8.	37
Figura 16 - Metodologia aplicada para o desenvolvimento da tela de simulação.....	39
Figura 17 - Modelo de planta desenvolvido para automação e controle	40
Figura 18 - Diagrama de instrumentos do modelo da planta	43
Figura 19 - Fluxograma para o projeto de automação.	46
Figura 20 - Início do processo de batelada.....	48
Figura 21 - Leitura analógica da temperatura do óleo vegetal.	50
Figura 22 - Lógica para controle da temperatura.....	50
Figura 23 - Lógica do controle de abertura das eletroválvulas (Etanol e NaOH)	52
Figura 24 - Controle do acionamento do motor misturador etanol com NaOH.	53
Figura 25 - Início do processo de transesterificação.....	54
Figura 26 - Controle do tempo do misturador 2 (tanque 5).	55
Figura 27 - Lógica para o tempo de decantação.....	56
Figura 28 - Leitura do sensor analógico para separação das fases.	57
Figura 29 - Lógica para leitura do biodiesel e coprodutos.....	58
Figura 30 - Lógica para separação da glicerina e coprodutos.	59
Figura 31 - Bloco contador para o ciclo de lavagem.	60

Figura 32 - Lógica para definição do ciclo de lavagens.....	60
Figura 33 - Separação do biodiesel e finalização do processo.	61
Figura 34 - Tela de configuração do driver Siemens MProt – aba principal	63
Figura 35 - Tela TIA Portal: Configuração do CLP	64
Figura 36 - Configuração da aba Setup do driver	64
Figura 37 - Configuração da aba Ethernet do driver	65
Figura 38 - Tags de comunicação criadas para o projeto.....	66
Figura 39 - Tela de configuração de uma tag tipo byte	68
Figura 40 - Tela do supervisor, antes do início do processo	69
Figura 41 - Resultado tela supervisor durante operação da planta	70
Figura 42 - Tela de download do Eclipse E3 Studio.	87
Figura 43 - Tela de início do E3 Studio	87
Figura 44 - Detalhe da página de download do driver Siemens	88
Figura 45 - Tela detalhe da instalação do driver de comunicação.....	89
Figura 46 - Exemplo de associação de tags e propriedades para entrada digital.....	89
Figura 47 - Exemplo de associação de tags para as eletroválvulas	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Poder calorífico diesel versus biodiesel.....	20
Tabela 2 - Linguagens de programação padronizadas	30
Tabela 3 - Lista das principais instruções da lógica ladder - *IEC 61131-3.....	31
Tabela 4 - Lista de materiais para automação da planta de biodiesel proposta.....	42
Tabela 5 - Descrição da simbologia da planta instrumental.....	44
Tabela 6 – Custo aproximado da automação do modelo da planta	45
Tabela 7 - Variáveis de entrada no processo	47
Tabela 8 - Parâmetros de configuração das tags de comunicação.....	66
Tabela 9 - Tipos de dados para configuração dos parâmetros.....	67
Tabela 10 - Área de dados para configuração dos parâmetros.....	67
Tabela 11 - Lista de tags criadas na programação	77

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

AC	Corrente alternada
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
B100	Biodiesel 100% puro
B20	Biodiesel 20% na mistura com o diesel
CLP	Controlador Lógico Programável
CPU	Unidade Central de Processamento
DC	Corrente Direta
DB	Diagrama de Bloco
ECE	Energy Central Europe
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-only Memory
EIA	Energy Information Administration
EPROM	Erasable Programmable Read only memory
EV	Eletroválvula
FBD	Function Block Diagram
H2O	Água
IFTO	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
IHM	Interface Homem Máquina
IL	Instruction List
IP	Protocolo de Internet
MProt	Multiprotocolo
NA	Normalmente Aberto
NaOH	Hidróxido de Sódio
NF	Normalmente Fechado
PDF	Formato Portátil de Documento
PH	Potencial Hidrogeniônico
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel
PROM	Programmable Read-Only Memory
RAM	Random Access Memory
RLY	Relé
ROM	Read-Only Memory
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Aquisition</i>
SFC	Sequential Function Chart

STL	Structured Text Language
TC	Temperature Control
TCP/IP	Protocolo de transmissão e Controle – Protocolo de Internet
TIA PORTAL	Software de Automação Integrada da Siemens
UFT	Universidade Federal do Tocantins
WMF	Windows Metafile

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	Problema	18
1.2	Objetivo Geral	18
1.3	Objetivos Específicos.....	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1	Processo de obtenção do Biodiesel.....	19
2.2	Automação de processos	22
2.3	Controlador Lógico Programável	23
2.3.1	Variáveis de entrada de um CLP	26
2.3.2	Variáveis de saída de um CLP	27
2.3.3	Linguagem de programação Ladder para CLP's.....	30
2.4	Sistema de controle e aquisição de dados	32
2.5	Automação de plantas de biodiesel de pequeno porte	33
3	MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.1	Materiais.....	36
3.2	Modelo de planta para simulação	37
3.3	Desenvolvimento do sistema de controle.....	38
3.4	Metodologia da simulação computacional.....	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
4.1	Modelo da planta de produção de biodiesel	40
4.1.1	Custo aproximado da automação da planta.....	44
4.2	Programação para o controle da planta proposta.....	45
4.2.1	Variáveis de entrada na programação	46
4.2.2	Programação para o início do processo	48
4.2.3	Programação para a leitura e controle da temperatura do óleo vegetal	49
4.2.4	Programação para preparação da reação de transesterificação	51
4.2.5	Programação para a reação de transesterificação	53
4.2.6	Lógica de programação para o tempo de decantação	55
4.2.7	Programação para a leitura e separação da glicerina do biodiesel	56
4.2.8	Lógica de programação para a lavagem do biodiesel.....	59
4.2.9	Programação para separação final do biodiesel e finalização da batelada.....	61
4.3	Simulação computacional da automação do modelo de planta	62

4.3.1	Parametrização do driver de comunicação.....	62
4.3.2	Criação das tags de comunicação com o CLP.....	65
4.3.3	Supervisório para a simulação da automação da planta.....	68
4.4	Análise de resultados	70
5	CONCLUSÃO.....	72
5.1	Sugestões de Trabalhos Futuros	72
6	REFERÊNCIAS	73
7	APÊNDICE A – LISTA GERAL DE TAGS DA PROGRAMAÇÃO	77
8	APÊNDICE B – LÓGICA LADDER DA PROGRAMAÇÃO	78
9	APÊNDICE C – ROTEIROS DE CONFIGURAÇÃO DO SUPERVISÓRIO	87
9.1	Instalação do Supervisório Elipse E3 Studio	87
9.2	Inserindo o drive de comunicação no Elipse E3.....	88
9.3	Exemplos de criação de partes da tela do supervisório.....	89

1 INTRODUÇÃO

A utilização de óleos vegetais como fonte renováveis de energia, existe desde a antiguidade. A necessidade cada vez maior de energia culminou com a exploração das fontes não renováveis de energia, como os derivados do petróleo. Contudo, a preocupação com a redução da dependência de combustíveis fósseis, e os danos ao meio ambiente provocados pelo uso crescente dos seus derivados, como gasolina e diesel, contribuíram para surgimento de novas pesquisas em combustíveis renováveis, como o etanol e o biodiesel.

Segundo dados da *Energy Information Administration* – EIA, a produção de petróleo no mundo terá o seu ápice de produção entre os anos de 1996 e 2035. Ainda segundo a EIA, os anos seguintes seriam de queda da produção do petróleo (EIA, 2017). Outra questão importante é a limitação das fontes de combustíveis fósseis a certas regiões do planeta. Enquanto as matérias-primas para produção de biocombustíveis podem ser encontradas em todas as regiões do planeta, onde possam ser cultivadas culturas bioenergéticas. Tais como, cana-de açúcar, beterraba, soja e outras.

Os combustíveis líquidos alternativos são denominados como biocombustíveis, ou combustível biorrenovável. Os biocombustíveis são considerados renováveis porque sequestram carbono durante o crescimento vegetativo das plantas que foram utilizadas para a produção do biocombustível. A produção dos biocombustíveis refere-se, aos sólidos, líquidos ou gases, que são produzidos de biomassa de culturas energéticas. Os biocombustíveis líquidos são normalmente divididos em três categorias: bioálcoois, óleos vegetais e biodiesel (ECE, 2015).

No Brasil, o Biodiesel foi introduzido na matriz energética através da lei nº 11.097 de 13 de janeiro de 2005. O artigo 6 desta lei, define o biocombustível e o biodiesel, como:

XXIV - Biocombustível: combustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna ou, conforme regulamento, para outro tipo de geração de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil;
XXV – Biodiesel: biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil. (NR)

O Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel – PNPB – foi instituído no ano de 2005, com a finalidade de ampliar a produção e o abastecimento interno de combustíveis menos poluentes, e com isso, diminuir a dependência brasileira de exportação do óleo diesel e

gerar renda e emprego para os agricultores familiares. (MADUREIRA; GUERRA, 2014). A Lei nº 11.097 de 13 de janeiro de 2005 estipulou as quantidades obrigatórias de percentual de Biodiesel, a ser misturado no Diesel de origem mineral, para a mistura no Diesel com o Biodiesel.

A lei nº 13.263 de 23 de março de 2016 alterou a lei nº 13.033 de 24 de setembro de 2014, permitindo o aumento da adição do biodiesel ao diesel comercializado nos postos de combustíveis. Em síntese, a lei vigente permitirá a adição do biodiesel ao diesel em até 10% em 2018. Segundo esta mesma lei, percentuais da mistura de biodiesel superiores poderão ser utilizados em máquinas de transportes públicos, ferroviário, de navegação interior, em máquinas de geração de energia elétrica, veículos utilizados na extração mineral e na navegação interior e demais aparelhos automotores destinados a puxar ou arrastar maquinaria agrícola (BRASIL, 2016).

Com a possibilidade legal de produção de biodiesel, por pequenos produtores, surgiram no mercado vários modelos de plantas de produção de biodiesel manuais. Também ampliou a produção artesanal realizada nas próprias dependências dos produtores de matéria-prima. Pequenos produtores são aqueles que possuem terras rurais de até 50 hectares, e sua renda principal é obtida do uso de sua terra por sua família e com eventual ajuda de terceiros (BRASIL, 2006). O biodiesel produzido de forma artesanal e manual, normalmente é de qualidade inferior ao padrão de qualidade normatizado pela ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Este tipo de produção também pode oferecer riscos de saúde para os operadores das plantas manuais e para os produtores artesanais.

Existem vários modelos de plantas de produção de biodiesel de pequeno porte sendo comercializadas. Estas plantas utilizam tanto estruturas físicas, como formas de obtenção e separação do biodiesel da glicerina diferentes. Para as usinas manuais, fica difícil manter a qualidade da produção do biodiesel de batelada para batelada, ou seja, a garantia da uniformidade na produção, uma vez que a mistura dos reagentes; o tempo de mistura da reação; o tempo de decantação e a separação da glicerina do biodiesel, quando feitos manualmente, ocasionam diferenças na produção, que podem afetar a qualidade do produto final. O biodiesel produzido sem uniformidade e sem qualidade pode prejudicar o desempenho dos motores, causar prejuízos financeiros aos usuários e produtores. No mais, a manipulação destes reagentes pode causar acidentes, e risco de insalubridade para seus operadores. Neste cenário, a automação de pequenas usinas pode contribuir para a qualidade na produção; na otimização dos recursos econômicos e temporais, e ainda na liberação do homem do trabalho insalubre e repetitivo (GROOVER, 2011).

1.1 Problema

Com a possibilidade legal de pequenos produtores gerarem o seu próprio biodiesel, muitas usinas de pequeno porte foram fabricadas e comercializadas no Brasil. As usinas comercializadas são geralmente manuais, e por isso não garantem a qualidade da produção do biodiesel e a uniformidade da produção. As usinas manuais também não otimizam o tempo de produção, bem como exige a presença de um operador durante o processo. A produção artesanal de biodiesel também oferece riscos aos operadores, pois exige cuidados na manipulação dos reagentes. Os produtos químicos podem colocar os operadores em situação de insalubridade.

1.2 Objetivo Geral

Desenvolvimento de um sistema de automação e controle para plantas de produção de biodiesel de pequeno porte, pela rota da transesterificação, com a separação automática do biodiesel.

1.3 Objetivos Específicos

- Proposta de um modelo de planta automática para a produção de biodiesel, de pequeno porte, a partir do processo de transesterificação;
- Desenvolvimento da programação, lógica e controle do processo;
- Simulação computacional da automação e controle da planta por meio da criação do supervisor, para o processo de transesterificação.

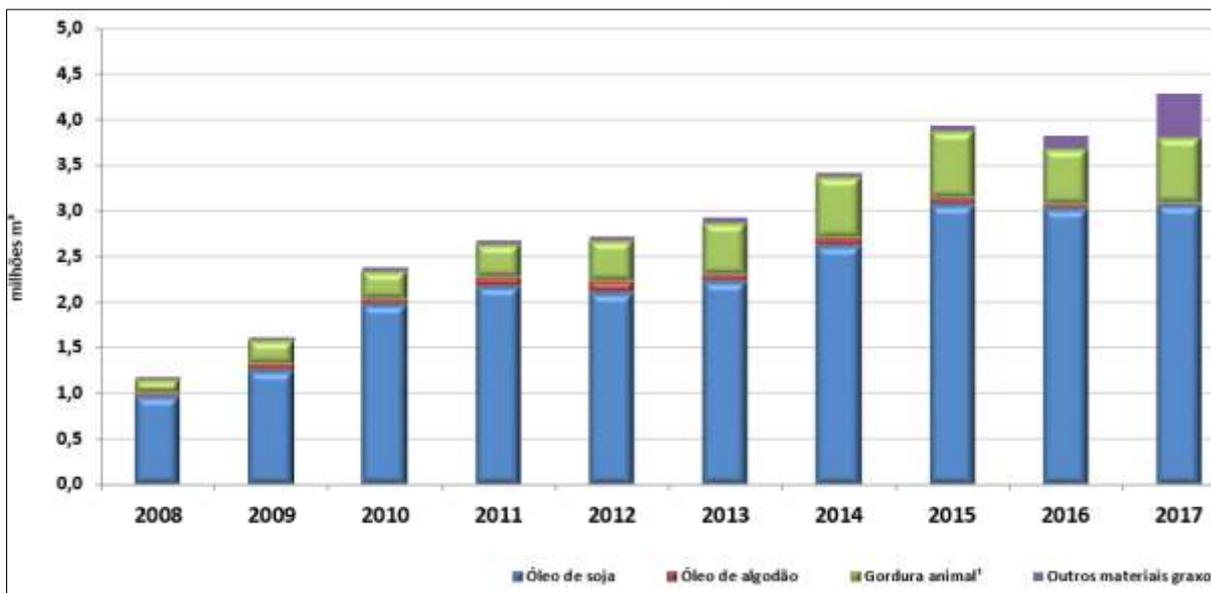
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Processo de obtenção do Biodiesel

Em 1912, Rudolf Christian Karl Diesel, engenheiro alemão inventor do motor a diesel, disse que o uso de óleos vegetais para combustíveis em motores diesel, podia parecer insignificante naquele momento, contudo, ao longo do tempo, estes óleos poderiam se tornar tão importantes quanto o petróleo, e os produtos de alcatrão de carvão (ABREU, 2005).

O biodiesel pode ser produzido a partir de gorduras animais; reaproveitamento de óleo de frituras; e oleaginosas, como mamona, dendê, girassol, babaçu, amendoim, pinhão manso, pequi, inajá e algodão (D'AGOSTO et al., 2015). No Brasil, também foram exploradas matérias-primas como o óleo da Abissínia (WAZILEWSK, 2012), microalgas (DEFANTI et al., 2010; PEREIRA et al., 2012; FRANCO et al., 2013) e macaúba (CESAR et al., 2015). Segundo o anuário estatístico 2018 da ANP, a principal matéria-prima de produção do biodiesel no Brasil é a soja, conforme Figura 1.

Figura 1 - Produção de Biodiesel por matéria-prima

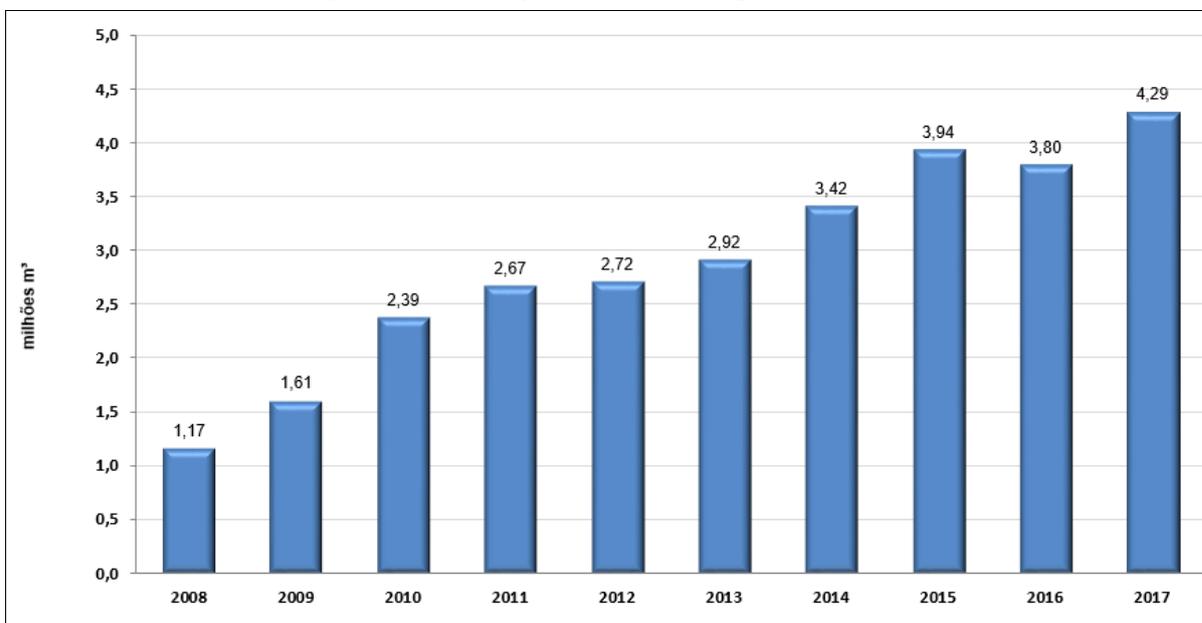


Fonte: ANP, 2018

Conforme ANP, a produção brasileira de biodiesel saltou de 1,17 milhões de litros em 2008, para 4,29 milhões de litros em 2017, conforme demonstra a Figura 2. Estes dados comprovam que tanto a legislação sobre a produção do biodiesel, ampliando a mistura do

biodiesel no diesel mineral, e o PNPB colaboraram para o salto da produção do biodiesel puro no Brasil – B100 (ANP, 2018).

Figura 2 - Produção de Biodiesel puro no Brasil



Fonte: ANP, 2018

O biodiesel pode ser utilizado em sua composição B100 (puro), ou misturado ao óleo diesel, conforme legislação vigente (BRASIL, 2016). Quando utilizado em sua composição B100, seu poder calorífico é de 37,1 MJ/kg. Enquanto o diesel puro possui um poder calorífico de 42,5 MJ/kg (TUTAK et al., 2017), portanto, necessário um volume maior de biodiesel para gerar a mesma energia que o diesel. O poder calorífico do B20, ou seja, mistura de 20% de biodiesel ao diesel é de 44,5 MJ/kg, conforme demonstra a Tabela 1 (TAN et al., 2016).

Tabela 1 - Poder calorífico diesel versus biodiesel

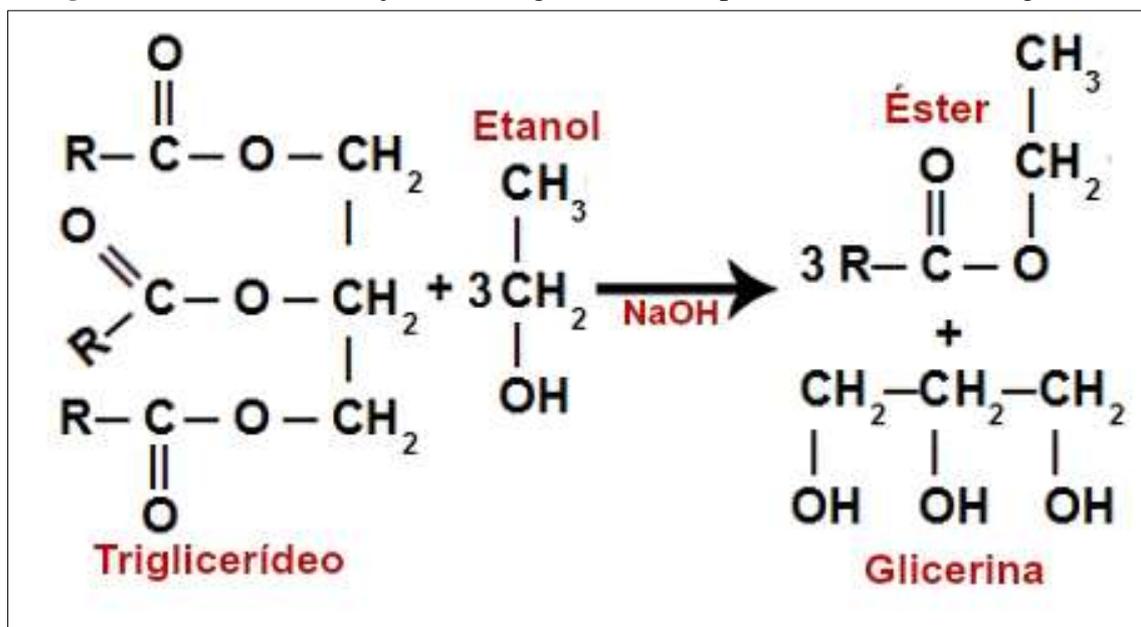
MISTURA	TUTAK ET. AL. (2017)	TAN ET. AL. (2016)
B100	37,1 MJ	35 MJ
B20	----	44,5 MJ
D100	42,5 MJ	44,8 MJ

Fonte: TAN et al., 2016

O Biodiesel pode ser obtido através das rotas de craqueamento, esterificação e transesterificação. O processo de transesterificação tem sido mais comumente empregado na

produção de Biodiesel, utilizando um álcool de cadeia curta de carbono, como por exemplo, o metanol ou o etanol (RAMOS et al., 2017). A Figura 3 demonstra a reação química do óleo vegetal com o álcool, produzindo o biodiesel e o glicerol (DIAS, 2018). O Biodiesel também pode ser produzido a partir de ácidos graxos de cadeia longa.

Figura 3 – Transesterificação: óleo vegetal e etanol, produzindo biodiesel e glicerol.



Fonte: DIAS, 2018

Os óleos vegetais e os graxos animais são triglicerídeos, ou ésteres, compostos por três cadeias de ácidos graxos unidos a uma molécula de glicerina. A glicerina é considerada um álcool pesado de três carbonos.

No processo de transesterificação, os ésteres triglicerídeos são convertidos em ésteres alcalinos (biodiesel) na presença de um catalisador, por exemplo, soda cáustica e um álcool. O álcool pode ser o etanol ou metanol. Se o álcool for metanol, forma-se ésteres metílicos, sendo etanol, formam-se ésteres etílicos. Portanto, na transesterificação a molécula de triglicerídeo divide-se em três moléculas de éster metílico ou éster etílico e uma de glicerina. O catalisador quebra os enlaces que unem os ácidos graxos com a glicerina. A glicerina desce no tanque e as cadeias de ácido graxo se unem ao metanol (GONÇALVES, 2017).

A reação de transesterificação ocorre em três etapas, sendo elas:

- Primeiramente uma cadeia de ácido graxo separa-se do triglicerídeo unindo ao etanol ou metanol, formando a molécula de éster metílico ou etílico, ou seja, um diglicérideo.

- Em seguida, outra cadeia de ácido graxo se separa da glicerina, que também se une a um álcool, etanol ou metanol, formando a segunda molécula de éster metílico ou etílico, deixando um monoglicérideo.
- Por fim, o monoglicérideo se converte em éster etílico ou metílico. Completando a reação.

Entretanto, a reação pode não se completar totalmente, e podem ficar no biodiesel, restos sem converter, ou parcialmente convertidos. Processos de limpeza para retirada das moléculas que não completaram a reação se faz necessário. Ao final da reação de transesterificação, e após um período de decantação, é possível verificar visualmente as duas fases. O glicerol mais denso por baixo e o biodiesel mais leve por cima. Por existirem tantos fatores a serem controlados durante o processo de obtenção do biodiesel, a automação do processo de produção do biodiesel constitui uma ferramenta essencial para garantia da qualidade e homogeneidade do produto.

2.2 Automação de processos

Desde o invento da roda, ocorrido entre os anos de 3.500 a 3.200 AC, o homem vem buscando automatizar e controlar os processos. A revolução industrial ocorrida em meados do século XVIII foi propulsora do desenvolvimento da automação de processos, com o surgimento das linhas de produção modernas (MOREIRA, 2012).

Até 1770, o desenvolvimento da automação era baseado no desenvolvimento da automação mecânica, na criação de mecanismos fixos para auxiliarem nos processos fabris. Em 1950, com a invenção do transistor, houve grande avanço tecnológico que possibilitou o controle de máquinas e processos através de circuitos eletrônicos, e posteriormente de computadores (FRANCHI; CAMARGO, 2010).

São consideradas vantagens da automação de processos: a qualidade do produto e sua homogeneidade. Esta característica é muito importante na produção de produtos finais ao consumidor. No caso da produção de biodiesel, é fundamental que o processo mantenha a qualidade dos produtos de batelada para batelada. Outra vantagem da automação do processo, é a liberação do homem das tarefas entediantes e insalubres, colocando máquinas e equipamentos para fazerem estas atividades, e permitindo ao homem executar tarefas mais prazerosas e de cunho intelectual.

O controle automático de um processo contribui para a melhoria na eficiência da execução da atividade e na redução do uso de pessoas em tarefas repetitivas, e por fim, reduz os custos com mão-de-obra (HAIGHT, 2017).

O desenvolvimento do controle de produção do biodiesel, de forma automática e supervisionada, como proposta para este projeto, compete para a qualidade da produção e para liberação do homem de executar tarefas que envolvam riscos de insalubridade, e ainda consiste numa importante ferramenta educacional, tanto na área de meio-ambiente, como na área de tecnologia de processos. Um equipamento bastante utilizado na automação de processos industriais chama-se CLP – Controlador Lógico Programável, utilizado para o controle da automação proposto para este trabalho.

2.3 Controlador Lógico Programável

Em 1968, por necessidade da indústria automobilística americana, foi inventado o CLP, que ao longo dos anos foi adquirindo novas funcionalidades, e possui forte presença nas linhas de produção de pequenas e grandes indústrias (FRANCHI; CAMARGO, 2010). A utilização de CLP's na automação de processos permite aos técnicos e engenheiros a verificação do funcionamento e a correção das falhas, ainda na fase de projeto, contribuindo para a diminuição dos custos de implantação.

Existem no mercado vários fabricantes de CLP. Desde os mais simples, até os CLP's de última geração, capazes de controlar grandes processos.

O CLP possui em sua arquitetura de hardware elementos, tais como:

- CPU – Unidade de Central de Processamento,
- Fonte de alimentação, com bateria interna;
- Barramento de entradas;
- Barramento de saídas;
- Memórias (RAM, ROM, PROM, EPROM e EEPROM);
- Barramento de dados, endereçamento e controle;
- Arquivos de programas;
- Arquivos de dados;
- Porta de comunicação, e
- Barramento de expansão de entradas /saídas.

A Figura 4 apresenta um modelo de CLP da Siemens, dentre muitos outros modelos existentes no mercado. Os CLP's são equipamentos versáteis, que controlam os elementos ligados em sua saída, de acordo com a lógica de programação, e considerando, tanto o estado dos sensores de entrada, quanto a situação dos elementos de saída.

Figura 4 - CLP Siemens S7-1200 SIMATIC.



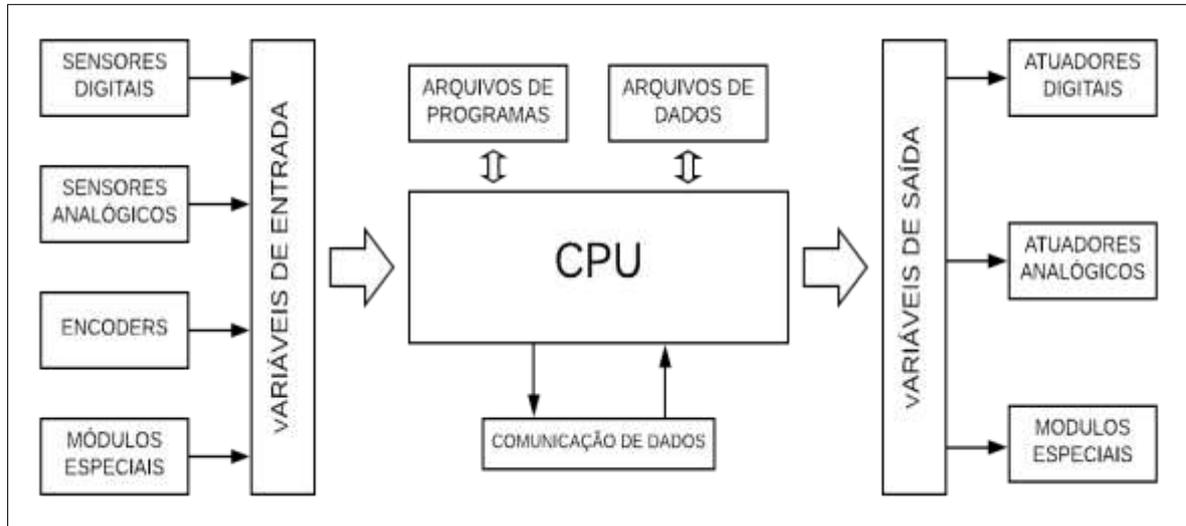
Fonte: TENGKAI1, 2018

Como existem vários modelos de CLP's no mercado. Com recursos diversos, existem também diferentes arquiteturas de hardware disponível na literatura. A Figura 5, apresenta uma arquitetura de hardware existente para a maioria de CLP's fabricados no mundo (EMERICK, 2018). Os principais fabricantes de CLP's são:

- Siemens;
- Allen Bradley – Rockwell;
- Schneider Electric;
- GE – Fanuc;
- Mitsubishi Electric;
- Festo;
- Toshiba, e
- OMRON.

A empresa brasileira WEG, conhecida mundialmente como fabricante de motores e transformadores, também possui uma linha de equipamentos para automação industrial, dentre eles, o CLP.

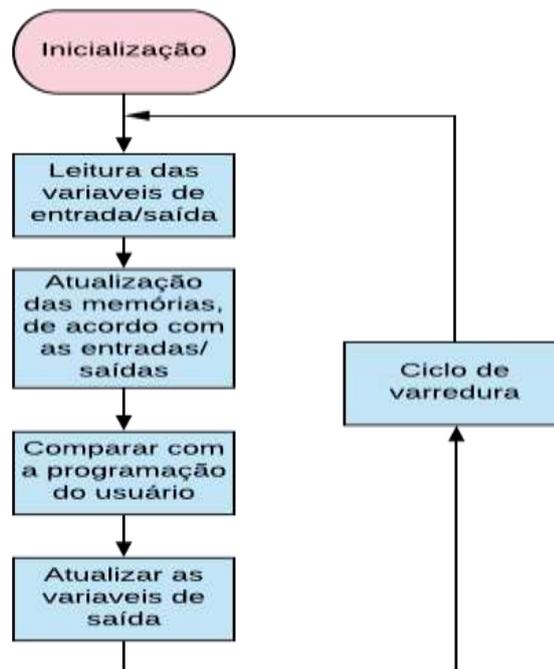
Figura 5 - Arquitetura de Hardware do CLP.



Fonte: Autor

O CLP possui um ciclo de operação e um princípio de funcionamento. A Figura 6 ilustra, em fluxograma, o princípio de funcionamento de um CLP.

Figura 6 - Princípio de funcionamento do CLP.



Fonte: Autor

Quando o CLP executa um ciclo de operação, chamamos de ciclo de varredura. De forma geral, o CLP executa os seguintes passos:

- Inicialização;
- Leitura das variáveis (sensores) de entrada e dos elementos (atuadores) da saída;
- Atualização das memórias com o estado das entradas e saídas;
- Comparação do estado das memórias, com a programação feita pelo usuário;
- Atualização das saídas de acordo com a lógica de programação do usuário, e
- Repetição do ciclo de varredura.

O CLP guarda as informações dos estados das entradas e saídas, bem como, das instruções feitas pelo programador, em arquivos de dados e de programas. Estes arquivos ficam em locais específicos de memória. Estas memórias são atualizadas a cada ciclo de varredura, e, podem ser acessadas por sistema de controle e aquisição de dados – SCADA. Sistemas SCADA serão abordados no tópico 2.4.

2.3.1 Variáveis de entrada de um CLP

As variáveis de entrada são todos os sensores que estão interligados ao CLP pelo bloco de entrada. Normalmente são sensores digitais e analógicos. Estes sensores são responsáveis pelas informações do processo produtivo ao CLP. Os sensores são dispositivos sensíveis a variação de uma grandeza física, tais como: eletricidade, magnetismo, eletromagnetismo, calor, som, luz, dentre outros.

Os sensores ou transdutores são dispositivos eletroeletrônicos capazes de detectar várias formas de energia, como sinais elétricos, magnéticos, temperatura e movimentos. Existem sensores adequados para diferentes objetos e aplicações. Os principais tipos de sensores são: indutivo; capacitivo; óptico e ultrassônico. Os sensores são divididos entre analógicos e digitais. Os sensores digitais são capazes de indicar a presença ou não de objetos. Produzem sinais de saída binários, ou seja: 1 (um) ou 0 (zero); presença ou ausência; verdadeiro ou falso. Enquanto os sensores analógicos são capazes de indicar os valores de grandezas físicas, tais como: temperatura, velocidade, pressão, nível, tensão, entre outras.

Sensores capacitivos fazem a leitura do objeto, através da distorção do campo elétrico causado pelo objeto em sua frente. A Figura 7 apresenta um modelo de sensor capacitivo. Este tipo de sensor não precisa ficar em contato direto com o produto.

Figura 7 - Modelo de sensor digital capacitivo



Fonte: BOTNROLL, 2018

A Figura 8 apresenta três modelos de sensores analógicos. Sendo o sensor de temperatura na Figura 8^a; sensor capacitivo na Figura 8b, e sensor ultrassônico na Figura 8c.

Figura 8 - Diferentes tipos de sensores analógicos



a) sensor de temperatura

b) sensor capacitivo

c) sensor ultrassônico

Fonte: BOTNROLL; TECNI-AR, 2018

2.3.2 Variáveis de saída de um CLP

As variáveis de saída são dispositivos eletroeletrônicos que são interligados ao bloco de saída do CLP. São conhecidos como atuadores do sistema, aqueles que vão interferir no processo produtivo. Os principais tipos de atuadores em processo são: bombas hidráulicas, motores, misturadores, resistências elétricas, eletroválvulas, contadores, temporizadores, lâmpadas, ventiladores, exaustores, válvulas eletropneumáticas, dentre outros. A Figura 9 ilustra um modelo de misturador. Os misturadores são motores com hélices acopladas para realizar a mistura de dois ou mais produtos.

Figura 9 - Exemplo de misturador

Fonte: BOMAX, 2018

A resistência elétrica trata-se de um tipo de atuador utilizado para aquecimentos de produtos que consiste na capacidade de um corpo de transformar energia elétrica, em energia térmica. A Figura 10 apresenta dois modelos de resistência elétrica. Quanto maior for a potência elétrica do equipamento, menor será o tempo de aquecimento do produto. A especificação da potência, portanto, deverá observar a capacidade do tanque, e o tempo que se deseja para o produto alcançar a temperatura desejada.

Figura 10 - Exemplo de resistência elétrica para aquecimento de óleos

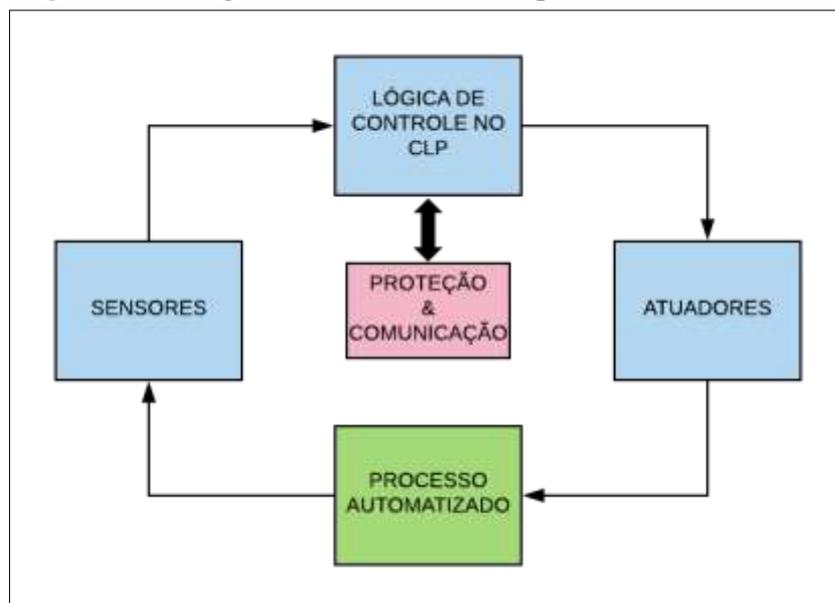
Fonte: ELETROTHERMO, 2018

As eletroválvulas são válvulas elétricas que permitem o fechamento e abertura de tanques e tubulações através de um sinal elétrico. As eletroválvulas são utilizadas para o acionamento do transporte de produtos, e possuem vazão específica que variam de acordo com sua seção transversal. As eletroválvulas são fabricadas com a utilização de materiais diferentes para acionamentos de diferentes produtos. A Figura 11 apresenta dois modelos de eletroválvulas, sendo um modelo de eletroválvula de latão para acionamento de produtos como óleo e água, e um modelo de PVC utilizado somente para águas em temperaturas ambientes.

Figura 11 - Exemplos de eletroválvula

Fonte: ELETROGATE, 2018

O CLP aciona as variáveis de saída, de acordo com a leitura dos sensores no bloco de entrada, comparando-os sempre com as instruções e lógicas programadas pelo usuário. Desta forma, o processo de produção se torna automático. Outra vantagem do sistema automatizado utilizando o CLP é a possibilidade de comunicação com outros equipamentos. O nível de proteção no sistema também é ampliado quando se utiliza o CLP. A Figura 12 ilustra o diagrama de blocos de um processo automatizado com a utilização do CLP.

Figura 12 - Diagrama em blocos de um processo automatizado.

Fonte: Autor

O CLP recebe instruções lógicas do usuário, para realizar o controle do processo, essas instruções são chamadas de linguagens de programação para CLP.

2.3.3 Linguagem de programação *Ladder* para CLP's

Existem várias linguagens de programação para CLP. Neste subtópico, apenas citaremos a existência das principais lógicas de programação, e passaremos uma noção de programação em lógica ladder. As linguagens de programação para CLP são padronizadas pela norma IEC 61131 - *Internacional Electrotechnical Commission*. A Tabela 2 resume as linguagens de programação padronizadas (IEC 61131, 2018).

Tabela 2 - Linguagens de programação padronizadas

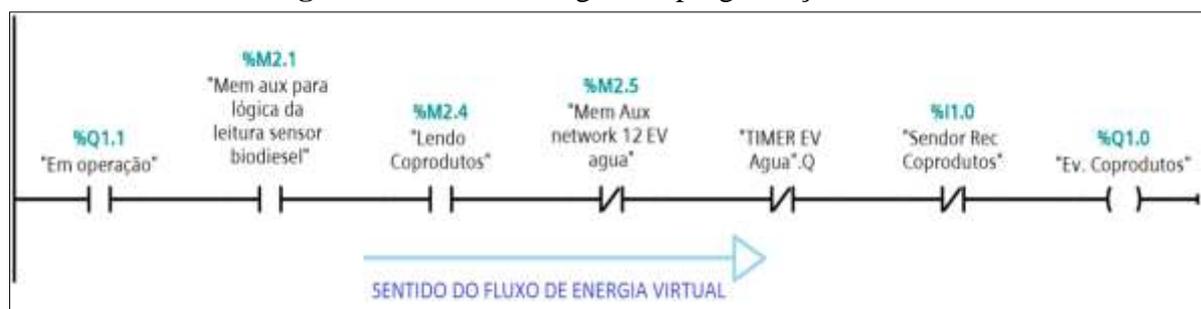
LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO	TIPO DE LINGUAGEM
STL – Structured Text Language	Textual
IL – Instruction List	Textual
FBD – Function Block Diagram	Gráfica
Linguagem Ladder	Gráfica
SFC - Sequential Function Chart	Gráfica

Fonte: Adaptado de IEC 61131, 2018

A linguagem de programação *ladder* é considerada a linguagem universal pelos engenheiros eletricitistas. Sua simbologia se assemelha com a de comandos elétricos, por isso, todos os CLP's fabricados no mundo suportam essa linguagem. Existem CLP's que suportam a programação em mais de uma linguagem, desde que uma delas, seja a linguagem *ladder*.

A linguagem *ladder* recebeu este nome, devido a organização da programação lembrar uma escada, onde cada linha de programação representa um degrau. Para ativar uma bobina ou saída do CLP, se faz necessário energizar toda a linha, obedecendo a lógica feita pelo usuário, conforme ilustra a Figura 13. A linha de programação sempre se encerra com o objeto que deseja controlar (saída). Todo o restante da linha é considerado a lógica para o acionamento da saída.

Figura 13 - Fluxo de lógica de programação *ladder*.



Fonte: Autor

Na Tabela 3 pode-se verificar as principais instruções na lógica *ladder*, de acordo com a norma IEC 61131-3. Esta norma foi criada para padronizar as instruções das linguagens de programação para CLP's. No entanto, existem vários fabricantes de CLP's que não adotaram completamente a simbologia proposta pela norma IEC 61313-3, contudo, existe uma semelhança entre a simbologia destes, com as da norma.

Tabela 3 - Lista das principais instruções da lógica *ladder* - *IEC 61131-3

INSTRUÇÃO (Simbologia)	DESCRIÇÃO
	Contato aberto (NA). Normalmente aberto. Transfere energia na linha se a chave ou sensor estiver acionado
	Contato fechado (NF). Normalmente fechado. Transfere energia na linha mesmo que a chave ou sensor não esteja acionado.
	Transição positiva. Transfere energia na linha de programação sempre que o estado do sensor, ou da chave, variar de desligado para ligado.
	Transição negativa. Transfere energia na linha de programação sempre que o estado do sensor ou chave variar do estado ligado para o desligado.
	Bobina de saída. Se todos os contatos da linha estiverem energizados, a bobina é energizada. Caso contrário não é energizada.
	Bobina de saída negada. Se todos os contatos da linha estiverem transferindo energia, a bobina ou saída é desenergizada. Caso contrário é energizada.
	Bobina set. Uma vez que todos os componentes da linha energizam, a bobina é energizada, mesmo que a linha seja desenergizada.
	Bobina reset. A forma de desligar uma bobina de saída set. Sempre que todos os elementos da linha estiverem energizados.
	Bobina ou saída de memória. São bobinas auxiliares que funcionam da mesma forma que as bobinas de saídas. Contudo não representam uma saída física do CLP.
	Set bobina de memória. São bobinas auxiliares que funcionam como a bobina de saída set. Contudo não representam uma saída física do CLP.
	Reset bobina de memória. São bobinas auxiliares que funcionam como a bobina de saída reset. Contudo não representam uma saída física do CLP.

* Padrão internacional da norma IEC 61131-3. Essa simbologia pode variar de acordo com o fornecedor do CLP.

A linguagem *ladder* também possui blocos com funções diversas para o usuário programar sua lógica. A utilização destes blocos é de fundamental importância para se obter uma programação mais robusta. Estes blocos variam de acordo com o modelo do CLP. Os principais blocos existentes são:

- Blocos com função de temporizadores;

- Blocos com função de contadores;
- Blocos comparadores;
- Blocos com fórmulas e funções matemáticas;
- Blocos de movimentação de dados, e
- Blocos de função relógio.

2.4 Sistema de controle e aquisição de dados

Os sistemas supervisórios conhecidos como SCADA – *Supervisory Control and Data Acquisition* - são softwares gráficos que controlam e supervisionam sistemas industriais, portanto, comunicam em rede, em tempo real, com o processo industrializado. Estes sistemas buscam as informações de um servidor que controla o processo. Geralmente são controlados por CLP. Desta forma, trocam informações, podendo ler e escrever dados na memória do dispositivo de controle do processo (GOULD, 2016).

Os sistemas SCADA possuem basicamente dois módulos distintos, o primeiro onde se desenvolve graficamente a planta do processo industrializado, e o segundo que executa o sistema desenvolvido, em tempo real.

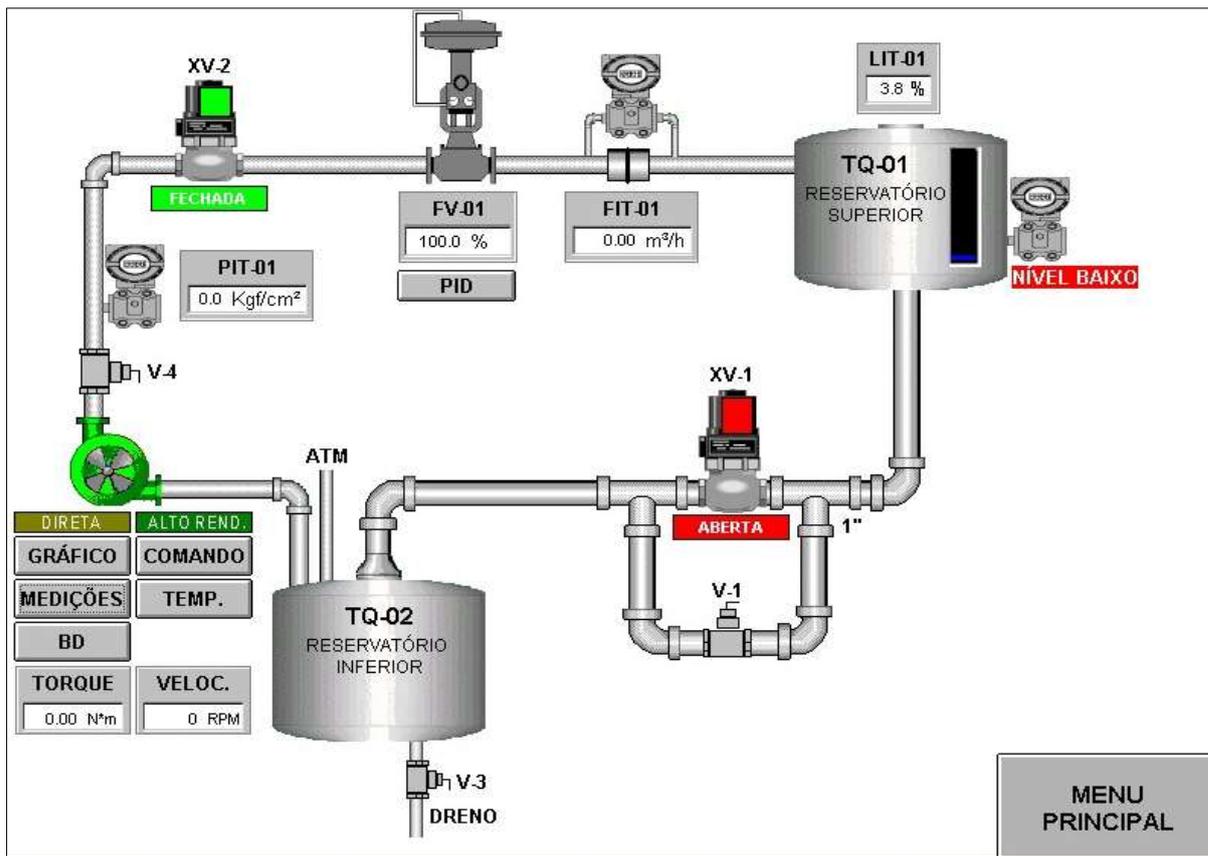
O ponto crítico de um sistema supervisório é a sua capacidade de se comunicar com o processo. Para isso, existem diferentes drivers de comunicação, que configurados corretamente, permitem ao sistema supervisório acionar: bombas, eletroválvulas, sensores e motores. Permitem também fazer a leitura de dados, como: temperatura, pressão, nível, entre outros.

Através das ferramentas disponíveis no módulo de desenvolvimento dos supervisórios, é possível a criação de gráficos de tendências, telas de alarmes, telas com partes do processo, entre outras ações.

As Associações ou conexões são ferramentas de ligações feitas entre propriedades e objetos. As associações trazem grande facilidade, ao criar animações, e outros tipos de lógicas comuns, minimizando a utilização de scripts.

A Figura 14 ilustra um modelo de tela de supervisório. Estas ferramentas podem ser úteis para captação de dados essenciais ao processo industrial automatizado. Alguns softwares SCADA fornecem relatórios que podem ser utilizados para a otimização do processo (WOOLLY, 2016).

Figura 14 - Exemplo de tela supervisorio.



Fonte: NASCIMENTO, 2015

2.5 Automação de plantas de biodiesel de pequeno porte

Plantas de produção de biodiesel de pequeno porte podem ser consideradas aquelas que utilizam a gravidade para o transporte dos insumos, ou plantas que possuem capacidades não muito superiores a 1.000 litros por batelada.

Worm (2012) elaborou um projeto para automação de uma planta manual de produção de biodiesel, existente na Universidade de Santa Cruz do Sul. A planta utilizada no projeto usava rota metálica para produção de biodiesel, e como matéria prima, o óleo vegetal que passaria por duplo processo de transesterificação, com a finalidade de aumentar a quantidade de biodiesel produzido. Ainda sobre o projeto de Worm (2012), este possuía apenas uma tela para monitorar o funcionamento da planta, e também alguns alarmes de temperatura. Esta tela era acoplada ao CLP que informava em qual etapa estava o processo. O seu projeto contava com atuadores como: bombas e aquecedores; contudo, as válvulas permaneciam sendo operadas manualmente. Nas válvulas foram colocados sensores para indicar se as mesmas

estavam abertas ou fechadas, com finalidade de informar o estado dessas válvulas na tela de monitoração e de alarmes.

Birchal (2013) elaborou um supervisório de controle para o processo de produção de biodiesel, a partir de uma planta semiautomática, utilizada para testar diferentes reagentes para a otimização da produção, buscando alterar as condições de temperatura e tempo da reação para diferentes tipos de óleo e de catalisadores. Desta forma, essas condições poderiam ser controladas, supervisionadas e alteradas pela tela do supervisório.

Elsawy (2012) realizou o projeto e montagem de uma usina automática para produção de biodiesel. A reação de transesterificação era realizada de acordo com os valores de PH – Potencial Hidrogeniônico do óleo utilizado como matéria prima. Estes valores eram comparados com os valores de uma tabela para ajustar o tempo de reação. Portanto, antes do início da batelada era necessário informar qual tipo de óleo estava sendo usado. Neste trabalho, a mistura do metanol com o óleo era feita manualmente, as demais ações eram realizadas através de bombas hidráulicas.

Malone et al. (2014) desenvolveram uma planta de produção de biodiesel para utilização de óleo vegetal de fritura, utilizando a rota metílica. Não desenvolveram o supervisório para a planta. O óleo de fritura era primeiramente testado para saber o PH do óleo. A separação do biodiesel da glicerina era feita manualmente, por abertura e fechamento de válvula. Foram utilizados como atuadores: bombas, válvulas e aquecedores. Durante a reação de transesterificação, a mistura foi realizada por um agitador ultrassônico controlado pelo CLP.

A Indústria Flournoy Green Tech desenvolveu uma planta com supervisório, ambos controlados por um CLP. A planta para pequenas produções foi desenvolvida para ser móvel e, portanto, utiliza rodas em sua estrutura. Contudo, é necessário conectar a planta manualmente nos reservatórios de óleo vegetal e de metanol. Também se faz necessário conectar os tanques de saída de biodiesel e glicerol manualmente. No início do processo também é necessário informar o tipo de óleo vegetal utilizado, e o restante é controlado automaticamente pelo CLP. A separação do biodiesel do glicerol é feita através de sensor óptico, ao captar a diferente coloração entre os mesmos (FLOURNOY, 2017).

Cás (2017) desenvolveu um sistema de controle e supervisório para uma planta de produção de biodiesel, de pequeno porte. Ele utilizou o modelo de planta de Kemp (2016). Utilizou programação *ladder* em CLP Siemens. Não desenvolveu o protótipo para testar o funcionamento do sistema de controle proposto. Para a simulação do processo foi utilizada uma programação em linguagem *ladder*, no lugar das leituras dos sensores. Neste caso, para a

implantação do sistema de controle em uma planta existente, seria necessário trocar essa programação, por outra, que realize a leitura diretamente no sensor analógico. O controle projetado por Cás não contou com um tanque para mistura entre o catalisador e o metanol, antes da reação de transesterificação. Este tanque torna o projeto mais elaborado, e contribui para melhoria no processo de obtenção do biodiesel (CAS, 2017).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para melhor compreensão da metodologia utilizada no trabalho, foi dividida esta seção em partes. Primeiramente, os materiais necessários para a conclusão do trabalho. Depois a metodologia aplicada para se obter cada objetivo.

3.1 Materiais

Os materiais utilizados para a elaboração da programação de controle, do supervisor e da simulação foram:

- Computador: Windows 10 PRO; processador Intel® core™ i5 – 7400; CPU @ 3GHz; RAM 8GB de 64 bits.
- Software Tia Portal – Automação Integrada Total - versão 14.0, Service Packard – 1, com licença total de uso;
- Supervisor Elipse E3 Studio, na versão demo.
- Maleta de Automação *Power System 3000* da DK8, com os seguintes itens:
 - Um (1) CLP Siemens S7-1200, CPU 1214C AC/DC/RLY. Com 12 (doze) entradas digitais; 14 (catorze) saídas digitais; 2 (duas) entradas analógicas e 1 (uma) saída analógica;
 - 9 (nove) saídas digitais para ligações de lâmpadas LED – *Light Emission Diode*;
 - 4 (quatro) sensores digitais, do tipo chave retentiva, contato NA – Normalmente Aberto;
 - 2 (dois) sensores digitais, do tipo chave pulsante, contato NA;
 - 2 (dois) sensores digitais, do tipo chave pulsante, contato NF – Normalmente Fechado;
 - 2 (duas) entradas analógicas de 0 -10 v; e
 - 2 (dois) potenciômetros de 5 k Ω (cinco mil ohms).

A Maleta de Automação *Power System 3000* – DK8 pode ser vista na Figura 15. O CLP Siemens e o Software TIA Portal foram escolhidos devido a disponibilidade em laboratório, aplicabilidade ao projeto, e qualidade consolidada na área de automação. Este equipamento pode ser adquirido no mercado virtual e em lojas parceiras da Siemens no Brasil.

Figura 15 - Maleta de Automação *Power System 3000* – DK8.



Fonte: Autor

A maleta de instrumentos *Power System 3000* possui dois potenciômetros que foram utilizados como entradas analógicas, um para simular a variação da temperatura do óleo, e outro para simular a variação da leitura do produto, biodiesel ou glicerol no tanque. Através da leitura da variação do sinal analógico provocado pelo potenciômetro foi concebida a lógica do programa para a separação do biodiesel da glicerina. A maleta de automação *Power System* pode ser substituída pelos sensores e atuadores de forma individual. O CLP Siemens *S7 - 1214C AC/DC/RLY* pode ser substituído por outro de marca diferente, desde que contenha no mínimo, as mesmas quantidades de entradas e saídas utilizadas para realização do controle do processo.

Outras configurações de hardware para o computador podem ser utilizadas, recomenda-se no mínimo o processador compatível com a Intel® core™ i3. Igualmente, outras versões do software Tia portal podem ser utilizados, a partir da Versão 12.0 SP 1.

3.2 Modelo de planta para simulação

Para realizar a automação e controle de uma planta de produção, primeiramente se faz necessário escolher o modelo de planta de produção de biodiesel. Existem vários modelos na literatura e no mercado. Este trabalho propõe um modelo que possa ser utilizado para

produção de biodiesel em pequena escala e que possa servir de ferramenta educacional. O modelo de planta foi adotado somente para simular o processo de automação da produção de biodiesel, onde os sensores e atuadores físicos foram simulados pelos sensores e atuadores da Maleta de Automação *Power System* – DK8, visto na Figura 15.

3.3 Desenvolvimento do sistema de controle

Os seguintes passos foram necessários para o desenvolvimento do sistema da automação e controle para a planta de pequeno porte:

- Criar uma rede entre o computador com o software de programação e o CLP Siemens da maleta;
- Configurar os recursos e modelo de CLP no Software; e
- Realizar a lógica de programação.

Como forma de obter uma programação final robusta e eficiente, a programação foi dividida em partes. Para cada parte da lógica concluída foram necessários testes para verificar se a programação está adequada ao processo. Durante esta etapa, a programação foi sendo ajustada até chegar à programação ideal.

A lógica de controle foi subdividida em:

- Início de processo;
- Leitura e controle da temperatura do óleo vegetal;
- Acionamentos do transporte dos insumos, no primeiro momento, NaOH e Etanol;
- Mistura do NaOH com o Etanol, para formação do etóxido de sódio;
- Processo de transesterificação, incluindo a mistura do óleo com o Etóxido de sódio;
- Decantação;
- Separação da glicerina;
- Limpeza do biodiesel;
- Separação do biodiesel; e
- Finalização do processo – encerramento da batelada.

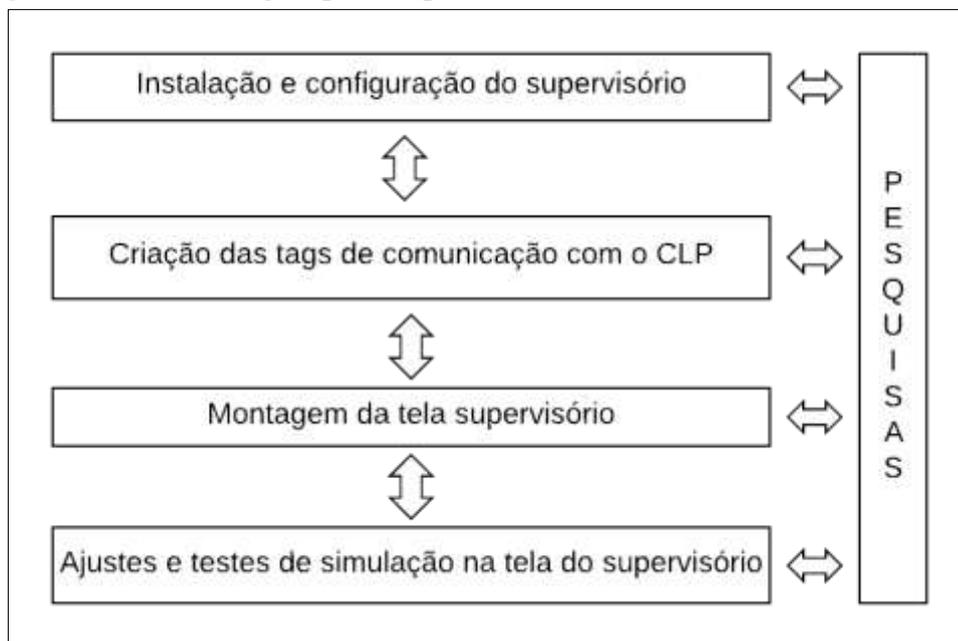
3.4 Metodologia da simulação computacional

Para a simulação computacional, faz-se necessário a utilização do computador, com o software supervisor instalado, ambos comunicando em rede, via protocolo de comunicação e driver de controle. O supervisor Elipse E3 Studio possui *driver*, tutorial e manual para configuração e utilização do CLP da família Siemens S7. Estes podem ser obtidos diretamente na página da *internet* do fornecedor (ELIPSE, 2018).

Em seguida fez-se a montagem gráfica da planta proposta e das associações das imagens com os dados de memória do processo, armazenados no CLP. Para a montagem gráfica do projeto da planta, o software supervisor precisa estar configurado e comunicando com o CLP para buscar as informações do estado do processo nos arquivos de dados do CLP.

A Figura 16 ilustra a metodologia aplicada para o desenvolvimento da tela de simulação no supervisor. O software supervisor utiliza *tags* de comunicação para acesso das informações no CLP. *Tags* é um termo em inglês, que significa rótulos ou etiquetas, na automação pode-se dizer que são nomes dados as instruções que são guardadas e rotuladas, ou etiquetadas em memória, para serem lidos, escritos, ou simplesmente acessados com maior facilidade e rapidez.

Figura 16 - Metodologia aplicada para o desenvolvimento da tela de simulação



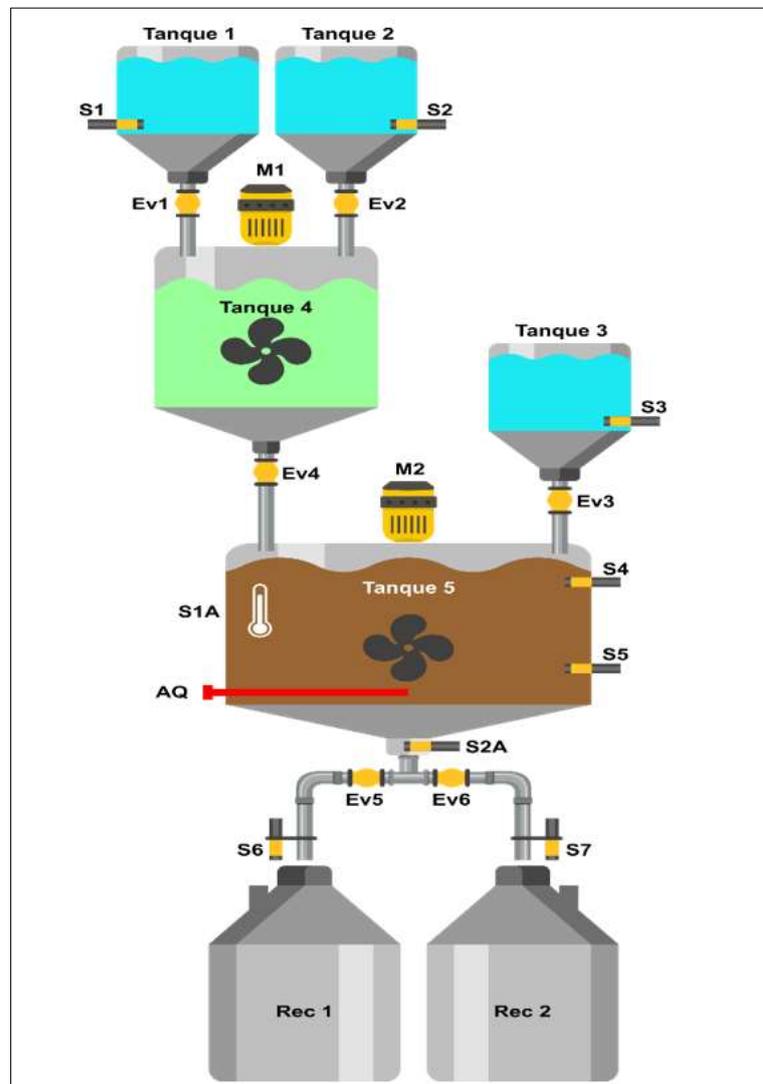
Fonte: Autor

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Modelo da planta de produção de biodiesel

Após a realização das pesquisas, foi desenvolvido um modelo que utilizasse a força da gravidade para o transporte dos insumos, e que pudesse ser monitorada por um sistema supervisório. O resultado da pesquisa para obtenção de um modelo de planta para automação pode ser visto na Figura 17. Trata-se de um modelo capaz de se adaptar a diferentes capacidades de produção de biodiesel, em pequenas escalas, desde 10 litros até 1.000 litros. Para ampliar a capacidade do modelo se faz necessário aumentar a capacidade dos tanques e calibrar o posicionamento dos sensores.

Figura 17 - Modelo de planta desenvolvido para automação e controle



Fonte: Autor

Para o modelo de controle e automação da planta proposta, as funções de cada tanque e seus sensores e atuadores são as seguintes:

- O tanque 1 deve ser abastecido com um catalisador, pode ser utilizado tanto o hidróxido de sódio - NaOH, como o hidróxido de potássio – KOH. Este tanque deverá ter um sensor digital posicionado na quantidade mínima para completar um ciclo de produção, ou seja, uma batelada. Também necessita de uma eletroválvula para controlar a saída do catalisador para o tanque 4.
- O tanque 2 deve ser alimentado com um álcool, podendo ser etanol ou metanol. Deverá ter um sensor digital para informar se o tanque possui a quantidade mínima suficiente para uma batelada, e uma eletroválvula para controlar a saída do álcool para o tanque 4.
- O tanque 3 deve ser abastecido com água para realização da lavagem do biodiesel. Também deverá possuir um sensor para informar se o tanque possui a quantidade mínima de água para conclusão do processo de lavagem do biodiesel.
- O tanque 4 tem a função de receber os insumos dos tanques 1 e 2, realizar a mistura dos mesmos antes de enviar para o tanque 5. Portanto, este tanque possui um misturador e uma eletroválvula de saída para o tanque 5.
- O tanque 5 recebe a matéria prima para a produção do biodiesel, ou seja, o óleo vegetal. Neste tanque ocorre o aquecimento do óleo para a realização da reação de transesterificação. Também ocorre o processo de decantação, separação do biodiesel da glicerina e a limpeza do biodiesel. Este tanque possui sensor de temperatura; sensor de nível baixo e de nível alto; resistência de aquecimento; sensor analógico para detecção do biodiesel pela densidade; entrada do tanque de água para realizar a limpeza do biodiesel, e por fim, duas saídas controladas por eletroválvulas, uma para separar o biodiesel no recipiente 2, e outra para separar os coprodutos no recipiente 1.
- O recipiente 1 (Rec 1) tem a função de receber os coprodutos, a glicerina na primeira decantação, e a água da limpeza no processo de lavagem. Este tanque possui um sensor de presença para garantir que o tanque esteja posicionado corretamente durante o recebimento dos coprodutos, evitando o derramamento da glicerina e/ou da água da limpeza feita no biodiesel.
- O recipiente 2 (Rec 2) tem a função de receber o biodiesel limpo, ao final do processo. Este tanque possui um sensor para garantir que o tanque esteja posicionado corretamente ao receber o biodiesel, evitando o derramamento do biodiesel limpo.

A descrição e a quantidade de itens necessários para implantação do protótipo da planta automática de produção de biodiesel, estão apresentadas na Tabela 4.

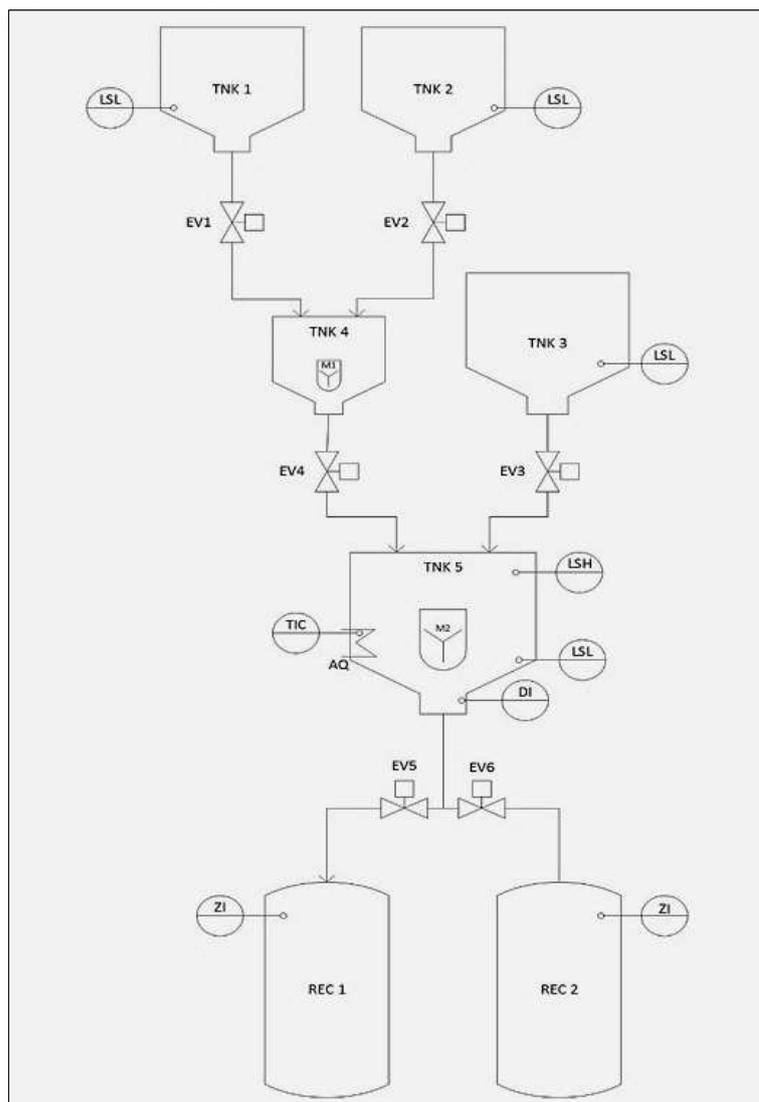
Tabela 4 - Lista de materiais para automação da planta de biodiesel proposta

Item	Quantidade	Descrição
CLP	1	CLP Siemens S7 SIMATIC 1214C, com 2 entradas analógicas, 12 entradas digitais e 14 saídas digitais
S1 a S5	5	Sensor digital capacitivo para detecção de nível
S6 e S7	2	Sensor digital de proximidade para detecção da presença dos recipientes.
S1A	1	Sensor analógico de temperatura
Tanque 1	1	Tanque de depósito para NaOH ou KOH
Tanque 2	1	Tanque de depósito para etanol ou metanol
Tanque 3	1	Tanque de depósito de água
Tanque 4	1	Tanque para mistura do álcool (etanol ou metanol) com o catalisador (NaOH ou KOH)
Tanque 5	1	Tanque de depósito para óleo vegetal. Tanque utilizado para a reação de transesterificação e decantação
M1 e M2	2	Motores com hélices no eixo para realizar a mistura dos produtos
Flanges	5	Flanges para acoplamento nos tanques dos sensores analógicos (S1a e S2a), dos motores (M1 e M2) e do aquecedor (AQ1)
S2A	1	Sensor analógico capacitivo ou ultrassônico, para separação das fases de biodiesel e glicerina
Rec 1	1	Recipiente para receber a glicerina e coprodutos
Rec 2	1	Recipiente para receber o biodiesel limpo ao final do processo
Ev1 a Ev6	6	Eletroválvulas para abertura dos tanques e transporte dos materiais
AQ	1	Aquecedor elétrico para o óleo vegetal
Botão OFF*	1	Chave botoeira pulsante para desligar o processo
Botão ON*	1	Chave botoeira pulsante para iniciar o processo de batelada

* Não relacionados no desenho da planta (Fig. 17), contudo necessários para implantação e controle da planta.

Para plantas e processos de engenharia e automação, os diagramas de instrumentos são utilizados nos projetos. Nestes diagramas são colocados os instrumentos que são utilizados no processo. Para regular as nomenclaturas dos instrumentos foi criada em 1984 a norma ISA 5.1 – Norma da Sociedade Instrumental da América. A Figura 18 apresenta a planta instrumental de produção de biodiesel desenvolvida de acordo com a norma ISA 5.1. A norma ISA 5.1 pode ser adquirida no site da Sociedade Instrumental da América (ISA, 2009).

Figura 18 - Diagrama de instrumentos do modelo da planta



Fonte: Autor

Os elementos principais necessários para a instrumentação e controle da planta são:

- CLP;
- Sensores digitais;
- Sensores de proximidade;
- Sensor de temperatura;
- Sensor analógico para detecção do biodiesel;
- Misturadores;
- Aquecedor elétrico;
- Eletroválvulas;
- Tanques, recipientes e flanges.

A Tabela 5 apresenta a descrição da simbologia utilizada no diagrama de instrumentos da planta (ISA, 2009).

Tabela 5 - Descrição da simbologia da planta instrumental

SIMBOLOGIA	DESCRIÇÃO
	Tanque para recebimento e armazenagem dos insumos e/ou matéria-prima
	Recipiente para recebimento do biodiesel e dos coprodutos
	Válvula de acionamento elétrico – Eletroválvula
	Misturador
	Aquecedor
	Chave indicadora de nível baixo
	Indicador controlador de temperatura
	Chave indicadora de posição
	Chave indicadora de nível alto
	Indicador de densidade

Fonte: Autor

4.1.1 Custo aproximado da automação da planta

Os custos para a implantação da planta podem variar bastante de acordo com a capacidade de produção da planta, especialmente pelos preços dos tanques e motores misturadores. Os demais custos de automação, como sensores, CLP e eletroválvulas são iguais para plantas com capacidades diversas. Assim foi elaborado um orçamento com custo aproximado para implantação de uma planta com capacidade para 100 litros por batelada. A Tabela 6 apresenta os valores discriminados por item e uma estimativa do custo de mão-de-obra e despesas com fretes. Observa-se que o custo aproximado total para implementação da automação da planta foi de R\$ 11.118,47.

Tabela 6 – Custo aproximado da automação do modelo da planta

Item / Descrição	QTD	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$)
CLP Siemens S7 SIMATIC 1214C - com 2 entradas analógicas, 12 entradas digitais e 14 saídas digitais	1	2.636,95	2.636,95
Sensor digital capacitivo Ljc18a3-hz/by (S1 a S7)	7	75,10	525,70
Kit sensor temperatura pt100 e conversor (S1A)	1	241,00	241,00
Tanque 50 litros polipropileno (Tanque 1-3)	3	330,00	990,00
Tanque 25 litros polipropileno (Tanque 4)	1	222,66	222,66
Tanque 100 litros polipropileno (Tanque 5)	1	399,07	399,07
Misturadores (M1 e M2)	2	520,00	1.040,00
Flanges para os tanques	6	75,00	450,00
Sensor analógico C1D45QV2-M (S2A)	1	671,44	671,44
Recipiente 100 litros (Rec 1 e 2)	2	306,45	306,45
Eletroválvulas (Ev1 a Ev6)	6	78,00	468,00
Aquecedor elétrico	1	95,20	95,20
Tubulação e acessórios	-	442,00	442,00
Chave botoeiras ON e OFF	2	28,50	57,00
Mão-de-obra	-	1.115,00	1.115,00
Despesas com frete	-	1.458,00	1.458,00
TOTAL			11.118,47

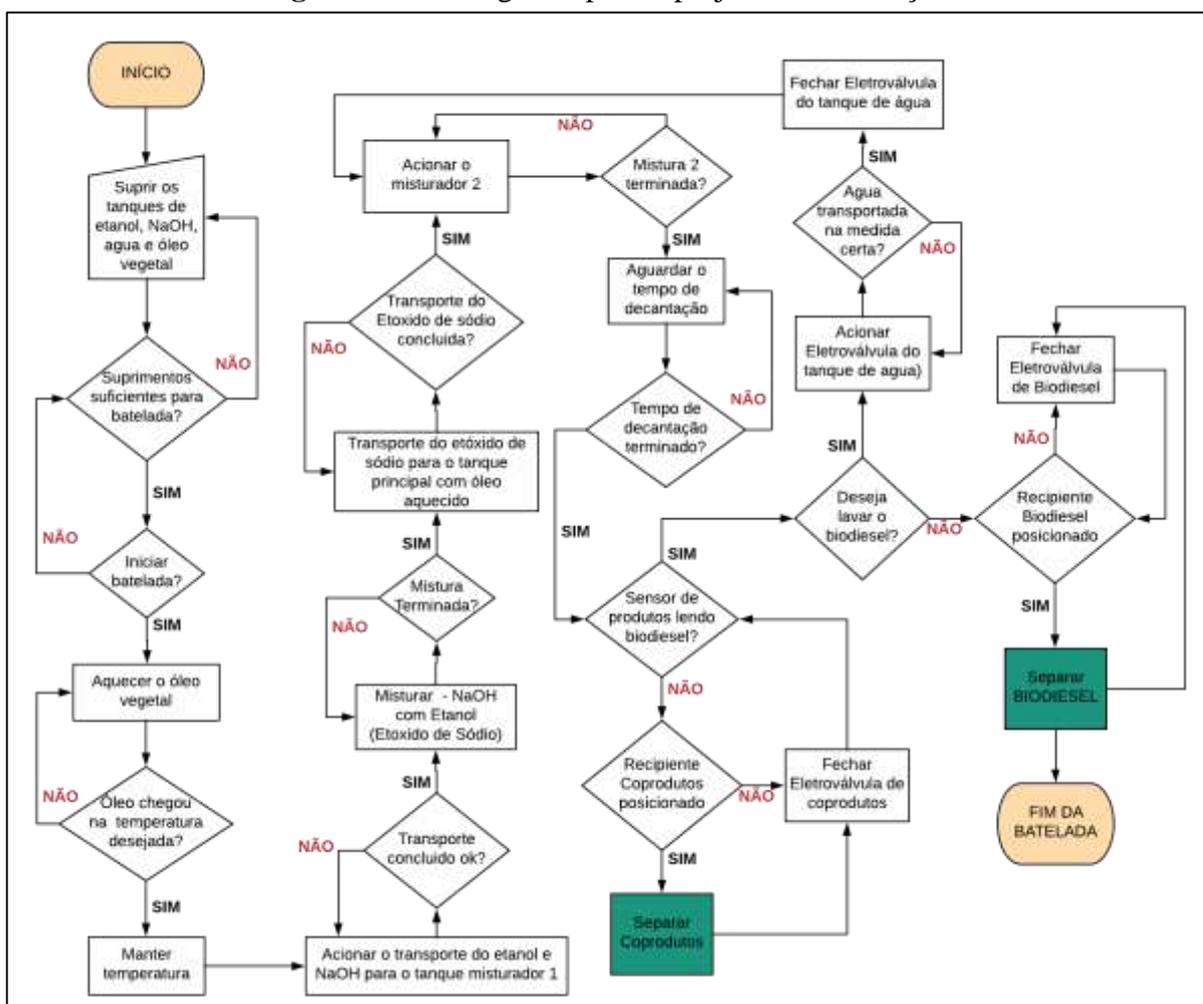
Fonte: Autor

4.2 Programação para o controle da planta proposta

Primeiramente será demonstrado todo processo, em forma de fluxograma, para o entendimento melhor do algoritmo da programação. Em seguida serão apresentadas as variáveis de entrada no processo que devem ser ajustadas previamente. Por fim, as linhas de programação desenvolvidas em linguagem de programação *Ladder*.

O fluxograma do processo de automação e controle da planta de produção de biodiesel pode ser visto na Figura 19. A elaboração inicial do fluxograma foi fundamental para o desenvolvimento da programação para o CLP. Os valores de tempos de acionamentos de eletroválvulas e motores inseridos na programação, devem ser ajustados de acordo com a capacidade de produção, e das características dos atuadores, como: potência dos motores; aquecedores e da vazão das eletroválvulas. A programação foi realizada utilizando o software TIA PORTAL da Siemens. A instalação do software de programação bem como sua aquisição pode ser feita diretamente no site da Siemens (SIEMENS, 2018).

Figura 19 - Fluxograma para o projeto de automação.



Fonte: Autor

4.2.1 Variáveis de entrada na programação

A Tabela 7 apresenta os dados das variáveis que precisam ser ajustadas previamente na programação. No Apêndice A estão disponíveis todas as *tags* e instruções utilizadas na programação. Os valores aplicados nestas variáveis devem ser alterados, pois existem diferentes óleos vegetais e reagentes possíveis para o processo. A programação pode ser utilizada para todos os tipos de óleo vegetal, incluindo óleo de frituras, diferentes catalisadores e álcoois usados na reação de transesterificação. Podem ser aplicados também diferentes tempos de reação e quantidade de insumos, pois na produção de biodiesel pode existir objetivos diversos, de acordo com o perfil do produtor, por exemplo, pode-se priorizar o tempo de duração do processo, ou a maior produção de biodiesel, entre outras opções. A coluna variável da Tabela 7 representa o nome da instrução na programação de controle que será comentado e desenvolvido neste capítulo. As inserções dos valores destas variáveis

foram colocadas arbitrariamente, para fins de testes na programação de automação e controle, e comentadas nas linhas de programação. Portanto, para a entrada correta dos dados na produção da planta será necessário realizar pesquisa sobre a melhor relação álcool/catalisador/óleo, tempos de reação e decantação, ciclo de lavagens necessários para a quantidade de produção de biodiesel desejada. Os tempos de abertura de eletroválvulas dependem da vazão da eletroválvula escolhida para o processo.

Tabela 7 - Variáveis de entrada no processo

Variável	Descrição
%DB2	Tempo de abertura da Ev. Tanque 2 – Álcool (Etanol ou Metanol)
%DB1	Tempo de abertura da Ev. Tanque 1 – Catalisador (NaOH ou KOH)
%DB4	Tempo de mistura do álcool com o catalisador
%DB5	Tempo de abertura da Ev. Tanque 4
IN_RANGE/OUT_RANGE*	Temperatura de aquecimento do óleo
SCALE_X (min/máx.)	Range de leitura do sensor de temperatura utilizado
OUT_RANGE**	Temperatura para iniciar o processo de abertura das eletroválvulas
%DB9	Tempo de abertura da Ev. Água
%DB7	Tempo de Mistura do óleo no tanque 5
%DB8	Tempo de decantação
%DB10	Quantidade de lavagens para o processo de produção do biodiesel
IN_RANGE/OUT_RANGE***	Faixa de leitura do sensor analógico para leitura em biodiesel

*Relacionado à Tag de aquecimento do óleo (Q0.0) na rede 2 da programação – ver apêndice B

** Relacionado à Tag (M1.0) na rede 4 de programação - ver apêndice B

*** Relacionado à Tag de leitura de biodiesel e de coprodutos (M2.3 e M2.4) na rede 10 – ver apêndice B

A programação para automação da planta foi dividida em 14 linhas de programação, conforme segue:

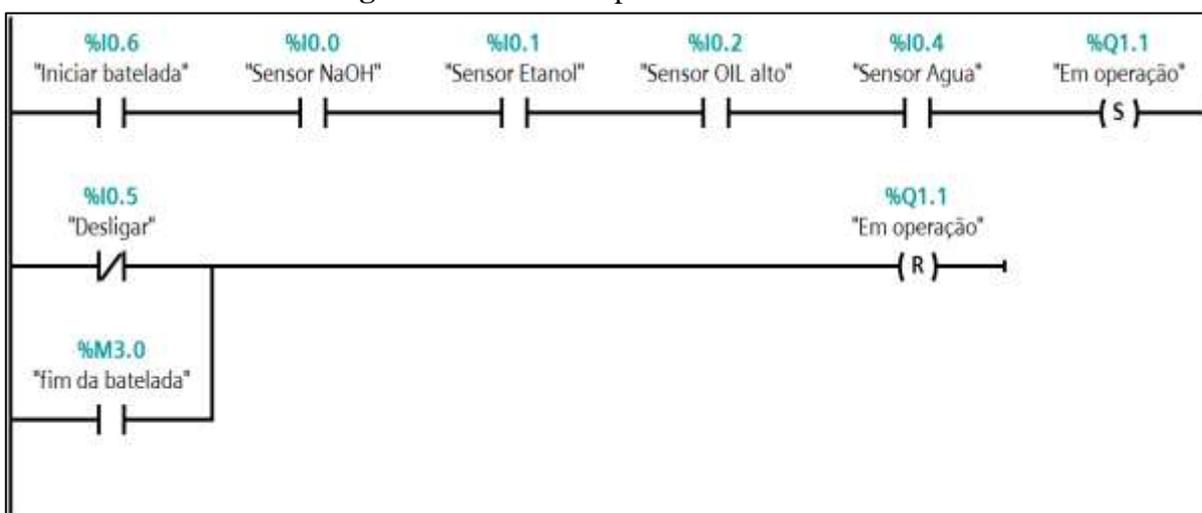
1. Início do processo;
2. Leitura analógica da temperatura do óleo vegetal;
3. Lógica para o controle da temperatura;
4. Lógica para controle das eletroválvulas dos tanques de álcool e do catalisador;
5. Controle do acionamento do motor misturador do álcool e catalisador;
6. Início da reação de transesterificação;
7. Controle do misturador do óleo vegetal no tanque 5.
8. Decantação;
9. Leitura do sensor analógico para separação das fases de glicerina e biodiesel;

10. Logica para leitura de biodiesel e coprodutos;
11. Separação da glicerina e coprodutos;
12. Bloco para contagem da lavagem do biodiesel;
13. Logica para acionamento das lavagens do biodiesel, e
14. Separação do biodiesel e finalização do processo.

4.2.2 Programação para o início do processo

Para iniciar o processo de batelada, primeiramente, o programa faz uma varredura nos sensores de entrada com a finalidade de verificar se existem matéria-prima e insumos para a conclusão da batelada. A programação desenvolvida para realizar esta verificação, antes do início do processo, pode ser vista na Figura 20.

Figura 20 - Início do processo de batelada.



Fonte: Autor

Para o processo iniciar, conforme linha de programação da Figura 20, as seguintes condições devem ser satisfeitas:

- A quantidade de NaOH ou KOH no tanque 1 for suficiente para reação de transesterificação. Portanto, sensor do tanque 1 acionado;
- A quantidade de etanol ou metanol, no tanque 2 for suficiente para a realização da batelada, ou seja, sensor do tanque 2 acionado;
- A quantidade de matéria-prima (óleo vegetal), no tanque (5) principal, acionar o sensor de nível alto para o óleo.

- A quantidade de água no tanque 3 for mínima para realizar as lavagens no biodiesel, ou seja, o sensor do tanque 3 estiver acionado.
- Se o botão iniciar processo for acionado, fisicamente ou via supervisor.

Com todas essas condições satisfeitas, o processo inicia-se. Observe que o processo pode ser interrompido ou finalizado, a qualquer momento quando pressionado o botão de desligar. Outra maneira de finalizar o processo é com o encerramento completo da batelada. Este encerramento está representado pela instrução M3.0.

4.2.3 Programação para a leitura e controle da temperatura do óleo vegetal

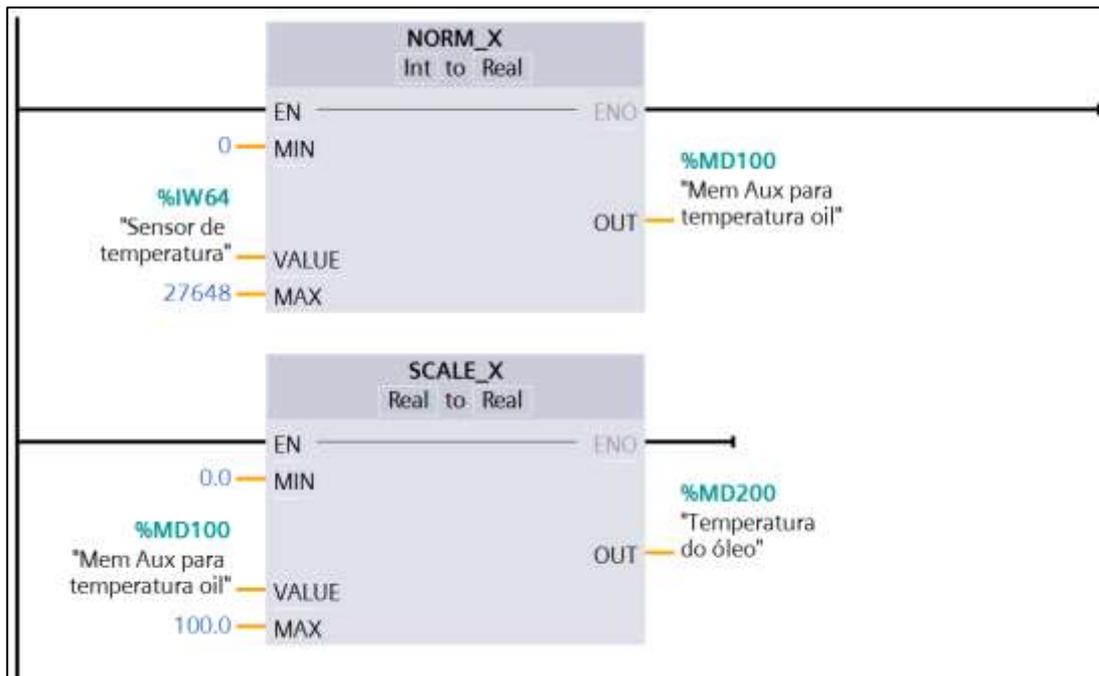
Para realizar a leitura em tempo real da temperatura do óleo, e disponibilizar a leitura para lógica de controle da temperatura, foi desenvolvida a linha de programação, conforme apresentado na Figura 21.

O bloco *NORM_X* recebe o valor de um número inteiro entre 0 e 27648. Esta variação depende do CLP utilizado, e está ligada a precisão da leitura da variável analógica pelo CLP. Quanto maior a variação, mais precisa será a leitura realizada pelo sensor de temperatura utilizado no processo. A leitura deste sensor será convertida para um valor real e guardada no endereço de memória MD100. Os endereços de memória iniciados com MD são utilizados para valores reais.

No bloco *SCALE_X*, o usuário deve informar o valor de range do sensor de temperatura utilizado na planta, ou seja, o valor mínimo e o valor máximo de leitura do sensor de temperatura utilizado. Estes valores são indicados pelo fabricante do sensor. No exemplo da Figura 23, esses valores foram de 0 a 100° C. Caso se utilize sensor de range diferente, se faz necessário substituir os valores mínimos e máximos no bloco *SCALE_X*, de acordo como o modelo e a variação de valores do sensor adquirido para a planta.

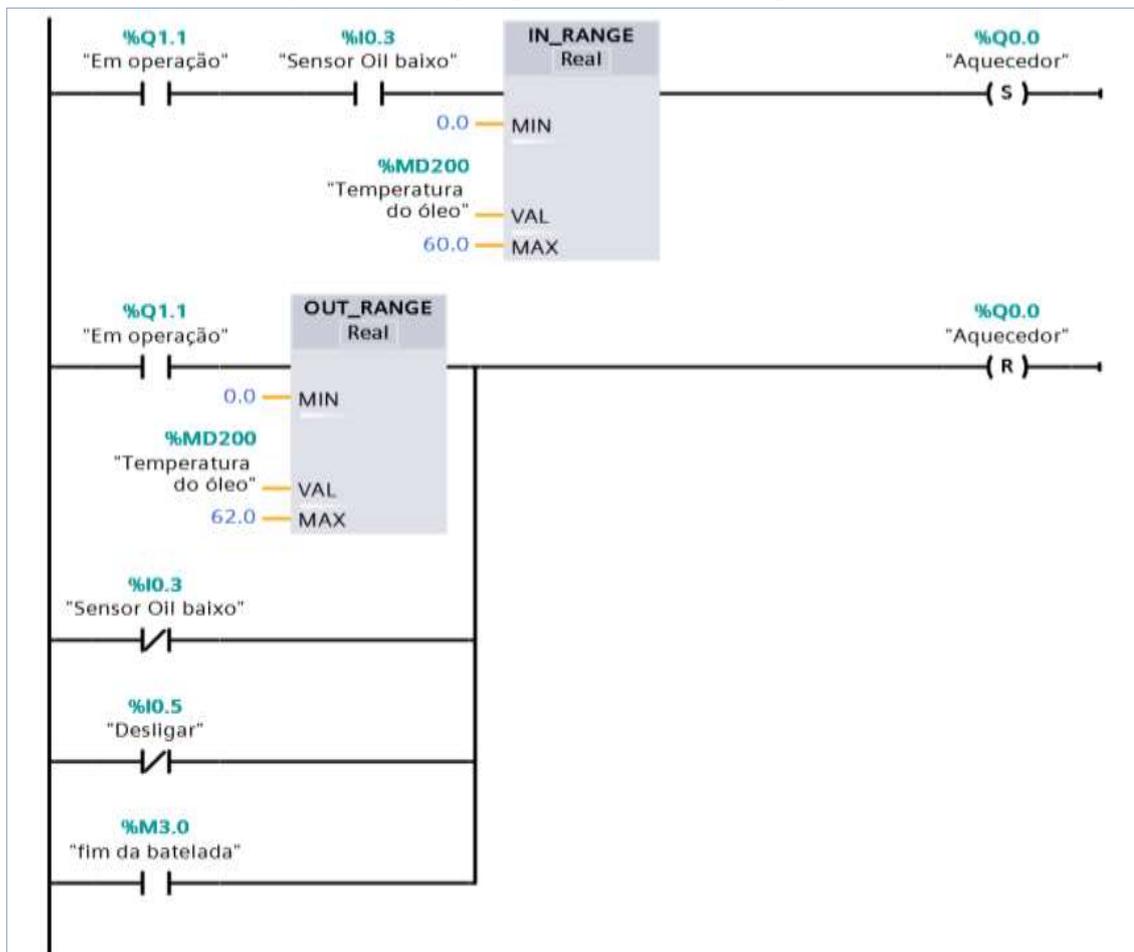
O valor da leitura do sensor de temperatura, neste caso, fica gravado no endereço de memória MD 200. Para realizar o controle da temperatura, se faz necessário a utilização de um aquecedor. Este controlado pela lógica de programação informada na Figura 22.

Figura 21 - Leitura analógica da temperatura do óleo vegetal.



Fonte: Autor

Figura 22 - Lógica para controle da temperatura.



Fonte: Autor

Com a planta em operação, e enquanto houver uma quantidade mínima de óleo no tanque, informado pelo sensor de óleo nível baixo, a saída do aquecedor é acionada, desde que o valor da temperatura do óleo esteja entre 0°C e 60°C, ou entre 0°C e outra temperatura desejada para o óleo, pois trata-se de uma variável de entrada prévia no processo. O aquecedor será *resetado* somente quando a temperatura ultrapassar os 62°C, no exemplo da Figura 22, ou outra temperatura desejada, ou então, quando acontecerem uma das seguintes ações:

1. O nível do óleo estiver abaixo do nível mínimo. Isso para proteção do aquecedor;
2. For interrompido o processo pelo botão desligar;
3. O processo terminar.

4.2.4 Programação para preparação da reação de transesterificação

Antes de realizar a reação de transesterificação, para melhorar a qualidade do biodiesel produzido, as plantas mais elaboradas realizam a mistura do catalisador com o álcool, antes da reação de transesterificação (CÁS, 2017). Portanto, foram desenvolvidas linhas de programação para controle desta mistura.

Segundo Lopes (2015), a razão molar óleo/etanol de 1:10 e 0,5% de NaOH foram consideradas ideais quanto a reação ocorrer a uma temperatura de 30°C. Com o aumento da temperatura para 70° C, o ideal é a utilização de até 1,5% de NaOH.

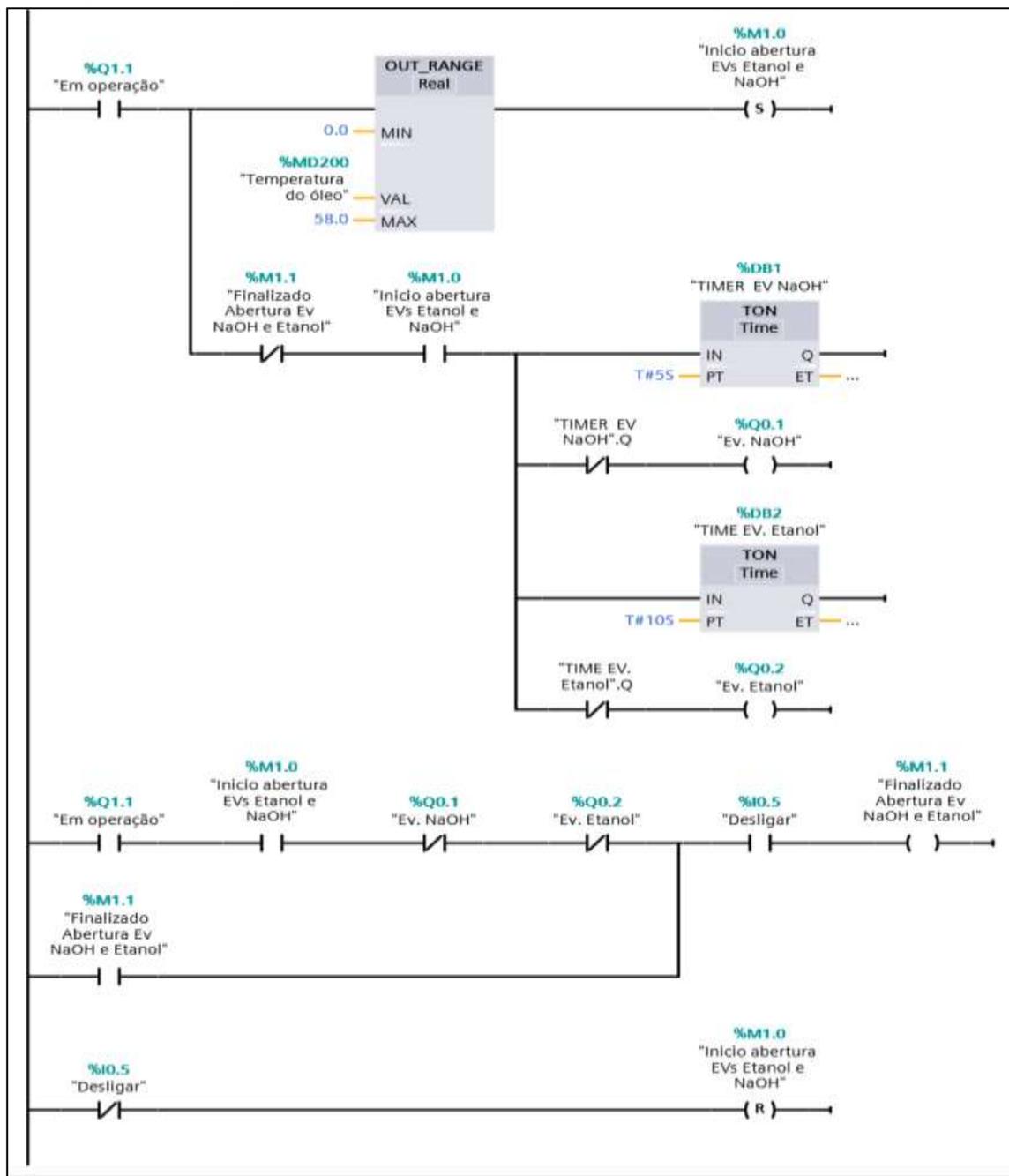
O tempo de abertura das eletroválvulas foi considerado para indicar a quantidade de etanol e NaOH que serão misturados primeiramente. O resultado desta mistura é chamado de etóxido de sódio, e será utilizado na reação de transesterificação, posteriormente. Conforme informado na seção anterior, este tempo depende do modelo e da seção transversal da eletroválvula, e também da capacidade da batelada.

A Figura 23 demonstra a linha de programação para controle das eletroválvulas dos tanques de etanol e NaOH. O tempo de abertura depende de fatores como: vazão da eletroválvula, razão molar óleo/álcool. No exemplo da Figura 23 foi atribuído arbitrariamente, um tempo de 5 (cinco) segundos para abertura da eletroválvula do tanque de NaOH, e 10 (dez) segundos para a eletroválvula do tanque de etanol. Estes valores utilizados somente para realização dos testes de automação do processo. Assim, para mudança nestes tempos e, portanto, na quantidade destes insumos, basta alterar os campos PT - *Preset Time*, nos blocos

DB1 e DB2, na razão molar informada por Lopes (2015), ou então utilizar outra razão molar para estudos e experiências.

Conforme a programação desenvolvida, quando a temperatura do óleo chegar a 58°C, dar-se-á o início da abertura das eletroválvulas. Este valor de temperatura pode ser alterado na linha de programação através da mudança do valor MAX no bloco OUT_RANGE. As eletroválvulas do tanque de etanol, e NaOH permanecerão abertas pelo tempo determinado nos blocos temporizadores DB1 e DB2.

Figura 23 - Lógica do controle de abertura das eletroválvulas (Etanol e NaOH)

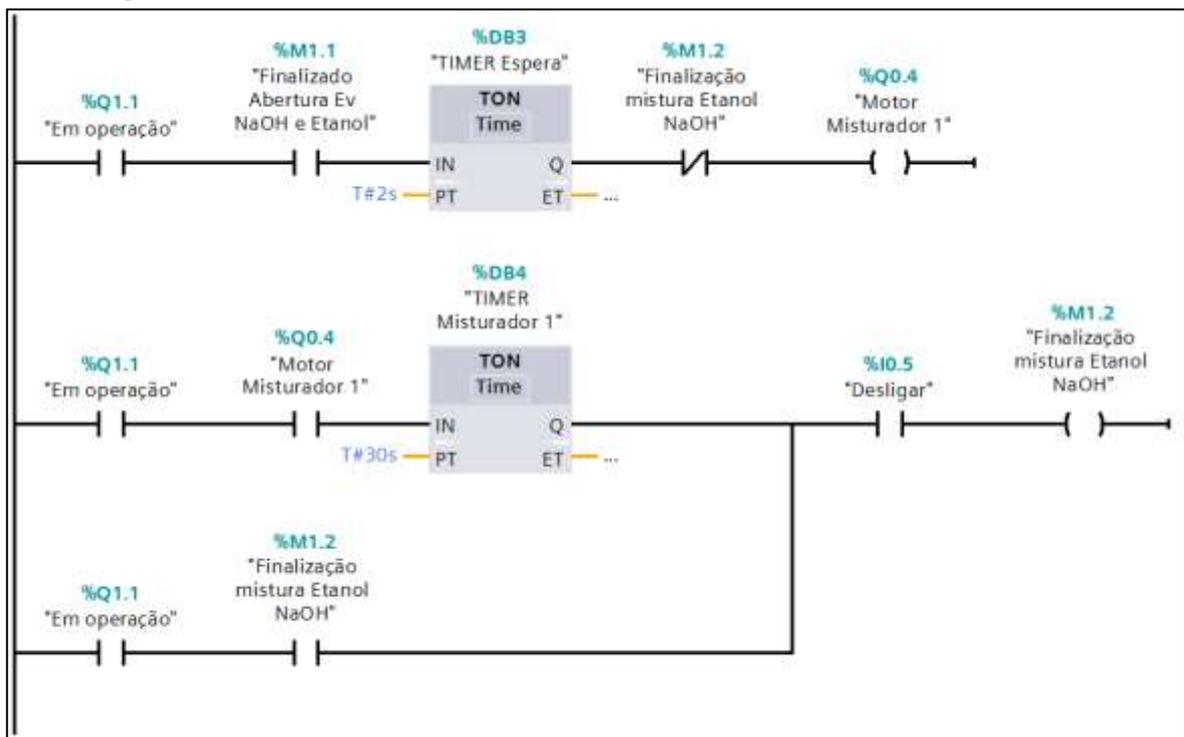


Fonte: Autor

Para o controle do tempo de mistura foi desenvolvido a lógica de programação, conforme a Figura 24. Os valores de tempo de mistura devem ser estabelecidos previamente. Para fins de testes na programação foi escolhido o tempo de 30 segundos. Este tempo deve ser alterado de acordo com a capacidade da planta a ser automatizada, modificando o campo PT do bloco DB4.

Observa-se que o misturador será acionado dois segundos após o fechamento das eletroválvulas dos tanques de etanol e NaOH. Este tempo pode ser alterado no bloco DB3, campo PT. A mistura ocorrerá durante o tempo especificado no temporizador DB4.

Figura 24 - Controle do acionamento do motor misturador etanol com NaOH.



Fonte: Autor

4.2.5 Programação para a reação de transesterificação

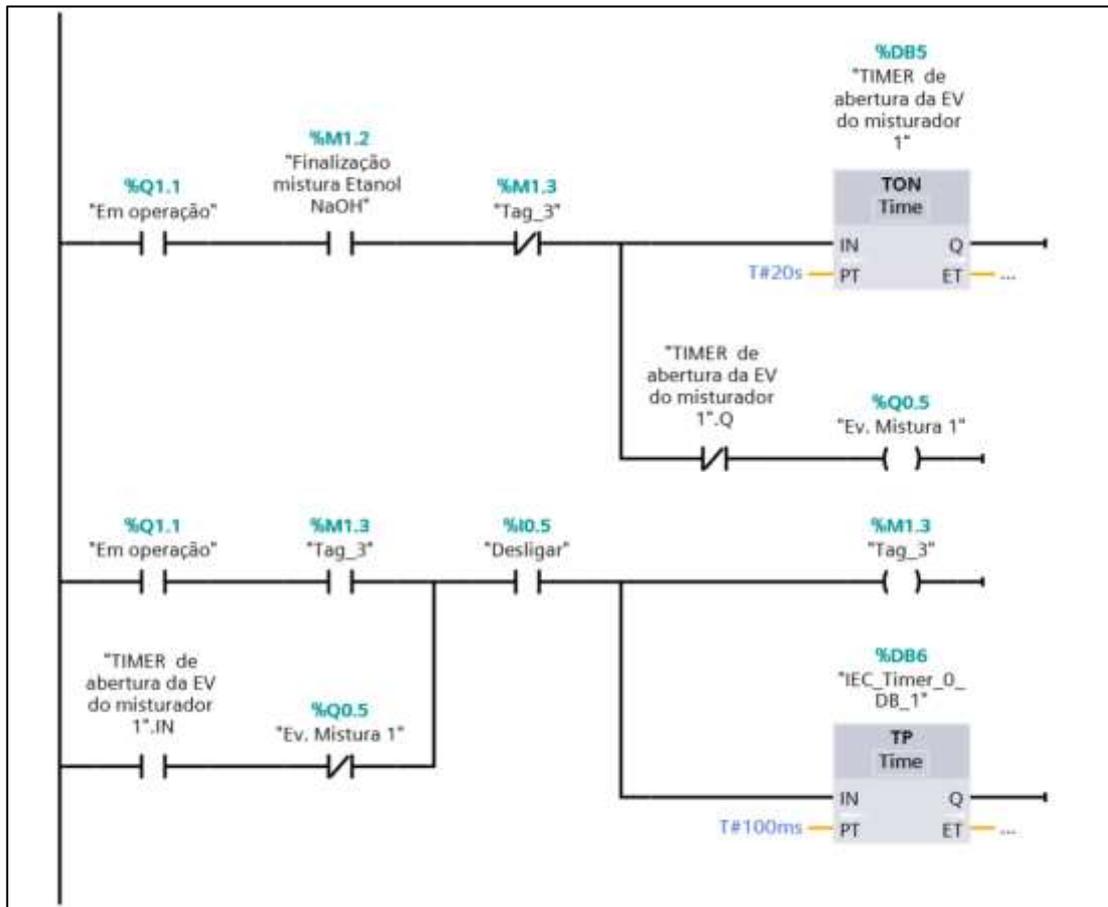
A reação de transesterificação ocorrerá no tanque 5 (cinco) do modelo da planta. Neste tanque também ocorrerá o processo de lavagem do biodiesel; decantação e aquecimento do óleo vegetal. Portanto, nas linhas de programação para o processo de transesterificação, tem-se instruções relativas também a lavagem do biodiesel.

Para a reação de transesterificação iniciar, se faz necessário transporte do etóxido de sódio do tanque 4 (misturador 1), para o tanque (5) principal, onde ocorrerá esta mistura com o óleo vegetal, que já está na temperatura de reação. Na Figura 25, observa-se a lógica de

programação para o início da transesterificação. A programação começa com a abertura da eletroválvula do tanque 4 (misturador 1). Com essa abertura, o transporte do etóxido de sódio é realizado para o tanque 5, onde o óleo se encontrava aquecido à temperatura desejada informada na linha de programação de controle da temperatura, ver Figura 22, dando início à reação de transesterificação.

O bloco de instrução DB6 foi adicionado a programação para que a misturador 2, no tanque 5, aguarde o tempo indicado neste bloco para ser acionado. Neste exemplo, 100 milissegundos após o fechamento da eletroválvula do tanque 4 (quatro), ou após o fechamento da eletroválvula do tanque (3) de água. A programação para lavagem do biodiesel, e transporte da água, será visto posteriormente, ainda neste tópico.

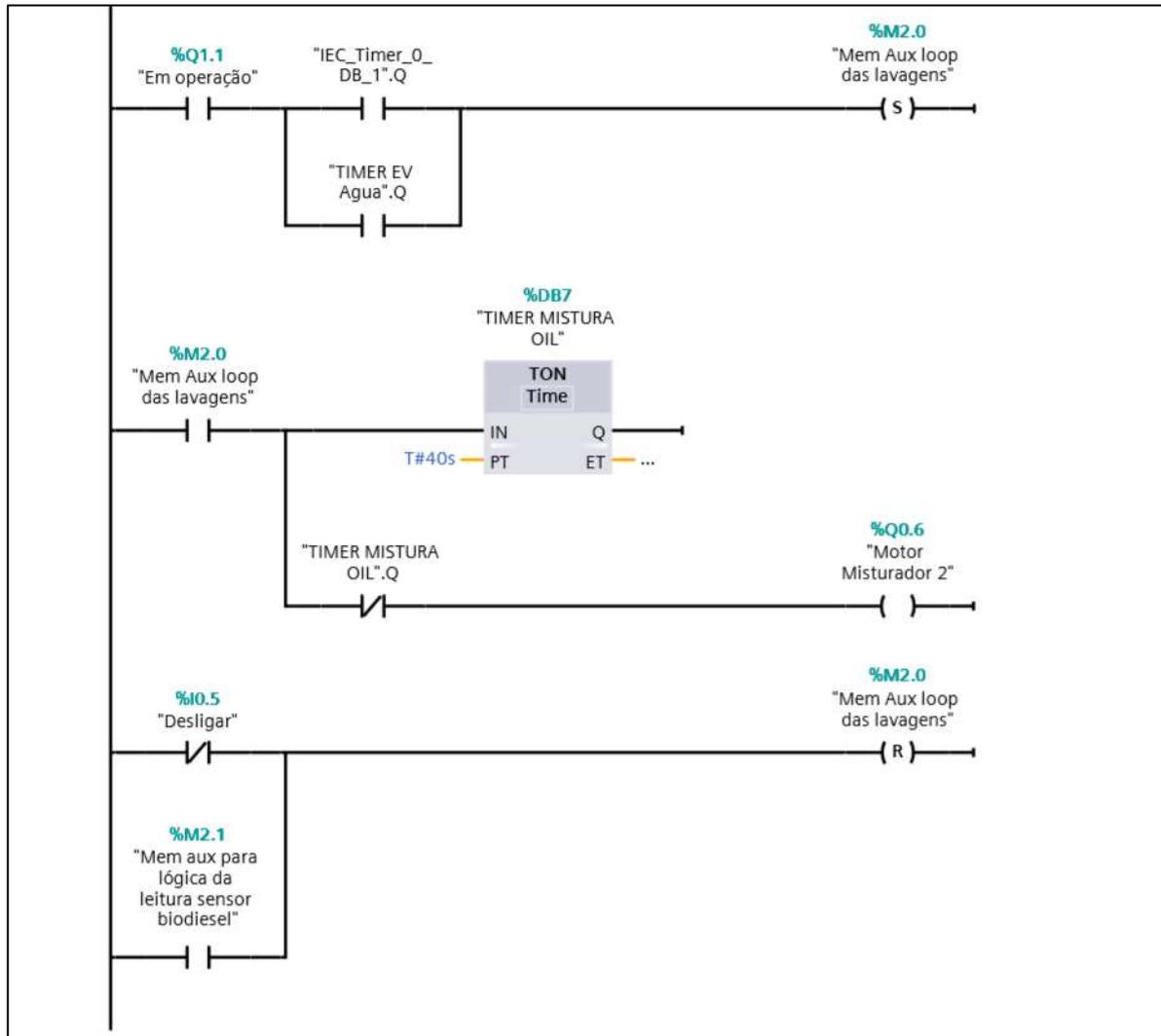
Figura 25 - Início do processo de transesterificação



Fonte: Autor

O tempo de mistura para o processo de transesterificação e de lavagem são considerados variáveis de entrada no processo, ver Tabela 7. Estes dados podem ser vistos e alterados no bloco DB7 da Figura 26. Neste exemplo, o tempo informado para testes foi de 40 segundos.

Figura 26 - Controle do tempo do misturador 2 (tanque 5).

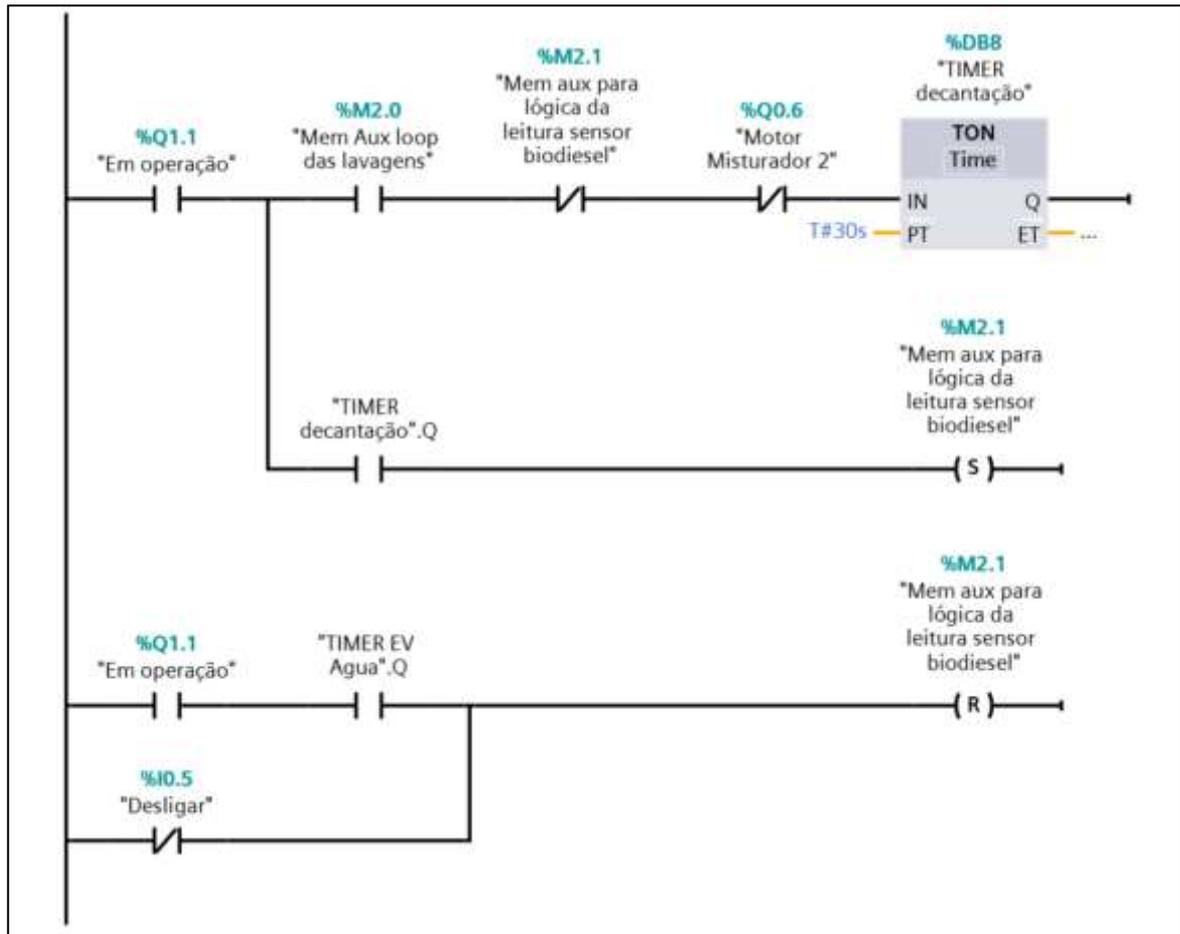


Fonte: Autor

4.2.6 Lógica de programação para o tempo de decantação

A decantação deverá ser realizada toda vez que o motor misturador do tanque 5 (cinco) terminar de realizar a mistura do óleo vegetal, quer seja no primeiro momento com o etóxido de sódio, ou com a água no processo de lavagem. Por isso, foi desenvolvida a lógica conforme apresenta a Figura 27. As instruções de set e reset servem para controlar a memória M2.1, com finalidade de auxiliar o acionamento do tempo de decantação após a mistura do óleo vegetal. Este tempo de decantação pode ser visto e alterado no bloco DB8. Normalmente, este tempo de decantação pode ser superior a 4 horas.

Figura 27 - Lógica para o tempo de decantação.



Fonte: Autor

4.2.7 Programação para a leitura e separação da glicerina do biodiesel

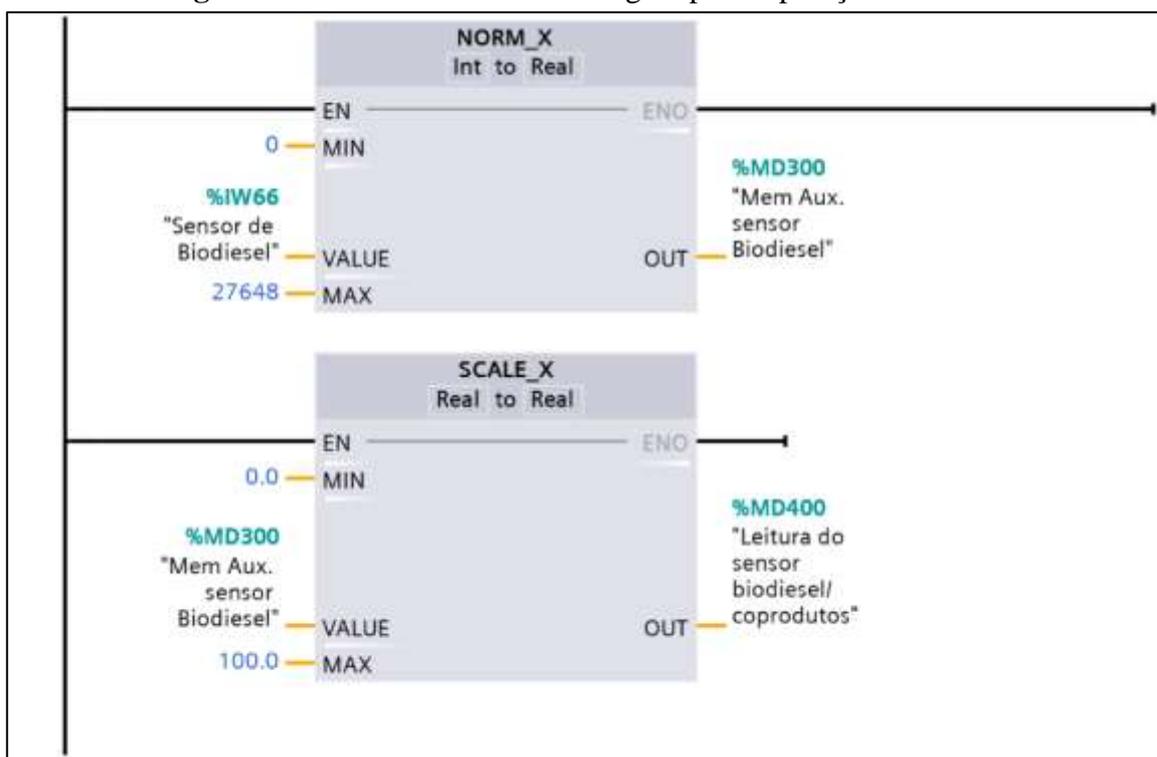
Depois de decorrido o tempo de decantação, no tanque 5 (cinco) haverá dois produtos: o glicerol, mais denso, ficando no fundo do tanque, e o biodiesel, acima do glicerol. Para realizar essa separação de forma automática, primeiramente precisa-se obter a leitura do sensor analógico colocado no tanque 5, para acionar as eletroválvulas e separar os produtos. Na Figura 28 tem-se a programação necessária para que o sensor informe a leitura para o CLP. Todo sensor analógico possui uma faixa de leitura. Essa faixa de leitura deverá ser colocada no bloco SCALE_X, no campo mínimo e máximo. O valor da leitura do sensor ficará disponível no endereço de memória MD400, endereço para utilização de dado real.

Para o próximo passo, se faz necessário calibrar o sensor analógico para biodiesel e coprodutos. Essa calibração tem que ser feita na própria planta da seguinte maneira.

- Colocar o sensor analógico na faixa de biodiesel. Anotar a leitura na variável MD400;

- Apontar o sensor para diferentes pontos da faixa biodiesel, anotando os valores até encontrar uma faixa de leitura para o biodiesel. Utilize as casas decimais se for preciso;
- Considerar que toda a leitura do sensor que não estiver nesta faixa, não será biodiesel, portanto, deverá ser direcionado para o recipiente de coprodutos; e
- A faixa de valores encontrados para biodiesel, deverá ser colocado na instrução IN_RANGE e OUT_RANGE no campo mínimo e máximo.

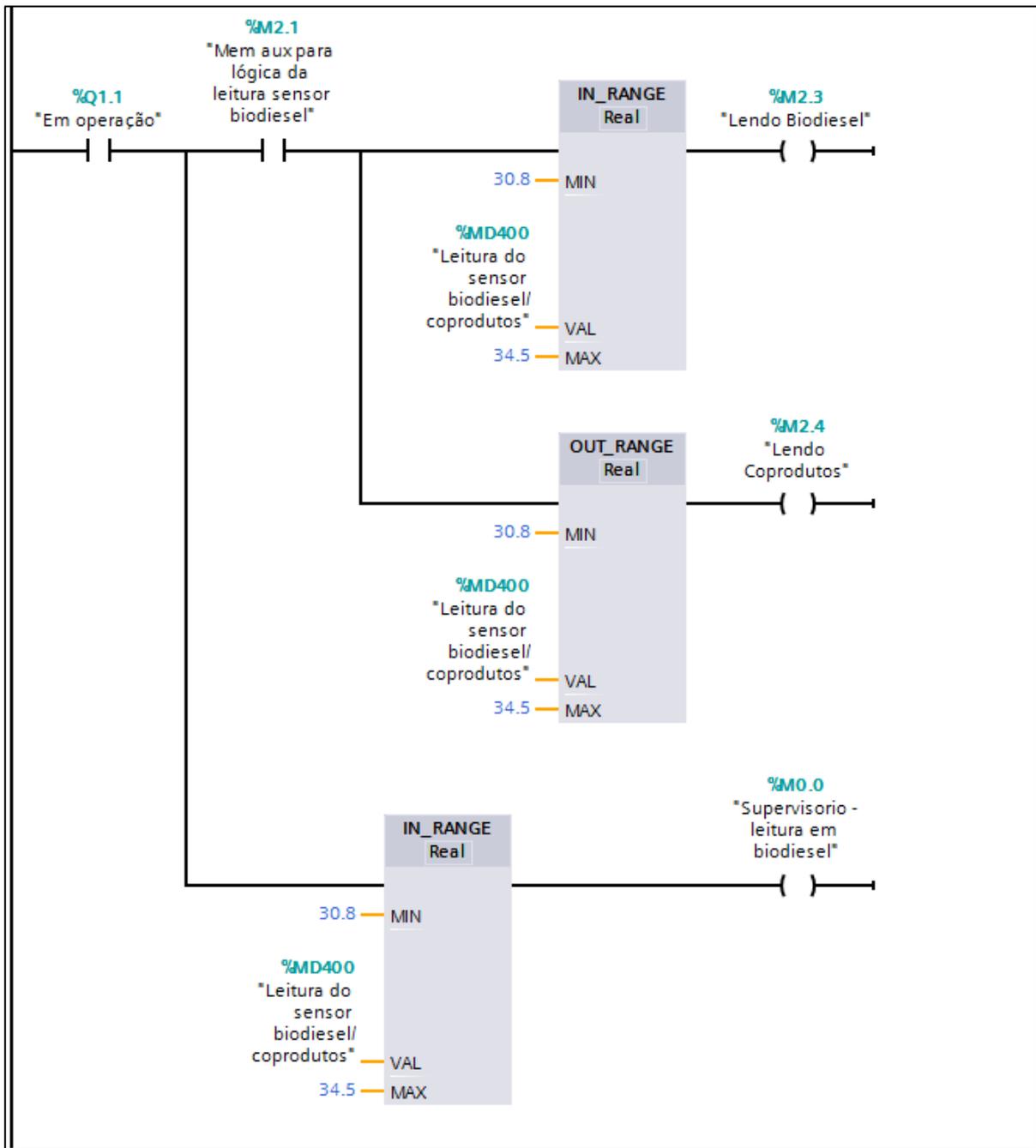
Figura 28 - Leitura do sensor analógico para separação das fases.



Fonte: Autor

Na Figura 29 tem-se a lógica para a leitura do produto após a reação de transesterificação e também após as lavagens do biodiesel. No exemplo da Figura 29, a leitura do sensor compreendida entre 30,8 e 34,5 foi considerada como biodiesel. Demais leituras do sensor serão consideradas pelo programa como subprodutos ou coprodutos. A memória M0.0 foi adicionada a programação somente para utilização posterior do dado armazenado, para implantação da tela do supervisor.

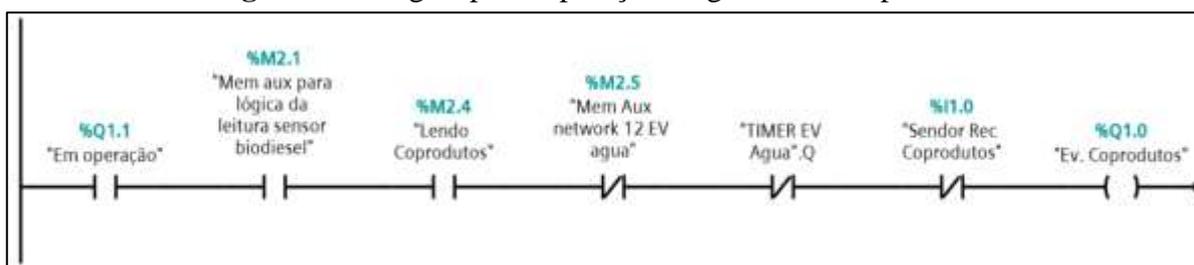
Figura 29 - Lógica para leitura do biodiesel e coprodutos.



Fonte: Autor

Na Figura 30 observa-se a lógica para o acionamento da eletroválvula de coprodutos. Para essa lógica de programação foi necessário considerar que o biodiesel poderá ser misturado com água para lavagem. As instruções da Figura 30 são necessárias para que tudo que não for biodiesel, ao final da transesterificação, ou das lavagens, seja enviado ao recipiente de coprodutos.

Figura 30 - Lógica para separação da glicerina e coprodutos.



Fonte: Autor

No primeiro acionamento da eletroválvula de coprodutos, o glicerol será transportado para o recipiente de coprodutos. Assim que o sensor analógico entrar na faixa de leitura considerada biodiesel ocorrerá o fechamento da eletroválvula de coprodutos. Caso tenha sido considerado realizar uma ou mais lavagem no biodiesel, imediatamente será acionado a eletroválvula de água. Caso não tenha uma lavagem para realizar, o processo segue com a separação do biodiesel.

4.2.8 Lógica de programação para a lavagem do biodiesel

O biodiesel que estiver no tanque (5) cinco, após a retirada do glicerol, poderá precisar de uma ou mais lavagens para retirada de eventuais sujeiras, etanol ou metanol e NaOH ou KOH que não reagiram durante o processo de transesterificação.

Para a contagem das lavagens necessárias, foi implementado a linha de programação conforme Figura 31. Na instrução PV do bloco DB10 – contador ciclo lavagem biodiesel, deve ser informado à quantidade de ciclo de lavagens desejada para a planta de biodiesel.

A programação para o transporte da água para a lavagem no tanque (5) cinco pode ser vista na Figura 32. No bloco DB9 deve ser informado o tempo de abertura da eletroválvula do tanque de água (tanque 3). O tempo de abertura da eletroválvula é uma variável de entrada no processo, neste exemplo, foi adotado aleatoriamente o tempo de 15 segundos. Quando maior for o tempo informado em DB9 e a vazão da eletroválvula, mais água será adicionada no tanque, para o processo de lavagem.

O modelo de planta projetado contém um sensor para verificar se o recipiente de biodiesel está na posição correta. Possui outro sensor para verificar se o recipiente de coprodutos também está posicionado para receber os coprodutos. Pela programação da Figura 33, a separação do biodiesel somente poderá ocorrer quando o sensor estiver posicionado corretamente, evitando que o produto seja derramado ao chão, e também quando a leitura do sensor analógico corresponder à faixa de valores previamente informada para biodiesel. Ao final, um endereço de memória é acionado para indicar que a batelada chegou ao fim. Este endereço de memória foi utilizado para encerrar o processo e desligar a planta automaticamente, sem a necessidade de pressionar o botão desliga da planta.

4.3 Simulação computacional da automação do modelo de planta

Para criar o supervisor da planta de produção de biodiesel, deve-se instalar e configurar o sistema supervisor no computador. O roteiro para instalação do software supervisor Elipse e do *driver* de comunicação e alguns exemplos de animações e associações realizadas no supervisor, está disponível no Apêndice C deste trabalho. Nesta seção será apresentada a parametrização do driver de comunicação; a criação das *tags* de comunicação do supervisor com o CLP; e por fim, será apresentado o resultado da tela de supervisor, simulando a automação da planta.

4.3.1 Parametrização do driver de comunicação

Após inserção do driver de comunicação, ver Apêndice C. Deve-se realizar a configuração dos parâmetros para estabelecer comunicação entre o CLP e computador. Na aba MProt, marcar a opção *Network* para ISOTCP; *Local Address* para 2, e marcar a caixa *use default source ref.*, conforme demonstra a Figura 34.

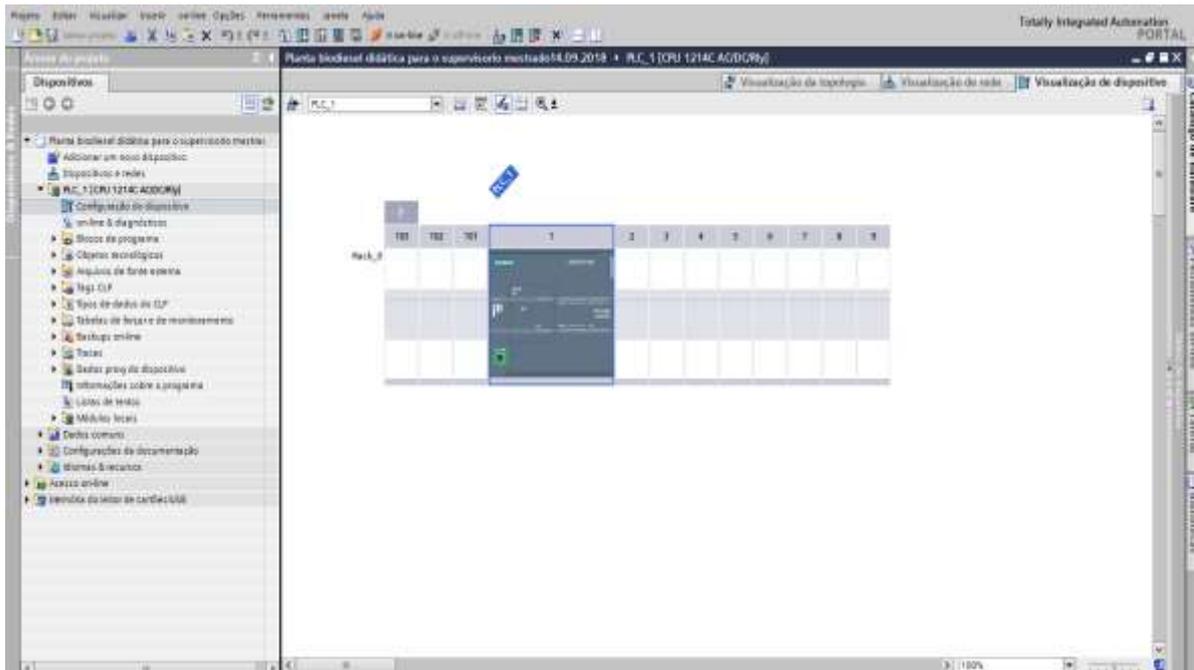
Figura 34 - Tela de configuração do driver Siemens MProt – aba principal

Fonte: Autor

Na caixa de seleção *Main Rack* e *Slot* deve-se informar o número do *rack* e o *slot* em que o CLP esteja conectado. Neste caso, o CLP encontra-se conectado no *Slot 1* e *Rack 0*, conforme pode ser visto na Figura 35. Para ter acesso a tela da Figura 35 deve-se abrir o software de programação do CLP. Neste trabalho foi utilizado o TIA Portal.

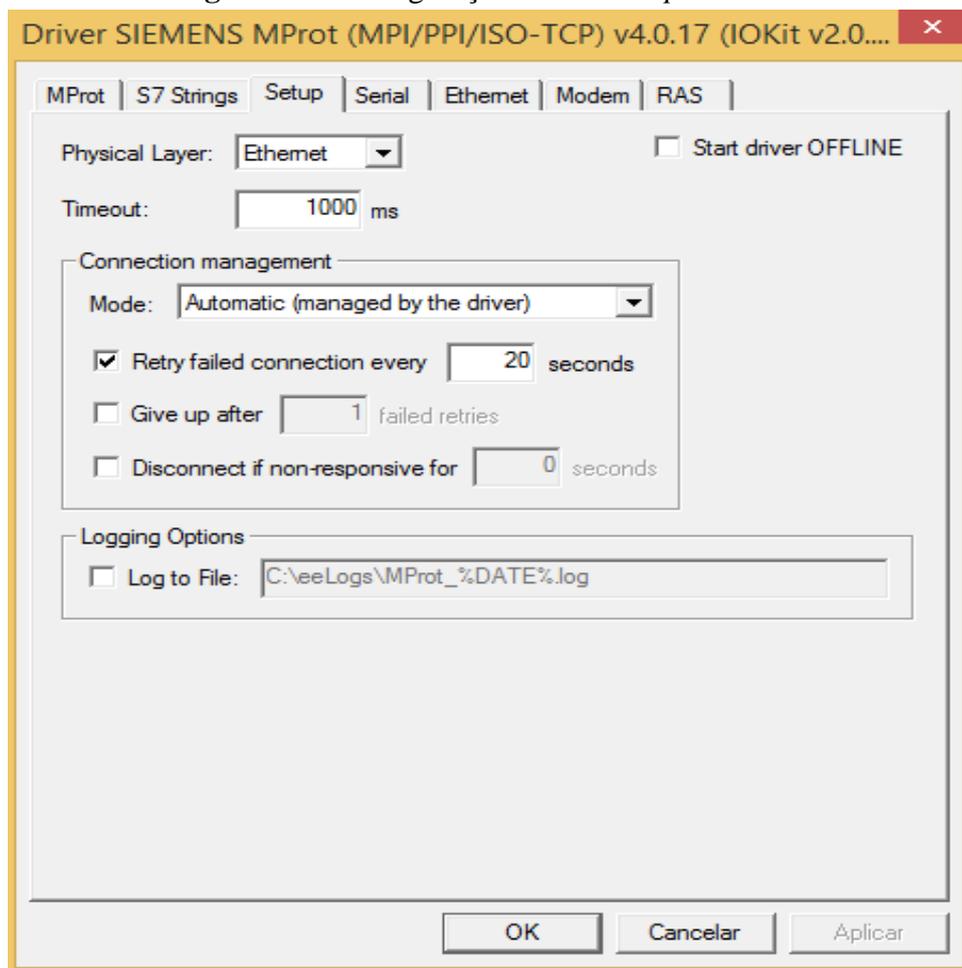
Após a configuração dos parâmetros da aba MProt, clicar na aba *setup* e realizar as configurações dos parâmetros, conforme Figura 36. Como o CLP Siemens S7-1200 possui comunicação *Ethernet*, devemos marcar *Ethernet* na caixa de seleção *physical layer*. As demais configurações da aba serão configuradas automaticamente.

Figura 35 - Tela TIA Portal: Configuração do CLP



Fonte: Autor

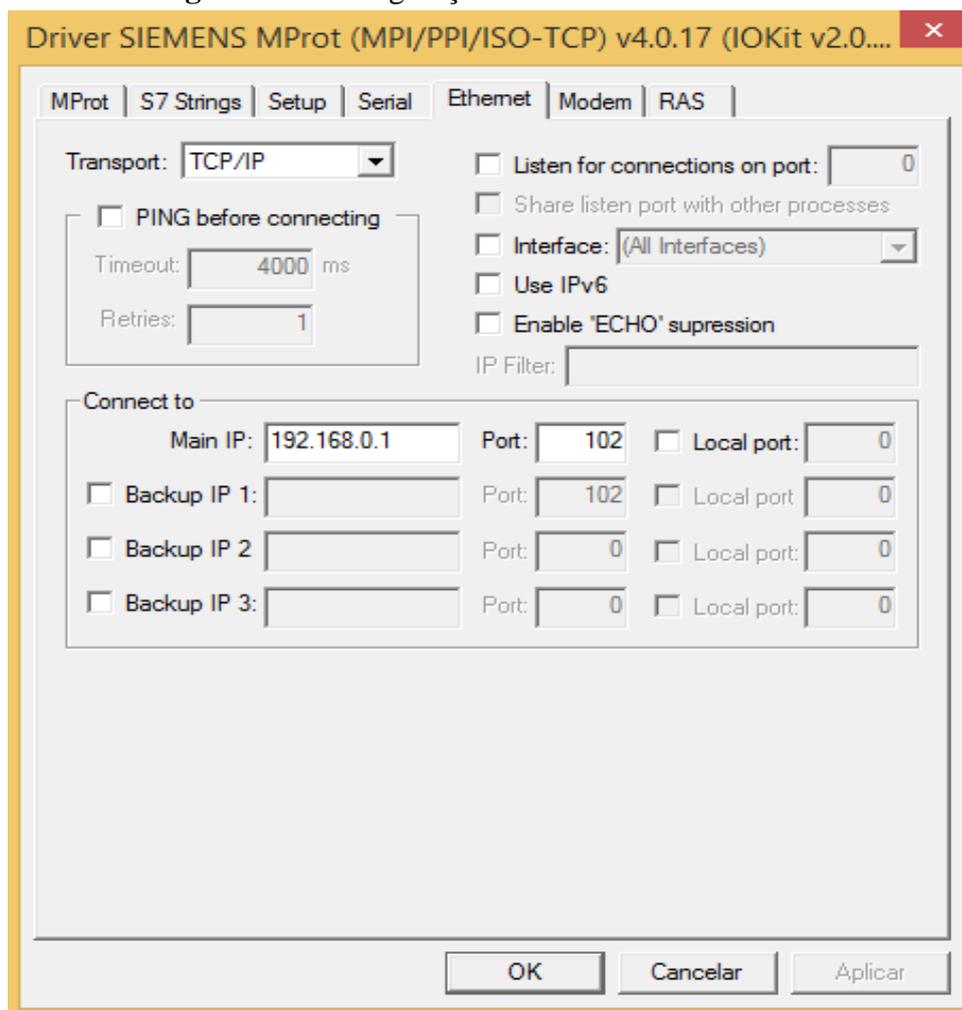
Figura 36 - Configuração da aba Setup do driver



Fonte: Autor

Como a comunicação do Driver com o CLP é feita via ethernet, precisa-se configurar a aba *Ethernet*. Nesta aba são configurados os parâmetros de rede como: tipo de protocolo, número IP – Protocolo de *Internet*; e a porta de comunicação. No exemplo ilustrado pela Figura 37, o protocolo de comunicação utilizado foi o TCP/IP – Protocolo de Controle e Transmissão, e o IP do CLP foi 192.168.0.1 e a Porta 102. Importante ressaltar que o IP do CLP e o IP do computador devem estar numa mesma rede. Um exemplo de IP que poderia estar no computador seria o IP 192.168.0.2 para uma máscara de rede 255.255.255.0. Como estamos utilizando a comunicação *Ethernet*, as demais abas não precisam ser alteradas.

Figura 37 - Configuração da aba *Ethernet* do driver



Fonte: Autor

4.3.2 Criação das *tags* de comunicação com o CLP

Através das *tags* de comunicação que o supervisor busca as informações dos dados das variáveis dentro do CLP. Para este projeto foram criadas as *tags* de comunicação,

conforme Figura 38. Os detalhes da configuração e da adição de tags está disponível no manual do driver MProt. Este manual é baixado juntamente com o *driver*, nas versões português e inglês, em arquivo PDF – Formato Portátil de Documento (ELIPSE, 2018).

Figura 38 - Tags de comunicação criadas para o projeto

Nome	Disp..	Item	P1/N1	P2/N2	P3/N3	P4/N4	Ta..	Va..	Leitur..	Escrit..	Escala?	Mín...	Máx...	UE	Mín...	Máx...
Driver1			0	0	0	0										
EntradaDigital.0			1	206	0	0		1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
EntradaDigital.1			1	206	0	1		1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
SaídaDigital.0			1	207	0	0		1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
SaídaDigital.1			1	207	0	1		1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
SensorTemperatura			1	708	0	200		1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
SensorBiodiesel			1	708	0	400		1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
DB_decantacao			1	509	8	8		1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
DB_decantacao2			1	209	8	12		1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
Memoria			1	208	0	0		1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
Memoria1			1	208	0	1		1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000

Fonte: Autor

As Tabelas 8, 9 e 10 apresentam os dados para a configuração das tags de comunicação utilizadas na programação de controle.

Tabela 8 - Parâmetros de configuração das tags de comunicação

PARÂMETRO	DESCRIÇÃO
P1/N1	Endereço do CLP no rack/slot. Normalmente igual a 0 (zero) ou 1(um).
P2/N2	Tipo de dados e área de dados (ver tabela 7). O valor deve ser composto pelo tipo de dados multiplicado por 100 mais a área de dados: $(P2/N2 = [(tipo\ de\ dados * 100) + area\ de\ dados])$. Vide Tabelas 7 e 8.
P3/N3	Se a área de dados selecionada é V (DB – data bloco) , preencha com o número do bloco de dados. Caso contrário deixe em 0 (zero).
P4/N4	Endereço na área de dados do bloco DB. Para usar tipos de dados que ocupam mais de um byte, devem ser colocados endereços múltiplos de dois para tipos de dados de dois bytes e múltiplos de 4 para tipos de dados de quatro bytes.

Fonte: Adaptado de ELIPSE, 2018.

Para exemplificar, consideremos a tag EntradaDigital.0 da Figura 38. O campo P1/N1 foi configurado como 1, pois o CLP está conectado no slot 1, conforme pode ser revisto na configuração do driver MProt da Figura 34. O campo P2/N2 foi configurado com o valor 206, pois conforme a Tabela 7, o parâmetro P2/N2 é obtido através da fórmula [1]:

$$P2/N2 = (\text{tipo de dados} * 100) + \text{Área de dados} \quad [1]$$

Onde:

Tipo de dados (Byte) = 2

Área de dados (I – Entrada Digital) = 6

Tabela 9 - Tipos de dados para configuração dos parâmetros

TIPO DE DADOS	SIGNIFICADO
0	Padrão da área de dados
1	BOOL (Booleano)
2	BYTE (8 bits)
3	WORD (16 bits)
4	INT (16 bits)
5	DWORD (32 bits)
6	DINT (32 bits)
7	REAL (32 bits de ponto flutuante)
8	STRING
12	S5TIME (tempo em segundos, 32 bits pontos flutuantes)

Fonte: Adaptado de ELIPSE, 2018.

Tabela 10 - Área de dados para configuração dos parâmetros

ÁREA DE DADOS	SIGNIFICADO
0	S
1	SM
2	AI (entrada analógica)
3	AQ (saída analógica)
4	C (contador)
5	T (tempo)
6	I (entrada digital)
7	Q (saída digital)
8	M (memória)
9	V (DB)
10	HC (Contador rápido)

Fonte: Adaptado de ELIPSE 2018.

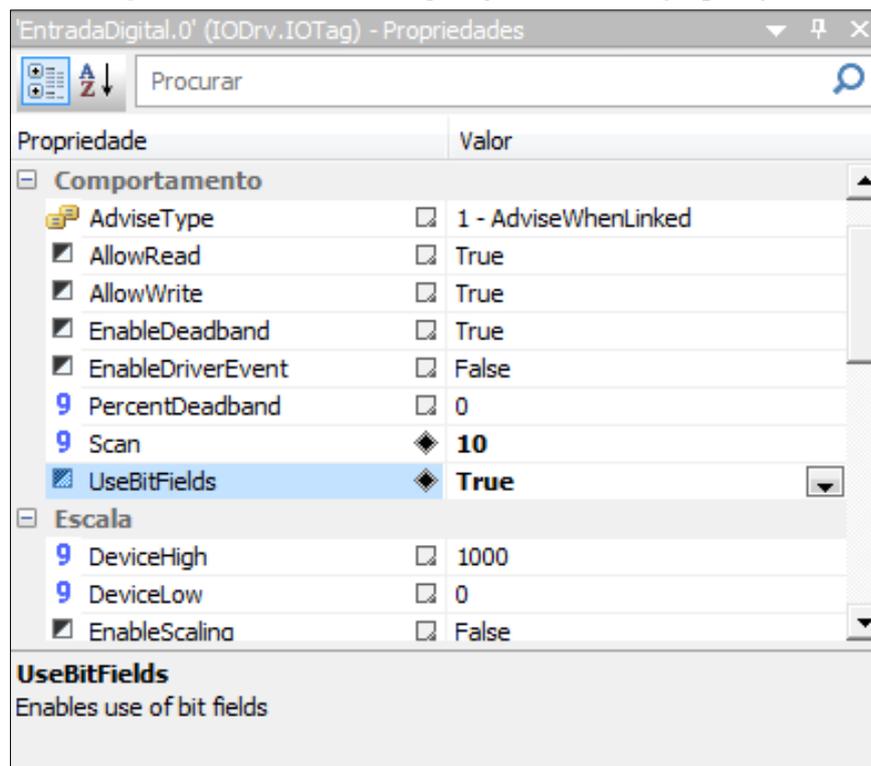
O campo P3/N3 foi parametrizado com o valor = 0 (zero), pois a área de dados é Entrada Digital, e não DB – Diagrama de Bloco, conforme Tabela 9.

Por fim, o campo P4/N4 recebeu o valor (0) zero, isso porque trata-se da leitura do Byte 0 das entradas digitais, caso fosse o Byte 1 das entradas digitais, este valor seria 1.

A configuração correta destes parâmetros é essencial para a montagem do supervisor, pois, através destas configurações, o supervisor sabe o caminho correto para buscar as informações no endereço da memória do CLP e atualizar a tela do processo.

Para acessar os bits individualmente das tags, deve-se habilitar o uso do campo Bit, desta forma, pode-se acessar os 8 bits do byte da tag criada. A Figura 39 ilustra a tela para habilitar a utilização dos bits. Para chegar a esta tela, clique em configuração, na aba *organizer*, clique em [drivers e OPC], depois em [driver], em seguida na [tag] de comunicação que deseja configurar, na aba [propriedade] selecione a propriedade [UseBitFields] e mude para [True].

Figura 39 - Tela de configuração de uma tag tipo byte



Fonte: Autor

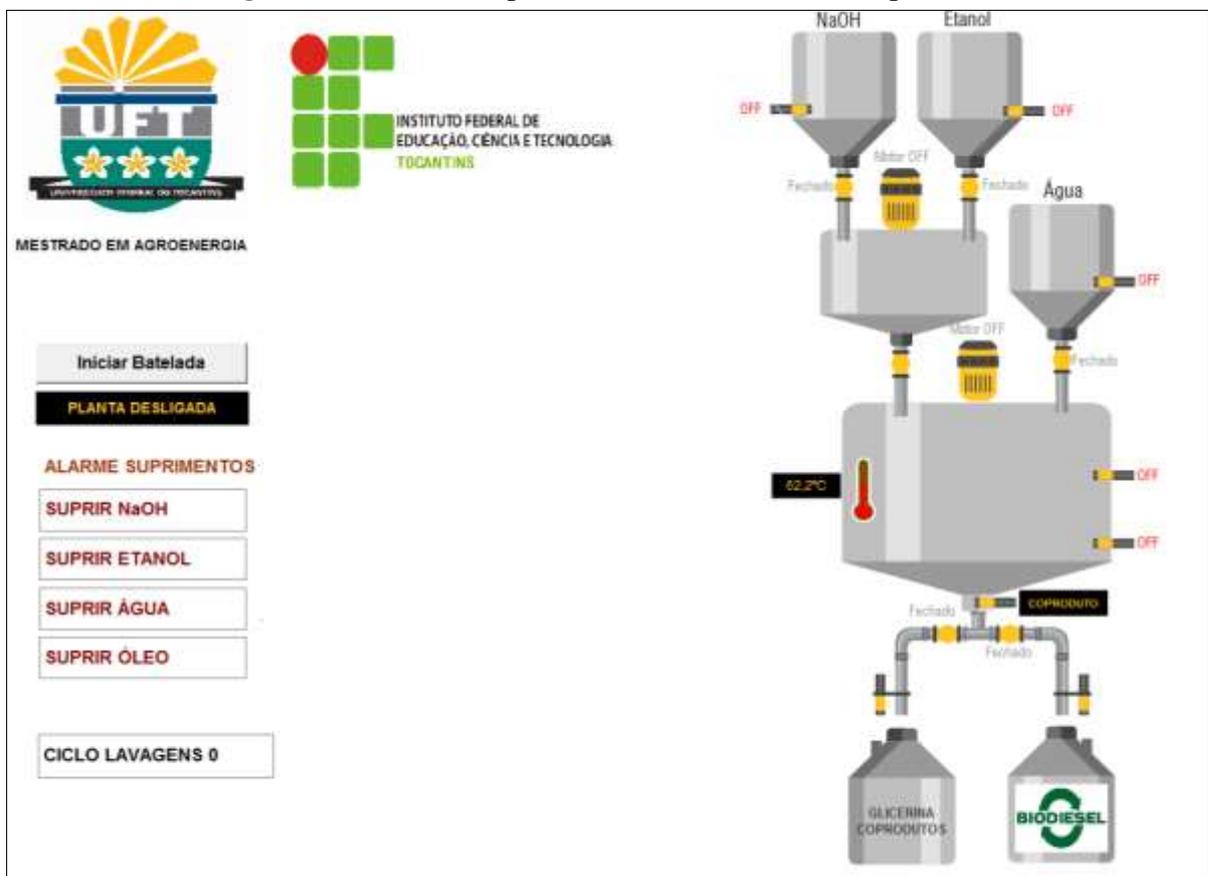
4.3.3 Supervisor para a simulação da automação da planta

A criação da tela do supervisor é algo inerente de cada usuário, a utilização das imagens, ou até mesmo a criação destas imagens podem ser feitas e exportadas para a tela do supervisor. Para criar as telas do supervisor, o usuário deve primeiramente consultar o manual do usuário (ELIPSE, 2018). O manual apresenta as informações necessárias para que o usuário possa criar suas telas, no supervisor. Nesta seção será apresentado a tela do

supervisório desenvolvido para atestar a funcionalidade da programação de automação e controle feita para a planta de produção de biodiesel. A interface gráfica da planta do supervisório foi desenvolvida com a utilização do software Corel Draw X6, posteriormente exportada em extensão de arquivo .wmf – Windows Metafile. Este formato permite manter todas as propriedades gráficas originais, por ser arquivo vetorial. Contudo, o software Elipse E3 Studio permite a utilização de figuras em formatos diferentes, conforme manual do usuário (ELIPSE, 2018).

A Figura 40 apresenta a tela do supervisório antes do início do processo de batelada. Observa-se nesta tela que os insumos, e a matéria-prima não foram supridos. Os sensores, motores e eletroválvulas na cor amarela significam que estão desligados ou não acionados. Nesta situação, mesmo que seja acionado o botão ligar, o processo não se inicia, por falta de insumos para conclusão da batelada.

Figura 40 - Tela do supervisório, antes do início do processo

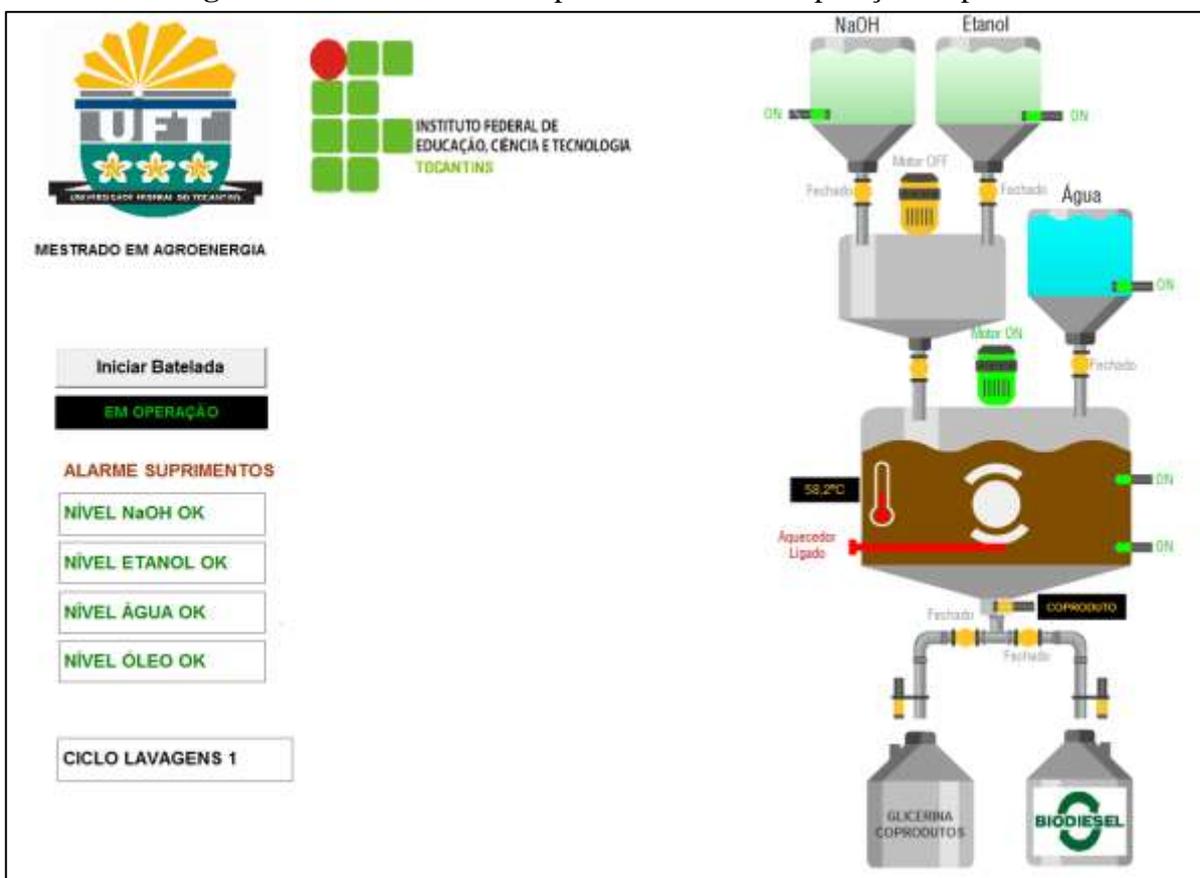


Fonte: Autor

A Figura 41 representa a tela do supervisório durante o processo. Observa-se que os insumos e a matéria-prima estão disponíveis nos seus respectivos tanques. Os sensores que

representam a presença destes elementos, estão na cor verde e sinalizados como ligados (ON). O aquecedor está ligado e o sensor de temperatura informando a leitura do óleo em 58,2°C. O motor misturador do tanque 5 está acionado. O acionamento do motor está representado pela indicação motor ON, pela cor verde e também pela animação da hélice girando.

Figura 41 - Resultado tela supervisório durante operação da planta



Fonte: Autor

Para o supervisório da planta, conforme pode ser visto nas Figura 40 e 41, foi criada uma tela de alarmes para sinalizar a presença dos suprimentos e da matéria-prima. Caso falte algum suprimento ou matéria-prima, a tela de alarme irá piscar em vermelho, informando a falta do item e portanto, a necessidade de suprimento.

4.4 Análise de resultados

Como resultado da programação e controle do modelo de planta proposta pelo trabalho, tem-se uma programação em *Ladder* que pode servir como base para implementações de controle em usinas de pequeno porte já existentes, ou em novas

instalações. Para usinas que não possuem o mesmo modelo de produção, ou, até mesmo, para usinas de produção de médio e grande porte, pode-se utilizar a lógica de programação como base, e realizar os ajustes necessários. Contudo, em usinas de produção de grande porte, normalmente existem mecanismos para recuperação do catalisador, e também do álcool utilizado no processo de transesterificação. Como o modelo proposto foi para usinas de pequeno porte, estes mecanismos de recuperação do álcool e a lógica para essa recuperação não foram projetados.

Os comentários nas linhas de programação podem ajudar na confecção de programação e controle de diferentes plantas. A programação completa, com os elementos da programação e os comentários do autor está disponível no Apêndice B deste trabalho.

Para a análise dos resultados e monitoração da planta foi elaborado o sistema supervisor, que demonstrou graficamente o controle do processo de transesterificação e da separação do biodiesel da glicerina corretamente, bem como as informações de alarme e estados dos sensores da planta. Portanto, o supervisor permitiu a monitoração das variáveis do processo e também atestou que o sistema proposto de automação para a planta de produção automática de biodiesel pode ser implantado. O resultado da automação do processo verificado pela tela do supervisor, demonstra aplicabilidade da automação também para fins didáticos. A implementação da lógica do tanque (4) de mistura do álcool com o catalisador e o ciclo de lavagens do biodiesel podem ser considerados diferenciais para a qualidade da produção do biodiesel, e portanto, deste trabalho.

O Software de programação desenvolvido e a tela de supervisor funcionando pode ser visto acessando o link: [<https://youtu.be/c4kITD>] ou clicando em [vídeo supervisor]. A programação completa e comentada pode ser encontrada no apêndice B.

5 CONCLUSÃO

A programação de controle permite ao usuário buscar a otimização do processo de produção biodiesel através da monitoração e controle das variáveis que envolvem o processo. A monitoração do processo via supervisório proporciona verificação em tempo real das variáveis e do estado do processo, contribuindo para a otimização da produção, e também para realizar os ajustes necessários. O supervisório realizado neste trabalho pode ser utilizado como uma ferramenta de integração entre produção e aprendizagem. A programação pode ser adaptada tanto para outros modelos de controladores lógicos, como pode adaptar-se a necessidade de produção dos pequenos produtores. A implementação da lógica de ciclo de lavagens desejada para a produção e a mistura prévia do álcool com o catalisador podem ser consideradas contribuições importantes para a qualidade da produção do biodiesel, portanto, agregando valor a este trabalho. Outra contribuição importante foi o fluxograma com os passos para o algoritmo da lógica de programação.

A estimativa de custos para implantação deste modelo de automação em plantas manuais no valor de R\$ 11.118,47, pode ser considerada viável a pequenos produtores, e trazer benefícios na qualidade do biodiesel produzido, na mitigação de riscos de insalubridade e na economia com custos de mão-de-obra.

5.1 Sugestões de Trabalhos Futuros

Sugere-se para próximos trabalhos a implementação do protótipo com o modelo de planta aqui apresentado. Outra sugestão, é a implantação de um protótipo para uso educacional, como bancada de laboratório para realização de experiências diversas e pesquisas, tais como: tempos diferentes de decantação; tempos diferentes de mistura de reação; ciclo de lavagens de biodiesel diferentes, temperatura de aquecimento do óleo, entre outras possibilidades.

A implantação do protótipo em ambientes educacionais pode se tornar uma grande ferramenta para educação ambiental nas escolas, além de ser uma ferramenta para utilização em disciplinas diversas, no eixo de engenharia da produção, entre outros.

6 REFERÊNCIAS

ABREU, Yolanda Vieira de. **Biodiesel: vantagens, desvantagens e limites a serem superados**. Universidade Federal do Tocantins, 2005. Disponível em: <<http://jornalggn.com.br/documento/biodiesel-vantagens-desvantagens-e-limites-a-serem-superados>>. Acesso em 17 de junho de 2018.

ANP, Agência Nacional do Petróleo. **Anuário estatístico 2018**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-2018#Se%C3%A7%C3%A3o%204>>. Acesso em 18 de agosto de 2018.

BIRCHAL, M. A. de Souza Birchal e V. S. **Automação de uma planta de produção de biodiesel**. 2013.

BOMAX do Brasil. **Agitadores e misturadores Agimax**. Disponível em: <<http://www.bomax.com.br/produtos/item/agitadores-misturadores-agimax>>. Acesso em 11 de setembro de 2018.

BOTNROLL. **Botnroll.com**. Disponível em: <<https://www.botnroll.com/pt/temperatura/804-sensor-de-temperatura-pt-100.html>>. Acesso em 21 de setembro de 2018.

BRASIL, **Lei Nº 13.263, de 23 de março de 2016**. Altera a Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014, para dispor sobre os percentuais de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado no território nacional. Diário Oficial da União, Brasília, 24 de março de 2016.

BRASIL, **Lei Nº 11.097, de 13 de Janeiro de 2005**. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nos 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 14 de janeiro de 2005.

BRASIL, **Lei Nº 11.428, de 22 de Dezembro de 2006**. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Diário Oficial da União - Seção 1 - 26/12/2006, Página 1 (Publicação Original).

CÁS, João Luiz Kaled. **Modelagem de sistema de automação para planta de produção de biodiesel em pequena escala**. Universidade de Brasília – UnB. Faculdade UnB Gama - FGA, 2017.

CESAR, A.S.; ALMEIDA, F.A.; SOUZA, R.P.; SILVA, G.C.; ATABANI, A.E. The prospects of using acrocomia aculeata (macaúba) a non-edible biodiesel feedstock in Brazil. **Renew Sustain. Energy Rev.** 49, págs. 1213-1220. Ano 2015.

D'AGOSTO, M.A.; SILVA, M.A.V.; OLIVEIRA, C.M.; FRANCA, L.S.; MARQUES, L.G.C.; MURTA, A.L.S.; FREITAS, M.A.V. Evaluating the potential of the use of biodiesel for power generation in Brazil. **Renew Sustain.** 2015. Energy Rev. 43, págs. 807-817.

DIAS, Diogo Lopes. "Glicerol"; Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/glicerol.htm>>. Acesso em 27 de agosto de 2018.

DEFANTI, L.S.; SIQUEIRA, N.S.; LINHARES, P.C. **Produção de biocombustíveis a partir de algas fotossintetizantes**. Inf. Proj. Univ. Petrobras IF Fluminense. 2010. J. 1, págs. 11-21.

ECE. **Energy Central Europa**. Bélgica, Europa, 2015. Disponível em: <https://ec.europa.eu/info/departments/energy_pt>. Acesso em 21 de setembro de 2018.

EIA. **Short-Term Energy Outlook**. Estados Unidos, 2017. Disponível em: <https://www.eia.gov/outlooks/steo/>. Acesso em 21 de setembro de 2018.

ELETROGATE. **Válvulas**. Disponível em: <<https://www.eletrogate.com/valvula-solenoid-de-entrada-de-agua-180-1-2-220v>>. Acesso em 11 de setembro de 2018.

ELETROTHERMO. **Resistencia para tanque**. Disponível em: <<http://www.eletrothermo.com.br/resistencia-tanque>>. Acesso em 11 de setembro de 2018.

ELIPSE. **Downloads**. Disponível em: <<https://www.elipse.com.br/downloads/?cat=48&key=driver+siemens&language=ptbr>>. Acesso em 12 de setembro de 2018.

ELSAWY, M. B. A. **Automation of a biodiesel processor from waste vegetable oil using programmable logic controller**. American Society for Engineering Education, 2012.

EMERICK, Adailton. AUTOMAÇÕES. O blog da automação Industrial. Disponível em: <<https://automacoes.net/2008/12/04/o-plc-parte-1/>>. Acesso em 22 de agosto de 2018.

FLOURNOY, S. **Flournoy Green Tech**. 2017. Disponível em: <flournoygreentech.com>. Acesso em 27 de agosto de 2018.

FRANCHI, C. M.; CAMARGO, W. L. A.; **Controladores Lógicos Programáveis: sistemas discretos**. 2ª edição. Ed. Érica. 2008. 352 p.

FRANCO, A.L.C.; LOBO, I.P.; CRUZ, R.S.; TEIXEIRA, C.M.L.L.; NETO, J.A.A.; MENEZES, R.S. Biodiesel de Microalgas: avanços e desafios. Quím. Nova 36 (3). 2013. págs. 437-448.

GOULD, C. SCADA. Explained. 2016. Disponível em: <inductiveautomation.com/what-is-scada>. Acesso em 25 de junho de 2018.

GROOVER, Mikell P. Automação industrial e sistemas de manufatura. São Paulo: Pearson Prentice, 2011.

HAIGHT, J. M. **Automation vs Human Intervention. What is the Best Fit for the Best Performance**. 2017. Disponível em: <http://www.asse.org/practicespecialties/management/automation_human_intervention/>.

IEC 61312:2018 – **International Electrotechnical Commission**.

Disponível em: <<https://webstore.iec.ch/publication/62427>>. Acesso em 28 de agosto de 2018.

ISA. Instrument Society of America. **ISA-5.1-2009**. Disponível em:>
<https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards/find-isa-standards-in-numerical-order/>>. Acesso em 20 de agosto de 2018

KEMP, W. H. **Biodiesel Basics and Beyond**. A Comprehensive Guide to Production and Use for the Home and Farm: Aztec Press, 2006.

LOPES, Adriana Carla de Oliveira. Estudo das variáveis de processo na produção e na purificação do biodiesel de soja via rota etílica. **Dissertação**. Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2015. Disponível em:
<<http://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/1279/1/Estudo%20das%20vari%C3%A1veis%20de%20processo%20na%20produ%C3%A7%C3%A3o%20e%20na%20purif.pdf>>.
Acesso em 26 de agosto de 2018.

MADUREIRA, Jane Marchi; GUERRA, Sinclair Mallet Guy. **Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel: Divergências sobre os resultados sociais da política de biocombustíveis**. Revista Pol. Públ., São Luís, v. 18, n. 2, p. 659-670, jul./dez. 2014.

MALONE, Chase; HOLMAN, Matthew; KATZ, Brian; ELSAWY, Ahmed. **Automation of biodiesel reactor for the production of biodiesel from wvo using plc e small scale continuous ultrasonic processor**. ISBN 978-1-60643-379-9. IAJC/ISAM Joint International Conference, 2014.

MOREIRA, Daniel Augusto. **Administração da produção e operações**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012. Bibliografia ISBN 978-85-221-1019-3.

NASCIMENTO, Adilson. **SEAN – Automação**. Apostila de comandos Elétricos. Rev. 2. 2015. Disponível em: < https://sean.com.br/_files/200001161-755df76573/Apostila.pdf>.
Acesso em 29 de agosto de 2018.

PEREIRA, C.M.P.; HOBUSS, C.B.; MACIEL, J.V.; FERREIRA, L.R.; DEL PINO, F.B.; MESKO, M.F. **Biodiesel Renovável Derivado de Microalgas: avanços e Perspectivas Tecnológicas**. Quím. Nova 35 (10). 2012. 2013-2018.

RAMOS, Luiz P.; KOTHE, Vinicius; CÉSAR – OLIVEIRA, M. A. F.; MUNIZ-WYPYCH, Aline. S.; NAKAGAKI, Shirley; KRIEGER, Nádia; WYPYCH, Fernando; CORDEIRO, Claudiney. S. Biodiesel: Matérias-Primas, Tecnologias de Produção e Propriedades Combustíveis. **Revista Virtual de Química**. 2017. Vol. 9. Nº 1. Págs. 317-369. ISSN 1984-6835. Disponível em: < <http://rvq.sbq.org.br/imagebank/pdf/v9n1a19.pdf> >. Acesso em 27 de agosto de 2018.

TAN, Yie Hua; ABDULLAH, Mohammad Omar; NOLASCO-HIPOLITO, Cirilo; ZAUZI, Nur Syuhada Ahmad; ABDULLAH, Georgie Wong. **Engine performance and emissions characteristics of a diesel engine fueled with diesel-biodiesel-bioethanol emulsions**. Revista Energy Conversion and Management, v.132, p. 54-64, 2016. Disponível em:
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890416310081>>. Acesso em 25 de maio de 2018.

TECNI-AR. **Sensores**. Disponível em: <http://www.tecniar.com.br/noticias/sensor-capacitivo-o-que-e-e-como-funciona/attachment/sensor-autonics-cr30-15ac_1/>. Acesso em 21 de setembro de 2018.

TENKAI1. **PLC**. Disponível em: <<http://www.tenkai1.com/industrial-control-products/siemens-plc.html>>. Acesso em 22 de novembro de 2018.

TUTAK, Wojciech; JAMROZIK, Arkadiusz; PYRC, Michał; SOBIEPAŃSKI, Michał. **A comparative study of co-combustion process of diesel-ethanol and biodiesel-ethanol blends in the direct injection diesel engine, Applied Thermal Engineering** (2017). Revista Applied Thermal Engineering, v.117, p. 155-163 2017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431117308074>>. Acesso em 25 de maio de 2018.

WOOLLY. **Ladder Logic Programming**. 2016. Disponível em: <<http://ladderlogicworld.com/index.php/2016/10/05/ladder-logic-programming/>>. Acesso em 25 de maio de 2018.

WAZILEWSK, W.T. **Estudo da Estabilidade do Biodiesel de Crambe e Soja**. MSc. Thesis. In: Cascavel Pos graduate Program in the Field of Energy in Agriculture. UNIOESTE - 2012, Paraná, Brazil, p. 38

WORM, H. **Estudo da automação de uma planta piloto para produção de biodiesel**. Dissertação de Mestrado — Universidade de Santa Cruz do Sul, 2012.

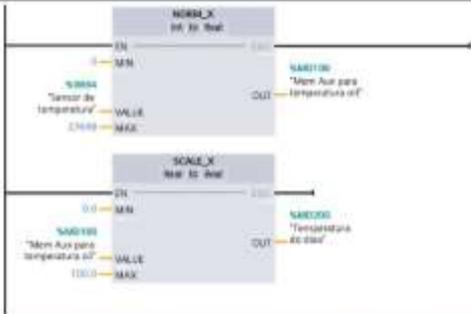
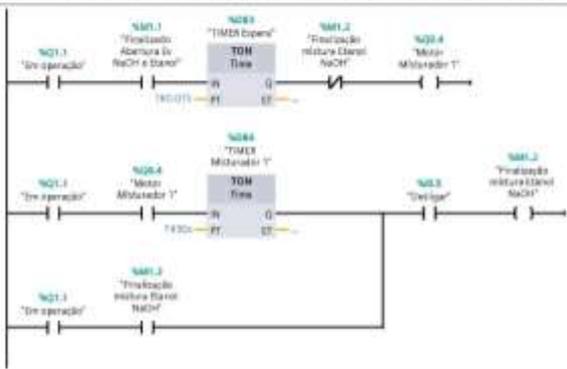
7 APÊNDICE A – LISTA GERAL DE TAGS DA PROGRAMAÇÃO

Tabela 11 - Lista de tags criadas na programação

Nome da TAG	Tipo de dados	Endereço lógico	Visível HMI	Acessível HMI
Sensor NaOH	Booleano	%I0.0	Sim	Sim
Sensor Etanol	Booleano	%I0.1	Sim	Sim
Sensor óleo alto	Booleano	%I0.2	Sim	Sim
Sensor óleo baixo	Booleano	%I0.3	Sim	Sim
Sensor água	Booleano	%I0.4	Sim	Sim
Desligar	Booleano	%I0.5	Sim	Sim
Iniciar batelada	Booleano	%I0.6	Sim	Sim
Sensor Rec. Biodiesel	Booleano	%I0.7	Sim	Sim
Sensor Rec. Coprodutos	Booleano	%I1.0	Sim	Sim
Aquecedor	Booleano	%Q0.0	Sim	Sim
Ev. NaOH	Booleano	%Q0.1	Sim	Sim
Ev. Etanol	Booleano	%Q0.2	Sim	Sim
Ev. Agua	Booleano	%Q0.3	Sim	Sim
Motor Misturador 1	Booleano	%Q0.4	Sim	Sim
Ev. Mistura 1	Booleano	%Q0.5	Sim	Sim
Motor Misturador 2	Booleano	%Q0.6	Sim	Sim
Ev. Biodiesel	Booleano	%Q0.7	Sim	Sim
Ev. Coprodutos	Booleano	%Q1.0	Sim	Sim
Sensor de temperatura	Inteiro	%IW64	Sim	Sim
Finalizado NaOH e Etanol EVS	Booleano	%M0.3	Sim	Sim
Em operação	Booleano	%Q1.1	Sim	Sim
Início abertura EV's Etanol e NaOH	Booleano	%M1.0	Sim	Sim
Mem Aux. para temperatura óleo	Real	%MD100	Sim	Sim
Temperatura do óleo	Real	%MD200	Sim	Sim
Fin. abertura Ev. NaOH e Etanol	Booleano	%M1.1	Sim	Sim
Fin. mistura Etanol NaOH	Booleano	%M1.2	Sim	Sim
Tag_3	Booleano	%M1.3	Sim	Sim
Mem Aux. loop das lavagens	Booleano	%M2.0	Sim	Sim
Mem aux. Lógica Sensor biodiesel	Booleano	%M2.1	Sim	Sim
Sensor de Biodiesel	Inteiro	%IW66	Sim	Sim
Mem Aux. sensor Biodiesel	Real	%MD300	Sim	Sim
Leitura sensor biodiesel/coprodutos	Real	%MD400	Sim	Sim
Lendo Biodiesel	Booleano	%M2.3	Sim	Sim
Lendo Coprodutos	Booleano	%M2.4	Sim	Sim
Mem Aux. network 12 EV água	Booleano	%M2.5	Sim	Sim
MEM aux. EV biodiesel	Booleano	%M2.6	Sim	Sim
Mem Aux. do final processo	Booleano	%M2.7	Sim	Sim
Fim da batelada	Booleano	%M3.0	Sim	Sim
Supervisório - leitura em biodiesel	Booleano	%M0.0	Sim	Sim

8 APÊNDICE B – LÓGICA LADDER DA PROGRAMAÇÃO

Totally Integrated Automation Portal																																									
<p>Planta biodiesel didática para o supervisorio mestrado14.09.2018 / PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Blocos de programa</p> <p>Main [OB1]</p>																																									
Main Propriedades																																									
Geral																																									
Nome	Main	Número	3	Tipo	OB																																				
Numeração	automática			Idioma	LAD																																				
Informações																																									
Título	"Programação Ladder planta biodiesel"	Autor	MACEDO H	Comentário																																					
Versão	1.0	ID definida por usuário		Família																																					
Rede 1: INICIO DO PROCESSO DE BATELADA																																									
<p>A batelada somente poderá iniciar-se quando houver a quantidade mínima de insumos para finalização de batelada.</p>																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Símbolo</th> <th>Endereço</th> <th>Tipo</th> <th>Comentário</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>"Desligar"</td> <td>NQ0.5</td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"Em operação"</td> <td>NQ1.1</td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"fim da batelada"</td> <td>NM3.0</td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"Iniciar batelada"</td> <td>NQ0.6</td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"Sensor Água"</td> <td>NQ0.4</td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"Sensor Etanol"</td> <td>NQ1.0</td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"Sensor NaOH"</td> <td>NQ0.0</td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"Sensor OL alto"</td> <td>NQ0.2</td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Símbolo	Endereço	Tipo	Comentário	"Desligar"	NQ0.5	Bool		"Em operação"	NQ1.1	Bool		"fim da batelada"	NM3.0	Bool		"Iniciar batelada"	NQ0.6	Bool		"Sensor Água"	NQ0.4	Bool		"Sensor Etanol"	NQ1.0	Bool		"Sensor NaOH"	NQ0.0	Bool		"Sensor OL alto"	NQ0.2	Bool	
Símbolo	Endereço	Tipo	Comentário																																						
"Desligar"	NQ0.5	Bool																																							
"Em operação"	NQ1.1	Bool																																							
"fim da batelada"	NM3.0	Bool																																							
"Iniciar batelada"	NQ0.6	Bool																																							
"Sensor Água"	NQ0.4	Bool																																							
"Sensor Etanol"	NQ1.0	Bool																																							
"Sensor NaOH"	NQ0.0	Bool																																							
"Sensor OL alto"	NQ0.2	Bool																																							
Rede 2: AQUECIMENTO DO OLEO - SET E RESET AQUECEDOR																																									
<p>O óleo será aquecido inicialmente até 62°C - o aquecedor será setado com a temperatura entre 0 e 60°C e resetado quando a temperatura estiver em 62°C. Estes valores podem ser alterados modificando os parâmetros IN_RANGE para setar e OUT_RANGE para resetar o aquecedor. Por questão de Segurança o aquecedor não ligará se não houver o mínimo de óleo no tanque.</p>																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Símbolo</th> <th>Endereço</th> <th>Tipo</th> <th>Comentário</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>"Aquecedor"</td> <td>NQ0.0</td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"Desligar"</td> <td>NQ0.5</td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"Em operação"</td> <td>NQ1.1</td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"fim da batelada"</td> <td>NM3.0</td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"Sensor Ol baixo"</td> <td>NQ0.3</td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"Temperatura do óleo"</td> <td>NM0200</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Símbolo	Endereço	Tipo	Comentário	"Aquecedor"	NQ0.0	Bool		"Desligar"	NQ0.5	Bool		"Em operação"	NQ1.1	Bool		"fim da batelada"	NM3.0	Bool		"Sensor Ol baixo"	NQ0.3	Bool		"Temperatura do óleo"	NM0200	Real									
Símbolo	Endereço	Tipo	Comentário																																						
"Aquecedor"	NQ0.0	Bool																																							
"Desligar"	NQ0.5	Bool																																							
"Em operação"	NQ1.1	Bool																																							
"fim da batelada"	NM3.0	Bool																																							
"Sensor Ol baixo"	NQ0.3	Bool																																							
"Temperatura do óleo"	NM0200	Real																																							

Totally Integrated Automation Portal							
Planta biodiesel didática para o supervisorio mestrado14.09.2018 / PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Blocos de programa Main [OB1]							
Main Propriedades							
Geral							
Nome	Main	Número	1	Tipo	OB	Idioma	LAD
Numeração	automático						
Informações							
Título	"Programação Ladder planta biodiesel"	Autor	MACEDO H	Comentário		Família	
Versão	1.0	ID definida por usuário					
Rede 3: LEITURA DA TEMPERATURA							
<p>O valor lido pelo sensor de temperatura estará gravado na memória MD1, para você configurar o valor mínimo e máximo do seu sensor, basta colocar esses valores no bloco SCALE_X.</p>							
							
Símbolo	Endereço	Tipo	Comentário				
"Mem Aux para temperatura 0"	%MD100	Real					
"Sensor de temperatura"	NWS4	Int.					
"Temperatura do óleo"	%MD200	Real					
Rede 5: MISTURA 1 - NaOH E ETANOL							
<p>Após a finalização das aberturas das eletroválvulas dos tanques de etanol e NaOH, será acionado o misturador 1, após o fechamento da última eletroválvula (Ev. de Etanol). A mistura ocorrerá pelo tempo indicado em" time Misturador 1". Portanto para alterar o tempo desta mistura, basta alterar esse parâmetro.</p>							
							
Símbolo	Endereço	Tipo	Comentário				
"Desligar"	%Q0.5	Bool					
"Em operação"	%Q1.1	Bool					
"Finalização mistura Etanol NaOH"	%M1.2	Bool					
"Finalizado Abertura Ev NaOH e Etanol"	%M1.1	Bool					
"Motor Misturador 1"	%Q0.4	Bool					

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

Planta biodiesel didática para o supervisorio mestrado14.09.2018 / PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Blocos de programa

Main [OB1]

Main Propriedades

Geral

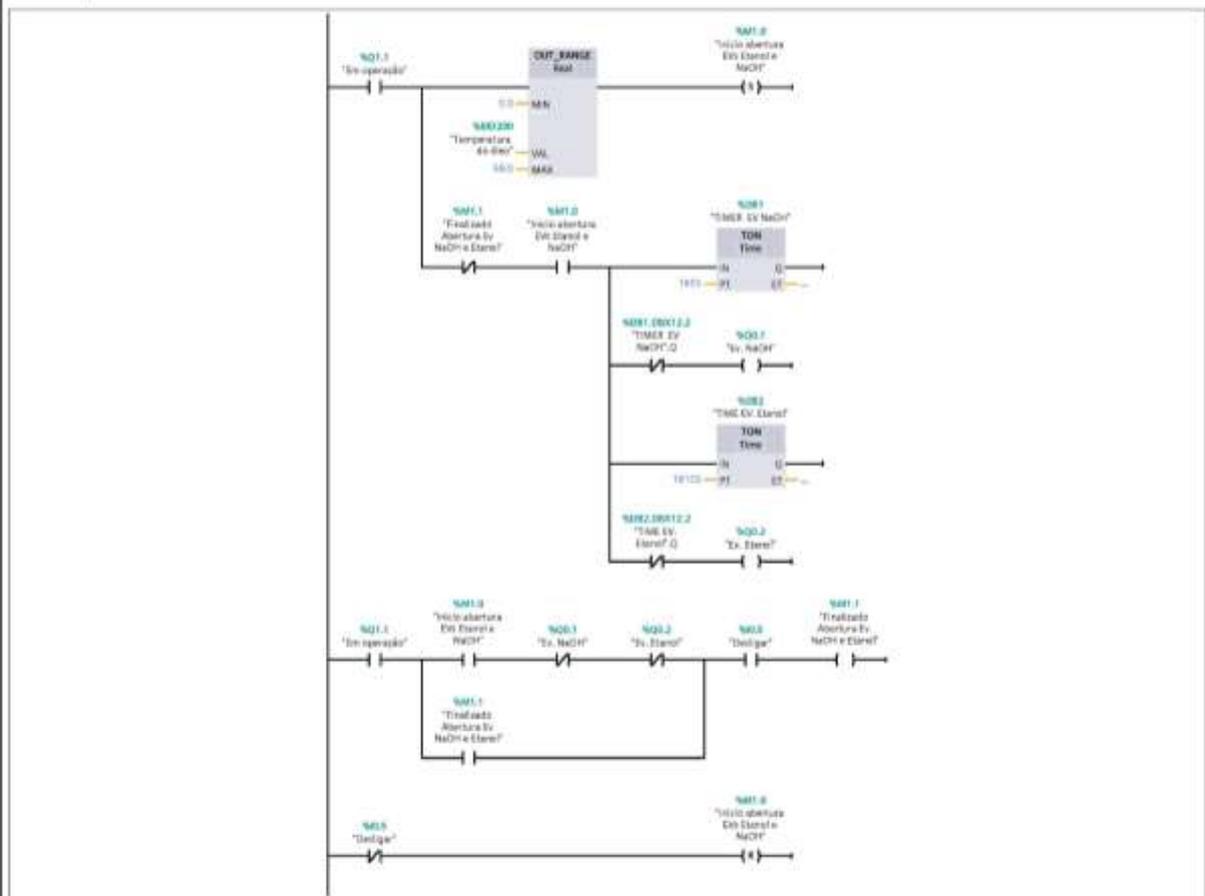
Nome	Main	Número	1	Tipo	OB	Idioma	LAD
------	------	--------	---	------	----	--------	-----

Informações

Título	"Programação Ladder planta biodiesel"	Autor	MACEDO H	Comentário		Família	
Versão	1.0	ID definida por usuário					

Rede 4: ABERTURA DAS ELETRIVALVULAS DO TANQUE DE ETANOL E NaOH, E INÍCIO DA MISTURA.

Quando o óleo chegar a temperatura de 58°C, dá-se início a abertura das eletrovalvulas. O controle da quantidade de insumo a ser misturado é feito pelo tempo de abertura em que a eletrovalvula ficará aberta. Para cada 10 litros de óleo vegetal deve-se misturar 2 litros de etanol e 75 gramas ou ml de NaOH. De acordo com a vazão da eletrovalvula e da batelada, o ajuste do tempo deve ser feito no campo PT do bloco Time 1 e 2. No exemplo abaixo, o tempo de abertura da eletrovalvula do tanque NaOH foi de 5 segundos.



Símbolo	Endereço	Tipo	Comentário
"Desligar"	%M0.5	Bool	
"Em operação"	%I0.1	Bool	
"Ev. Etanol"	%Q0.2	Bool	
"Ev. NaOH"	%Q0.1	Bool	
"Finalizado Abertura Ev NaOH e Etanol"	%M1.1	Bool	
"Início abertura EV Etanol e NaOH"	%M1.0	Bool	
"Temperatura do óleo"	%MD200	Real	
"TIME EV Etanol" Q	%DB2.DBX12.2	Bool	
"TIMER EV NaOH" Q	%DB1.DBX12.2	Bool	

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

Planta biodiesel didática para o supervisorio mestrado 14.09.2018 / PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Blocos de programa

Main [OB1]

Main Propriedades

Geral					
Nome	Main	Número	1	Tipo	OB
Numeração	automática			Idioma	LAD
Informações					
Título	"Programação Ladder planta biodiesel"	Autor	MACEDO H	Comentário	
Versão	1.0	ID definida por usuário		Família	

Rede 6: INICIO DA TRANSESTERIFICAÇÃO

Após esgotado o tempo do misturador 1, será aberta a EV do tanque de mistura 1. Esta EV ficará aberta até a descida total da mistura 1 (Etóxido de sódio) para o tanque com o óleo aquecido em 60°C. Esse controle será feito pelo "time abertura misturador 1", portanto para alterar esse tempo, basta modificar o valor desta parâmetro.

Símbolo	Endereço	Tipo	Comentário
"Desligar"	%Q0.5	Bool	
"Em operação"	%Q1.1	Bool	
"Ev. Mistura 1"	%Q0.5	Bool	
"Finalização mistura Etanol NaOH"	%M1.2	Bool	
"Tag_3"	%M1.3	Bool	
"TIMER de abertura da EV do misturador 1".IN	%D6S.DBX12.1	Bool	
"TIMER de abertura da EV do misturador 1".Q	%D6S.DBX12.2	Bool	

Rede 9: LEITURA DO SENSOR DE GLICERINA (COPRODUTOS)BIODIESEL

Conversão do sinal lido pelo sensor analógico na entrada IW66 para leitura de Biodiesel e coprodutos.

Símbolo	Endereço	Tipo	Comentário
"Leitura do sensor biodiesel/coprodutos"	%MD400	Real	
"Mem Aux. sensor Biodiesel"	%MD300	Real	
"Sensor de Biodiesel"	%IW66	Int	

Totally Integrated Automation Portal					
Planta biodiesel didática para o supervisorio mestrado14.09.2018 / PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Blocos de programa Main [OB1]					
Main Propriedades					
Geral					
Nome	Main	Número	1	Tipo	OB
Numeração	automático			Idioma	LAD
Informações					
Título	"Programação Ladder planta biodiesel"	Autor	MACEDO H	Comentário	
Versão	1.0	ID definida por usuário		Família	
Rede 7: TRANSESTERIFICAÇÃO - MISTURADOR 2					
<p>O óleo já quecido em 60°C receberá a mistura do etanol com NaOH. Essa mistura será controlada pelo tempo em "Time de mistura do óleo". Portanto para alterar o tempo de mistura, basta alterar este parâmetro. Durante a mistura estará ocorrendo uma reação chamada transesterificação. Nessa fase podemos começar a observar a distinção entre o Biodiesel e a Glicerina.</p>					
Símbolo	Endereço	Tipo	Comentário		
"Desligar"	%M0.5	Bool			
"Em operação"	%Q1.1	Bool			
"%EC_Timer_0_DB_1"-Q	%DB6.DBX12.2	Bool			
"Mem Aux loop das lavagens"	%M2.0	Bool			
"Mem aux para lógica de leitura sensor biodiesel"	%M2.1	Bool			
"Motor Misturador 2"	%Q0.6	Bool			
"TIMER EV Agua"-Q	%DB9.DBX12.2	Bool			
"TIMER MISTURA OIL"-Q	%DB7.DBX12.2	Bool			
Rede 11: SEPARAÇÃO DA GLICERINA E/OU COPRODUTOS					
<p>Quando o sensor estiver em lendo coprodutos e já estiver feito todo o processo de mistura e decantação. A eletroválvula de coprodutos se abrirá para separar a glicerina. Mesmo processo se repete após as lavagens do biodiesel.</p>					
Símbolo	Endereço	Tipo	Comentário		
"Em operação"	%Q1.1	Bool			
"Ev_Coprodutos"	%Q1.0	Bool			
"Lendo Coprodutos"	%M2.4	Bool			
"Mem Aux network 12 EV agua"	%M2.5	Bool			
"Mem aux para lógica de leitura sensor biodiesel"	%M2.1	Bool			
"Sensor Rec Coprodutos"	%M1.0	Bool			
"TIMER EV Agua"-Q	%DB9.DBX12.2	Bool			

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

Planta biodiesel didática para o supervisorio 1.10.2018 / PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Program blocks

Planta biodiesel [OB1]

Planta biodiesel Properties

General							
Name	Planta biodiesel	Number	1	Type	OS	Language	LAD
Numbering	automatic						
Information							
Title	"Programação Ladder planta biodiesel"	Author	Humberto	Comment		Family	Macedo
Version	1.0	User-defined ID					

Network 8: DECANTAÇÃO

O tempo de decantação será necessário para a reação se completar, esse tempo está indicado em Time decantação. Essa mesma lógica será repetida pela quantidade de lavagens que for solicitada no COUNTER na NETWORK 13.

Symbol	Address	Type	Comment
"Desligar"	%I0.5	Bool	
"Em operação"	%Q1.1	Bool	
"fim da batelada"	%M3.0	Bool	
"Mem Aux loop das lavagens"	%M2.0	Bool	
"Mem aux para lógica da leitura sensor biodiesel"	%M2.1	Bool	
"Motor Misturador 2"	%Q0.6	Bool	
"TIMER decantação" .Q	%DB8.DBX12.2	Bool	
"TIMER EV Agua" .Q	%DB9.DBX12.2	Bool	

Network 13: LAVAGENS DO BIODIESEL

Lógica para acionamento do contador de lavagens. Observe que a abertura da eletroválvula de coprodutos esta comandando a contagem.

Symbol	Address	Type	Comment
"Desligar"	%I0.5	Bool	
"Em operação"	%Q1.1	Bool	
"Ev. Agua"	%Q0.3	Bool	
"fim da batelada"	%M3.0	Bool	

Totally Integrated Automation Portal																																			
Planta biodiesel didática para o supervisorio mestrado14.09.2018 / PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Blocos de programa																																			
Main [OB1]																																			
Main Propriedades																																			
Geral																																			
Nome	Main	Número	1	Tipo	OB	Idioma	LAD																												
Numeração	automático																																		
Informações																																			
Título	"Programação Ladder planta biodiesel"	Autor	MACEDO H	Comentário		Família																													
Versão	1.0	ID definida por usuário																																	
Rede 10: LEITURA DO SENSOR PARA BODIESEL E COPRODUTOS																																			
<p>O sensor analógico para distinção de biodiesel deve ser calibrado no momento da construção e implantação do protótipo. Essa calibração consiste em informar nos campos mínimos e máximos dos blocos desta linha de programação, os valores referentes a leitura captada pelo sensor quando estiver na presença do biodiesel. Quando a leitura estiver fora dos valores captados para biodiesel, o programa entenderá que a leitura esta em coprodutos e seguirá com a lógica.</p>																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Símbolo</th> <th>Endereço</th> <th>Tipo</th> <th>Comentário</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>"Em operação"</td> <td>%Q1.1</td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"Leitura do sensor biodiesel/coprodutos"</td> <td>%M2.400</td> <td>Real</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"Lendo Biodiesel"</td> <td>%M2.3</td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"Lendo Coprodutos"</td> <td>%M2.4</td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"Mem aux para lógica de leitura sensor biodiesel"</td> <td>%M2.1</td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"Supervisorio - leitura em biodiesel"</td> <td>%M0.0</td> <td>Bool</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>								Símbolo	Endereço	Tipo	Comentário	"Em operação"	%Q1.1	Bool		"Leitura do sensor biodiesel/coprodutos"	%M2.400	Real		"Lendo Biodiesel"	%M2.3	Bool		"Lendo Coprodutos"	%M2.4	Bool		"Mem aux para lógica de leitura sensor biodiesel"	%M2.1	Bool		"Supervisorio - leitura em biodiesel"	%M0.0	Bool	
Símbolo	Endereço	Tipo	Comentário																																
"Em operação"	%Q1.1	Bool																																	
"Leitura do sensor biodiesel/coprodutos"	%M2.400	Real																																	
"Lendo Biodiesel"	%M2.3	Bool																																	
"Lendo Coprodutos"	%M2.4	Bool																																	
"Mem aux para lógica de leitura sensor biodiesel"	%M2.1	Bool																																	
"Supervisorio - leitura em biodiesel"	%M0.0	Bool																																	

Totally Integrated Automation Portal					
Planta biodiesel didática para o supervisorio mestrado14.09.2018 / PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Blocos de programa					
Main [OB1]					
Main Propriedades					
Geral					
Nome	Main	Número	1	Tipo	OB
Numeração	automático				
Informações					
Título	"Programação Ladder planta biodiesel"	Autor	MACEDO H	Comentário	
Versão	1.0	ID definida por usuário			
Rede 12: LIMPEZA DO BIODIESEL					
<p>No primeiro ciclo de decantação, quando o sensor terminar de separar a glicerina, o sensor fará a leitura de biodiesel, contudo ele vai observar se a contagem de lavagens já foi satisfeita. Caso as lavagens não tenham sido concluídas, será realizada a abertura da eletroválvula do tanque de água, pelo tempo determinado no bloco DB9. Este tempo pode se deve ser alterado de acordo com a quantidade de água desejada para limpeza e a vazão da eletroválvula.</p>					
Símbolo	Endereço	Tipo	Comentário		
"CONTADOR ciclo lavagem biodiesel" Q0	%DB10.DBX0.4	Bool			
"Desligar"	%M0.5	Bool			
"Em operação"	%Q1.1	Bool			
"Ev. Agua"	%Q0.3	Bool			
"Ev. Coprodutos"	%Q1.0	Bool			
"Lendo Biodiesel"	%M2.3	Bool			
"Mem Aux loop das lavagens"	%M2.0	Bool			
"Mem Aux network 12 EV agua"	%M2.5	Bool			
"Mem aux para lógica de leitura sensor biodiesel"	%M2.1	Bool			
"TIMER EV Agua" Q	%DB9.DBX12.2	Bool			

9 APÊNDICE C – ROTEIROS DE CONFIGURAÇÃO DO SUPERVISÓRIO

9.1 Instalação do Supervisório Elipse E3 Studio

A Instalação do Elipse E3 deve ser feita seguindo as orientações do guia de instalação, que está disponível para download, acessando a página *www.elipse.com.br*; clicando em [download]; escolhendo [elipse e3] na caixa de seleção; acessando área de [documentação]; clicando no link [download]. Conforme mostra a Figura 42.

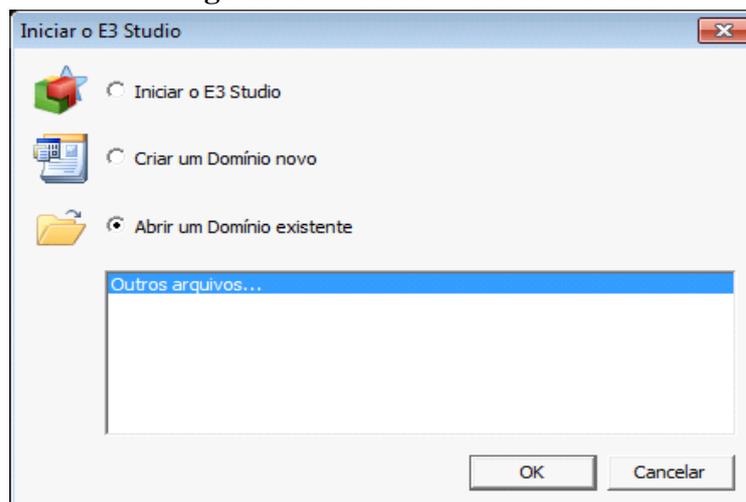
Figura 42 - Tela de download do Elipse E3 Studio.

Descrição	Tamanho	Versão	Link
Guia de Instalação do E3 Instruções de instalação do E3	2.1 MB	4.8.352	Download
Manual de Referência de Scripts do E3 Manual de referência para eventos, métodos e propriedades dos objetos do E3	4.63 MB	4.8.352	Download
Manual do Usuário do E3 Documento descrevendo os recursos do E3	8.77 MB	4.8.352	Download

Fonte: ELIPSE, 2018

Após a instalação executa-se o Elipse E3. Quando iniciado, abre-se uma caixa de diálogo com algumas opções, como mostra a Figura 43.

Figura 43 - Tela de início do E3 Studio



Fonte: Autor

Para seguir com o processo de criação de um novo projeto, clique em criar um domínio novo, caso se deseje abrir um projeto já existente, clique em abrir um domínio existente. Para obter todas as informações, basta consultar o manual do usuário do Elipse E3, disponível no site da Elipse (ELIPSE, 2018).

9.2 Inserindo o drive de comunicação no Elipse E3

Para estabelecer comunicação do computador, onde está instalado o software Elipse E3 Studio, com o CLP, precisa-se instalar o drive de comunicação de acordo com o modelo e fabricante. Existem *drivers* de comunicação diferentes, para tipos e fabricantes de CLP's diferentes. Conforme site da Elipse, para comunicar com o CLP Siemens S7 – 1200, deve-se utilizar o *driver* Siemens MProt – Multiprotocolo.

Todas as informações sobre configuração do driver, podem ser obtidas diretamente no manual do *drive*, o mesmo está disponível para download no site www.elipse.com.br/download, na área *drivers*, como mostra a Figura 44 (ELIPSE, 2018).

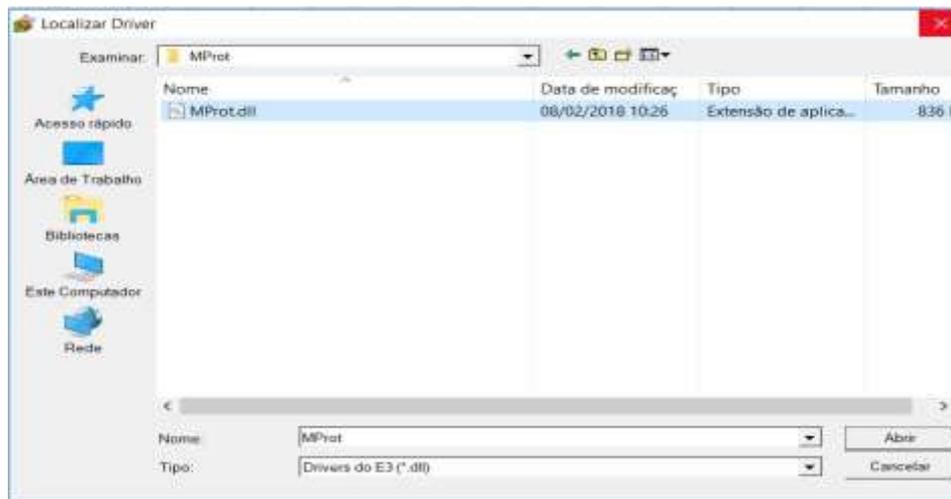
Figura 44 - Detalhe da página de *download* do *driver* Siemens

Descrição	Tamanho	Versão	Link
Driver DNP 3.0 Master DNPMaster.dll Fabricantes: DNP Protocolos: DNP 3.0	8.32 MB	v4.0.21	Download
Driver Siemens M-Prot (PPI, MPI, ISOTCP) MProt.dll Fabricantes: Siemens Protocolos: ISOTCP, MPI, MPI encapsulado em Ethernet, PPI	4.73 MB	v4.0.17	Download

Fonte: ELIPSE, 2018

Com o projeto aberto na aba *organize*, clique na opção *drivers e OPC*, em seguida clique em inserir *driver* de comunicação, será aberta uma janela, então localize o drive MProt.dll baixado anteriormente; selecione e clique em abrir, como mostra a Figura 45. Para mais informações, consultar as páginas 107 e 108 do manual do usuário E3 (ELIPSE, 2018).

Figura 45 - Tela detalhe da instalação do *driver* de comunicação

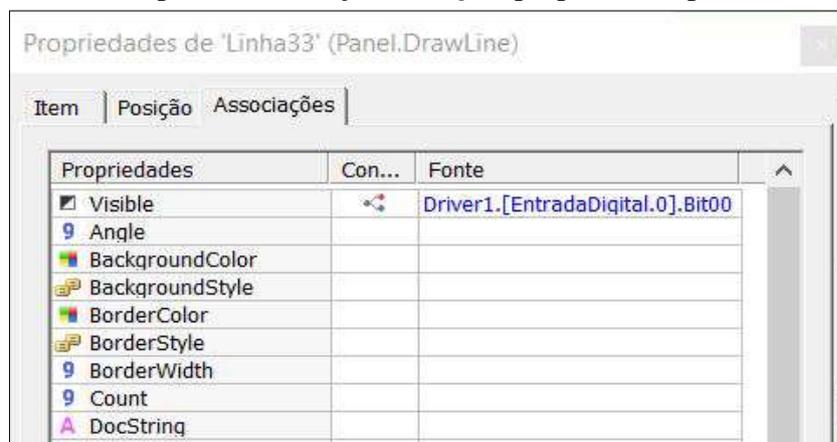


Fonte: Autor

9.3 Exemplos de criação de partes da tela do supervisor

Neste tópico será apresentado algumas propriedades do supervisor Elipse E3 Studio, e também demonstrado como foi feita a criação de partes importantes da tela do supervisor. Para animação do tanque NaOH, por exemplo, foi seguido os seguintes passos: clicado no tanque NaOH com botão direito do mouse; depois em [propriedade]; na janela que se abre, escolhido a opção [visible]; em conexão, [digital]; em fonte foi escolhido a *tag* referente a esse objeto. A Figura 46 ilustra o resultado desta configuração.

Figura 46 - Exemplo de associação de *tags* e propriedades para entrada digital



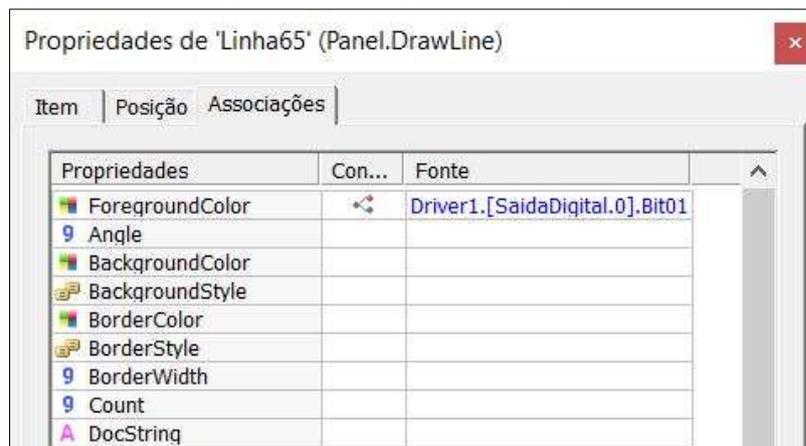
Fonte: Autor

A *tag* escolhida foi justamente a referente ao bit 0 da entrada digital 0. Esta *tag* está associada ao sensor digital localizado no tanque NaOH. A lista de todas as *tags* utilizadas na programação pode ser vista no Apêndice A. Desta forma, toda vez que o sensor digital

conectado ao bit 0 (zero), da entrada digital 0 (zero), do CLP for acionado, ou seja, variar de 0 (zero) para 1 (um), ou de 1(um) para 0 (zero), o supervisor busca essa informação e associa o valor “1” para tanque cheio, ou o valor “0” para tanque vazio.

Para todos os sensores digitais, o processo de animação é o mesmo, mudando apenas a propriedade que deseja animar, por exemplo, nas eletroválvulas foram usadas a propriedade *ForegroundColor* para animação, isso porque, a animação foi feita na cor do objeto. Quando acionada a saída digital 0 (zero) bit 1 (um), o endereço de memória passe a ser “1” e o objeto eletroválvula fica na cor verde. Quando o endereço de memória for “0”, o objeto eletroválvula passa a ficar na cor amarela. A tela de configuração pode ser vista na Figura 47.

Figura 47 - Exemplo de associação de *tags* para as eletroválvulas



Fonte: Autor

Para animação do sensor analógico de temperatura foi feito o mesmo procedimento, usando a propriedade *Value*, no display e a propriedade *VerticalPercentFill* no objeto. Em fonte, foi associado a *tag* sensor de temperatura. Para entender mais sobre associações, consulte o manual do usuário Elipse E3 Studio, capítulo 8 (ELIPSE, 2018).