

**MATEUS SOUZA MARTINS CUNHA**

**Simulação de sistema automatizado de  
separação de resíduos recicláveis**

UBERLÂNDIA  
2023

**MATEUS SOUZA MARTINS CUNHA**

**SIMULAÇÃO DE SISTEMA AUTOMATIZADO DE SEPARAÇÃO  
DE RESÍDUOS RECICLÁVEIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
à Faculdade de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Uberlândia como  
requisito parcial para obtenção do título de  
bacharel em Engenharia de Controle e  
Automação.

Orientador: Professor Dr. Renato Ferreira  
Fernandes Júnior

UBERLÂNDIA – MG  
2023

**MATEUS SOUZA MARTINS CUNHA**

**SIMULAÇÃO DE SISTEMA AUTOMATIZADO DE SEPARAÇÃO  
DE RESÍDUOS RECICLÁVEIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
à Faculdade de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Uberlândia como  
requisito parcial para obtenção do título de  
bacharel em Engenharia de Controle e  
Automação.

Uberlândia (MG), 01 de dezembro de 2023.

Banca de avaliação:

---

Prof. Dr. Renato Ferreira Fernandes Júnior  
Orientador

---

Prof. Dr. Josué Silva de Moraes  
Membro

---

Prof. Dr. Fábio Vincenzi Romualdo da Silva  
Membro

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Mara e Moisés, e irmã, Maitê, que sempre me apoiaram em minhas escolhas e acreditaram em mim.

Aos meus tios, Afonso, Andréa e Luzia, pela grande ajuda para que eu conseguisse chegar neste patamar.

Aos meus queridos amigos que fiz na faculdade e aos que já tinha, pelas horas de lazer, conselhos e puxões de orelha. Em especial, Ana Beatriz, Marcelo, Júlia, Marina, Letícia, Naga, Sarah, Nicole, Duda e Tereza. Este período da minha vida não poderia ter sido melhor. Muito obrigado.

*“A educação é a arma  
mais poderosa que você pode usar  
para mudar o mundo.”,  
(Nelson Mandela)*

## RESUMO

O acúmulo de resíduos sólidos é um dos grandes problemas do meio ambiente na atualidade. Com o crescimento populacional, este impacto se torna ainda maior. Hoje, muito se preocupa com a reciclagem de resíduos resultantes dos processos industriais. As indústrias produzem uma quantidade de lixo consideravelmente volumosa, e com isso, a ética ambiental deve ser cumprida de maneira apropriada. Este trabalho desenvolverá um processo automatizado de separação dos resíduos gerados por uma empresa alimentícia, usufruindo de simulações para evidenciar o funcionamento do processo, composto de sistema de transporte, CLP, sensores para identificação dos materiais e atuadores pneumáticos.

**Palavras-chave:** Simulação, sistema de transporte, CLP, sensores, atuadores pneumáticos.

## **ABSTRACT**

The accumulation of solid waste is one of the environmental problems today. With population growth, this impact is becoming even greater. Today, much attention is being paid to the recycling of waste resulting from industrial processes. Industries produce a considerably large amount of waste, and with this, environmental ethics must be complied with appropriately. This work will develop an automated process for separating the waste generated by a food company, using simulations to show how the process works, consisting of a conveyor system, PLC, sensors for identifying materials and pneumatic actuators.

**Keywords:** Simulation, conveyor system, PLC, sensors, pneumatic actuators.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Pirâmide dos níveis de automação .....	17
Figura 2 – Componentes de um sensor indutivo .....	18
Figura 3 – Componentes de um sensor capacitivo .....	18
Figura 4 – Sensores fotoelétricos.....	19
Figura 5 – Parametrização do sensor retro reflexivo.....	20
Figura 6 – Atuador pneumático .....	21
Figura 7 – Fluxograma eletropneumático .....	22
Figura 8 – Válvula eletropneumática 3/2 vias.....	22
Figura 9 – Aplicação genérica do CLP .....	24
Figura 10 – Estrutura básica da CPU.....	25
Figura 11 – Base com 6 slots, CPU + 05 módulo I/O .....	26
Figura 12 – Scan .....	26
Figura 13 – Representação das linguagens de programação .....	27
Figura 14 – Representação da linguagem Ladder .....	28
Figura 15 – Principais elementos do diagrama Ladder .....	28
Figura 16 – Função set .....	29
Figura 17 – Função reset .....	29
Figura 18 – Função temporizador .....	30
Figura 19 – Função contador .....	30
Figura 20 – Tela de supervisão .....	31
Figura 21 – Níveis de controle de processo .....	32
Figura 22 – Relação entre Clientes e Servidores .....	32
Figura 23 – Circuito eletropneumático.....	33
Figura 24 – Software Codesys .....	34
Figura 25 – Simulação pronta do Factory I/O.....	34
Figura 26 – Automação do processo de reciclagem .....	35
Figura 27 – Proposta de automação .....	36
Figura 28 – Circuito eletropneumático no FluidSIM.....	37
Figura 29 – Esquema de conexões do FluidSIM para o OPC .....	37
Figura 30 – Representação da comunicação OPC entre FluidSIM e Codesys .....	39
Figura 31 – Algoritmo do sistema.....	40

Figura 32 – Sensor NBB20-L2-A2-V1 .....	42
Figura 33 – CBN15-18GS75-E2-V1 .....	42
Figura 34 – OBR15M-R200-2EP-IO-V1 .....	42
Figura 35 – Simulação do sistema automatizado de separação de resíduos recicláveis.....	43
Figura 36 – Painel elétrico.....	44
Figura 37 – Sensor indutivo e separador de metal.....	45
Figura 38 – Sensor capacitivo e separador de papel .....	45
Figura 39 – Sensor retro reflexivo e separador de plástico .....	45
Figura 40 – Configuração Server no OPC Configurator .....	46
Figura 41 – Configuração Conexão no OPC Configurator .....	47
Figura 42 – Configuração das variáveis para acesso externo no Codesys ....	47
Figura 43 – Ativando modo OPC no FluidSIM.....	48
Figura 44 – Selecionando servidor no FluidSIM.....	48
Figura 45 – Selecionando as variáveis no FluidSIM.....	49
Figura 46 – Configuração finalizada no FluidSIM.....	49
Figura 47 – Configurando Conexão OPC no Factory I/O .....	50
Figura 48 – Configuração Conexão OPC finalizada no Factory I/O .....	50
Figura 49 – Link das variáveis Factory I/O com Codesys .....	51
Figura 50 – Inicialização FluidSIM.....	52
Figura 51 – Inicialização Codesys.....	53
Figura 52 – Inicialização Factory I/O .....	54
Figura 53 – Captura de tela do Codesys ao identificar papel .....	54
Figura 54 – Captura de tela do Factory I/O ao identificar papel .....	55
Figura 55 – Ativada separação de papel no FluidSIM.....	55
Figura 56 – Ativada separação de papel no Codesys .....	56
Figura 57 – Ativada separação de papel no Factory I/O .....	56
Figura 58 – Concluída separação de papel no FluidSIM.....	57
Figura 59 – Concluída separação de papel no Codesys .....	58
Figura 60 – Concluída separação de papel no Factory I/O .....	59

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Permissividade elétrica conhecida de alguns materiais .....	35
Tabela 2 – Sensores e respectivas funções no FluidSIM.....	35

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CAD	Desenho assistido por computador
CLP	<i>Controlador Lógico Programável</i>
CPU	Unidade central de processamento
OPC	Open Platform Communications

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivo.....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Reciclagem .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Automação .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Nível 1 .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Nível 2 .....</b>	<b>23</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Nível 3 .....</b>	<b>30</b>
<b>2.3</b>	<b>Sistemas de simulação.....</b>	<b>33</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Fluidsim .....</b>	<b>33</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Codesys.....</b>	<b>33</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Factory I/O.....</b>	<b>34</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>35</b>
<b>3.1</b>	<b>Descrição do sistema de automação .....</b>	<b>35</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Módulo pneumático .....</b>	<b>36</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Módulo de controle .....</b>	<b>39</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Módulo de simulação e supervisão .....</b>	<b>43</b>
<b>3.1.4</b>	<b>Conexão entre softwares.....</b>	<b>46</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>52</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>60</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>62</b>
	<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>65</b>
	<b>APÊNDICE B .....</b>	<b>66</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Reciclagem é a transformação de materiais utilizados em novos produtos para sua reutilização. Esta prática foi adotada pelos homens a partir do momento em que foi verificado o benefício deste procedimento para o planeta em que vivemos.

Como apontado por Fonseca (2013), a produção de embalagens e materiais descartáveis vem aumentando significativamente desde 1980, principalmente em grandes centros. Esta produção de materiais é responsável por um grande acúmulo de resíduos. Devido a este fato, surgiu-se campanhas para coleta e reciclagem de lixo, muito comuns em todo o mundo atualmente.

O processo de reciclagem diminui significativamente a poluição e preserva o meio ambiente. Atualmente, muitas indústrias estão reciclando como maneira de reduzir custos de produção.

É evidente a importância da reciclagem ao minimizar a captação de recursos naturais para atender a crescente demanda por matéria prima. Ademais, é um fator importante para reduzir um dos maiores problemas da atualidade: a grande produção de lixo. Em 2019, foram gerados 78,9 milhões de toneladas de lixo no Brasil. Em uma pesquisa realizada pelo WWF, o Brasil está na quarta posição de maior produtor de lixo plástico mundialmente.

Com a crescente preocupação com sustentabilidade ambiental, se faz necessário buscar soluções que minimizem os impactos causados pelas empresas ao meio ambiente. Ao reciclar materiais, é prolongada a vida útil de aterros, além de criar oportunidades econômicas para os catadores de material reciclável, e também auxilia na redução de gastos de água e energia, visto que menos recursos serão consumidos no lugar de uma nova produção desses materiais, tal como discorre IBRAHIM (2015).

A reciclagem de resíduos é realizada pelas empresas afim de garantir o destino correto dos materiais descartados, porém, grande parte dos materiais são descartados erroneamente, já que se trata de um processo manual e também realizado pelos colaboradores em geral.

Tem-se evidenciado um crescente aumento da automatização em diversas áreas de indústrias alimentícias, incluindo o gerenciamento de resíduos

sólidos. O processo de separação destes resíduos por esteiras é um exemplo desta modernização.

As esteiras separadoras de resíduos são sistemas de transporte com intuito de agilizar e aumentar a eficiência do processo de separação de materiais recicláveis. Para seu funcionamento, são utilizados sensores que identificam diferentes tipos de materiais, como plástico, metal, papel e vidro e, através de uma lógica implementada em CLP, o sistema consegue tomar ações precisas na separação dos materiais.

Desta forma, é possível afirmar que um sistema automático de separação de lixo é capaz de minimizar o impacto ambiental de empresas, além de aumentar significativamente a quantidade de materiais reciclados, baseado em montagem e programação de equipamentos industriais.

A escolha de uma esteira, segundo CNI (2008):

Para o transporte de cargas na indústria é uma decisão técnica e econômica. É técnica porque envolve conhecimento de sistemas de transporte, características operacionais, capacidades e velocidades. É econômica, pois envolve tempo, capacidades, custos operacionais, custos de manutenção, entre outros (CNI, 2008, p. 27).

Uma das maneiras de auxiliar na análise e tomada de decisão deste sistema automatizado é a simulação, que consiste no processo de representar, de meio computacional, a situação ou cenário de um ambiente real (SABBADINI, 2019).

## 1.1 Objetivo

O objetivo do trabalho é simular, através da combinação de softwares, uma solução automatizada de um processo de reciclagem de resíduos em uma indústria alimentícia, levando em consideração o descarte de metal, papel e plástico.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são explicados conhecimentos que necessários para uma melhor compreensão do trabalho realizado. Serão apresentados os conceitos de reciclagem, CLP e o uso da programação ladder para desenvolvimento do sistema. Em seguida, serão apresentados os softwares FluidSIM e Factory I/O, responsáveis pela elaboração do esquema pneumático e simulação, respectivamente.

### 2.1 Reciclagem

O processo de reciclagem, de acordo com TELLES (2022):

Se iniciou há mais de 100 anos, uma vez que as primeiras indústrias a reutilizarem a matéria prima foram as indústrias de celulose. Com o passar do tempo, o conceito foi se expandindo e hoje a reciclagem é um tema que faz parte da consciência ambiental e cidadã. (TELLES, 2022, p. 34)

Segundo Júnior (2014), reciclagem é o processo no qual materiais que já foram utilizados para seus propósitos iniciais são incorporados novamente ao ciclo de produção, passando por transformações para se tornarem novos produtos. Ou seja, o material visto como resíduo é coletado, separado, e processado afim de ser reutilizado.

São materiais recicláveis:

**Metais** – são materiais 100% recicláveis. O processo de reciclagem de metais garante suas propriedades mesmo após ser feito diversas vezes.

**Orgânicos** – são recolhidos afim de ser utilizado na compostagem, mais conhecida como geração de adubo.

**Papéis** – após seu recolhimento, é triturado e misturado em água para que se soltem suas fibras. Seguida de centrifugação, são acrescentados alguns químicos para retirada de tinta e clareamento do papel. A pasta de celulose fica pronta para o refino, que se segue dependendo de sua aplicabilidade.

**Plásticos** – a reciclagem é feita em 4 etapas: moagem, lavagem e separação, secagem e extrusão. Basicamente, é transformado em pequenos grânulos, que podem ser utilizados na produção de novos materiais, como garrafas plásticas, frascos de produtos de limpeza e mangueiras. A reciclagem química é feita quase sempre envolvendo processos de despolimerização.

**Vidros** – é dividida em 4 etapas: separação, lavagem, Trituração e molde. Após a Trituração, o material é introduzido em forno de altas temperaturas para que se faça o molde desejado. A perda de material neste processo é quase zero.

**Cartonados** – Apesar de ser viável, a reciclagem da embalagem cartonada não é simples, pois ela apresenta diversos componentes prensados que possuem características físicas e químicas diferentes, o que dificulta a separação deles.

**Isopor** – considerado um plástico, pode ser transformado em novos materiais a partir de processos mecânicos e químicos.

**Madeira** – pode ser 100% reciclado, incluindo galhos de árvores, caixotes, restos de construção e móveis.

**Baterias** – materiais altamente agressivos ao meio ambiente, mas que são 100% recicláveis.

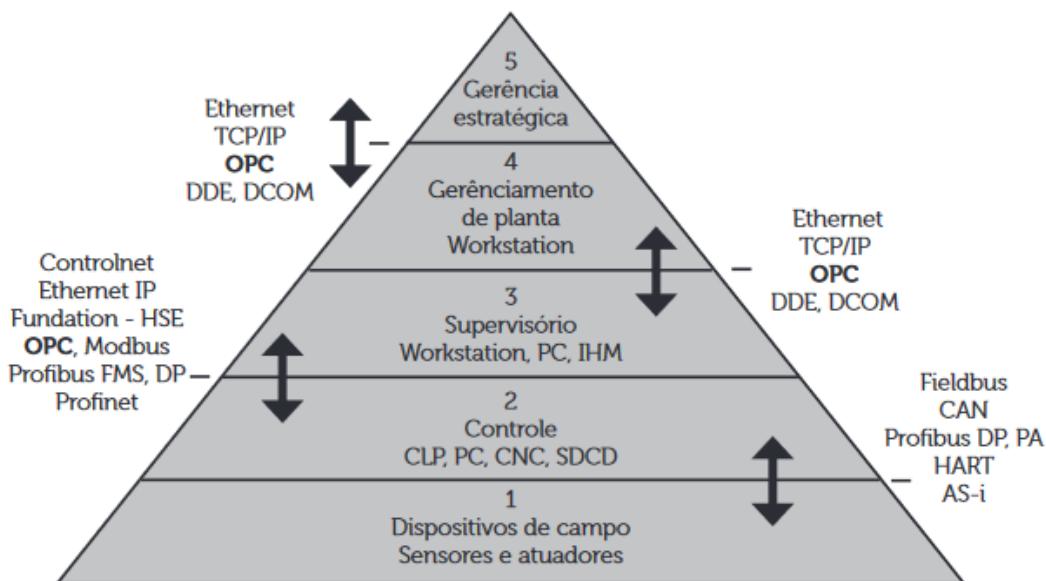
## 2.2 Automação

A automação é definida por DORF (2001):

Como uma tecnologia que utiliza comandos programados para operar um dado processo, combinados com retroação de informação para determinar que os comandos sejam executados corretamente. (DORF, 2001, p. 9).

Após a automação, o processo é executado corretamente e, na maioria das vezes mais rápido, sem a intervenção do homem. É dividida em cinco níveis, divididos conforme operação dos processos, visto na Figura 1.

Figura 1: Pirâmide dos níveis de automação



**Fonte:** QUESADA (2017)

## 2.2.1 Nível 1

Por QUESADA (2017), este é o nível em que se encontram as máquinas e seus componentes responsáveis pela captação e envio de sinais, como sensores, atuadores e transmissores. É o nível mais baixo do processo produtivo.

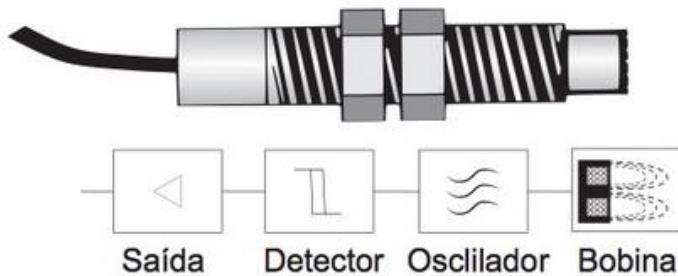
### 2.2.1.1 Sensores

Sua aplicação abrange contagem, verificação de posição e seleção entre diferentes dimensões de peças. Segundo ROQUE (2014), os sensores de proximidade são bastante utilizados para verificar a presença de objetos nos processos, podendo ser digitais ou analógicos. Existem sensores indutivos, capacitivos, ópticos e ultrassônicos que conseguem detectar objetos a partir da aproximação da face sensitiva.

**Indutivos** – os sensores indutivos funcionam a partir da geração de campo na bobina provocada pela oscilação de energia no oscilador. Quando um objeto metálico se aproxima do sensor, correntes parasitas

são induzidas no objeto pelo campo magnético da bobina. Essa corrente é responsável pela atenuação do campo magnético à medida que o objeto se aproxima do sensor. Quando a atenuação é significativa, o oscilador para, e então é indicada a presença do objeto. A parte construtiva de um sensor indutivo pode ser vista na Figura 2.

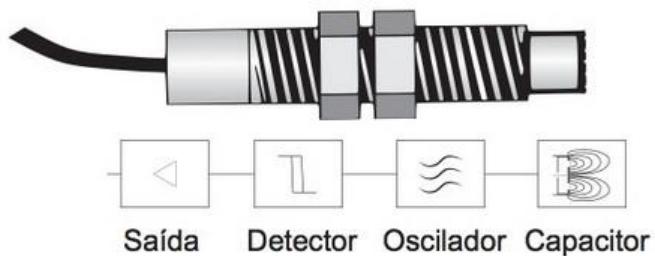
Figura 2 – Componentes de um sensor indutivo



**Fonte:** Camargo (2014)

**Capacitivos** – diferente do indutivo, o oscilador funciona apenas quando é detectada a presença do objeto. Assim que o objeto sai do raio de detecção, a oscilação cessa. Ao se aproximar, o objeto interage com uma das faces do sensor, alterando seu dielétrico. Cada material possui uma constante elétrica diferente, sendo possível ser diferenciada e identificada ao regular a sensibilidade da ponta capacitiva. Assim, é possível ajustar o sensor para identificar o material desejado. A parte construtiva de um sensor capacitivo pode ser vista na Figura 3.

Figura 3 – Componentes de um sensor capacitivo



**Fonte:** Camargo (2014)

A capacidade ( $C$ ) é expressa pela permissividade ( $\epsilon$ ) do material, pela área ( $A$ ) do material e pela distância ( $d$ ) para a face capacitiva, seguindo a equação:

$$C = \epsilon * \frac{A}{d}$$

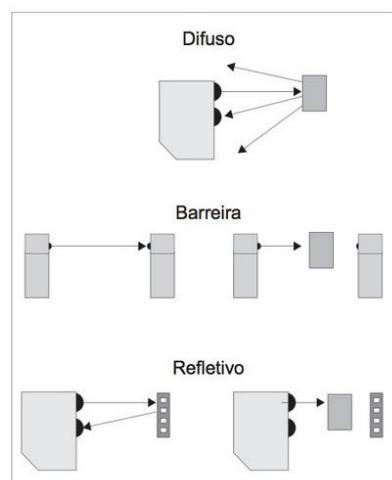
A permissividade é uma constante importante para que o material seja diferenciado, e conforme a composição do material, possui uma permissividade específica. Na tabela 1 é apresentada a permissividade de alguns materiais:

Tabela 1 – Permissividade elétrica conhecida de alguns materiais

Material	Permissividade ( $\epsilon$ )
Papel	3,85
Mármore	8,3
Silício	11,68
Polietileno	2,5

**Fotoelétricos** – utilizam um feixe de luz para detectar a presença de um objeto. Os sensores ópticos mais utilizados são de três tipos: barreira, refletivo (retorreflexão) e difuso, apresentados Figura 4.

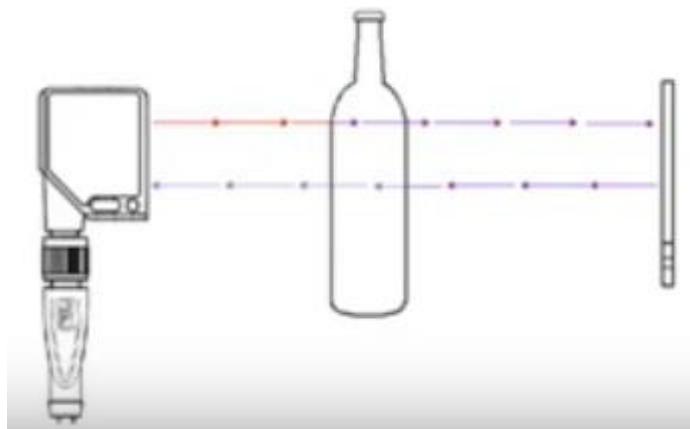
Figura 4 – Sensores fotoelétricos



**Fonte:** Camargo (2014)

Para detecção de objetos transparentes, o sensor retro reflexivo pode ser parametrizado conforme o nível de transparência do objeto, observado na Figura 5, sendo chaveado com uma pequena variação de contraste da luz.

Figura 5 – Parametrização do sensor retro reflexivo



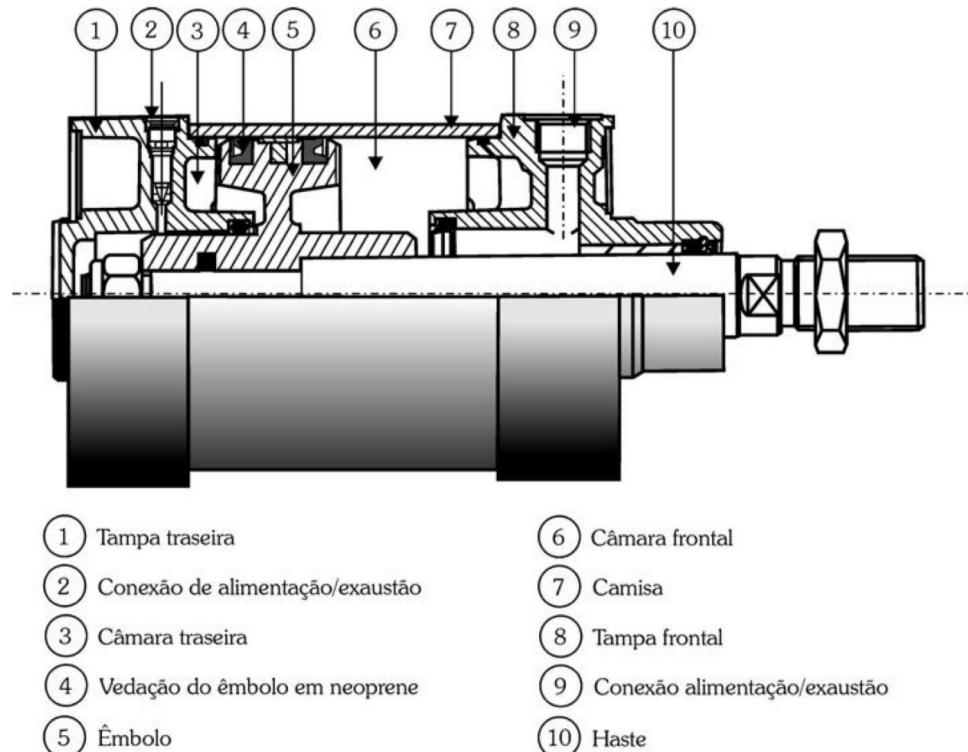
**Fonte:** Adaptado de Pepperl+Fuchs (2017)

#### 2.2.1.2 Atuadores

Ao atuador que realiza um movimento linear damos o nome de “cilindro” (falamos comumente em “cilindro pneumático” ou “cilindro hidráulico”), enquanto ao atuador que realiza um movimento rotativo damos o nome de “motor” (similarmente, “motor pneumático” ou “motor hidráulico”) (JACULLI, 2021).

Os atuadores pneumáticos são divididos basicamente em duas famílias: de simples e duplo efeito. Os de simples efeito possuem somente uma entrada de ar comprimido, responsável pelo avanço da haste, e seu retorno é realizado pela ação de uma mola ao cessar-se a alimentação de ar. Já os de duplo efeito, possuem duas entradas de ar.

Figura 6 – Atuador pneumático de duplo efeito



**Fonte:** Fialho (2011)

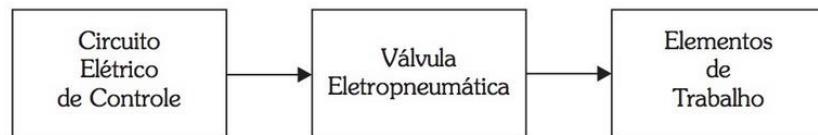
Como visto na Figura 6, FIALHO (2011), explica que:

Em estado normalmente não acionado, o atuador que é comandado por uma válvula controladora direcional é mantido recuado em função do ar que mantém preenchida sua câmara frontal (6). Ao ser comutada uma válvula controladora, é permitido que o ar comprimido provindo da linha de alimentação seja injetado através de uma mangueira, na conexão (2), elevando-se a pressão na câmara traseira até o ponto de superar as forças de atrito e a que estiver se opondo ao movimento da haste (10), provocando com isso sua extensão. Enquanto a válvula controladora permanecer acionada, a pressão do ar continua atuando no interior do cilindro pneumático, mantendo a haste distendida. Somente quando a válvula é comutada novamente para o sentido oposto é que o fluxo de ar para o interior da câmara traseira do atuador é cessado, servindo agora a mesma conexão para a exaustão do ar, enquanto o ar provindo da linha passa a ser insuflado pela conexão (9) à câmara frontal (6), provocando com isso o retorno da haste (10). (FIALHO, 2011, p. 80).

### 2.2.1.3 Válvulas eletropneumáticas

As válvulas eletropneumáticas são comandadas ao receberem os sinais de comando do circuito elétrico de controle. Assim, são comutadas e, com isso, direcionam o ar pneumático para os elementos de trabalho. Conforme demonstra o diagrama da Figura 7.

**Figura 7 – Diagrama eletropneumático**



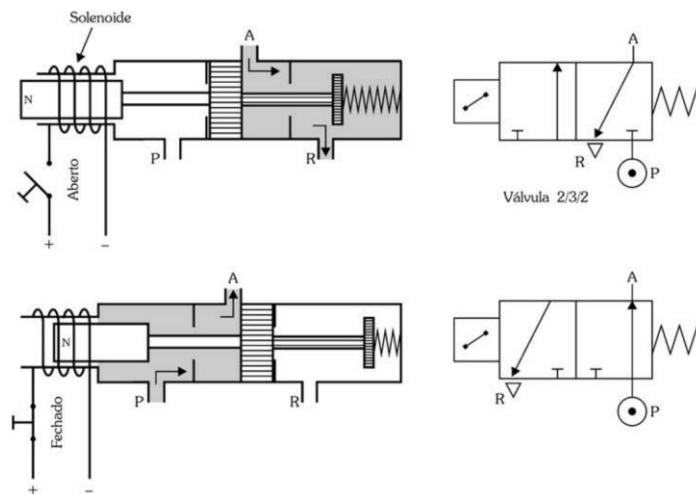
**Fonte:** Elaborado pelo autor

Existem variados tipos de eletroválvulas que podem ser utilizadas, a depender de sua aplicação: de bloqueio, controle direcional, controladoras de fluxo e de pressão. Iremos abordar as de controle direcional.

As eletroválvulas de controle direcional são todas as que, ao receberem um impulso elétrico, permitem que haja fluxo de ar para alimentar o elemento de trabalho.

Na Figura 8, é apresentada uma eletroválvula de 3 portas e 2 vias com retorno por mola, a qual é acionada por bobinas magnéticas a partir de chaves ou relés.

**Figura 8 – Eletroválvula 3/2 vias**



**Fonte:** Fialho (2011)

Na posição de repouso dessa válvula, a passagem de ar se encontra bloqueada. Ao ser acionada a solenoide, o pistão tem seu curso avançado, permitindo a passagem de ar pelo orifício P à via A. Assim que a solenoide não recebe mais estímulos para provocar o avanço do cilindro, este é recuado pela ação de retorno da mola.

## 2.2.2 Nível 2

É responsável pelo controle dos componentes de automação vinculados ao nível 1. O equipamento mais conhecido neste nível é o controlador lógico programável, o qual possui considerável recurso de processamento para analisar os dados e executar comandos.

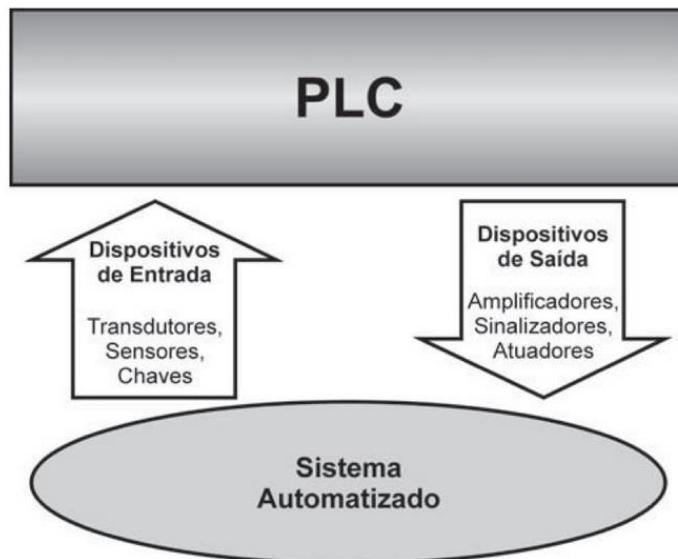
### 2.2.2.1 CLP

CLP é definido por Rosario (2009) como um dispositivo eletrônico digital capaz de processar funções baseadas em lógica binária, e executa comandos programáveis para controlar e supervisionar sistemas. Sua aplicação é apresentada na Figura 9.

Por meio de conexão direta, instrumentos de medida são conectados ao CLP para informar as condições em que se o sistema se encontra, e assim, tomar decisões necessárias. De acordo com SILVA (2016), os sistemas de controle industrial são sistemas que trabalham tempo real. Isso implica a necessidade de avaliação do processo controlado para que seja implementado um sistema de controle capaz de produzir ações em tempo hábil em resposta aos sinais de entrada recebidos.

Um dos benefícios do CLP é rápida e prática alteração de sua lógica, sendo necessário apenas sua reprogramação. Deste modo, foi possível garantir flexibilidade e confiabilidade nos processos, substituindo os comandos por relés utilizados na década de 50 (ROSÁRIO, 2009).

Figura 9 – Aplicação genérica do CLP



**Fonte:** Georgini (2009)

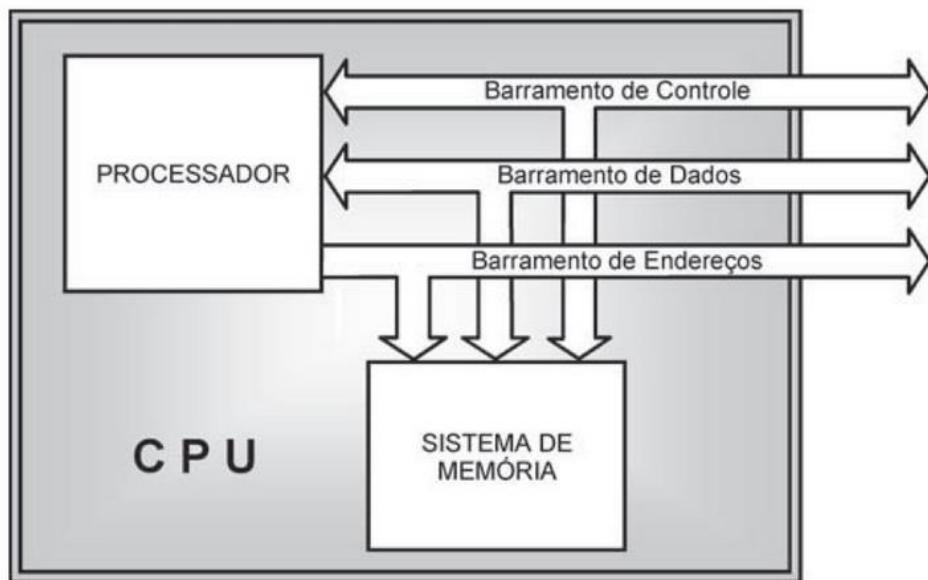
Com o desenvolvimento dos circuitos integrados, foi possível viabilizar e difundir a utilização do CLP em grande escala na indústria, melhorando o poder de processamento e diminuindo o tamanho dos equipamentos. Esse avanço está atrelado, em grande parte, com o desenvolvimento tecnológico dos microcomputadores. O uso de microprocessadores aliados às novas técnicas de processamento e às redes de comunicação, contribuíram para o sucesso desse equipamento na indústria (PAREDE e GOMES, 2011).

#### 2.2.2.1.1 Arquitetura básica do CLP

O hardware de um CLP é constituído basicamente pelos seguintes componentes:

**CPU – Unidade Central de Processamento** – o processador se comunica com o sistema de memória por meio do programa desenvolvido pelo fabricante. Ele executa ações com base na programação desenvolvida pelo usuário e realiza o acesso a todas as informações, que podem ser acessadas por meio dos barramentos conectados a ele, conforme mostrado na Figura 10.

Figura 10 – Estrutura básica da CPU



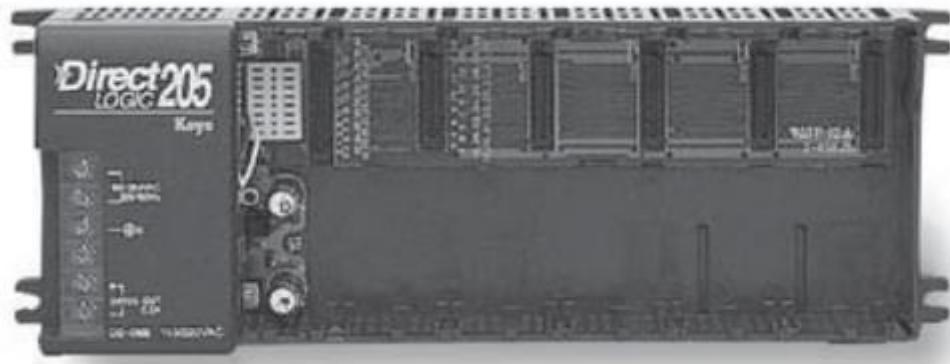
**Fonte:** Georgini (2009)

**Módulos de I/O** – classificados em discretos ou analógicos, os de entrada recebem sinais dos elementos de nível 1, e os convertem em níveis adequados para serem processados pela CPU. Em quanto isso, os de saída enviam sinais para motores, atuadores e sinalizadores, sendo estes sinais de resposta da lógica de controle.

**Fonte de alimentação** – fornece energia para alimentação da CPU, além de garantir proteção ao sistema.

**Base ou rack** – é a sustenção mecânica dos elementos, que contém o barramento responsável pela conexão elétrica, apresentado na Figura 11.

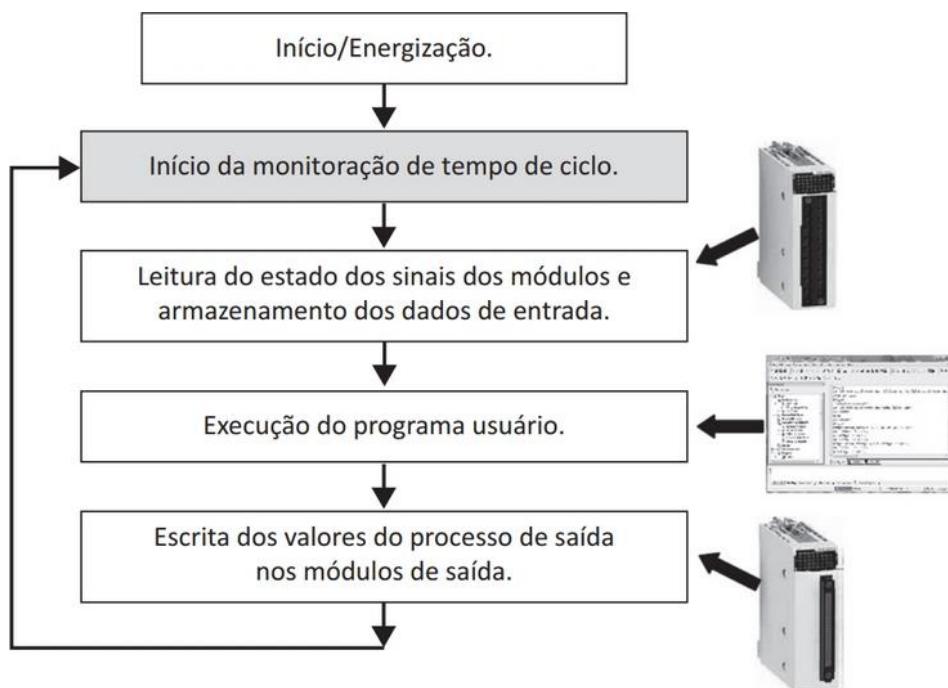
Figura 11 – Base com 6 slots, CPU + 05 módulos I/O



**Fonte:** Adaptada de Georgini (2009)

O Controlador Lógico Programável identifica os estados das entradas e verifica se alguma foi acionada. Esse processo é chamado ciclo de varredura ou scan, visto na figura 12, e geralmente dura microsssegundos, valor que depende do hardware. Atualmente, os controladores são muito rápidos (scan time). Após o ciclo de varredura, o Controlador Lógico Programável armazena os resultados obtidos na varredura em uma região. Esse resultado é consultado no decorrer do processamento do programa usuário (Silva, 2016).

Figura 12 – Scan

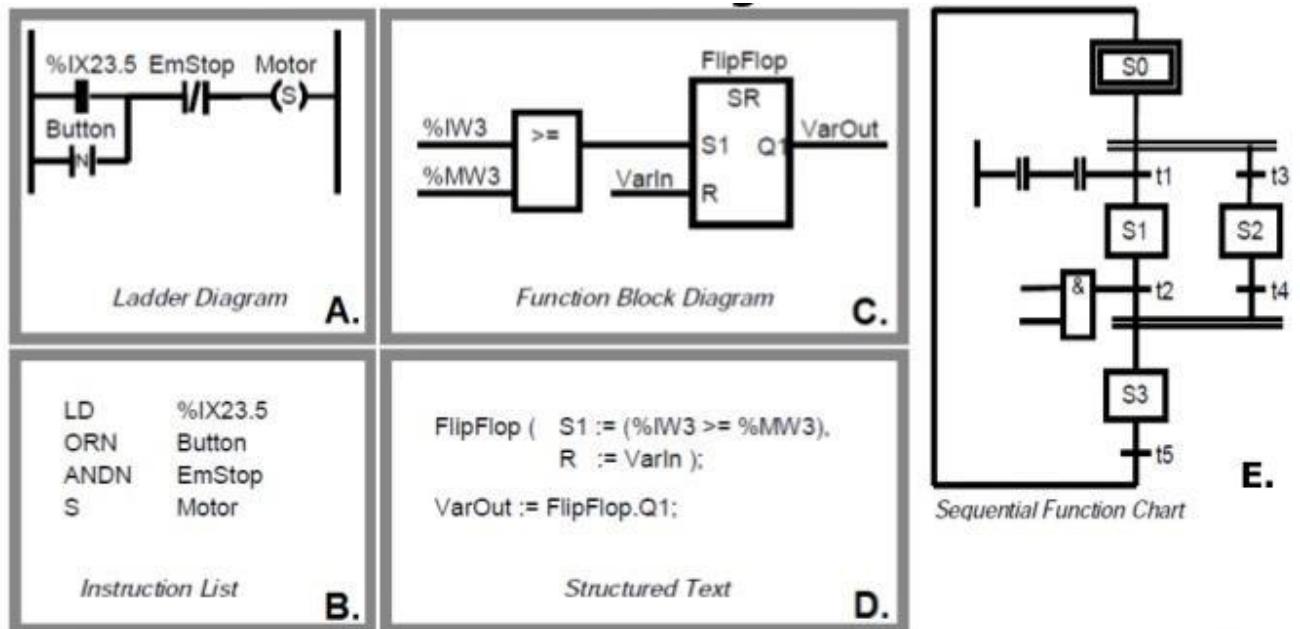


**Fonte:** Silva ( 2016)

### 2.2.2.1.2 Linguagem

São definidas cinco linguagens de programação de acordo com a norma IEC 61131: Diagrama Ladder, Lista de Instruções, Diagrama de Blocos de Funções, Texto Estruturado e Função Gráfica de Sequenciamento, representadas na Figura 13.

Figura 13 – Representação das linguagens de programação



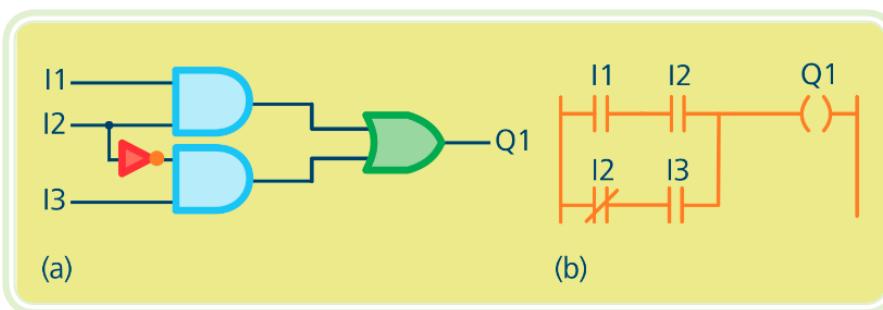
Fonte: Adaptada de Prof. Sinésio Gomes (2022)

O diagrama ladder, representado pelo item A, é uma lógica baseada na lógica de comandos por relés. A lógica B representa a lista de instruções, que se constitui de várias instruções baseadas em operador, modificador e operando. A lógica C é definida como diagrama de blocos de funções, os quais realizam funções pré-determinadas a partir da variável de entrada. Em sequência, é enviada uma variável de saída.

O item D é a linguagem texto estruturado, considerada de alto nível e pode ser utilizada em todas as linguagens. Por último, o item E mostra a linguagem função gráfica de sequenciamento, que pode ser utilizada mesclando as outras linguagens. As transições de etapas são definidas por condições, que ao serem verdadeiras, desativa a etapa em que se encontra e ativa a próxima.

Neste trabalho, a linguagem escolhida é a mais utilizada em CLPs, o diagrama ladder, representado na Figura 14.

Figura 14 – Representação da linguagem Ladder



**Fonte:** Adaptada de Roggia L (2016)

No exemplo acima, para que a saída Q1 seja ativada, a entrada I2 deve estar desacionada e I3 acionada, ou então a entrada I1 e I2 devem estar acionadas. O diagrama ladder pode transcrita em uma função lógica, representado em (a).

O diagrama ladder é um modelo de programação que representa contatos e bobinas e deve ser construído partindo do pressuposto de que os contatos estejam energizados na barra esquerda, e caso as condições sejam verdadeiras, um caminho é traçado até a barra direita, resultando em uma saída. Na Figura 15, são apresentados seus principais elementos.

Figura 15 – Principais elementos do diagrama Ladder

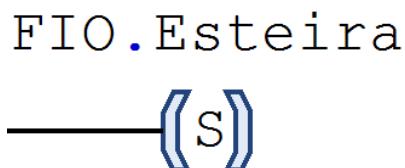
Tipo	Símbolo	Elemento elétrico
Contato aberto		
Contato fechado		
Saída (bobina)		

**Fonte:** Adaptada de Roggia L (2016)

Há também outros elementos mais avançados, possibilitando mais recursos de programação:

**Função set** – esta função aciona uma saída e a mantém acionada até que a função reset desta mesma saída seja iniciada, apresentada na Figura 16.

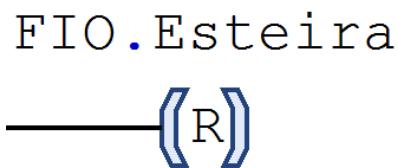
Figura 16 – Função set



**Fonte:** Elaborado pelo autor

**Função reset** – tem por finalidade desacionar uma saída acionada pela função set, apresentada na Figura 17.

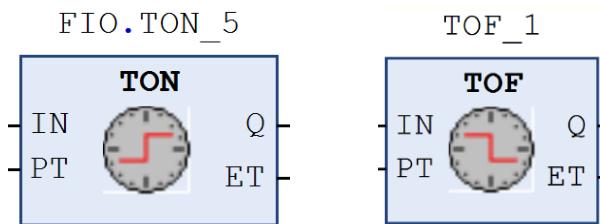
Figura 17 – Função reset



**Fonte:** Elaborado pelo autor

**Temporizador** – aciona uma saída de acordo com o tempo estipulado. No temporizador de atraso na energização, conhecido como TON, a saída é acionada após decorrido o tempo programado. No temporizador de atraso na desenergização, conhecido como TOF, a saída é desligada após decorrido o tempo programado. Ambos temporizadores são apresentados na Figura 18.

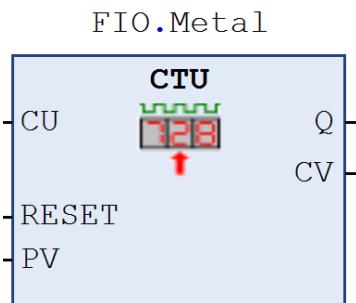
Figura 18 – Função temporizador



**Fonte:** Elaborado pelo autor

**Contador** – pode ser utilizado para gravar a contagem de vezes em que houve uma entrada, e também acionar uma saída dependendo da quantidade gravada em sua memória.

Figura 19 – Função contador



**Fonte:** Elaborado pelo autor

### 2.2.3 Nível 3

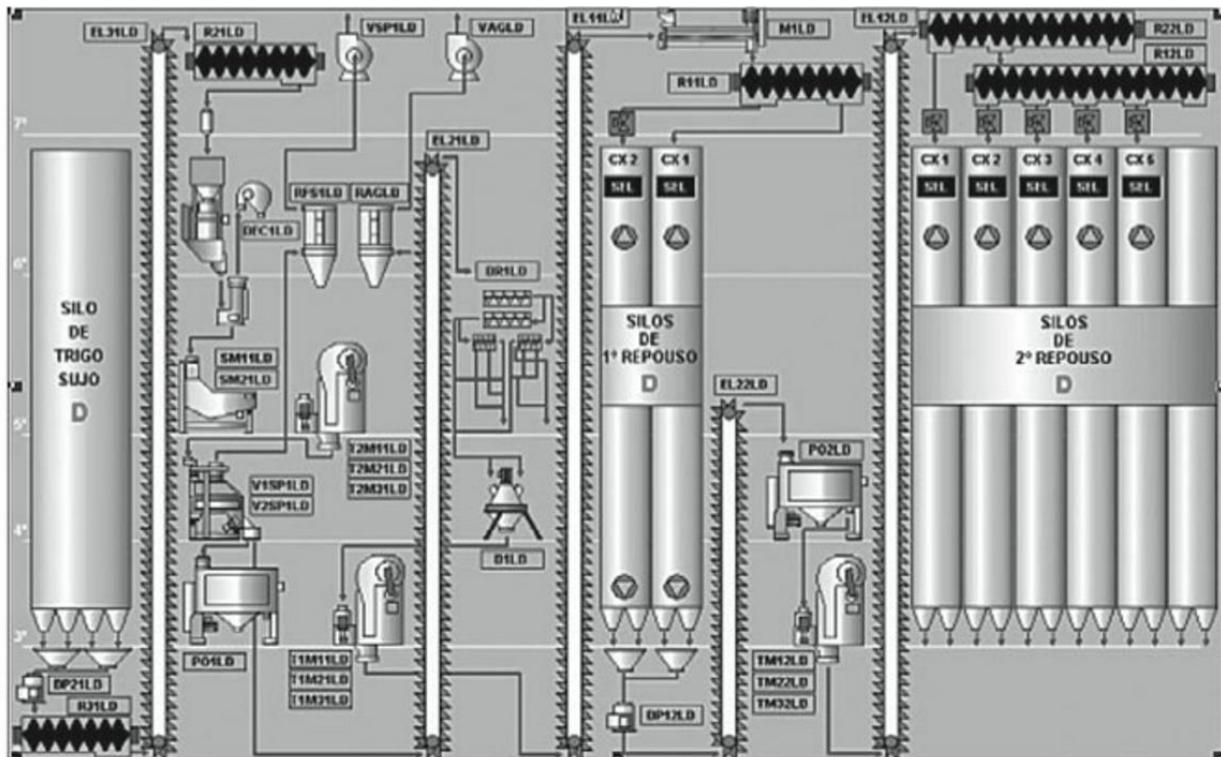
É o nível em que se encontra a supervisão do processo e, geralmente, possui um banco de dados que pode ser acessado. São monitorados dados referentes à produção, qualidade e manutenção, que podem ser manuseados afim de se obter dados estatísticos e relatórios confiáveis. Este nível obtém as informações vindas do equipamentos de níveis 1 e 2.

Sistemas supervisórios são digitais e monitoram a planta e suas variáveis. As variáveis são atualizadas constantemente e podem ser alocadas em bancos de dados de registro histórico (Moraes; Castrucci, 2006).

De acordo com Roque (2014), surgem a partir da necessidade de dinamismo, apontar alarmes e facilitar identificação de trechos defeituosos no processo. A partir de uma tela de supervisão, um leigo é capaz de identificar o

processo devido aos elementos gráficos dispostos na tela, como pode ser visto na Figura 20.

Figura 20 – Tela de supervisão



**Fonte:** Moraes e Castrucci (2006)

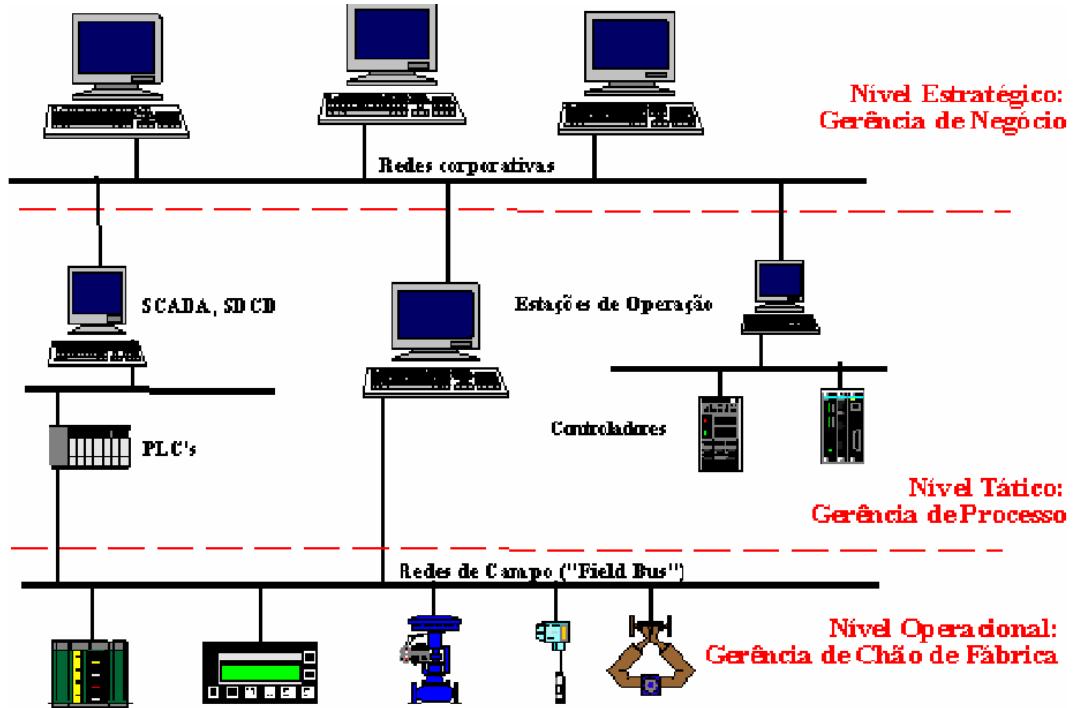
#### 2.2.3.1 OPC

De acordo com Puda (2008), OPC é um padrão de comunicação abrangente com o objetivo principal de permitir a comunicação vertical entre os níveis dentro de uma organização. Surgiu por volta de 1996, pela necessidade dos fornecedores de sistemas concentrarem informações obtidas de variados pontos, integrando dados de equipamentos de fabricantes diferentes. O acesso aos dados é realizado da mesma forma, independentemente do fabricante, oferecendo ao usuário grande liberdade para escolha dos equipamentos. (DUARTE; FIGUEIREDO; CORREA, 2003). A comunicação vertical é apresentada na Figura 21.

Antes do OPC, por não haver padronização, um driver para determinado dispositivo era escrito várias vezes por fabricantes diferentes. Fabricantes

desenvolveram soluções proprietárias de software e hardware, tal como descorre Júnior (2003).

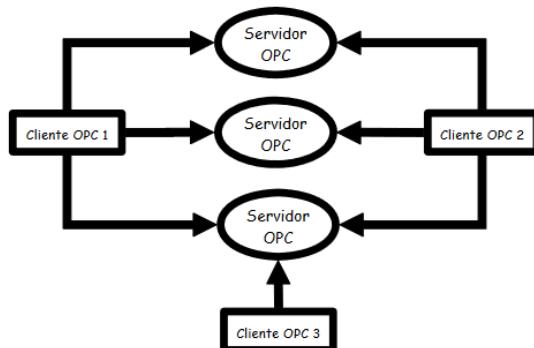
Figura 21 – Níveis de controle de processo



Fonte: Duarte, Figueiredo e Correa (2003).

Os componentes OPC se classificam em Clientes OPC e Servidores OPC. O cliente é um usuário dos dados assim como um sistema supervisório, já o servidor é a fornecedora dos dados obtidos a partir de geração ou coleta no processo, disponibilizando-os aos clientes OPC, como pode ser visto na Figura 22.

Figura 22 – Relação entre Clientes e Servidores



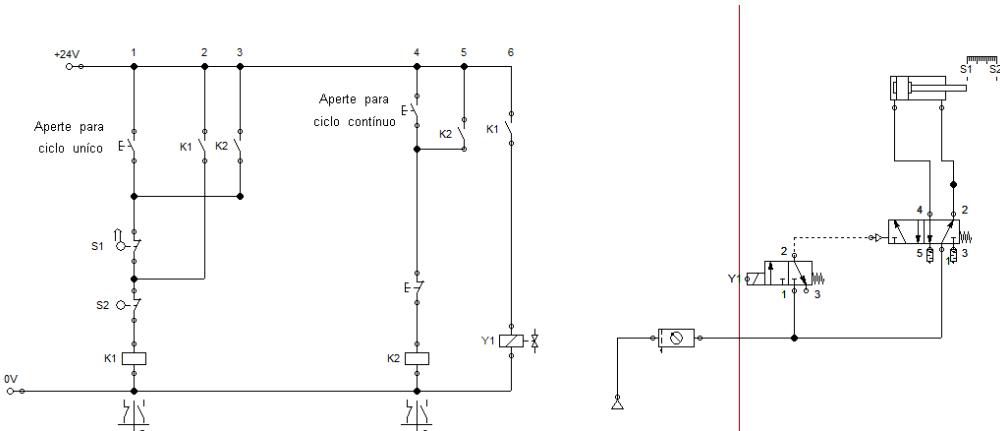
Fonte: Duarte, Figueiredo e Correa (2003).

## 2.3 Sistemas de simulação

### 2.3.1 Fluidsim

Como descrito em seu manual, o FluidSIM é capaz de realizar simulações pneumáticas respeitando as normas DIN muito próximas à realidade, pois possui em sua biblioteca componentes baseados em modelos físicos, tanto pneumáticos como eletrônicos. Oferece ao usuário componentes que podem sofrer interações manuais e também a possibilidade de conexão para recebimento e envio de dados por outros softwares. A Figura 23 apresenta um circuito eletropneumático desenvolvido no FluidSIM.

Figura 23 – Circuito eletropneumático no FluidSIM



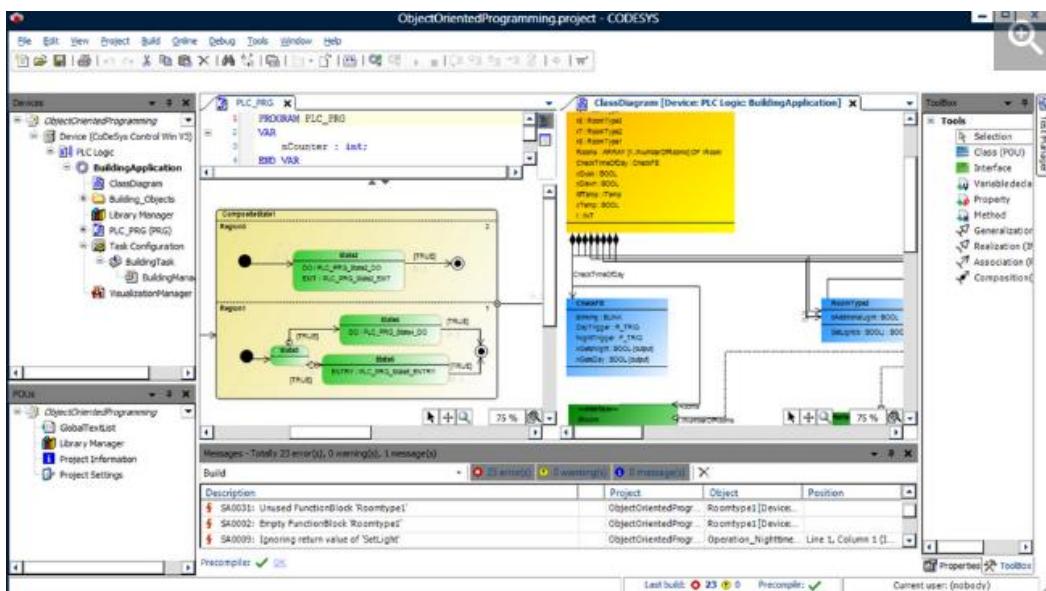
**Fonte:** Elaborado pelo autor

### 2.3.2 Codesys

O Codesys, apresentado na Figura 24, é um software desenvolvido pela empresa Alemã 3S-Smart Software Solutions. É importante ressaltar que é possível utilizar a versão DEMO, livre de qualquer custo.

Este software é utilizado para gerar códigos de automação eficientes e abrangentes, estando de acordo com a norma IEC 61131. Vários milhões de dispositivos compatíveis com Codesys e aproximadamente 1.000 tipos diferentes de dispositivos de mais de 500 fabricantes fazem do Codesys o principal conjunto de automação IEC 61131-3 independente do fabricante (CODESYS, 2023).

Figura 24 – Software Codesys



**Fonte:** Adaptada de Codesys (2023)

### 2.3.3 Factory I/O

É um software de simulação 3D para aprendizagem de automação. Fácil de manusear, um processo automatizado pode ser rapidamente criado utilizando os componentes disponibilizados, além de permitir a comunicação externa com controladores. Segundo o próprio Factory I/O, seu uso mais comum é de treinamento de controle de CLPs visto que são os mais comuns encontrados nas aplicações industriais.

Este software possui algumas simulações já prontas para que o usuário entenda seu funcionamento, como pode ser visto na Figura 25.

Figura 25 – Simulação pronta do Factory I/O



**Fonte:** Factory I/O

### 3 METODOLOGIA

Este trabalho propõe um sistema de automação industrial capaz de separar materiais recicláveis de acordo com suas características, visando aumentar a eficiência no processo dentro de uma indústria alimentícia.

#### 3.1 Descrição do sistema de automação

O sistema de automação de reciclagem proposto neste trabalho consiste em uma esteira transportadora que separa em caixas cada um dos materiais: metal, papel e plástico. A figura 26 mostra a arquitetura do sistema proposto.

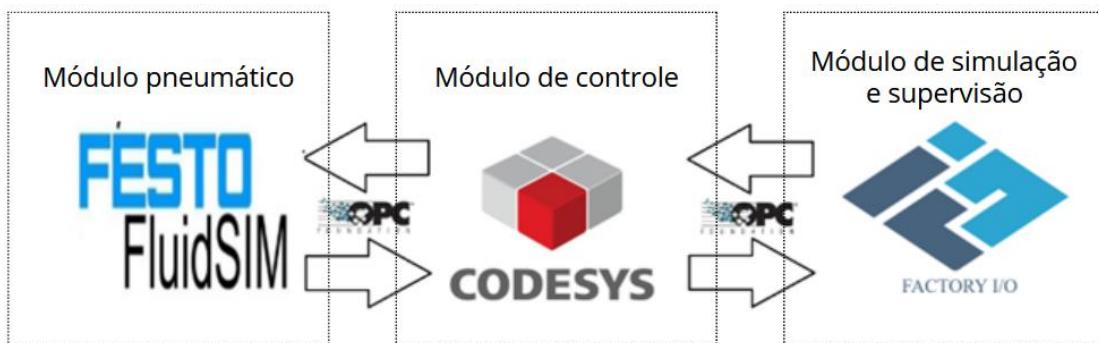
Figura 26 – Automação do processo de reciclagem



**Fonte:** Elaborado pelo autor

A proposta foi desenvolvida através da combinação de três módulos: pneumático, controle e supervisão. Estes módulos são softwares de simulação independentes que se comunicam através de uma conexão OPC, conforme mostrado na figura 27.

Figura 27 – Proposta de automação



**Fonte:** Elaborado pelo autor

O módulo pneumático é responsável pela expulsão do material da esteira para a caixa reservatória utilizando válvulas eletropneumáticas e atuadores lineares. O módulo pneumático será simulado através do software FluidSIM.

O módulo de controle é responsável pela identificação do material sob a esteira, do acionamento do módulo pneumático, da contagem destes antes de serem enviados à destinação final. Além disso, ele possui um sistema de emergência em caso de acidentes devido às partes móveis. O módulo de controle é simulado pelo software Codesys.

O módulo de supervisão é responsável pela interface com o usuário, disponibilizando o acompanhamento do sistema para que, caso haja falhas, seja possível sua identificação. Este módulo é simulado pelo software Factory I/O.

Cada um destes módulos serão detalhados nas próximas sessões.

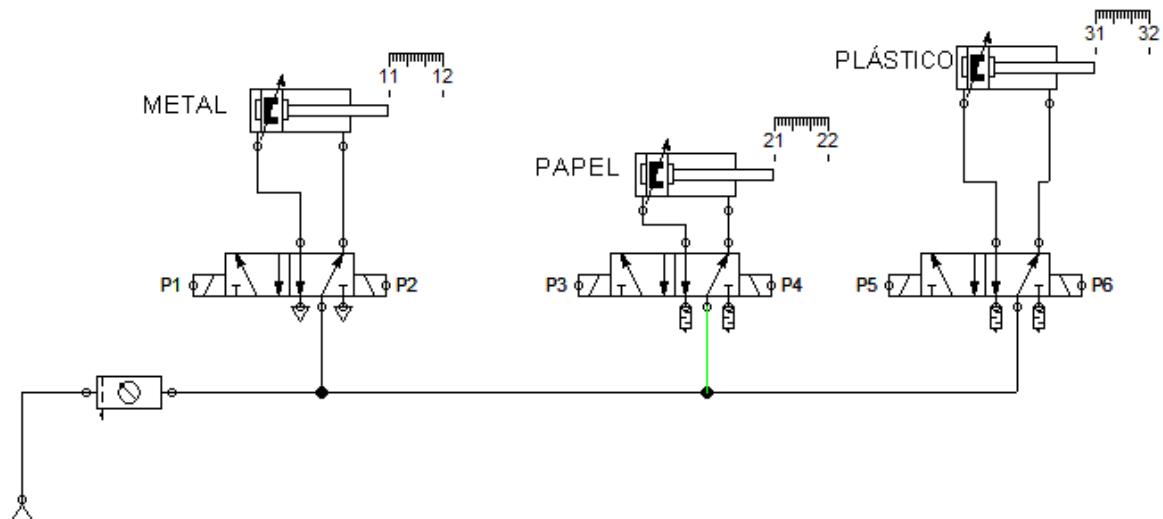
### 3.1.1 Módulo pneumático

Como mostrado na Figura 28, o sistema eletropneumático é constituído de três elementos de trabalho que empurram o material para a caixa reservatória. São utilizados atuadores lineares de dupla ação, pois são os mais indicados em operações de expulsão e retorno rápido.

Os atuadores recebem seus comandos de atuação pela comutação das eletroválvulas 5/2 vias conectadas a eles, as quais são controladas pelo módulo de controle.

O sistema da figura 28 foi construído ao realizar a interligações dos componentes oferecidos pelo software FluidSIM. A versão de software utilizada neste trabalho foi a v4.2p/1.67.

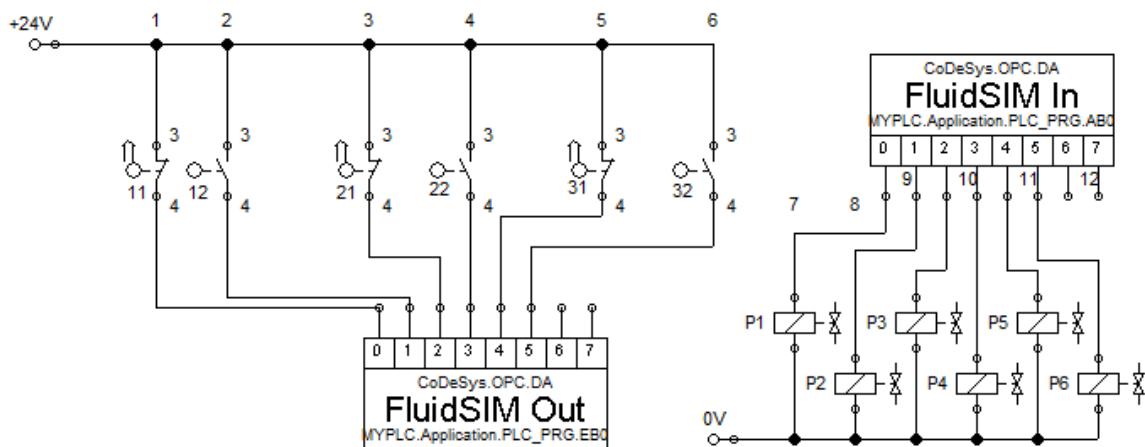
Figura 28 – Circuito pneumático no FluidSIM



**Fonte:** Elaborado pelo autor

O início de funcionamento dos atuadores se dá pela identificação do material disposto na esteira, e assim, inicia seu deslocamento. Ao atingir seu curso máximo, o sensor de fim de curso sinaliza que o material que estava na esteira agora está em sua respectiva caixa. A partir deste sinal, a eletroválvula será comutada, iniciando seu recuo.

Figura 29: Esquema de conexões do FluidSIM para o OPC



**Fonte:** Elaborado pelo autor

Na Figura 29, são apresentado os sinais de entrada e saída de variáveis de controle. O bloco “FluidSIM In” recebe os sinais emitidos pelo Codesys, enquanto os sinais gerados pelo “FluidSIM Out” são enviados ao Codesys. Os sinais recebidos pelo bloco “FluidSIM In” ativam as saídas que atuam as solenóides das eletroválvulas, controlando o avanço e recuo dos atuadores, dependendo de sua posição. Já os sensores fim de curso, tanto no avanço quanto recuo, são representados pelos contatos conectados às portas do bloco “FluidSIM Out”, os quais indicam as posições de cada atuador ao Codesys.

O módulo pneumático é mostrado como um todo no apêndice A.

Na Tabela 2, podemos ver a relação de sensores e suas respectivas funções.

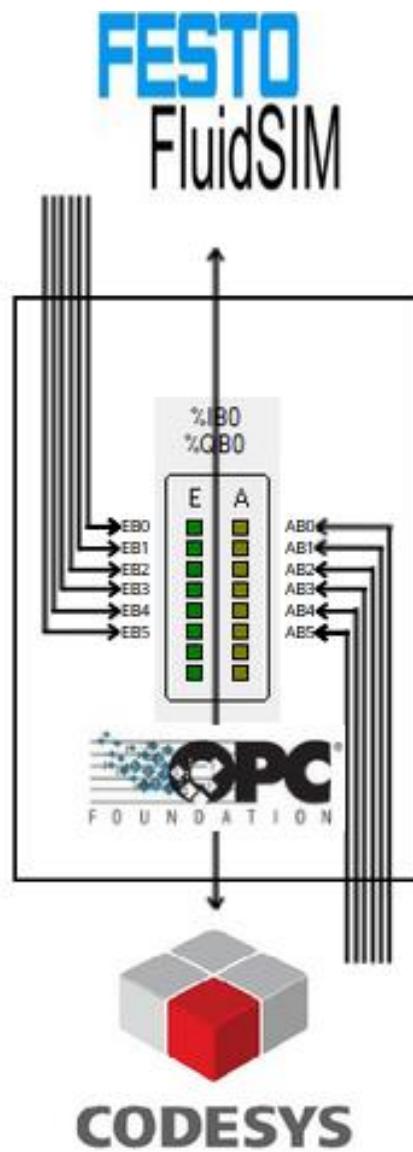
Tabela 2 – Sensores e respectivas funções no FluidSIM

Sensor	Função
11 EB0.0	NF - Indica recuo do cilindro METAL
12 EB0.1	NA – Indica avanço do cilindro METAL
21 EB0.2	NF - Indica recuo do cilindro PAPEL
22 EB0.3	NA - Indica avanço do cilindro PAPEL
31 EB0.4	NF - Indica recuo do cilindro PLÁSTICO
32 EB0.5	NA - Indica avanço do cilindro PLÁSTICO

**Fonte:** Elaborado pelo autor

É através das blocos FluidSIM Out e FluidSIM IN e comunicação OPC, que os comandos são transferidos para o software Codesys. Os sinais dos sensores estão conectados no bloco OUT, e as bobinas, responsáveis pela atuação das válvulas, receberão os sinais de atuação via bloco IN.

Figura 30: Representação da comunicação OPC entre FluidSIM e Codesys



**Fonte:** Elaborado pelo autor

### 3.1.2 Módulo de controle

O módulo de controle é o modulo principal, responsável por todo o controle do sistema, e intertravamento caso houver alguma condição de alarme no sistema.

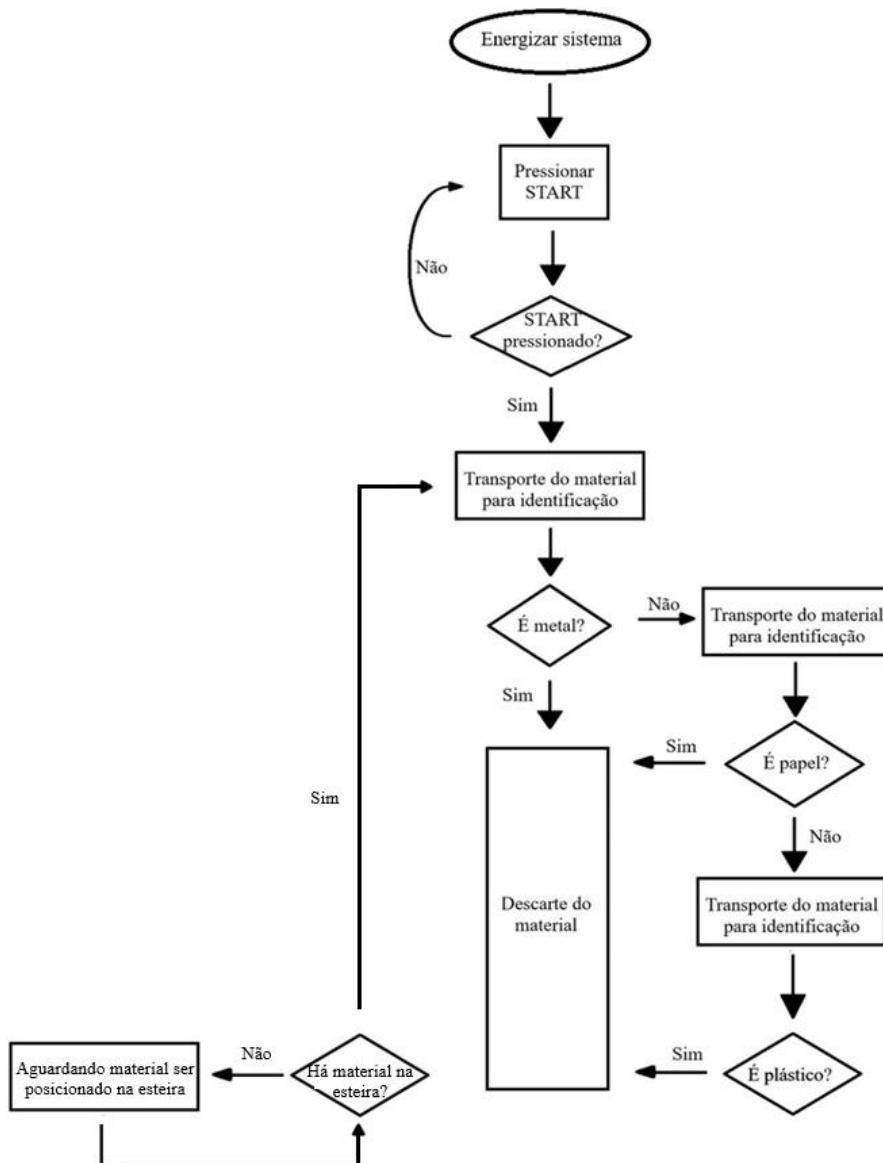
Foram definidas condições para funcionamento do sistema, são elas:

- Sistema automatizado

- Indicação por sistema supervisório (Factory I/O)
- Contagem de cada tipo de material separado
- Existência de sistema de emergência em caso de acidentes

Na Figura 31 é mostrado o algoritmo do sistema proposto.

Figura 31 – Algoritmo do sistema



**Fonte:** Elaborado pelo autor

**Etapa 1** – Energiza-se o sistema a partir de uma chave seletora.

**Etapa 2 –** Aperta-se START para iniciar o sistema e posicione o material na esteira

**Etapa 3 –** O material é transferido até o sensor identificador de metal e, caso detecte, é acionado o pistão que o direcionará ao cesto de metais, senão, segue para a etapa 4.

**Etapa 4 –** O material é transferido até o sensor identificador de papel e, caso seja, é acionado o pistão que o direcionará ao cesto de papeis, senão, segue para a etapa 5.

**Etapa 5 –** O material é transferido até o último sensor, identificador de plástico e então, é acionado o pistão que o direcionará ao cesto de plásticos.

O sistema continuará ligado, sendo necessário apenas o posicionamento do material na esteira para que seja separado. Além disso, os materiais devem ser colocados um a um a cada 2 segundos para que haja tempo do pistão expulsor ter seu curso recuado totalmente.

Utilizando o software Codesys, foi desenvolvida a automação do sistema em programação Ladder, apresentada no apêndice B. A versão do software Codesys utilizada neste trabalho foi a versão v3.5 SP3 Patch 2 disponibilizado pela Festo devido à compatibilidade com o FluidSIM (Festo Support Portal, 2023).

Para a identificação dos materiais, os seguintes sensores foram selecionados: um sensor indutivo, devido à capacidade de identificar objetos metálicos, um sensor capacitivo, o qual pode identificar objetos de papel ao ser regulada a sensibilidade da ponta capacitiva, e um sensor fotoelétrico retro reflexivo capaz de identificar objetos transparentes.

Para que a identificação dos materiais seja acertiva, o sensor indutivo está na primeira etapa de separação, pois, como o sensor capacitivo é capaz de detectar objetos metálicos e não metálicos, os objetos metálicos detectados pelo sensor indutivo são separados antes de passarem pelo feixe de detecção do sensor capacitivo. Logo em seguida o capacitivo, pois o fotoelétrico também reconheceria o papel por bloquear a luz por completo. Por último, é posicionado o sensor fotoelétrico para identificação do plástico a partir da parametrização conforme a transparência do material.

Pensando na futura implementação real deste trabalho, foram escolhidos os sensores adequados para identificação de cada material, apresentados nas figuras 32, 33 e 34.

Figura 32 – Sensor indutivo NBB20-L2-A2-V1



**Fonte:** Adaptado Pepperl+Fuchs (2023)

Figura 33 – Sensor capacitivo CBN15-18GS75-E2-V1



**Fonte:** Adaptado de Pepperl+Fuchs (2023)

Figura 34 – Sensor retro reflexivo OBR15M-R200-2EP-IO-V1



**Fonte:** Elaborado pelo autor

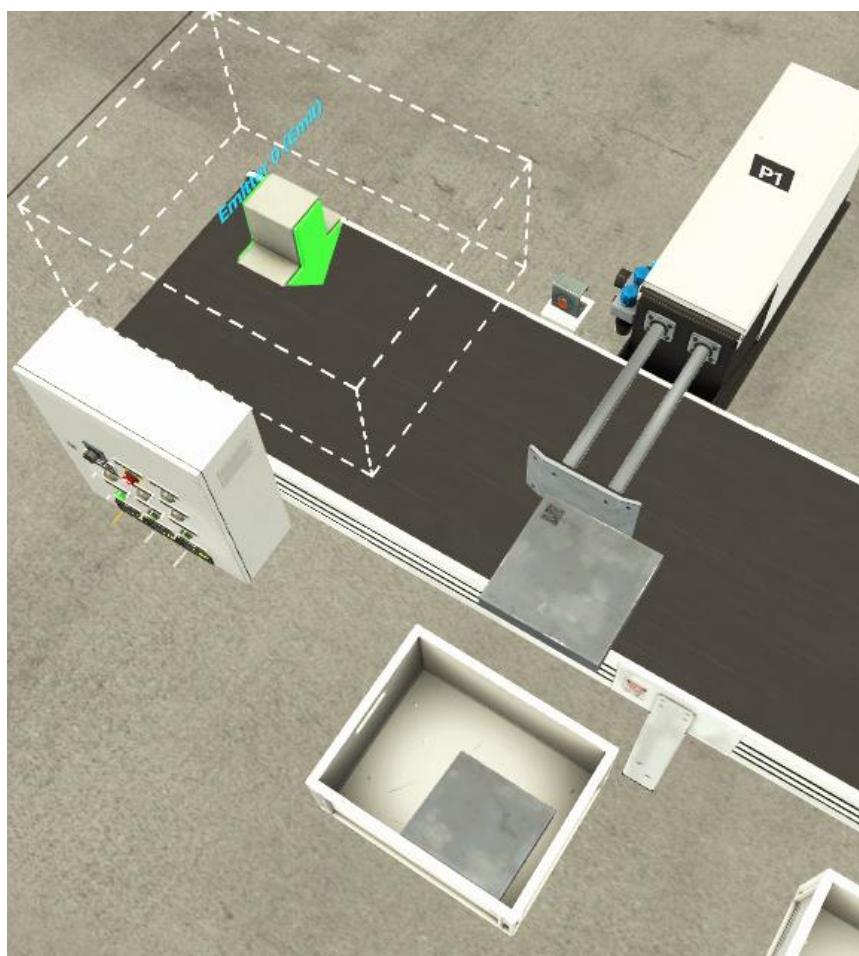
A contagem de cada tipo de material foi implementada a partir das vezes que o atuador expulsor é acionado, sendo zerada ao apertar o botão de retirada de material.

Para o sistema de emergência, foi incluído um botão normalmente fechado, que ao ser pressionado, abre o contato e desliga o sistema.

### 3.1.3 Módulo de simulação e supervisão

Utilizando o software Factory I/O, foi desenvolvida a simulação do sistema afim de representar o sistema real. A versão do software utilizada neste trabalho foi a v2.5.5 (Factory I/O, 2023).

Figura 35 – Simulação do sistema automatizado de separação de resíduos recicláveis



**Fonte:** Elaborado pelo autor

Foi construído o painel elétrico e posicionado seus componentes, como botões para inicialização, partida, emergência, reset dos contadores e sinalizadores de material expulsado. Os atuadores e sensores foram posicionados corretamente afim de garantir o funcionamento do sistema conforme a velocidade da esteira e tempos instruídos no Codesys.

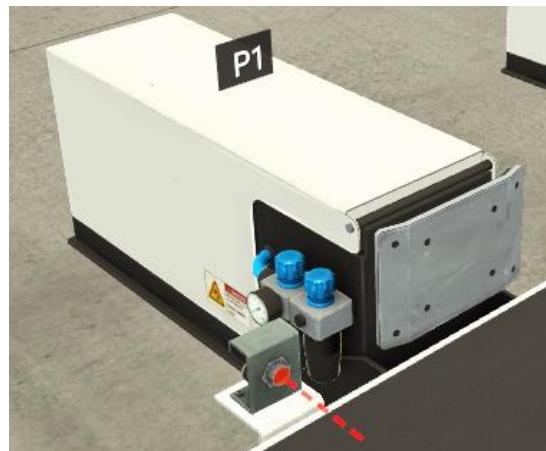
Para uma vista mais concentrada, é apresentado na figura 36 o painel elétrico, o qual contém a chave de energização, botão de start, botões de retirada, sinalizadores do tipo de material e contadores. Na figura 37, o conjunto identificador e separador de metal, na figura 38, o conjunto identificador e separador de papel, e na figura 39 o conjunto identificador e separador de plástico.

Figura 36 – Painel elétrico



**Fonte:** Elaborado pelo autor

Figura 37 – Sensor indutivo e separador de metal



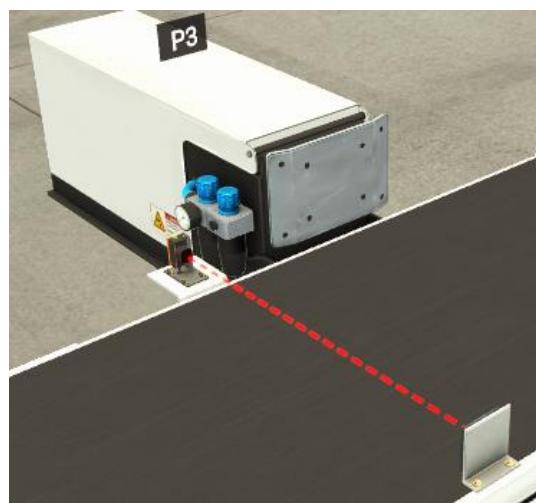
**Fonte:** Elaborado pelo autor

Figura 38 – Sensor capacitivo e separador de papel



**Fonte:** Elaborado pelo autor

Figura 39 – Sensor retro reflexivo e separador de plástico



**Fonte:** Elaborado pelo autor

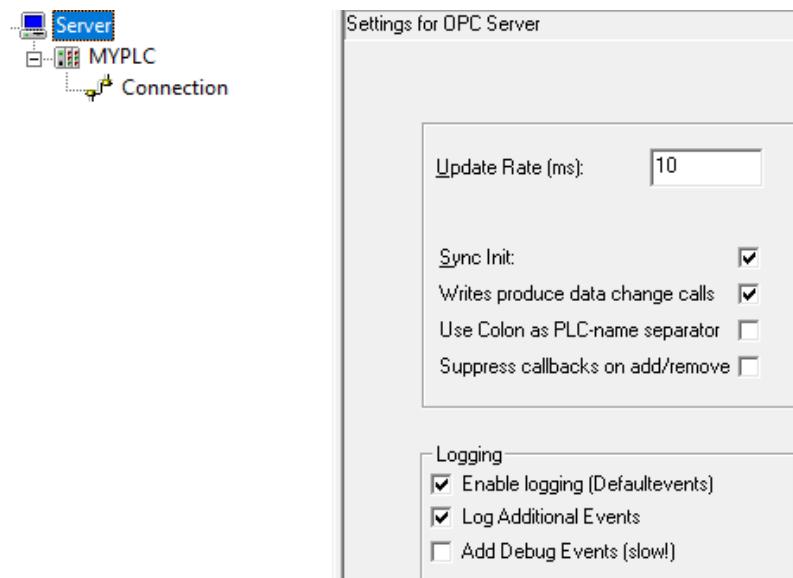
### 3.1.4 Conexão entre softwares

Como neste trabalho foi utilizado tres softwares diferentes, para que a simulação ocorra de forma unificada, é necessário que os softwares se comuniquem, conforme a figura 27. Portanto, foi utilizada a comunicação OPC e suas devidas configurações em cada software. A comunicação OPC foi escolhida devido a sua interoperabilidade entre sistemas de diversos fabricantes, eliminação da necessidade de drivers de comunicação específicos e por seu alto desempenho.

#### 3.1.4.1 Codesys

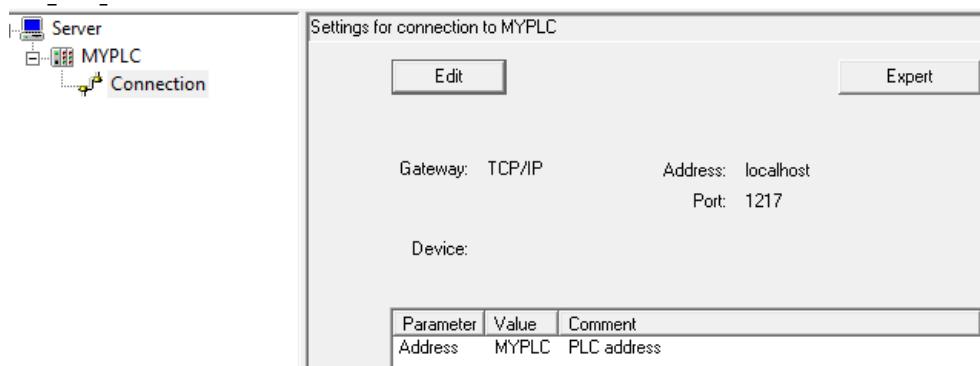
É necessário realizar a configuração do servidor através do OPC Configurator, conforme mostrado na figura 40, e também é necessário disponibilizar as variáveis para que sejam acessadas pelo FluidSIM e Factory I/O através da aplicação Symbol Configuration.

Figura 40 – Configuração Server no OPC Configurator



**Fonte:** Elaborado pelo autor

Figura 41 – Configuração Conexão no OPC Configurator



**Fonte:** Elaborado pelo autor

As variáveis foram configuradas como globais para que fossem acessadas também pelo Factory I/O. Um exemplo das variáveis utilizadas no Codesys para comunicação com os outros módulos é mostrado na figura 42.

Figura 42 – Configuração das variáveis para acesso externo através do OPC

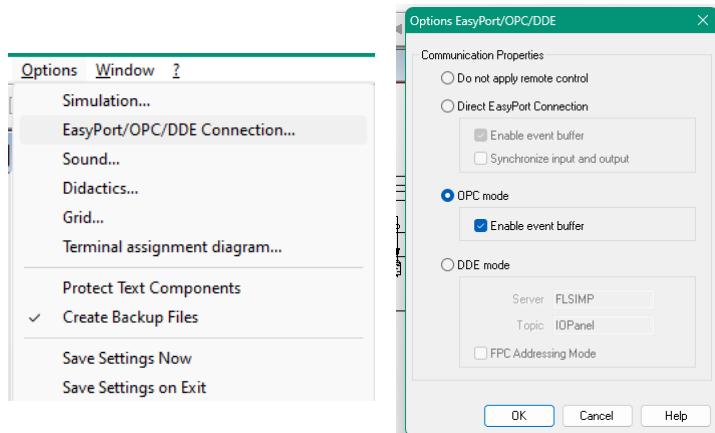
Server						
Symbols	Access Rights	Maximal	Attribute	Type	Members	Comment
FIO						
aux_capacitivo1				BOOL		
aux_foto1				BOOL		
aux_indutivo1				BOOL		
CONT1				WORD		
CONT2				WORD		
CONT3				WORD		
ElapsedTime				TIME		
EM				BOOL		
energ				BOOL		
Esteira				BOOL		
L1				BOOL		
L2				BOOL		
L3				BOOL		
Metal				CTU	...	
P1				BOOL		
P2				BOOL		
P3				BOOL		
Papel				CTU	...	
Plastico				CTU	...	
R1				BOOL		
R2				BOOL		
R3				BOOL		
Sensor_Capacitivo				BOOL		
Sensor_Fotoeletrico1				BOOL		
Sensor_Fotoeletrico2				BOOL		
Sensor_Indutivo				BOOL		
start				BOOL		
TOF_1				TOF	...	
TOF_2				TOF	...	
TOF_3				TOF	...	
TON_1				TON	...	
TON_2				TON	...	
TON_3				TON	...	
IoConfig_Globals						
PLC_PRG						

**Fonte:** Elaborado pelo autor

### 3.1.4.2 FluidSIM

No software FluidSIM, a comunicação OPC é obtida através da aba OPTION, é selecionada comunicação OPC conforme mostrado na figura 43.

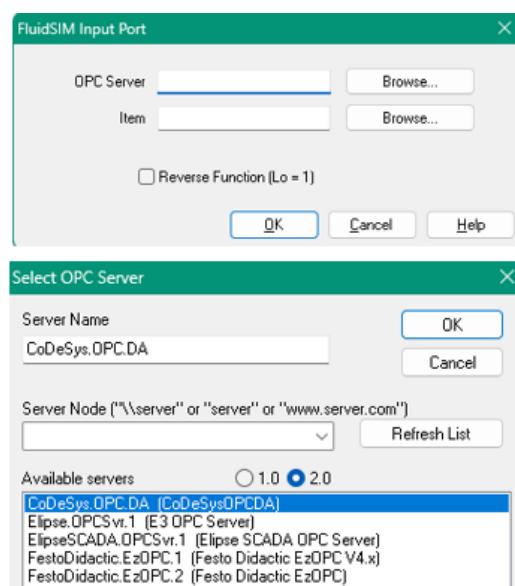
Figura 43 – Ativando modo OPC no FluidSIM



**Fonte:** Elaborado pelo autor

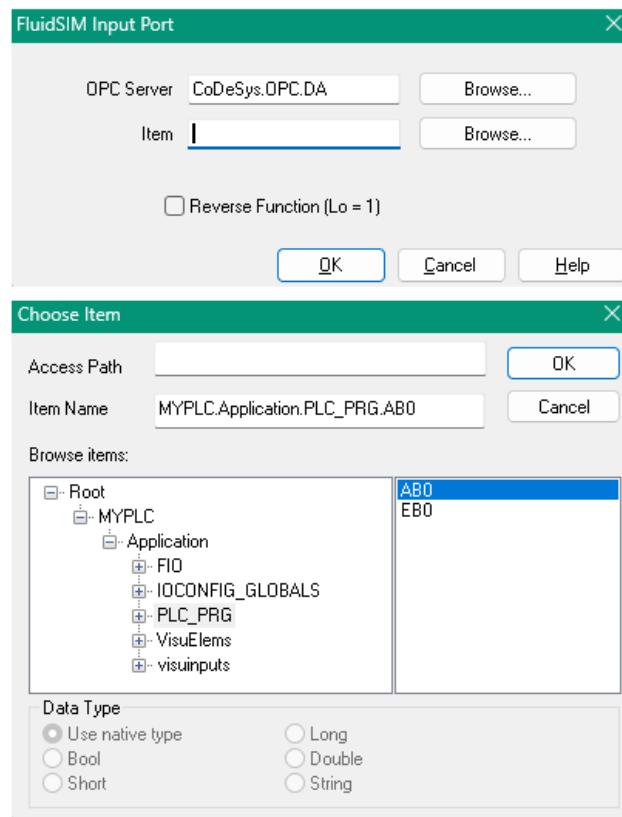
Após ativada a comunicação OPC, é necessário conectar-se ao servidor OPC do Codesys, através dos blocos IN e OUT e também selecionar as variáveis. Para isso, basta clicar sobre os blocos e selecionar o servidor e variáveis dispostas nas figuras 44, 45 e 46:

Figura 44 – Selecionando servidor no FluidSIM



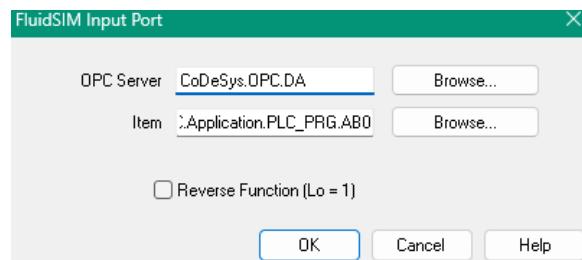
**Fonte:** Elaborado pelo autor

Figura 45 – Selecionando as variáveis no FluidSIM



**Fonte:** Elaborado pelo autor

Figura 46 – Configuração finalizada no FluidSIM

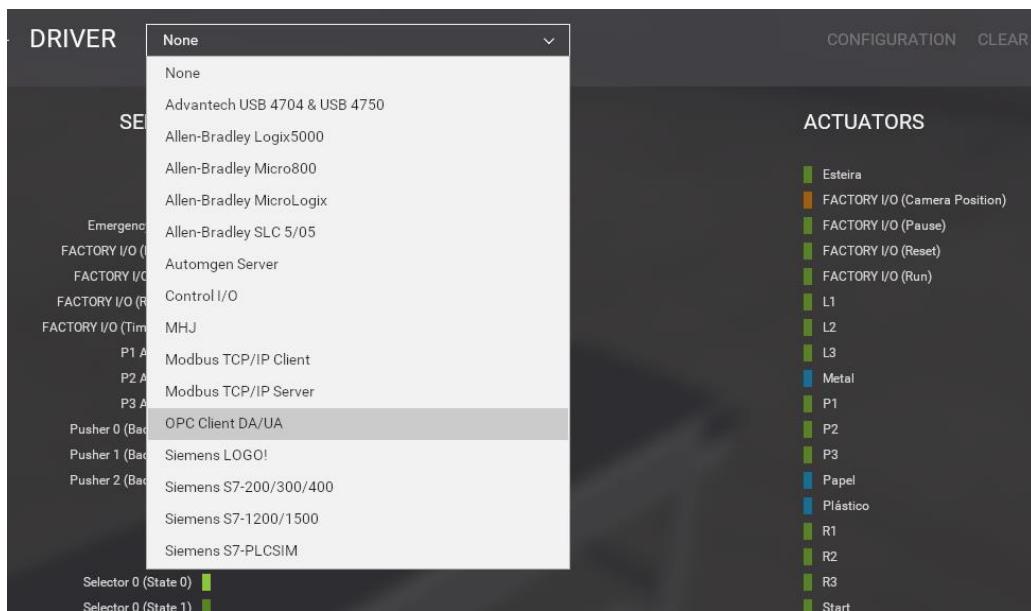


**Fonte:** Elaborado pelo autor

### 3.1.4.3 Factory I/O

No software Factory I/O, a comunicação é obtida clicando F4, e então, são abertas as configurações de Drives, apresentadas na figura 47.

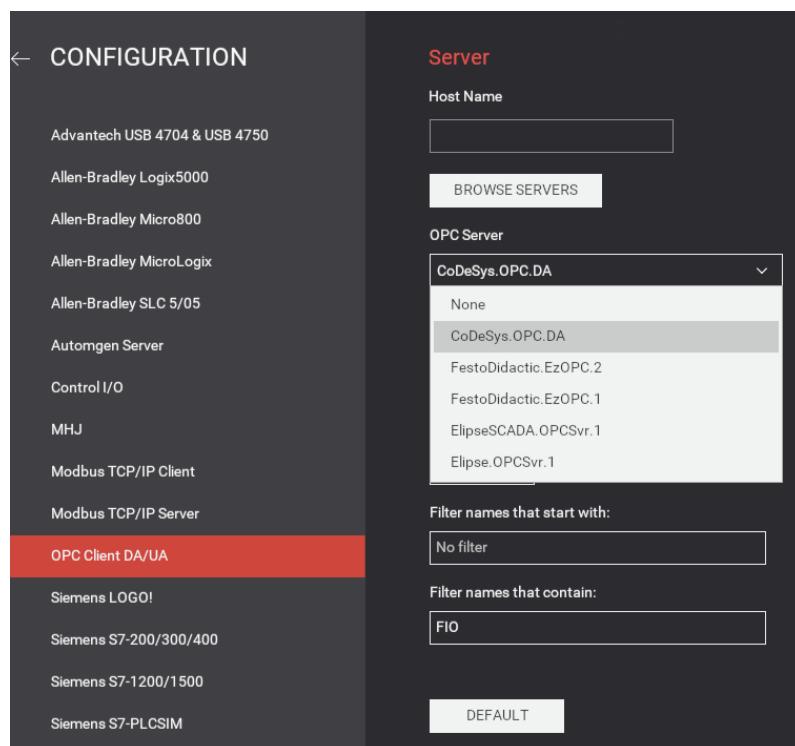
Figura 47 – Configurando Conexão OPC no Factory I/O



**Fonte:** Elaborado pelo autor

Na tela da figura 47, seleciona-se OPC Cliente DA/UA e clica em CONFIGURATION. Neste momento, é selecionado o servidor configurado no OPC Configurator e a conexão está realizada.

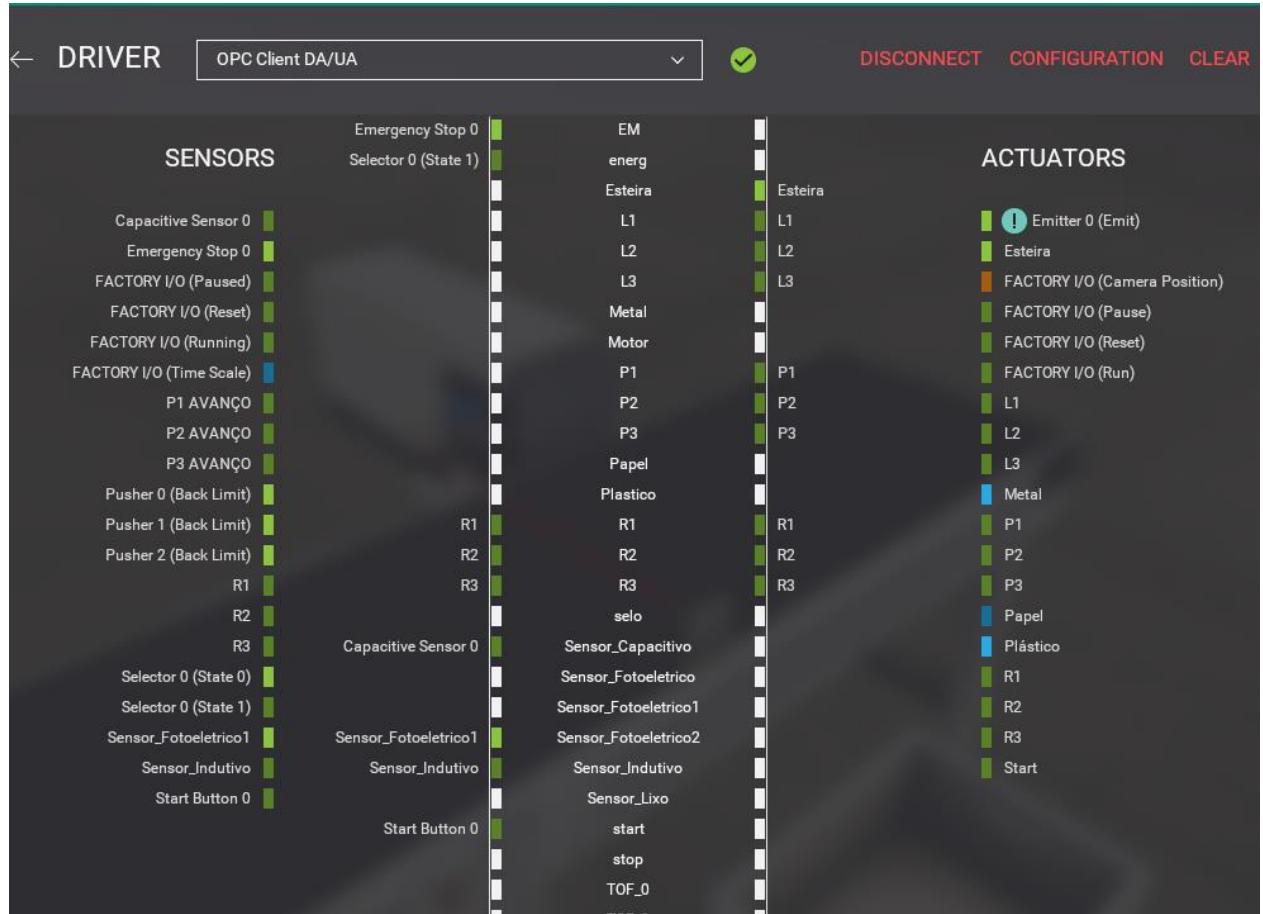
Figura 48 – Configuração Conexão OPC finalizada no Factory I/O



**Fonte:** Elaborado pelo autor

Finalizada a conexão, é possível estabelecer as conexões das variáveis do Factory I/O com o Codesys, uma a uma, conforme mostrado na figura 49.

Figura 49 – Link das variáveis Factory I/O com Codesys



Fonte: Elaborado pelo autor

## 4 RESULTADOS

Nesta seção serão mostrados os resultados obtidos a partir da simulação integrada dos softwares FluidSIM, Codesys e Factory I/O.

As figura 50, 51 e 52 mostram as capturas de tela dos três softwares ao serem inicializados. Os atuadores estão totalmente recuados e o sistema desenergizado.

Figura 50 – Inicialização FluidSIM

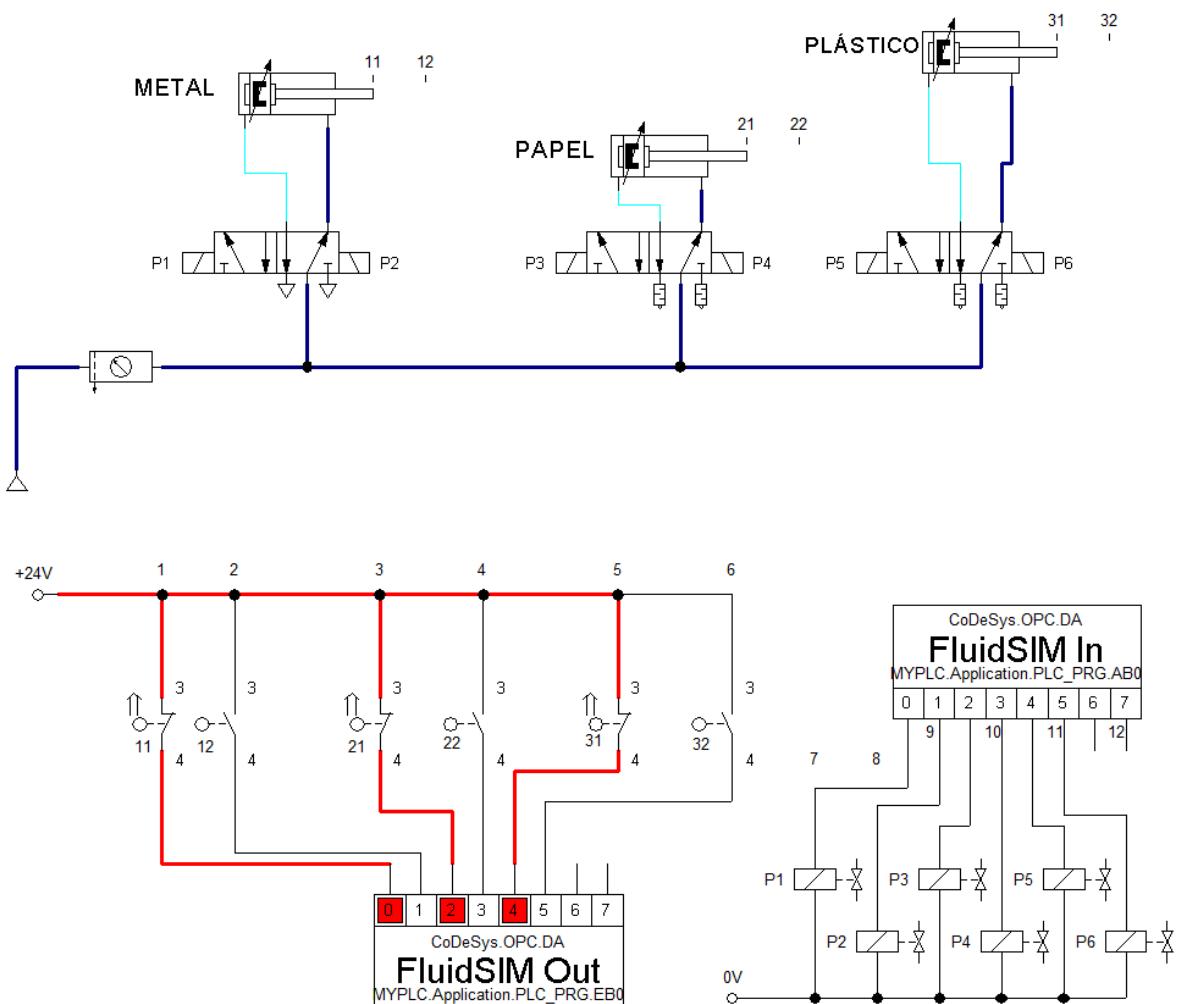
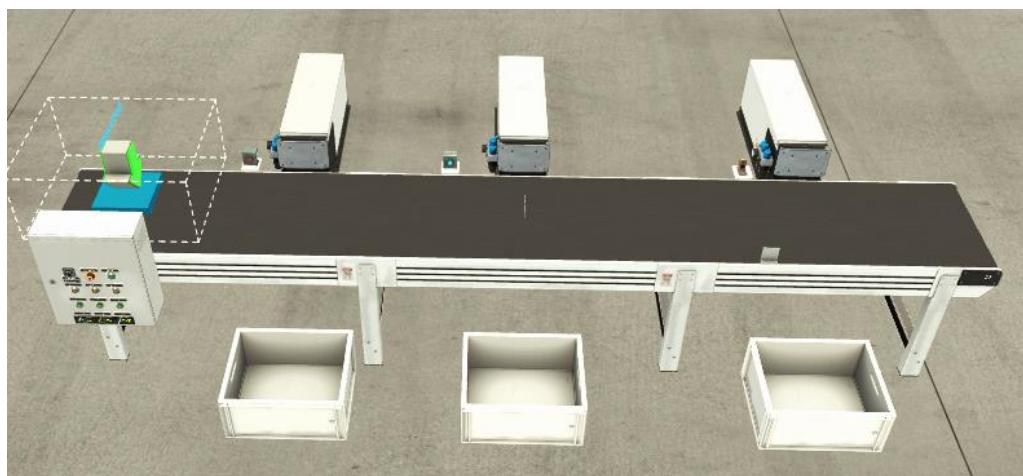


Figura 51 – Inicialização Codesys

Expression	Type	Value
start	BOOL	FALSE
Esteira	BOOL	FALSE
Sensor_Indu...	BOOL	FALSE
Sensor_Foto...	BOOL	TRUE
P1	BOOL	FALSE
P2	BOOL	FALSE
P3	BOOL	FALSE
+ Metal	CTU	
+ Papel	CTU	
+ Plastico	CTU	
EM	BOOL	TRUE
L1	BOOL	FALSE
L2	BOOL	FALSE
L3	BOOL	FALSE
R1	BOOL	FALSE
R2	BOOL	FALSE
R3	BOOL	FALSE
CONT1	WORD	0
CONT2	WORD	0
CONT3	WORD	0
ElapsedTime	TIME	T#0ms
+ TON_1	TON	
+ TON_2	TON	
+ TON_3	TON	
aux_indutivo1	BOOL	FALSE
energ	BOOL	FALSE
+ TOF_1	TOF	
+ TOF_2	TOF	
+ TOF_3	TOF	
Sensor_Capa...	BOOL	FALSE
aux_capaciti...	BOOL	FALSE
Sensor_Foto...	BOOL	FALSE
aux_foto1	BOOL	FALSE

Figura 52 – Inicialização Factory I/O



O primeiro material disposto sobre a esteira é azul, simulando o papel. Nas figura 53 e 54, são mostradas as capturas de tela dos softwares no instante que o objeto é identificado. É possível observar que o sensor capacitivo foi ativado e o tempo de contagem para ativar a saída Q do TON\_2 também.

Figura 53 – Captura de tela do Codesys ao identificar papel

Expression	Type	Value
start	BOOL	FALSE
Esteira	BOOL	TRUE
Sensor_Indutivo	BOOL	FALSE
Sensor_Fotoeletrico2	BOOL	TRUE
P1	BOOL	FALSE
P2	BOOL	FALSE
P3	BOOL	FALSE
Metal	CTU	
Papel	CTU	
Plastico	CTU	
EM	BOOL	TRUE
L1	BOOL	FALSE
L2	BOOL	TRUE
L3	BOOL	FALSE
R1	BOOL	FALSE
R2	BOOL	FALSE
R3	BOOL	FALSE
CONT1	WORD	0
CONT2	WORD	0
CONT3	WORD	0
ElapsedTime	TIME	T#0ms
TON_1	TON	
TON_2	TON	
IN	BOOL	TRUE
PT	TIME	T#700ms
Q	BOOL	FALSE
ET	TIME	T#384ms
TON_3	TON	
aux_indutivo1	BOOL	FALSE
energ	BOOL	TRUE
TOF_1	TOF	
TOF_2	TOF	
TOF_3	TOF	
Sensor_Capacitivo	BOOL	TRUE
aux_capacitivo1	BOOL	TRUE
Sensor_Fotoeletrico1	BOOL	FALSE
aux_foto1	BOOL	FALSE

Figura 54 – Captura de tela do Factory I/O ao identificar papel



Após 0,7 segundos da identificação do material, o início da separação pode ser vista abaixo, nas figura 55, 56 e 57, que mostram as capturas de tela no instante que é ativada a porta AB0.2, responsável pelo avanço do atuador de separação de papel.

Figura 55 – Ativada separação de papel no FluidSIM

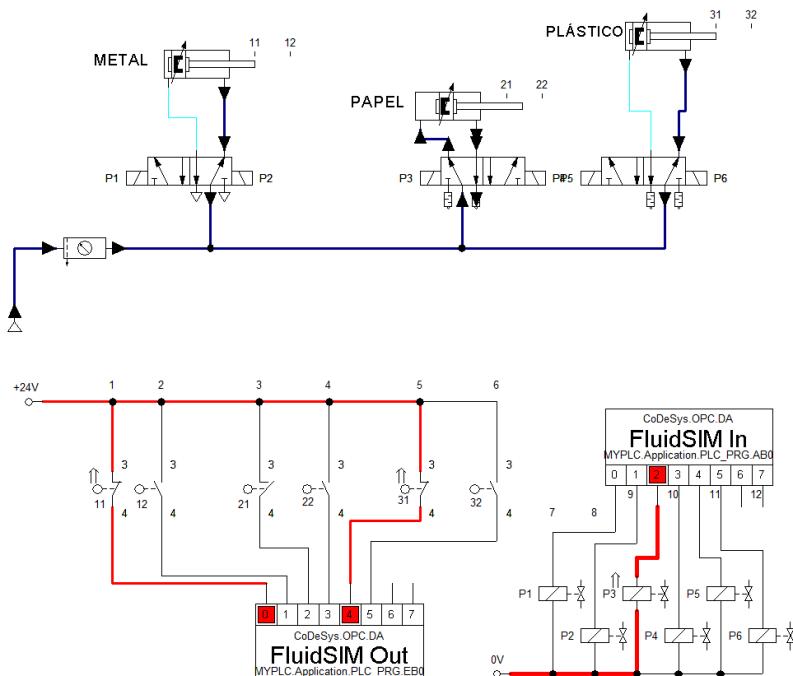


Figura 56 – Ativada separação de papel no Codesys

expression	type	value
start	BOOL	FALSE
Esteira	BOOL	TRUE
Sensor_Indutivo	BOOL	FALSE
Sensor_Fotoeletrico2	BOOL	TRUE
P1	BOOL	FALSE
P2	BOOL	TRUE
P3	BOOL	FALSE
+	CTU	
Metal	CTU	
+	CTU	
Papel	CTU	
+	CTU	
Plastico	CTU	
EM	BOOL	TRUE
L1	BOOL	FALSE
L2	BOOL	TRUE
L3	BOOL	FALSE
R1	BOOL	FALSE
R2	BOOL	FALSE
R3	BOOL	FALSE
CONT1	WORD	0
CONT2	WORD	0
CONT3	WORD	0
ElapsedTime	TIME	T#0ms
+	TON	
TON_1	TON	
+	TON	
TON_2	BOOL	TRUE
↗ IN	TIME	T#700ms
↗ PT	BOOL	TRUE
↗ Q	TIME	T#700ms
↗ ET		
+	TON	
TON_3	BOOL	FALSE
aux_indutivo1	BOOL	TRUE
energ	TOF	
+	TOF	
TOF_1	TOF	
+	TOF	
TOF_2	BOOL	FALSE
↗ IN	TIME	T#3s
↗ PT	BOOL	TRUE
↗ Q	TIME	T#807ms
↗ ET		
+	TOF	
TOF_3	BOOL	FALSE
Sensor_Capacitivo	BOOL	TRUE
aux_capacitivo1	BOOL	FALSE
Sensor_Fotoeletrico1	BOOL	TRUE
aux_foto1	BOOL	FALSE

Figura 57 – Ativada separação de papel no Factory I/O



Nas figura 58, 59 e 60, são mostradas as capturas de tela após a separação do material. É possível observar que a porta AB0.3 é ativada, comandando o recuo do atuador separador de papel. O contador de papel foi incrementado em uma unidade e pode ser conferida no painel elétrico.

Figura 58 – Concluída separação de papel no FluidSIM

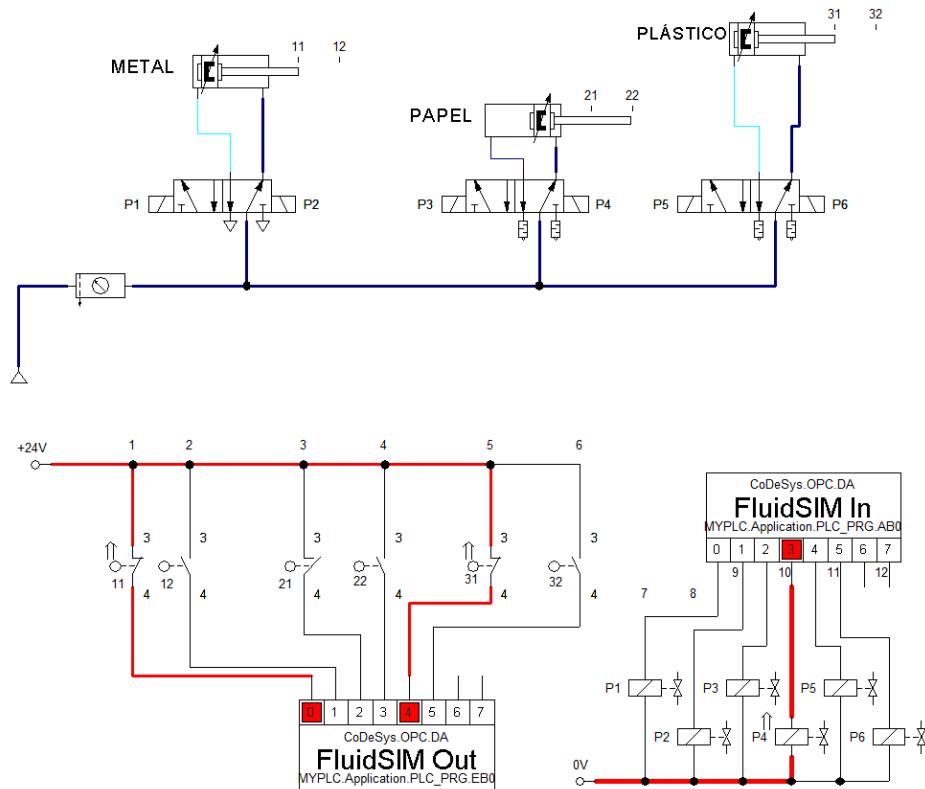


Figura 59 – Concluída separação de papel no Codesys

Expression	Type	Value
Esteira	BOOL	TRUE
Sensor_Indutivo	BOOL	FALSE
Sensor_Fotoeletrico2	BOOL	TRUE
P1	BOOL	FALSE
P2	BOOL	FALSE
P3	BOOL	FALSE
+ Metal	CTU	
Papel	CTU	
CU	BOOL	FALSE
RESET	BOOL	FALSE
PV	WORD	200
Q	BOOL	FALSE
CV	WORD	1
+ Plastico	CTU	
EM	BOOL	TRUE
L1	BOOL	FALSE
L2	BOOL	FALSE
L3	BOOL	FALSE
R1	BOOL	FALSE
R2	BOOL	FALSE
R3	BOOL	FALSE
CONT1	WORD	0
CONT2	WORD	0
CONT3	WORD	0
ElapsedTime	TIME	T#0ms
+ TON_1	TON	
+ TON_2	TON	
+ TON_3	TON	
aux_indutivo1	BOOL	FALSE
energ	BOOL	TRUE
+ TOF_1	TOF	
TOF_2	TOF	
IN	BOOL	FALSE
PT	TIME	T#3s
Q	BOOL	TRUE
ET	TIME	T#1s687ms
+ TOF_3	TOF	
Sensor_Capacitivo	BOOL	FALSE
aux_capacitivo1	BOOL	FALSE
Sensor_Fotoeletrico1	BOOL	FALSE
aux_foto1	BOOL	FALSE

Figura 60 – Concluída separação de papel no Factory I/O



A separação de metal se comporta de forma análoga da separação de papel, porém com suas respectivas variáveis sendo alteradas. Já a separação de plástico não foi possível implementar no Factory I/O pois o software não possui parametrização do sensor fotoelétrico tampouco material transparente para ser utilizado.

## 5 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho era desenvolver um sistema que aumentasse a confiabilidade e eficiência do processo de reciclagem dentro de uma indústria de alimentos, garantindo sua operação por meio de um CLP. Realizar simulações antes de implementar sistemas oferecerá uma série de benefícios, como detecção de potenciais problemas e falhas, avaliar seu desempenho, otimizar os recursos, ajudar na tomada de decisões, validar as condições do sistema e redução de custo, uma vez que problemas são identificados antes da implementação real.

A simulação dos atuadores e eletroválvulas do módulo pneumático teve sucesso parcial, já que a separação de plástico ficou obsoleta devido às parametrizações disponibilizadas no Factory I/O.

O módulo de controle foi desenvolvido no Codesys e seu teste também ocorreu como esperado. Entretanto, foi constatado que o sistema de emergência não é o mais adequado, pois ao ser acionado, as partes móveis do sistema se moverão para a posição inicial. Ou seja, a máquina não tem seus movimentos cessados, se tornando um perigo para o usuário. Isto acontece pois a emergência aciona a função set de comando de recuo do atuador. Uma alternativa de melhoria é o controle de uma válvula de bloqueio que impeça o escape de ar no atuador e que seja acionada pela emergência. O teste de contagem de material foi bem sucedido, o que possibilita uma futura implementação de exportação destes dados para análise de gestão ambiental.

O sistema de supervisão construído no Factory I/O foi testado, porém não teve sucesso em todas as etapas de separação, devido ao software não possuir as configurações necessárias de ajuste de sensores retro reflexivos e também por não possuir objetos transparentes para serem utilizados na simulação. As peças de metal foram identificadas e as de papel também. Apesar de não ter sido possível realizar a separação do plástico, foi constatado a possibilidade de implementação em um sistema real utilizando os sensores escolhidos no referencial teórico. O Factory I/O mostra a serventia de um sistema de monitoramento em tempo real, sendo possível identificar falhas e resgatar as informações das quantidades de material separado.

Toda a simulação só foi possível pois o Codesys é capaz de simular um CLP, criando um servidor OPC para que os softwares se comunicassem. O CLP

virtual compilou o código, forneceu a conexão OPC e exportou as variáveis para o Factory I/O e FluidSIM. No FluidSIM, as variáveis foram recebidas, realizando a comutação das eletroválvulas que acionam os atuadores. Ao mesmo tempo, o FluidSIM enviou as informações para o Codesys, que também enviou para o Factory I/O, sendo possível a visualização da simulação do sistema em tempo real.

Analizando a execução do sistema como um todo, o resultado foi bom pois a conexão entre eles ocorreu de forma correta, em tempo real, e sem perda de dados.

O protocolo de comunicação OPC foi eficiente ao transmitir as informações entre os 3 softwares utilizados, evidenciando a importância de um protocolo aberto para utilização na indústria.

Como trabalho futuro, espera-se implementar o sistema pneumático com um controle de pressão afim de controlar a velocidade dos pistões, elaborar um código Ladder possuindo um sistema de emergência eficaz para maior segurança do usuário e também exportar os dados de contagem a um banco de dados afim de realizar uma gestão efetiva da reciclagem dentro da indústria.

Ao implementar este sistema em um processo real, almeja-se a efetividade da reciclagem dentro de uma indústria alimentícia, visto que é gerada uma alta quantidade de resíduos pelos colaboradores, além de contribuir para com a sustentabilidade ambiental. Todavia, como ainda há necessidade de intervenção humana na disposição de materiais na esteira, é um sistema que gera gastos com equipamentos e pessoas, ou seja, pode não ser viável financeiramente, sendo necessária uma análise para cada indústria.

Os conceitos adquiridos nas disciplinas Sistemas de Controle Hidráulicos e Pneumáticos, Informática Industrial I e Metrologia foram fundamentais para a elaboração deste trabalho.

## 6 REFERÊNCIAS

DORF, Richard C; BISHOP, Robert H. Sistemas de controle modernos - 8.ed / 2001 8.ed. Rio de Janeiro, RJ: Livros Técnicos e Científicos, 2001.

SABBADINI, Francisco S. Introdução à Simulação. Fundação Cecierj, 2019. Disponível em:  
<https://canal.cecierj.edu.br/102020/84fea58100a3802757a40aee651b5b6d.pdf>

CNI; IEL; ELETROBRÁS. Correias transportadoras guia básico. PROCEL INÚSTRIA Edição Seriada, 2008.

SILVA, Edilson Alfredo da. Introdução às linguagens de programação para CLP. Editora Blucher, 2016. E-book. ISBN 9788521210528. Disponível em:  
<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521210528/>.

FESTO DIDATIC . Manual FluidSIM 3.6 Pneumática 2004.

FIALHO, Arivelto B. Automação Pneumática - Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos. Editora Saraiva, 2011. E-book. ISBN 9788536505176. Disponível em:  
<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536505176/>

FONSECA, Lúcia H. A. Reciclagem: o primeiro passo para a preservação ambiental. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXIII, Nº. 000036, 2013. Disponível em:  
<https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/reciclagem.pdf>

MORAES, Cícero Couto de; CASTRUCCI, Plínio de L. Engenharia de Automação Industrial, 2<sup>a</sup> edição. Grupo GEN, 2006. E-book. ISBN 978-85-216-1976-5. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-1976-5/>.

IBRAHIN, Francini Imene D.; IBRAHIN, Fábio J.; CANTUÁRIA, Eliane R. Análise Ambiental - Gerenciamento de Resíduos e Tratamento de Efluentes. Editora Saraiva, 2015. E-book. ISBN 9788536521497. Disponível em:  
<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536521497/>.

ROGGIA L, F. R. C. Automação Industrial. [S.I.]: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Rede e-Tec Brasil, 2016. Disponível em:  
[https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/413/2018/12/06\\_automacao\\_industrial.pdf](https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/413/2018/12/06_automacao_industrial.pdf)

CAMARGO, Valter Luís Arlindo de. Elementos de Automação. [Digite o Local da Editora]: Editora Saraiva, 2014. E-book. ISBN 9788536518411. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518411/>

JACULLI, Marcelo. Sistemas eletro-hidro-pneumáticos. Editora Saraiva, 2021. E-book. ISBN 9786553560758. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786553560758/>.

FRAGA, Simone Carvalho L. Reciclagem de Materiais Plásticos - Aspectos Técnicos, Econômicos, Ambientais e Sociais. Editora Saraiva, 2014. E-book. ISBN 9788536520544. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536520544/>.

JÚNIOR, Rudinei T.; SAIANI, Carlos César S.; DOURADO, Juscelino. Resíduos Sólidos no Brasil: Oportunidades e Desafios da Lei Federal n. 12.305 (Lei de Resíduos Sólidos. Editora Manole, 2014. E-book. ISBN 9788520449240. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520449240/>

TELLES, Dirceu D. Resíduos sólidos: gestão responsável e sustentável. [Digite o Local da Editora]: Editora Blucher, 2022. E-book. ISBN 9786555061055. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786555061055/>

QUESADA, Ricardo C. Controle e automação de processos industriais. Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017. Disponível em: [http://cm-kls-content.s3.amazonaws.com/201701/INTERATIVAS\\_2\\_0/CONTROLE\\_E\\_AUTOMACAO\\_DE\\_PROCESSOS\\_INDUSTRIAIS/U1/LIVRO\\_UNICO.pdf](http://cm-kls-content.s3.amazonaws.com/201701/INTERATIVAS_2_0/CONTROLE_E_AUTOMACAO_DE_PROCESSOS_INDUSTRIAIS/U1/LIVRO_UNICO.pdf)

PAREDE, Ismael. M.; GOMES, Luiz Eduardo L. Eletrônica: automação industrial. Editora Fundação Padre Anchieta, 2011. Disponível em: [https://www.jorgestreet.com.br/wp-content/uploads/2019/07/electronica\\_vol6\\_AUTOMACAO\\_INDUSTRIAL.pdf](https://www.jorgestreet.com.br/wp-content/uploads/2019/07/electronica_vol6_AUTOMACAO_INDUSTRIAL.pdf).

GEORGINI, João M. Automação Aplicada - Descrição e Implementação de Sistemas Sequenciais com PLC'S. Editora Saraiva, 2009. E-book. ISBN 9788536518121. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518121/>

JÚNIOR, José L. De F. Uma proposta de aplicação de algoritmos criptográficos na comunicação via OPC em sistema de automação industrial. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/29840/1/PropostaAplicacaoAlgoritmos.pdf>

Agência Senado. Aumento da produção de lixo no Brasil requer ação coordenada entre governos e cooperativas de catadores. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/infomaterias/2021/06/aumento-da-producao-de-lixo-no-brasil-requer-acao-coordenada-entre-governos-e-cooperativas-de-catadores>

DUARTE, C. R. M.; FIGUEIREDO, L. C.; CORREA, M. V. Utilização do Matlab® no ensino da tecnologia OPC aplicada a controle de processos. Disponível em: <http://alvarestech.com/temp/smar/Smar/opc/451.pdf>

Factory IO. About Factory IO. Factory IO Docs. Disponível em:  
<https://docs.factoryio.com/>  
ROSÁRIO, J. M. Automação industrial. São Paulo: Baraúna, 2009, 515p

Factory I/O. Disponível em: <https://factoryio.com/start-trial>

JÚNIOR, Antônio Pereira. Crescimento populacional e geração de resíduos sólidos: o caso da região norte. Disponível em:  
<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/6988/6137>.

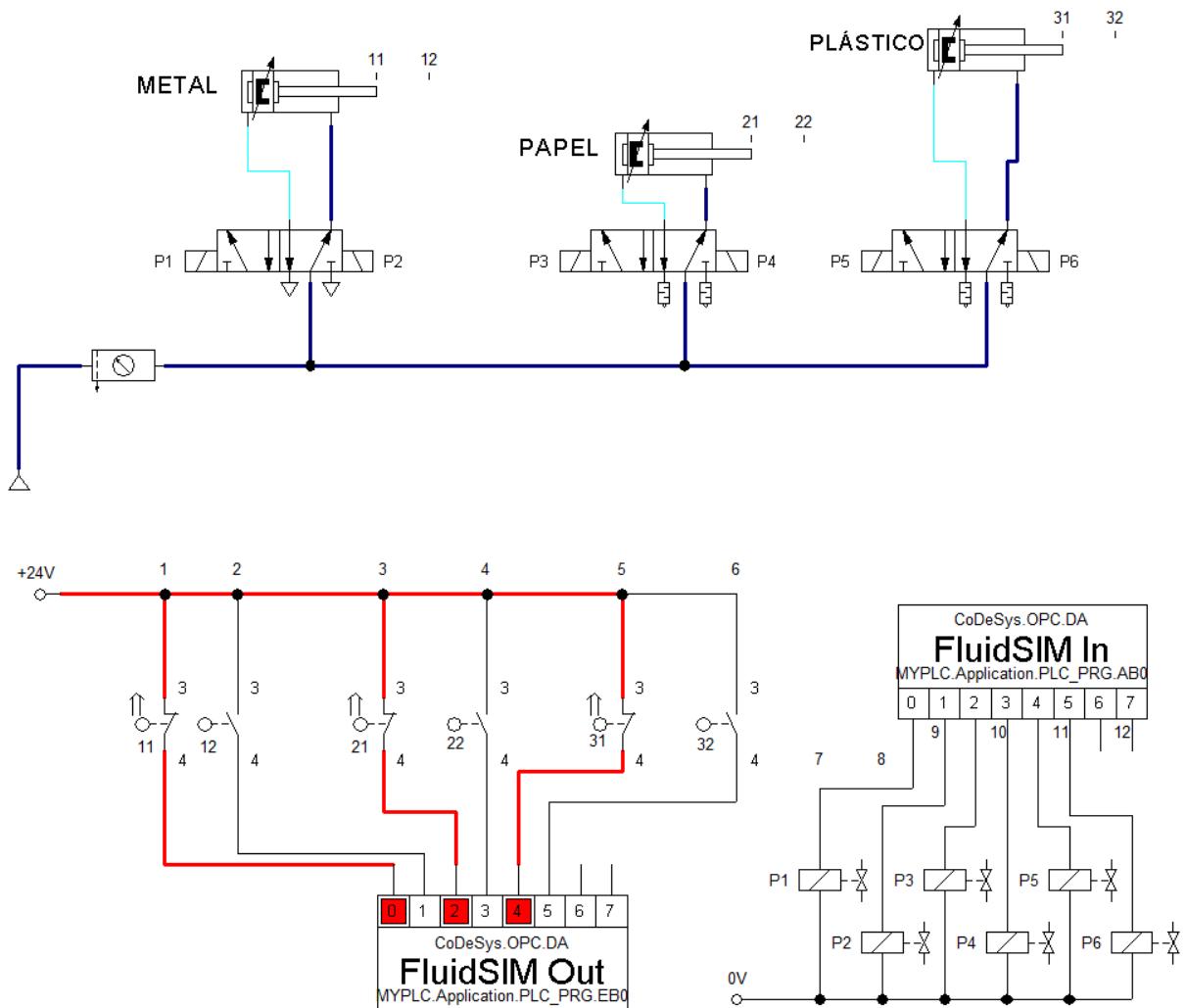
MATLAB® no Ensino da Tecnologia OPC aplicada a Controle de Processos.  
Disponível em: <http://alvarestech.com/temp/smar/Smar/opc/451.pdf>

OPC Foundation, What is OPC ? Disponível em:  
<https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/>  
3S-Smart, “The comprehensive software suite for automation technology”.  
Disponível em: <https://www.codesys.com/the-system.html>

Festo Support Portal. CODESYS provided by Festo. Disponível em:  
[https://www.festo.com/net/en\\_corp/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&type=75#result](https://www.festo.com/net/en_corp/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&type=75#result)

## APÊNDICE A

Estado de início da simulação no FluidSIM.



## APÊNDICE B

- 1- O funcionamento do sistema se inicia quando está energizado e o botão START fecha contato. Assim a esteira liga iniciando o transporte do material.
- 2- Caso a chave de energia seja pressionada, o contato se abre desativa o transporte.
- 3- Detectado o metal, a luz do painel L1 é ligada, indicando o tipo de material e a variável auxiliar é setada para 1.
- 4- A variável auxiliar foi introduzida para que acione o temporizador TON, simulando a transição de movimento do material da posição de identificação para o posicionamento em frente ao pistão expulsor. Decorrido o tempo de 0,7 segundos, o trecho é energizado e, como o pistão está recuado, a porta EB0.0 também está ativa, iniciando o movimento de expulsão. Logo em seguida, o temporizador TOF energiza o trecho por 3 segundos, para que se espere o pistão chegar em seu avanço máximo, ativando a porta EB0.1, a qual realiza o comando de recuo do pistão, apaga a luz do painel e seta a variável auxiliar para 0.
- 5- Detectado o papel, a luz do painel L2 é ligada, indicando o tipo de material e outra variável auxiliar é setada para 2.
- 6- Acontece o mesmo procedimento da etapa 4, porém, com o segundo conjunto separador que, neste caso, é o papel.
- 7- Detectado o plástico, a luz do painel L3 é ligada, indicando o tipo de material e mais uma variável auxiliar é setada para 0.
- 8- Acontece o mesmo procedimento da etapa 4, porém, com o terceiro conjunto separador que, neste caso, é o plástico.

9- A cada acionamento do pistão separador de metal, será adicionada uma unidade na contagem deste material.

10-A cada acionamento do pistão separador de papel, será adicionada uma unidade na contagem deste material.

11-A cada acionamento do pistão separador de plástico, será adicionada uma unidade na contagem deste material.

12-Ao final da etapa 4, a porta EB0.0 está energizada, desenergizando AB0.1.

13-Ao final da etapa 6, a porta EB0.2 está energizada, desenergizando AB0.3.

14-Ao final da etapa 4, a porta EB0.4 está energizada, desenergizando AB0.5.

15-Caso a botoeira de emergência seja acionada, seu contato abrirá, desenergizando todo o sistema.

Lembrando que as portas relacionadas a AB e EB recebem seus comandos pelo FluidSIM.

