



**Politécnico  
de Viseu**

Escola Superior  
de Tecnologia  
e Gestão de Viseu

# **Projeto de melhoria de uma linha de engarrafamento de vinhos: automatização da secção de abastecimento e reestruturação do posto de rolhamento.**

Carlos Manuel Rodrigues da Silva

## **Trabalho de Projeto**

Mestrado em Engenharia Mecânica e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação de  
Professora Doutora Olga Maria de Sousa Contente  
Professora Doutora Maria Odete Monteiro Lopes

Fevereiro 2024



**Politécnico  
de Viseu**

Escola Superior  
de Tecnologia  
e Gestão de Viseu

# **Projeto de melhoria de uma linha de engarrafamento de vinhos: automatização da secção de abastecimento e reestruturação do posto de rolhamento.**

Carlos Manuel Rodrigues da Silva

## **Trabalho de Projeto**

Mestrado em Engenharia Mecânica e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação de

Professora Doutora Olga Maria de Sousa Contente  
Professora Doutora Maria Odete Monteiro Lopes

Fevereiro de 2024

***“Todos os dias, pouco a pouco, havemos de lá chegar. Esta é a forma correta de estar na vida, é aceitar a mudança como algo permanente e fazer da insatisfação o motor dessa mudança”***

(Pinto, 2014)



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que, de uma forma direta ou indireta, contribuíram para que este projeto tenha sido possível de concretizar. Um obrigado muito especial aos responsáveis técnicos e administrativos da UDACA que sempre forneceram todas as informações e documentos necessários para o desenvolvimento de trabalho.

Quero agradecer às minhas orientadoras, Professora Doutora Olga Contente e Professora Doutora Odete Lopes, que desde o início me guiaram e me ajudaram no decorrer do projeto, mesmo quando as coisas corriam menos bem.

Obrigado a todos os docentes que passaram no meu percurso académico ao longo destes anos, pois sem eles não teria adquirido conhecimentos suficientes para a realização de um projeto tão ambicioso.

Um agradecimento especial a todas as pessoas que se cruzaram no meu caminho no decorrer deste trabalho particularmente à Eng<sup>a</sup>. Fátima Borges (Equipa de formação da Schneider Electric), Diogo Cardoso e José Sá (assessores técnicos SMC e Sacnor, respetivamente) e também ao Eng. Nelson Santos (Técnico Superior da ESTGV), permitindo assim a realização deste projeto.

Um muito obrigado a toda a minha família e amigos, sem eles esta dissertação não teria sido possível.

## RESUMO

Este projeto surge no âmbito do Mestrado em Engenharia Mecânica e Gestão Industrial da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu (ESTGV) do Instituto Politécnico de Viseu (IPV), como trabalho final conducente ao grau de Mestre.

O presente projeto foi desenvolvido em parceria com a cooperativa vinícola UDACA, que se dedica ao engarrafamento e a comercialização de vinhos da região do Dão, no mercado nacional e internacional.

Os objetivos definidos para o projeto foram sustentados pela filosofia de produção *Lean*, e compreenderam a identificação e implementação de melhorias no centro produtivo da cooperativa, tendo estas sido definidas em conjunto com os responsáveis de produção e da administração da cooperativa.

O projeto iniciou-se com uma análise ao fluxo produtivo da linha de engarrafamento, através da qual foi possível diagnosticar que a estação de trabalho de rolhagem era responsável pela baixa produtividade da linha. Identificada aquela como o posto gargalo, foram efetuados estudos para uma nova estação de rolhagem, que possibilitasse um aumento da capacidade produtiva.

Para aumentar o nível de automatização da fase inicial da linha de engarrafamento foi sugerida também a criação de um protótipo para abastecimento de garrafas. Durante o desenvolvimento do protótipo foram efetuados estudos sobre soluções existentes no mercado e de viabilidade económica para que a solução encontrada pudesse vir a ser implementada no local. Contudo, não foi possível concluir todas as funcionalidades inicialmente previstas para a estação automatizada de abastecimento de garrafas à linha. Estas limitações surgiram, quer por razões de falta de recursos financeiros, quer por limitações dos recursos de *software* disponíveis na versão de estudante utilizada, quer ainda por limitações de tempo na ligação e aquisição de equipamento para distribuição de ar comprimido, não obstante os esforços realizados.

Através da implementação das melhorias sugeridas e com a implementação de um sistema real à escala, de características análogas à do protótipo construído, foi possível reduzir o prazo de entrega do produto final ao cliente. Esta melhoria na capacidade de engarrafamento deve-se à automatização do processo abastecimento à linha de engarrafamento e da redução do tempo de ciclo das linhas de enchimento.

**Palavras-chave:** *Lean*; Produtividade; Automação industrial; Manipulador com garra



## **ABSTRACT**

This project is part of the master's program in Mechanical Engineering and Industrial Management at the Viseu School of Technology and Management (ESTGV) of the Polytechnic Institute of Viseu (IPV), as the final work leading to a master's degree.

This project was developed in partnership with the UDACA wine cooperative, which bottles and sells wines from the Dão region on the national and international markets.

The objectives defined for the project were underpinned by the Lean production philosophy and included identifying and implementing improvements in the cooperative's production center, which were defined in conjunction with the cooperative's production and administration managers.

The project began with an analysis of the bottling line's production flow, through which it was possible to diagnose that the corking workstation was responsible for the line's low productivity. Once this was identified as the bottleneck, studies were carried out into a new corking station that would increase production capacity.

In order to increase the level of automation in the initial phase of the bottling line, it was also suggested that a prototype be created for filling bottles. During the development of the prototype, studies were carried out into existing solutions on the market and economic viability so that the solution found could be implemented on site. However, it wasn't possible to complete all the functions initially planned for the automated bottle filling station on the line. These limitations arose either because of a lack of financial resources, or because of the limitations of the software resources available in the student version used, or because of time constraints in connecting and acquiring compressed air distribution equipment, despite the efforts made.

Through the implementation of the suggested improvements and with the implementation of a real system at scale, with characteristics analogous to those of the prototype built, it was possible to reduce the delivery time of the final product to the customer. This improvement in bottling capacity is due to the automation of the filling process to the bottling line and the reduction of the cycle time of the filling lines.

**Keywords:** *Lean; Productivity; Industrial Automation; Manipulator with claw*

# ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE TABELAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
LISTA DE SIGLAS / ABREVIATURAS .....	xv
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 Enquadramento .....	1
1.2 Objetivos da investigação .....	1
1.3 Estrutura do relatório .....	2
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
2.1. Introdução ao <i>Lean</i> .....	3
2.1.1 Conceito de valor .....	5
2.1.2 Princípios básicos do <i>Lean</i> .....	5
2.1.3 Desperdícios .....	6
2.1.4 Ferramentas <i>Lean</i> .....	10
2.1.5 Tempo de ciclo .....	15
2.2. Sistemas de automação industrial .....	16
2.2.1 Automatização de processos .....	17
2.2.2 Programação sequencial .....	19
2.2.4 Acionamentos .....	20
2.3. Ferramentas de software (simuladores) .....	21
<b>3. APRESENTAÇÃO DA COOPERATIVA .....</b>	<b>24</b>
3.1 Processo produtivo .....	25
<b>4. TRABALHO DESENVOLVIDO .....</b>	<b>33</b>
4.1 Problemas da linha de engarrafamento .....	33
4.2 Propostas de solução .....	33
4.2.1 Posto de rolhagem .....	34
4.2.2 Abastecimento à linha .....	37
4.2.2.1 Solução encontrada .....	37
4.2.2.2 Escolha da solução e desenvolvimento do protótipo .....	38
4.2.2.3 Avaliação financeira da solução .....	43
4.2.2.4 Diagrama específico geral do sistema .....	52
4.2.2.5 Programação do protótipo em ambiente de trabalho .....	53
<b>5. DISCUSSÃO .....</b>	<b>79</b>
<b>6. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>81</b>

<b>REFERÊNCIAS BIBLIGRÁFICAS .....</b>	<b>83</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>86</b>
<b>Parte experimental (simulação) .....</b>	<b>86</b>
<b>APÊNDICE B .....</b>	<b>89</b>
<b>Dimensionamento da instalação elétrica contra sobrecargas e curto-circuitos.....</b>	<b>89</b>
<b>Proteção contra as sobrecargas.....</b>	<b>90</b>
<b>Proteção contra os curtos-circuitos.....</b>	<b>94</b>
<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>96</b>
<b>Simulação de programação Automation Studio 5.6.....</b>	<b>96</b>
<b>APÊNDICE D .....</b>	<b>103</b>
<b>Atualização do <i>firmware</i> do controlador .....</b>	<b>103</b>

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela de custos e produção atual.....	35
Tabela 2 - Tabela de produção 3500 unidades por hora.....	36
Tabela 3 – Características técnicas do atuador elétrico horizontal.....	44
Tabela 4 - Características técnicas do atuador elétrico horizontal .....	45
Tabela 5 - Características técnicas micro cilindros .....	45
Tabela 6 - Características técnicas dos sensores fins de curso .....	46
Tabela 7 - Características técnicas das electroválvulas .....	46
Tabela 8 - Características técnicas da gestão e tratamento de ar comprimido .....	47
Tabela 9 - Características técnicas dos cabos de comunicação .....	47
Tabela 10 - Características técnicas do controlador lógico .....	48
Tabela 11 - Características técnicas do botão Start .....	48
Tabela 12 - Características técnicas do interruptor On/Off .....	48
Tabela 13 - Características técnicas da fonte de alimentação .....	49
Tabela 14 - Características técnicas do disjuntor de proteção.....	49
Tabela 15 - Características técnicas do botão de emergência .....	50
Tabela 16 - Características técnicas da placa de fixação.....	50
Tabela 17 - Características técnicas do adaptador.....	50
Tabela 18 - Características técnicas do perfil estruturado 30x30.....	51
Tabela 19 - Características técnicas do suporte 30x30 mm .....	51
Tabela 20 - Características técnicas dos pés de nivelamento .....	51
Tabela 21 - Características técnicas da tampa de proteção .....	52
Tabela 22 - Tabela de correspondência .....	58
Tabela 23 - Intensidade de corrente.....	89
Tabela 24 - Quedas de tensão máximas admissíveis.....	90
Tabela 25 - Corrente estipulada e corrente convencional para disjuntores .....	91
Tabela 26 - Corrente admissível na canalização .....	92
Tabela 27 - Isolamento para temperatura ambiente.....	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Muda, Muri e Muda (retirada de <a href="http://www.clockwork.com.co/las-3-mus-muda-mura-muri">http://www.clockwork.com.co/las-3-mus-muda-mura-muri</a> ).....	8
Figura 2 - Os oito desperdícios (retirada de <a href="http://www.uniengenhariadealimentos">http://www.uniengenhariadealimentos</a> )... 10	10
Figura 3 – Ciclo PDCA (retirado de <a href="http://www.doxplan.com">http://www.doxplan.com</a> ) .....	12
Figura 4 - Exterior da UDACA (retirada de <a href="http://www.cvrdao.pt">http://www.cvrdao.pt</a> ) .....	24
Figura 5 - Associações parceiras da UDACA (retirada de <a href="http://www.udaca.pt">http://www.udaca.pt</a> ).....	25
Figura 6 - Abastecimento à linha de engarrafamento.....	26
Figura 7 - Estação de lavagem das garrafas .....	27
Figura 8 - Estação de trabalho Engarrafamento. ....	28
Figura 9 - Estação de trabalho, Rolhagem.....	29
Figura 10 - Estação de repouso.....	30
Figura 11 - Estação de trabalho, Rotulagem.....	31
Figura 12 - Estação de trabalho, Capsulagem .....	32
Figura 13 - Estação de trabalho, fim de linha.....	32
Figura 14 - Representação virtual 1 da estação de trabalho .....	39
Figura 15 - Representação virtual 2 da estação de trabalho .....	39
Figura 16 - Estrutura feita com o plug-in FRAMEpro .....	40
Figura 17 - Representação acoplagem dos equipamentos .....	41
Figura 18 - Garra de fixação para as garrafas.....	41
Figura 19 – Representação das paletes de garrafas .....	42
Figura 20 - Representação do protótipo visto de frente.....	43
Figura 21 – Diagrama específico do sistema.....	52
Figura 22 – Equipamentos Automation Studio .....	54
Figura 23 – Controlador lógico programável .....	55
Figura 24 - Frame de programação grafcet .....	56
Figura 25 - Macros de posição .....	56
Figura 26 – HMI (Interface de comunicação) .....	57
Figura 27 - Alimentação do driver do atuador elétrico horizontal .....	59
Figura 28 - ACT Controller 2.....	59
Figura 29 - Programação do driver.....	60
Figura 30 - Modo de teste de posições .....	61
Figura 31 - Suporte atuador .....	62

Figura 32 - Suporte Cilindro.....	62
Figura 33 - Suporte Quadro elétrico .....	63
Figura 34 - Projeto Montado, diferentes perspectivas de profundidade.....	63
Figura 35 - Esquema elétrico executado no Adobe Illustrator CS6 .....	66
Figura 36 - Quadro elétrico com calha tapada e calha aberta.....	67
Figura 37 - Programa fornecido pela SMC .....	68
Figura 38 - Placa de rede do computador .....	68
Figura 39 - <i>Machine Expert</i> controlador .....	69
Figura 40 - Programação Function Block.....	69
Figura 41 – Lista Variáveis do sistema .....	70
Figura 42 - Variáveis funcionais .....	70
Figura 43 - Criação da interface 1 .....	71
Figura 44 - Interface 2 .....	72
Figura 45 – Consola Magelis Schneider Eletric .....	73
Figura 46 - Definição dos parâmetros da consola .....	73
Figura 47 - Interface consola.....	74
Figura 48 - Interface consola manual de utilização.....	74
Figura 49 - Painel luminoso motores.....	75
Figura 50 - Foto protótipo montado 1 .....	77
Figura 51 - Foto protótipo montado 2 .....	78
Figura 52 - Foto protótipo montado 3 .....	78
Figura 53 - Imagem da representação dos cilindros no Automation Studio 5.6, parte experimental .....	86
Figura 54 - Controlador com ligações .....	87
Figura 55 - Grafcet .....	88
Figura 56 - Testes experimentais Automation Studio .....	88
Figura 57 - Programação simulação .....	98
Figura 58 - Macro de posição intermedia 1 .....	99
Figura 59 - Macro de posição intermedia 2.....	99
Figura 60 - Macro de posição intermedia 3 .....	100
Figura 61 - Macro de posição intermedia 4.....	100
Figura 62 - Macro de posição intermedia 5.....	101
Figura 63 - Macro de posição intermedia 6.....	101
Figura 64 - Macro de posição intermedia 7.....	102

Figura 65 - Controller Assistant passo 1 .....	103
Figura 66 - Controller Assistant passo 2 .....	104
Figura 67 - Controller Assistant passo 3 .....	104
Figura 68 - Controller Assistant passo 4 .....	105
Figura 69 - Controller Assistant final .....	105

## LISTA DE SIGLAS / ABREVIATURAS

ATEC - Academia de Formação

CAD - *Computer Aided Design*

CLP - Controlador lógico programável

CPU - *Central Processing Unit*

GRAF CET - *Functional Graph of Control by Steps and Transitions*

HMI - *Human Machine Interface*

JIT - *Just-in-Time*

PDCA - *Plan, Do, Check, Act*

PLC - *Programmable Logic Controller*

SFC - *Sequential Function Chart*

TPS - *Toyota Production System*

UCP - Unidades de processamento central



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento

Atualmente, com o aparecimento constante de concorrentes no mesmo setor, torna-se cada vez mais difícil possuir um lugar de destaque no mercado. É necessário definir estratégias que permitam desenvolver ações de melhoria ao nível do desempenho, flexibilidade, inovação, qualidade e sistemas tecnológicos dos processos.

A adoção do sistema de produção Toyota (TPS) é um fator diferenciador entre indústrias do mesmo setor, que oferece uma panóplia de soluções para aumentar performances desempenho e reduzir os desperdícios desnecessários das operações.

Aliado ao TPS, a automação de processos contribui para o aumento de produção e para a redução de erros.

Tendo por base estes pressupostos foi iniciado o estudo que fundamenta este trabalho e que visa a melhoria de duas estações da linha de engarrafamento da empresa alvo do estudo (UDACA): a estação de rolhagem e a estação de abastecimento à linha.

## 1.2 Objetivos da investigação

O presente projeto pretende, através dos princípios *lean*, identificar e eliminar fontes de desperdícios e, através da automação, aumentar a produção visando diminuir os custos de produção e libertar funcionários para exercer novas funções.

Para concretizar o objetivo principal, foram definidos alguns objetivos específicos, a saber:

- Elaborar o estudo da estação de trabalho, designada por rolhagem;
- Identificar e propor melhorias a implementar;
- Projetar um sistema automático de abastecimento de garrafas à linha.

### **1.3 Estrutura do relatório**

O presente relatório encontra-se dividido em sete capítulos:

O primeiro e presente capítulo inicia-se com o enquadramento do projeto, objetivos e estrutura do relatório.

No segundo capítulo é elaborada a revisão de literatura, são apresentadas algumas contribuições consultadas em artigos, livros e trabalhos relacionados com o tema em estudo.

No terceiro capítulo é apresentada a empresa, identificação à data da sua criação, as parcerias realizadas com os produtores locais e as etapas do seu processo produtivo.

No quarto capítulo são abordados os temas a serem investigados, todos os estudos relativos a secção de rolhagem assim como a realização de um protótipo para fazer o abastecimento à linha de engarrafamento de forma automática.

No quinto capítulo são discutidos os diversos resultados obtidos no decorrer do projeto, assim como são apresentadas algumas ideias e opiniões do autor sobre os estudos realizados

No sexto capítulo são apresentadas as conclusões do projeto desenvolvido.

No sétimo e último capítulo serão apresentadas propostas para trabalhos futuros.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

O presente capítulo tem como objetivo rever e analisar os conceitos teóricos associados ao *Lean Production* e à automação de processos. Todos os conceitos abordados neste capítulo estão diretamente ou indiretamente relacionados com o projeto desenvolvido.

Nesta revisão de literatura, inicialmente será abordada a filosofia *Lean*, a sua origem, os seus princípios e algumas das suas ferramentas a utilizar para a redução de desperdícios. Na segunda parte desta revisão de literatura será abordado o tema de automatização de processos, a sua história, os seus princípios básicos de funcionamento e programação.

### 2.1. Introdução ao *Lean*

O *Lean* é considerada uma filosofia de produção inovadora, tendo como principal objetivo a eliminação de desperdício e a constante agregação de valor a um produto ou serviço, através da redução ou eliminação de todos os desperdícios (Pereira, 2012). Considera-se desperdício tudo o que não acrescenta valor ao produto ou serviço.

O *Lean* foi conhecido primeiramente por J.Womack no seu livro “*The Machine that Changed the World*” (Womack et al., 1990). Este livro teve como principal objetivo descrever as práticas e filosofias de uma das empresas de referências na produção automóvel japonesas na década de 90 - a Toyota -, que deu origem ao *Toyota Production System* (TPS) (Melton, 2005).

O *Toyota Production System* (TPS) surge no culminar da 2ª Guerra Mundial, numa altura em que a indústria automóvel japonesa se encontrava bastante debilitada e não conseguia concorrer com as linhas de montagem em massa de Henry Ford. O TPS foi desenvolvido entre 1947 e 1975 e teve como o seu criador Taiichi Ohno.

O objetivo do TPS consiste em aumentar a produtividade e a eficiência nas linhas de montagem automóvel da Toyota, através da eliminação de todo o tipo de desperdícios e o planeamento pormenorizado de cada movimento (Ohno, 1988). Atualmente, o TPS tornou-se um modelo de prática comercial em grande parte do mundo. A utilização efetiva do TPS deverá conduzir a três resultados: menor prazo possível na entrega, com a mais alta qualidade ao mais baixo custo (Biscontini, 2020), obtendo-se um sistema de produção *Lean*.

## **Princípios TPS**

Os princípios fundamentais do TPS estão divididos em três grandes categorias: *Kaizen*, *Jidoka* e *Just in Time*. “*Kaizen*” (melhoria contínua) é o planejamento de cada movimento do processo de fabrico para que se atinja a eficiência máxima (Biscontini, 2020). “*Jidoka*” significa que quando ocorre um problema, a linha de produção para imediatamente, prevenindo defeitos nos produtos. “*Just-in-Time*” significa que cada processo da linha de montagem produz apenas o que é estritamente necessário em fluxo contínuo do produto (Pinto, 2014).

### ***Kaizen***

“*Kaizen*”, em japonês quer dizer literalmente “boa mudança ou melhoria”. Esta filosofia há muito que tem sido uma das formas mais eficazes para melhorar o desempenho e a qualidade nas organizações. Independentemente de se tratar de uma empresa industrial, uma empresa consultora ou mesmo uma entidade sem fins lucrativos, a melhoria contínua assegura a qualidade superior dos produtos e serviços, sendo um pensamento/ cultura de permanente melhoria (Pinto, 2014).

### ***Jidoka***

O “*Jidoka*” (automação com um toque humano) é caracterizado pelo constante aumento dos níveis de automação e inteligência artificial no chão de fábrica. Enfatiza a natureza dupla do “*Jidoka*” como uma “abordagem de automação” e como um “sistema de aprendizagem”. Possui a capacidade de melhorar simultaneamente a eficiência dos processos e cultivar as habilidades da força de trabalho necessárias para desenvolver e adotar melhores soluções de automação (Romero et al., 2019).

### ***Just-in-Time***

“*Desde as suas origens na fabricação japonesa, a filosofia “Just-in-Time” (JIT) foi adotada em todo o mundo. O JIT visa eliminar qualquer desperdício desnecessário nos processos de negócios*” (Bookbinder & Ülkü, 2021).

O JIT é uma técnica de produção eficiente em que os outputs são realizados em concordância com as necessidades, isto é, no momento certo, na quantidade correta e

entregues no local correto. Com esta filosofia, pretende-se entregar ao cliente as encomendas no mais curto espaço de tempo.

O sucesso desta filosofia depende de diversos fatores, nomeadamente possuir um sistema de operações estável e normalizado, de pessoas motivadas e, acima de tudo, de processos flexíveis (Pinto, 2014).

### **2.1.1 Conceito de valor**

O conceito de valor é a compensação intrínseca proveniente de uma aquisição, quer seja um bem, material ou algum tipo de transformação (atividades industriais). O valor pode ser usado para produtos ou serviços, incluído os que usamos gratuitamente (televisão, programas de rádio, feira de livros, entre outros).

Valor é tudo aquilo que justifica atenção, tempo ou esforço dispêndio a algo. Quando o conceito de valor não é totalmente preenchido não existe predisposição para aquisição ou dispêndio de tempo (Pinto, 2014).

### **2.1.2 Princípios básicos do *Lean***

Segundo Womack & Jones (1990), o *Lean* tem cinco princípios básicos; são eles:

Especificação de valor – o valor é definido pelo consumidor final. Existem diferentes tipos de atividades para produção de um produto, as que acrescentam valor diretamente, as que não acrescentam valor, mas são necessárias, e as que não acrescentam valor e não são necessárias.

Identificação do fluxo de criação de valor - a identificação do fluxo de criação de valor faz-se através do mapeamento de todo o processo para ser possível identificar todas as atividades realizadas desde a conceção do produto ou serviço até este ser entregue ao consumidor final. Os processos, ou atividades, são descritos em pormenor para posteriormente serem revistos em duas classes distintas: os que acrescentam valor e os que não acrescentam valor. Feita esta divisão começa-se a proceder à eliminação gradual de todas as etapas que não acrescentam valor ao produto final.

Fluxo - é essencial redefinir os processos, após a remoção das atividades que não geram valor, para conseguir que a produção seja realizada de forma contínua e eficiente, e consequentemente incentivar à crescente criação de valor ao produto final.

Produção Puxada - ou produção “*pull*”, consiste no facto de ser o cliente a solicitar a produção do produto. Deste modo, não existe desperdício gerado pela produção excessiva ou stocks parados por não haver procura no mercado. Para a empresa, o benefício é conseguir ter um fluxo de trabalho muito mais estável, o que não ocorre num sistema de produção “*push*”, em que é a empresa a empurrar o produto para o mercado. Este segundo tipo de produção faz com que o nível de stock e consequentemente os produtos em vias de fabrico aumentem consideravelmente, levando a um aumento dos desperdícios associados.

Procura pela perfeição - o último grande princípio do sistema de produção *Lean* consiste em procurar sempre a perfeição no produto final, para tentar eliminar todos os desperdícios através de importante que todos os operadores conheçam os processos e não só as suas funções mais diretas. Conseguir envolver todos os colaboradores na cadeia de valor do produto, para que todos possam ter uma programas de melhoria contínua e reajustes nos fluxos de produção. Para isso, é voz ativa na realização do produto, é fundamental para se encontrarem as melhores soluções para a execução e melhoria dos processos.

### 2.1.3 Desperdícios

É considerado desperdício tudo o que se faz sem acrescentar valor ao produto ou serviço. A estas atividades, os japoneses chamam de “*Muda*” pois consomem tempo e recursos. Em última análise, fazem com que os produtos e serviços fiquem mais dispendiosos do que deveriam. Estes desperdícios são visíveis através de todas as ações, materiais e processos que o cliente não percebe ou sinta importância.

Mais de 95% do tempo despendido numa empresa é utilizado em atividades que não criam valor; exemplos disso são as deslocações, inspeções, burocracias, verificações, ajustes, acertos, armazenamento, entre muitos outros (Pinto, 2014).

Existem dois tipos de desperdício: **o necessário**, que não acrescenta valor ao produto, mas tem de ser realizado, como por exemplo, a verificação da matéria-prima, realização

de mudanças de ferramentas, entre outros; e o **desperdício desnecessário**, que se deve tentar diminuir ao máximo, sendo alguns exemplos deslocamentos, paragens, avarias, entre outros. Estes desperdícios em média podem representar entre 60 e 80% dentro das organizações.

### ***Mudas***

Nesta abordagem de identificação dos desperdícios (Figura 1), o objetivo é uma produção livre de desperdícios, fundamental para chegar a uma condição onde a capacidade e a carga sejam equilibradas (Pinto, 2014).

- **Muri-** o muri manifesta-se através do excesso ou da insuficiência; este fator é eliminado através da uniformização de trabalho, garantindo que todos seguem o mesmo procedimento, tornando os processos mais previsíveis, estáveis e controláveis.
- **Mura-** o mura é tudo o que é variável; refere-se às irregularidades ou às inconsistências do sistema; este desperdício é eliminado através da adoção do sistema *JIT* procurando fazer apenas o necessário e quando for pedido pelo cliente.
- **Muda-** o muda representa tudo aquilo que não acrescenta valor, ou seja, tudo o que é desperdício e, como tal, deve ser reduzido ao máximo ou idealmente eliminado. Este desperdício refere-se a todos os componentes do produto ou serviço que o cliente não está disposto a pagar.

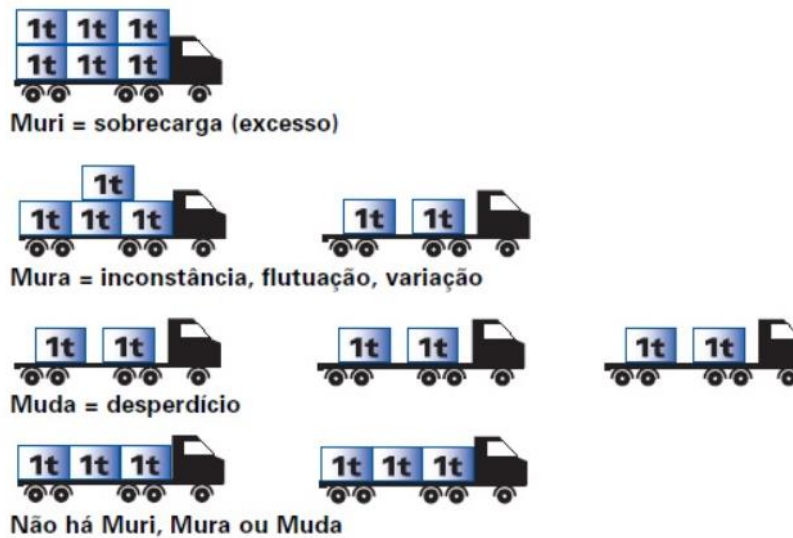


Figura 1- Muda, Muri e Muda (retirada de <http://www.clockwork.com.co/las-3-mus-muda-mura-muri>)

## 8 Desperdícios

No âmbito do *Lean*, são considerados desperdícios, segundo Pinto (2014), os seguintes (Figura 2):

**Excesso de produção** – produzir mais do que o necessário, quando não é necessário ou em quantidades desnecessárias. Algumas consequências do excesso de produção:

- Ocupação desnecessária de recursos;
- Aumento de stocks;
- Ausência de flexibilidade no planeamento.

**Tempos de espera** – refere-se ao tempo que as pessoas ou equipamentos perdem sempre que estão à espera de algo; algumas causas poderão ser:

- Fluxo obstruído (avarias, defeitos de qualidade/ acidentes);
- Problemas de *layouts*;
- Problemas e ou atrasos com entregas de fornecedores (internos ou externos).

**Sobre processamento** – os desperdícios do processo referem-se às operações e aos processos que não são necessários; um aumento dos defeitos pode ser consequência de operações ou processos incorretos. A falta de treino e ou uniformização pode também provocar desperdícios.

**Stocks** – os stocks denunciam a presença de materiais retidos por um determinado tempo, dentro ou fora da empresa. Uma das melhores maneiras de encontrar desperdícios é procurar os pontos onde há uma tendência para existirem stocks. Algumas causas da existência de stocks:

- Aceitá-los como normais;
- Fraco *layout* dos sistemas de produção, o que origina armazenamentos ou transportes;
- Elevados tempos de espera entre sistemas de produção.

**Movimentações** – referem-se aos movimentos que não são realmente necessários para executar as operações e que, por isso, não criam valor ao produto ou ao serviço; algumas causas de movimentações desnecessárias são:

- Operações isoladas;
- Incorreto *layout* de trabalho;
- Instabilidade nas operações.

**Transporte** – transporte é qualquer movimento ou transferência de materiais, partes montadas ou peças acabadas. Os transportes e movimentações ocupam espaço na fábrica, acrescem os custos, aumentam o tempo de fabrico e, muitas vezes, levam a que os produtos se danifiquem devido ao excesso de manuseamento.

**Defeitos e retrabalho** – a definição de desperdício inclui os defeitos ou problemas de qualidade; nestes estão incluídos os custos associados às inspeções, as queixas dos clientes e as reparações. Algumas causas da existência de defeitos ou retrabalho poderão ser:

- Ausência de padrões de autocontrolo e de inspeção;
- Falhas e erros humanos;
- Transporte e movimentações de materiais.

**Não aproveitamento do potencial humano** -nas últimas décadas, milhões de euros foram gastos para retirar as pessoas das fábricas, quando afinal são as pessoas o principal recurso de qualquer organização. Estas devem aproveitar a vontade e criatividade dos seus colaboradores para melhorar os seus processos, criando assim um envolvimento

entre todas as pessoas e uma cultura de confiança e respeito mútuo (Jorna Calixto et al., 2022).



Figura 2 - Os oito desperdícios (retirada de <http://www.uniengenhariadealimentos>)

#### 2.1.4 Ferramentas *Lean*

Com um mercado cada vez mais competitivo e com os problemas económicos cada vez mais evidentes, as empresas são obrigadas a arranjar formas de tornar o seu processo produtivo mais eficiente e eficaz. As ferramentas *Lean* apresentadas têm como objetivo auxiliar as empresas a controlar os seus processos produtivos, reduzir tempos de espera e desperdícios desnecessários, de modo a conseguirem ser uma referência dentro da sua área de atuação.

##### ***Heijunka***

*“O nivelamento de produção (heijunka) é uma das ferramentas enxutas que é usada para estabilizar um sistema de fabricação (reduzir o efeito chicote). O nivelamento da produção é um tipo de programação cíclica que cria regularidade de produção e simplicidade de coordenação”* (Korytkowski et al., 2013).

O *heijunka* é uma das principais técnicas para facilitar a produção (JIT), pois permite fazer uma programação nivelada, produzir itens diferentes, de forma a garantir um fluxo contínuo, conseguindo nivelar também a procura dos recursos de produção.

### **Benefícios do *Heijunka***

- Nivelar a carga de trabalho;
- Fornecer um sistema visual que permite verificar se a produção (oferta) está em sintonia com a procura;
- Reduzir os tempos de filas de espera;
- Facilitar o fluxo contínuo da produção;
- Fornecer um sistema de ritmo sofisticado para sincronizar o sistema de fabrico com o mercado.

### ***PDCA***

O ciclo PDCA (Figura 3) é uma sequência muito simples que promove a melhoria contínua. Trata-se de uma ferramenta baseada na repetição, aplicada sistematicamente aos processos, procurando a melhoria contínua para garantir o alcance das metas necessárias à sobrevivência de uma organização. Pode ser utilizada em qualquer ramo ou atividade, para alcançar o melhor nível de gestão a cada dia. O seu principal objetivo é tornar os processos da gestão de uma empresa mais ágeis, claros e objetivos (Filho, 2019).

#### **Etapas PDCA:**

- *Plan* (planear), tem associadas etapas como a identificação do problema, análise do fenómeno, análise do processo e o plano de ações;
- *Do* (executar), a etapa associada é execução;
- *Check* (verificar) etapa de verificação;
- *Action* (agir) tem como ações a padronização e/ou a implementação de ações de melhoria ou ações corretivas.



Figura 3 – Ciclo PDCA (retirado de <http://www.doxplan.com>)

## 5S

5S é uma metodologia bastante adequada à gestão empresarial, implementando a qualidade, motivando um ambiente de trabalho limpo, organizado, ágil, produtivo e seguro para posteriormente ser possível alcançar o processo de melhoria contínua (Suryaningrat et al., 2022). Os 5s trazem, em si mesmos, muitos benefícios. Entre eles, podem ser referidos: maior produtividade devido ao facto de as ferramentas estarem organizadas e por se encontrarem no local apropriado; melhor aproveitamento de materiais; melhoria da qualidade dos produtos; redução do risco de acidentes devido à organização e aumento da satisfação dos operários.

As etapas da metodologia são os seguintes:

**SEIRI (Organização)**: esta etapa consiste em evitar ou retirar tudo o que é desnecessário, ou que possui uma taxa de utilização reduzida do posto de trabalho. Estes elementos podem ser recolocados em lugares predefinidos ou simplesmente serem descartados.

**SEITON (Arrumação)**: assenta no princípio de que cada material tem o seu lugar; no fim de cada utilização é necessário torná-lo a arrumar no local devidamente identificado, para que seja possível encontrá-lo facilmente sempre que necessário. Para facilitar esta etapa,

deve ser criado um sistema de identificação visual dos objetos para que a sua arrumação e identificação seja simplificada.

SEISO (Limpeza): significa manter limpo, agora que já se retirou tudo o que é desnecessário, é essencial que o local se conserve assim. A melhor forma de limpar é não sujar. Limpar os objetos antes de os guardar é fundamental para manter a sua boa funcionalidade, conservar os equipamentos limpos e com boa apresentação.

SEIKETSU (Normalização): esta etapa é a standardização, é tornar rotina as três primeiras fases (seiri, seiton e seiso); depois de separar, organizar e limpar é necessário que estas etapas não se percam. Para facilitar esta normalização, é necessário identificar lugares, garantir iluminação suficiente, ergonomia adequada e tudo o que possa melhorar o ambiente laboral.

SHITSUKE (Disciplina): este conceito é um pouco mais abrangente do que aquilo que normalmente é considerado. É fundamental seguir as normas implementadas, assim como conhecer e partilhar a missão da organização, os valores e objetivos, por forma a melhorar a comunicação em geral. É necessário realizar auditorias periódicas para garantir que todas as etapas estão a ser cumpridas com sucesso.

### **Gestão Visual**

A gestão visual, também denominada por controlo visual, é um dos processos mais utilizados na atualidade. Tem como objetivo o aumento da eficiência e eficácia das operações (Pinto, 2014), tornando as informações mais visíveis, intuitivas e com uma leitura mais facilitada.

Existem vários tipos de sinais visuais, entre os quais se destacam os cartões *kanban*, caixas de *heijunka*, semáforos de sinalização, caixas para arrumos com sombras ou simplesmente com formas. Desta forma, a informação visual fornece aos operadores as informações necessárias para a elaboração da tarefa sem hesitações. Esta prática só se torna eficaz e possível com os 5S aplicados (Felippe et al., 2021).

Uma das vantagens da utilização de processos com controlo visual é a ausência de softwares informáticos, o que torna os processos de leitura mais rápidos e facilitadores de informação para que as decisões possam ser tomadas mais rapidamente, facilitando a tomada de decisão.

## ***Andon – Gestão Visual***

Segundo o *Lean Institute* (Instituto Internacional de *Lean*), o *Andon* pretende fazer a gestão de resultados, assim como de todo o tipo de ocorrências numa linha de montagem. A sua principal função é detetar e sinalizar todas as anomalias que possam ocorrer durante o processo. Estes sinais podem ser visuais ou sonoros; deste modo o sistema consegue sinalizar a existência de algum tipo de falhas, para que o operador consiga parar o processo de produção.

Nos processos atuais, o *Andon* consegue fornecer indicadores de desempenho e sinais luminosos importantes para um melhor desempenho de produção.

## **Uniformização e formalização**

Uniformizar é o processo de tornar tudo igual independentemente de que se faz ou usa, tornando possível a qualquer operador realizar as tarefas de uma forma standardizada.

A uniformização permite ter operações estáveis e é sobre processos estáveis e com tempos pré-definidos que assentam os programas de melhoria contínua.

Em termos de segurança, quando as operações são padronizadas, existe menos ocorrências de acidentes de trabalho e de acidentes de segurança, pois quando as operações se tornam padrão é sinal de que já foram testadas até a exaustão.

A formalização, por outro lado, implica colocar todos os procedimentos por escrito, (tudo o que se faz e para que serve), tendo como principal objetivo envolver todos nos processos de melhoria contínua.

A uniformização e a formalização promovem a comunicação e devem estar disponíveis para consulta a qualquer momento nos locais e através dos meios adequados. Estas informações podem estar presentes em locais pré-definidos ou em quadros de informação. Um exemplo prático destes sistemas são as instruções de trabalho, que podem incluir informações laborais, processuais, de segurança ou chamadas de atenção (Pinto, 2014).

### ***Standard Work***

Segundo a ATEC (Associação de Formação para a Indústria), o *Standard Work* é uma descrição pormenorizada e precisa de cada atividade, em que é possível verificar o tempo de ciclo e o “*takt time*”.

Um *standard work* é um documento que contém as sequências de trabalho com o número de stock mínimo necessário e o número de operadores para que as atividades consigam ser processadas; inclui também os tempos por atividade listada para que o desperdício possa ser minimizado.

Esta ferramenta destina-se aos operadores e não aos equipamentos ou materiais, pois são aqueles quem melhor conhecem os processos. São também os operadores que devem ser incluídos quando se pretende alterar algum “*standard work*”.

### **2.1.5 Tempo de ciclo**

Tempo de ciclo é o tempo necessário para produzir um produto, desde a sua fase de iniciação até a sua fase de conclusão. Este tempo inclui os tempos de espera da matéria-prima, até às pausas de produção.

Este indicador é muito importante para planear as encomendas de matéria-prima, analisar a capacidade produtiva e planeamento para entregas de produto acabado (Sabadka et al., 2017).

O cálculo do tempo de ciclo é efetuado através do quociente entre o número de horas de trabalho num determinado período e o número de peças produzidas nesse espaço temporal. O resultado será o tempo médio que cada peça demora a ser produzida.

### ***Lead Time***

O *Lead Time* é um métrica temporal, define-se como o tempo necessário desde que o cliente solicita à organização o seu pedido até que esta o consiga entregar ao seu destinatário (cliente) (Schneckenreither et al., 2021).

## ***Takt Time***

O *Takt time* é o tempo disponível para a produção de um determinado item ou processo, podendo ser aplicado em células de produção específicas ou em linhas de montagem.

O *Tack Time* é considerado como o ritmo de produção necessário, para não falhar entregas ao cliente ou para controlar o efeito gargalo (Santos et al., 2021). O cálculo é elaborado através de dois fatores, o tempo disponível (numerador) e a procura de mercado (denominador), como se pode ver na fórmula (1) que se segue.

$$Takt\ Time = \frac{Tempo\ disponível\ de\ produção\ (turno,\ dia,\ semana,\ etc..)}{Número\ de\ unidades\ necessárias\ por\ período\ de\ tempo} \quad (1)$$

O tempo de ciclo deve ter sempre como referência e ser inferior ao Tack Time, para não se incorrer no risco de falhar alguma entrega.

O *Lean* é uma filosofia que tem como principal objetivo diminuir os desperdícios, mantendo sempre o foco nas pessoas, nos processos e nos tempos de entrega aos clientes. A automação industrial vem de encontro ao mesmo propósito, quando conectadas, ajudam a simplificar os processos e a automatizar outros, facilitando assim o trabalho do dia a dia.

## **2.2. Sistemas de automação industrial**

A automação industrial pode ser dividida em três marcos históricos:

O primeiro grande marco histórico aconteceu em Inglaterra no século XVIII, onde se verificou a introdução de máquinas movidas a vapor e a transição de processos manuais para processos mecânicos, sendo este o primeiro grande passo para a automação industrial.

O segundo marco histórico surge no século XIX e retrata o aparecimento de um novo conceito de automação industrial com o surgimento e a utilização de eletricidade nos processos produtivos.

O terceiro e último grande marco histórico aconteceu no século XX, com o avanço da tecnologia e dos softwares de programação. Foi possível proporcionar os grandes avanços na automação industrial, conhecidos atualmente.

Um automatismo industrial é um sistema que funciona por si mesmo através de mecanismos de controle que verificam o seu estado, através de medições sem necessidade de supervisão (*Studocu*, 2016).

### **2.2.1 Automatização de processos**

A automatização de processos consiste na execução de operações sequenciais de uma forma repetitiva. Normalmente estas operações seriam efetuadas por operadores manualmente e passaram a ser executadas por ferramentas tecnológicas de forma coordenada.

As ferramentas robóticas substituem o trabalho do operador, conseguindo agilizar totalmente ou o parcialmente o cumprimento das tarefas, eliminando erros e riscos associados ao operador.

Os sistemas automatizados devem ser projetados e programados especificamente para o cumprimento de tarefas específicas. São controlados por estímulos pré-definidos. No entanto não excluem a intervenção humana. Permitem diminuir a intervenção humana, libertando os operadores para a execução de outras funções.

Quando se automatizam processos, deve-se ter em conta os fluxos de trabalho já existentes, para que a sua implementação seja mais facilmente aceite nas rotinas das empresas (Bacelar, 2021; Bermudez Irreño, 2021; Santos, 2023).

Segundo Foit et al., (2018), os sistemas pneumáticos são os sistemas de acionamento e controlo mais utilizados na indústria. Os acionamentos são caracterizados pela sua simplicidade e pela sua boa relação entre carga e desempenho.

Apesar da preparação do ar comprimido ser dispendiosa e uma das principais fontes consumidoras de energia, a utilização destes dispositivos ainda consegue ser rentável devido à simplicidade de construção, fácil manutenção e alta durabilidade dos equipamentos em plenas condições de funcionamento.

A utilização de sistemas de ar comprimido, face aos demais, tem as seguintes vantagens:

- O ar é um recurso ilimitado, pode ser retirado diretamente do ambiente,
- Inexistência de contaminação do ar, pode ser devolvido ao ambiente no final da utilização,

- O ar comprimido não causa risco de explosão, pode ser utilizado em ambientes perigosos.

Uma possibilidade distinta é utilizar energia elétrica no sistema de controlo e utilizar o ar comprimido nos atuadores pneumáticos (lineares ou rotativos). Esta abordagem é convencionalizada como abordagem mista (sistemas electropneumáticos ou sistemas pneumáticos de comando elétrico).

A utilização destes componentes elétricos impulsiona a utilização de controladores lógicos programáveis (em inglês, *Programmable Logic Controller PLC*), que permitem implementar estratégias de controlo mais avançadas.

### **Métodos de descrição do funcionamento de sistemas**

Para a descrição do funcionamento de um processo sequencial atualmente estão disponíveis diferentes métodos, dos quais se destacam (Foit, 2018):

- Diagramas esquemáticos;
- Descrição na forma simbólica;
- Representação do fluxograma GRAFCET;
- Representação sob forma de um gráfico.

Quando um autómato dispõe um o conjunto de linguagens de programação variado e entre elas uma linguagem próxima da representação em fluxograma Grafet (acrónimo do francês *Grphe Fonctionnel de Commande, Étapes Transitions*), opta-se pela sua escolha, uma vez que aquela surgiu para traduzir, sem ambiguidade, a evolução de um processo sequencial de funcionamento em ciclo. O GRAFCET foi criado pelas associações ACET (*Association Française pour la Cybernétique Economique et Technique*) e ADEPA (*Agence nationale pour le Développement de la Production Automatisée*), em 1977, como representação gráfica que, mais tarde, foi adotado como um standard pela norma IEC 848.

Atualmente, a linguagem gráfica de programação SFC (*Sequential Function Chart*), que adota o Grafcet, é uma das cinco linguagens gráficas usadas como padrão pela norma IEC 61131-3. (Foit et al., 2018)

### 2.2.2 Programação sequencial

A programação sequencial aciona circuitos em sequência, estes podem ser programados individualmente (para cada canal), esta programação é facilmente encontrada em situações do quotidiano, como semáforos, simuladores e iluminação pública (Braga, 2023).

Uma das metodologias mais usadas para desenvolver processos de forma sequencial é o “*Grafcet*” do processo (Zaidi & Kheder, 2022). O objetivo é fazer uma descrição pormenorizada das etapas, assim como do seu comportamento, consoante as informações que recebe e transmite. Fornece uma conversão orientada para ser possível encontrar um funcionamento rigoroso, evitando incoerências, bloqueios e conflitos durante o funcionamento sequencial de um autómato (Wang et al., 2022; Zaidi & Kheder, 2022).

Para um correto funcionamento sequencial é necessário que esta metodologia seja aplicada de uma forma clara, deve ser apresentada de forma sintética para facilitar a sua leitura, possuir uma programação estruturada de forma descendente e possuir as tarefas descritas de forma hierárquica.

Para se desenvolver um projeto industrial que contenha programação é indispensável que este possua um controlador lógico, com finalidade de ser possível efetuar a programação e o respetivo controlo dos processos. No caso da indústria utiliza-se maioritariamente o controlador lógico programável (PLC), pois este permite um correto funcionamento mesmo nas condições mais extremas (poeiras, condições térmicas).

Para efetuar o controlo e a monitorização dos processos estes necessitam possuir valores, pois precisam de ser transformados em grandezas físicas e elétricas, controladas por sensores. Caso os sensores não sejam suficientes é possível efetuar o controlo por fases intermédias denominadas por módulos de entrada e saída.

Os módulos de entrada e de saída são os responsáveis por, respetivamente, enviar aos atuadores e receber dos sensores, valores que são processados nas unidades de processamento central **CPU** (*Central Processing Unit*) do controlador lógico programável (CLP).

Quando se desenvolve um projeto de automação industrial. É necessário pensar na forma de comunicação entre equipamentos, no modo como o autómato é ligado aos dispositivos periféricos existentes e qual o protocolo de comunicação a adotar.

Os protocolos de comunicação fazem com que tudo funcione como desejado, cada projeto de automação é considerado como único e deverá ter as suas trocas de informação corretamente definidas (Cravo, 2021).

#### **2.2.4 Acionamentos**

Os atuadores são os mecanismos que produzem trabalho mecânicos e eletromecânico. No caso particular de movimentação linear, poder-se-á recorrer a atuadores pneumáticos, hidráulicos ou elétricos. A escolha do atuador depende de diversos fatores nomeadamente a precisão, versatilidade, velocidade e torque.

Um atuador pneumático é um elemento mecânico que por meio de movimentos rotativos ou lineares, fazem transformações de energias cinéticas geradas por ar comprimido em energias pneumáticas (FIALHO, 2018).

Quanto ao comando, estes dispositivos podem ser acionados manualmente (por botão, diretamente ou à distância), por dispositivo mecânico (sensores de final de curso, sensores de proximidade) ou outros (sensores de indução, infravermelhos), estes acionamentos dependem de diversos fatores, entre eles a finalidade da utilização do atuador e o ambiente onde este está inserido.

Um servomotor é considerado um acionamento eletromecânico e efetua o movimento de rotação do seu eixo e transforma esse movimento em movimento linear. A transformação pode ser efetuada por diferentes métodos, dependendo do servo motor, alguns modelos utilizam o sistema de parafuso e porca, outros utilizam sistemas de correias ou tecnologias magnéticas. Para controlo o sentido de rotação é utilizado um inversor que fornece sinais de tensão positiva ou negativa. Se a tensão aplicada no motor for positiva o rotor gira numa direção, porém se a tensão aplicada for negativa o rotor gira na direção oposta.

Um servomotor, para estar em pleno funcionamento, tem de ser controlado através de um controlador de codificador (Encoder). Estes permitem converter valores em movimentos mecânicos precisos, com elevada velocidade de resposta.

Os motores elétricos com funcionamento a passo são outro tipo de acionamento eletromecânicos. Estes, para além de precisarem de um controlador, necessitam de ser posicionados de forma precisa, num ângulo exato, e não só a velocidade como a corrente

têm de ser definidas ou reguladas. São controlados por campos eletromagnéticos que são ativados ou desativados de forma eletrônica (Robalo, 2010).

Estes motores têm características diferentes dos diversos motores convencionais, pois estes não usam escovas ou comutadores e possuem um número máximo de polos magnéticos dependendo dos modelos escolhidos.

Estes tipo de motores foi inventado em 1936 por Marius Lavet (Theodore Wildi, 2002). Os motores de passo podem também ser utilizados em diversos processos como, por exemplo em máquinas de corte a laser, fresadora ou numa simples impressora doméstica.

### 2.3. Ferramentas de software (simuladores)

Para o apoio ao desenvolvimento de um projeto, que envolve a elaboração de estruturas mecânicas articuladas de movimentação e a sua automação estão atualmente disponíveis diversos softwares específicos para cada subárea.

No desenvolvimento de um projeto, o projetista poderá recorrer a ferramentas de desenho gráfico, de cálculo e de simulação de estruturas que o auxiliam na análise da viabilidade, análise de dimensionamento, desenhos (2D e 3D), análise mecânica, documentação e desenhos técnicos. Estas estão disponíveis gratuitamente (em versões de demonstração ou educação) ou são pagas (versões para uso profissional).

Estas fornecem ferramentas mais ou menos alargadas que ajudam no desenvolvimento de estruturas metálicas, desenvolvimento de mecanismos (máquinas de soldadura, pneumáticas e robôs industriais). São exemplos de ferramentas didáticas de projeto e simulação: 3D Inventor®, SolidWorks® e AutoCAD®.

O software de CAD (desenho auxiliado por computador) 3D Inventor® disponibiliza ferramentas profissionais para projetos de mecânica e simulação de produtos, é uma combinação avançada de capacidades de desenho paramétrico, direto, formas livres em que todos são baseados em regras. Possui ferramentas integradas para chapa metálica, armações, tubagens e canalizações, cabos e ligações, apresentações, renderização, simulação, projeto de máquinas e muito mais. É compatível com modelos de capacidades avançadas que permitem incorporar informações de fabrico diretamente em modelos 3D (*Inventor*, 2023).

Os pacotes CAD do SOLIDWORKS® abrangem o projeto, a simulação, estimativa de custos, verificações de sistemas de trabalho, design sustentável e gestão de dados.

As licenças CAD 3D do SOLIDWORKS incluem Serviços de nuvem (soluções on-line), que conecta os dados CAD do SOLIDWORKS à plataforma 3DEXPERIENCE (plataforma própria do SOLIDWORKS), contem novos recursos para compartilhar e marcar projetos 3D, fornece um local para armazenar e aceder a projetos com segurança e possui a capacidade de gerir formalmente as alterações de projeto (SOLIDWORKS 3D CAD, 2017) .

O AutoCAD® é um software CAD, utilizado principalmente para projetar e anotar peças de desenho técnico em duas dimensões (2D), criação de modelos tridimensionais (3D), superfícies e objetos diversos. Além dos desenhos técnicos, o software disponibiliza ferramentas para automatizar tarefas como a comparação de desenhos, substituição de blocos, contagem de objetos e a criação de planificações. Nas versões mais recentes já é possível criar um espaço de trabalho personalizado para maximizar a produtividade (Autodesk AutoCAD, 2024).

Todos os softwares de desenvolvimento auxiliado por computador apresentados são muito idênticos uns aos outros, possuindo características muito similares (mudando apenas alguns comandos), a escolha sobre a utilização de cada programa depende muito do gosto pessoal do utilizador.

No desenvolvimento de circuitos elétricos e simulação de sistemas é essencial analisar todo o projeto, pois estes envolvem todos os componentes físicos presentes. É a partir desta representação com altos níveis de precisão que se torna possível efetuar uma previsão do desempenho dos mesmos tal como identificar possíveis problemas para otimizar soluções.

Existem diversos programas para projetar e testar circuitos elétricos, entre eles o (Automation Studio®, AutoCad Electrical® e Solidworks elétrico®). Estes programas têm como principal objetivo criar e testar circuitos através de simulações, antes destes serem implementados, para garantir o seu correto funcionamento.

“O Automation Studio™ é um software de design e simulação que cobre todas as tecnologias para efetuar um projeto de máquina, inclui livrarias (hidráulica, pneumática e elétrica), controlos, HMI e comunicações durante todo o ciclo de vida do produto. É

possível combinar todas estas tecnologias para projetar, documentar e simular sistemas complexos (*Automation Studio*<sup>TM</sup>, 2023).

O AutoCad Electrical é um conjunto de ferramentas que está incluído no AutoCAD e tem como objetivo efetuar representações elétricas que ajudam a criar, modificar e documentar sistemas de comandos elétricos. Com esta ferramenta é possível aceder a uma biblioteca com símbolos elétricos, com o objetivo de automatizar, numerar e gerar etiquetas nos condutores (Autodesk, 2024).

O SOLIDWORKS Electrical é um software de planeamento de sistemas elétricos integrados que exige um conjunto unificado de ferramentas elétricas para efetuar diagramas unifilares (apresenta os dispositivos e o trajeto dos condutores em suas posições físicas) ou multifilares (representação minuciosa de uma instalação elétrica, mostra todos os condutores e componentes) (SOLIDWORKS, 2024).

A programação do PLC é usada para automatizar processos industriais, depende da marca, do modelo específico e da linguagem de programação colocada ao dispor de cada versão. O utilizador poderá encontrar variadas soluções.

Atualmente são utilizadas na indústria controladores lógicos programáveis, nomeadamente controladores Schneider, Siemens, Mitsubishi entre diversas marcas e modelos que possuem softwares de programas e simulação (soluções integradas). Para efetuar a programação dos mesmos cada modelo dispõe de programas específicos, no caso dos controladores Schneider Electric a programação é atualmente efetuada com recurso ao software *Machine Expert*, nos controladores da Siemens é utilizado maioritariamente o software da Logo e nos controladores da Mitsubishi maioritariamente é usado o Melseft Gx.

A programação dos diferentes controladores lógicos é feita da mesma maneira, pois utilizam as mesmas linguagens de programação, linguagem Function Block Diagram (FBD) e Ladder Diagram (LAD) entre outras, as grandes diferenças encontram-se no *layout* dos *menus* e na disposição de janelas específicas de programação.

Como proposição, resultante do anteriormente exposto nesta revisão de literatura, pode afirmar-se que a automatização de processos pode ser vista como uma forma de diminuir tempos de atividade, libertar trabalhadores para outras tarefas, aumentar a produtividade, em suma, como uma forma de diminuir desperdícios, tornando o processo mais *Lean*.

### 3. APRESENTAÇÃO DA COOPERATIVA

A UDACA, União das Adegas Cooperativas da Região do Dão, foi fundada a 21 de maio de 1966, com o objetivo de alavancar os vinhos da região do Dão.

A UDACA tem como missão a promoção e comercialização dos vinhos da região do Dão em todos os mercados nacionais e além-fronteiras, sendo a internacionalização uma das suas estratégias, contando com uma taxa de exportação superior a 65%.

Cerca de 60% da totalidade dos vinhos produzidos na região do Dão são engarrafados na estação de engarrafamento da UDACA. É constituída por uma loja, museu, auditório, laboratório, armazém, duas linhas de engarrafamento e cave subterrânea. Na Figura 4 é visível a frente de loja da UDACA, em Viseu. Para além disso, é também um palco para diversos tipos de eventos sociais.



Figura 4 - Exterior da UDACA (retirada de <http://www.cvrdao.pt>)

As dez associações atualmente pertencentes à UDACA (Figura 5) são as adegas cooperativas de Silgueiros, Tondela, Santa Comba Dão, Nogueira do Cravo, Ervedal da Beira, Vila Nova de Tazem, São Paio, Nelas, Mangualde e Penalva do Castelo.



Figura 5 - Associações parceiras da UDACA (retirada de <http://www.udaca.pt>)

### 3.1 Processo produtivo

O processo de engarrafamento da UDACA é composto por duas linhas de enchimento. A grande diferença entre elas é a capacidade produtiva: enquanto a linha um possui um sistema de engarrafamento circular com capacidade para cerca de 3500 unidades por hora, a linha dois constitui um sistema de engarrafamento linear com capacidade para engarrafar 2000 unidades por hora.

#### 3.1.1 Etapas de funcionamento da linha de engarrafamento

Uma linha de engarrafamento consiste numa sequência de operações, passando pelo enchimento das garrafas com um determinado líquido, até ao seu acondicionamento em caixas de cartão. Este processo pode variar com o tipo de líquido, a velocidade de enchimento e outros requisitos específicos do processo.

Podem-se destacar as operações de lavagem da garrafa, o enchimento e o fecho da garrafa (por aplicação de rolha ou de cápsula). Outra operação a considerar, no caso de a linha ser automática, é a introdução das garrafas à linha.

- **Colocação das garrafas na linha de engarrafamento**

Na Figura 6 é possível verificar que as garrafas chegam à linha de engarrafamento através de euro paletes com cerca de 2,4 m de altura, distribuídas por sete andares de garrafas (na imagem, já tinham sido retiradas garrafas para abastecer a linha de engarrafamento). As garrafas vazias são retiradas por um operador que verifica o seu estado. Coloca-as, de seguida, manualmente no início da linha de engarrafamento, esperando que o tapete rolante as leve para a primeira estação de trabalho (são colocadas seis garrafas de cada vez).



*Figura 6 - Abastecimento à linha de engarrafamento*

- **Lavagem da garrafa**

As garrafas, depois de serem colocadas pelo operador na linha, passam por um processo de lavagem com produtos específicos que garantem a remoção de substâncias gordurosas e a eliminação de microrganismos.

Depois de concluído o processo de lavagem (Figura 7), as garrafas são enxaguadas com jatos de água mineral para lhes retirar vestígios de produtos nelas anteriormente inseridos (caso das garrafas reutilizadas). Posteriormente, passam para um processo de secagem por jatos de ar comprimido para lhes retirar os restos de água presentes.



*Figura 7 - Estação de lavagem das garrafas*

Esta parte do processo é muito importante, pois mesmo as garrafas novas (não recicladas) não estão livres de contaminação. Devem ser submetidas a vários processos de lavagem antes de serem enchidas com vinho.

Todos os produtos, mesmo a água, devem de ser isentos de bactérias ou microrganismos, de modo a evitar a contaminação do vinho. Por este motivo, o equipamento de lavagem é um dos mais importantes no processo de engarrafamento e deve ser sujeito a manutenções periódicas.

- **Engarraamento**

O engarraamento consiste em colocar uma determinada quantidade de vinho na garrafa deixando algum espaço em vazio para eventuais dilatações e para que o processo seguinte, denominado de rolhagem, seja feito em plenas condições.

O sistema de engarraamento controla a quantidade de vinho consoante a capacidade da garrafa. Trata-se de um processo simples, em que o vinho é colocado através de sistemas ajustáveis a um ritmo previamente definido para não colocar em risco as propriedades do vinho (Figura 8). O sistema de enchimento está interligado com as cisternas através de canais de enchimento diretos, que conduzem o vinho até à garrafa, através de tubos previamente desinfectados e sujeitos a controlos de qualidade contínuos.

A velocidade de enchimento não é uniforme, diminuindo à medida que a capacidade da garrafa começa a chegar ao limite.



*Figura 8 - Estação de trabalho Engarraamento.*

- **Rolhagem**

A rolhagem é o processo de colocação de uma rolha de cortiça na garrafa através da aplicação de pressão. A sua principal função é proteger o vinho de contaminações e oxidações. O sistema existente na linha é standard o que facilita o processo de rolhagem (Figura 9).

A colocação da rolha deve obedecer a diversos princípios, nomeadamente a colocação da rolha sem a danificar e evitar a criação de fendas aquando da sua colocação, pois estas possibilitam a entrada de microrganismos e a oxidação do vinho. A pressão deve ser adequada de modo que esta seja uniforme em toda a superfície da rolha.

A colocação da rolha na garrafa é efetuada por mecanismos automáticos. No entanto, o abastecimento das rolhas à estação de rolhagem é feito de forma manual.



*Figura 9 - Estação de trabalho, Rolhagem*

- **Tempo de espera entre a estação de rolhagem e rotulagem**

Antes da entrada nas últimas estações de trabalho, as garrafas são obrigadas a cumprir um determinado tempo de espera. Este atraso no processo, após a estação de rolhagem, é conseguido aumentando o percurso das garrafas até à entrada da estação de rotulagem, ou seja, pelo aumento do percurso, movimento intermédio das garrafas em tapetes rolantes dispostos em “S” (Figura 10, designada por estação de repouso).

O tempo de espera tem como principal objetivo a aceitação e moldagem da rolha de cortiça ao gargalo da garrafa, criando uma espécie de memória na rolha para que esta se molde ao gargalo, evitando que se solte no decorrer das próximas estações de trabalho.

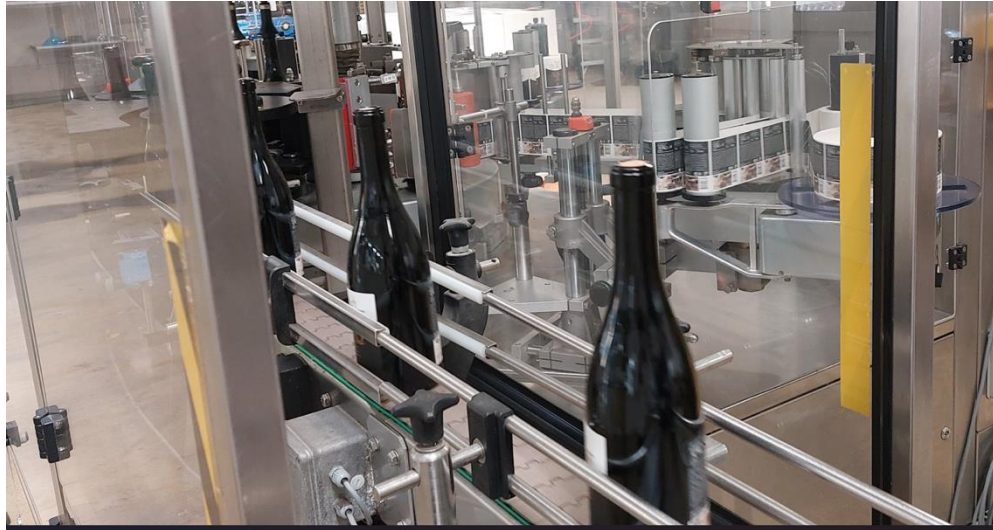


*Figura 10 - Estação de repouso*

- **Rotulagem**

Na estação rotulagem são colocados dois tipos de elementos visuais, o rótulo e o contrarrótulo, que devem possuir informações como: a marca do vinho, teor alcoólico, volume, local de origem, produtor e engarrafador, prazo de validade, composição do produto, entre outras informações importantes para os consumidores (na Figura 11 pode ver observada estação de rotulagem).

Todas estas informações têm de ficar visíveis sem nenhum tipo de defeito quando colocadas nas garrafas; para isso, a rotulagem é feita de forma totalmente automática. Apenas é manual a parte da reposição de novos rolos de etiquetas.



*Figura 11 - Estação de trabalho, Rotulagem*

- **Capsulagem**

A última operação da linha de engarrafamento, designada por Capsulagem, consiste em lacrar o gargalo da garrafa, de modo a evitar possíveis contactos do vinho com o ar. Esta operação serve para efeitos de qualidade, mas também para o embelezamento da garrafa (Figura 12).

A cápsula é constituída por material polimérico e a sua adesão à garrafa é feita por deformação a quente, através da sua passagem por uma unidade de resistências elétricas. A contração e unificação da cápsula ao gargalo é efetuada durante o arrefecimento.

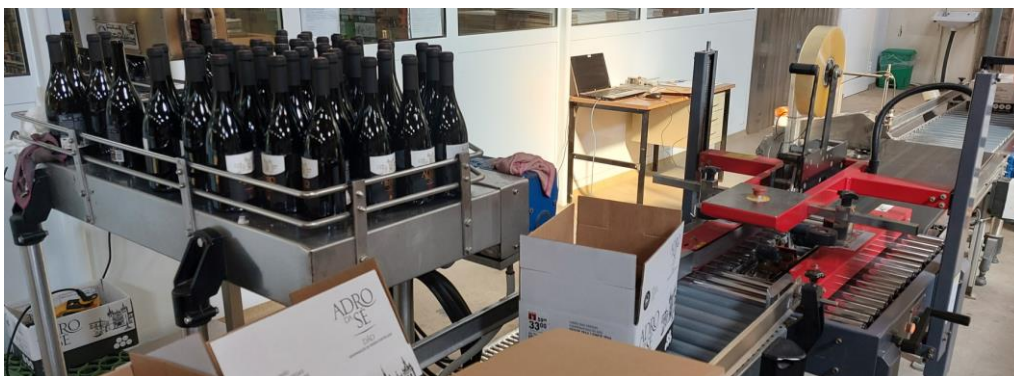


*Figura 12 - Estação de trabalho, Capsulagem*

- **Fim de linha**

Aquando da chegada das garrafas ao fim da linha de engarrafamento, os operadores têm como principal função verificar se todo o processo de engarrafamento foi corretamente cumprido, assim como a sua aparência.

Ao concluir a verificação das mesmas, os operadores fazem o embalamento e acondicionamento das garrafas nas respectivas caixas conforme exigido pelos clientes.



*Figura 13 - Estação de trabalho, fim de linha*

## **4. TRABALHO DESENVOLVIDO**

No âmbito das comemorações dos 30 anos do Departamento de Engenharia Mecânica, foi efetuada uma visita extracurricular às instalações da cooperativa UDACA. No decorrer da visita às linhas de engarrafamento, foi lançado o desafio, pelo responsável da cooperativa, de se tentar melhorar duas estações de trabalho.

Mais tarde, e de acordo com os responsáveis técnicos e administrativos da cooperativa, foi marcada uma nova visita para observar com mais calma o funcionamento das linhas e em pormenor as particularidades das duas estações passíveis de melhoria.

### **4.1 Problemas da linha de engarrafamento**

A UDACA possui duas linhas distinguidas, por possuírem capacidades de engarrafamento diferentes. O diagnóstico e a análise apresentados neste capítulo, são relativos à linha de maior capacidade.

Foram dois os pontos de melhoria identificados e que se tornaram desafios: reduzir o estrangulamento na estação de rolhagem; e criar uma estação para, de forma automática, efetuar o abastecimento das garrafas vazias à linha (iniciar o desenvolvimento de um protótipo).

### **4.2 Propostas de solução**

Uma proposta de solução é um documento escrito que descreve um projeto, geralmente inclui objetivos, métodos usados para resolução do problema, cronogramas, orçamento, resultados e requisitos específicos do projeto.

Foram elaboradas duas propostas de solução para os problemas identificados na linha de engarrafamento, descritas em pormenor nos pontos seguintes deste relatório.

A solução proposta para resolver o efeito gargalo na estação de rolhagem inclui uma análise detalhada da estação de trabalho (capacidades de máquina, preços e pressupostos de funcionamento), orçamentos para novos equipamentos de capacidade mais elevada e plano de retorno financeiro realizado para os novos equipamentos.

A outra com o intuito de automatizar a estação de trabalho “abastecimento à linha de enchimento”, que inclui um estudo detalhado sobre a estação de trabalho, uma simulação

virtual e programação, foram selecionados equipamentos para desenvolver um protótipo à escala 1:4 da realidade, sendo necessário posteriormente interligá-los e programá-los para que estes desenvolvessem as suas funções.

#### **4.2.1 Posto de rolhagem**

A rolhagem consiste em colocar a rolha de cortiça no gargalo da garrafa (de vinho, no caso em análise). É este o ponto de estrangulamento da linha, pois é este processo que define a velocidade de funcionamento de toda a linha de engarrafamento.

A linha tem a capacidade de engarrafar aproximadamente 3500 a 3600 garrafas por hora. Contudo, com o sistema atual de rolhagem, estes valores estão longe de ser atingidos.

O atual rolhador (designação atribuída ao equipamento que efetua a rolhagem) permite efetuar a rolhagem com diferentes tipos de materiais (plástico, cortiça natural e aglomerados de cortiça), tendo estes implicações diretas na capacidade do equipamento. De entre os tipos de materiais disponíveis no mercado dos vinhos para produzir a rolha, os mais utilizados na cooperativa são a cortiça natural ou aglomerados de cortiça.

O tipo de composição da rolha influencia diretamente a velocidade do processo: rolhas feitas com aglomerados de cortiça permitem que a rolhagem atinga uma capacidade de cerca de 3200 unidades por hora, enquanto as rolhas compostas por cortiça natural só permitem uma capacidade de aproximadamente de 2800 unidades por hora (redução da capacidade devido à necessidade de o equipamento efetuar mais pressão para colocar a rolha no gargalo da garrafa). Todos os outros materiais não foram contemplados pelo facto de a sua utilização ser praticamente nula na linha de engarrafamento da UDACA.

Face ao exposto, é possível perceber que esta estação é uma limitação ao funcionamento da linha, pois embora a capacidade instalada da linha seja de maior capacidade, esta está sempre dependente da estação de rolhagem.

Com os dados fornecidos pela cooperativa é possível verificar que a cada turno de 8 horas são engarrafadas cerca de 12000 unidades, o que equivale a uma produção real por turno de 1500 unidades por hora. Este foi o ponto de partida para os estudos desenvolvidos para a estação de rolhagem e subsequente proposta de solução.

## **Análise de soluções para a rolhagem**

Aquando da percepção da limitação na estação de trabalho da rolhagem, foi realizada uma breve análise, juntamente com os responsáveis de produção e manutenção, para tentar perceber quais as medidas que podiam ser implementadas naquela estação de trabalho, de modo a aumentar a sua capacidade real.

Algumas soluções surgiram intuitivamente, como a troca direta do equipamento ou acrescento de outra cabeça de rolhagem que funcionaria em paralelo com a existente.

Após uma pesquisa junto de potenciais fornecedores de equipamentos vinícolas, foi possível fazer um levantamento dos tipos de equipamentos existentes no mercado, bem como dos preços praticados. Com estes dados fez-se um estudo sobre a rentabilidade de um novo equipamento, caso fosse essa a opção escolhida pela cooperativa. Para isso, será feita uma análise do retorno do investimento na aquisição de um novo equipamento. Para que o estudo fosse o mais aproximado da realidade foram solicitados alguns dados à cooperativa (Tabela 1), nomeadamente os custos unitários cobrados aos clientes, as margens de lucro, entre outros, de realçar que estes foram prontamente cedidos.

*Tabela 1 - Tabela de custos e produção atual*

Designação	Custos
Preço venda	0,15 €
Margem de lucro	10%
Quantidade por dia	12000
Horas reais de produção	5
Produção por hora	2400
Total de vendas	1 800,00 €
Lucro esperado	180,00 €

Para a realização dos cálculos, foram consideradas 5 horas diárias de produção efetiva, com paragens programadas de 3 horas diárias (valor médio de tempo de paragens programadas por semana).

O funcionamento real e as paragens programadas são fatores que dependem do tamanho dos lotes a engarrafar ou programados para um turno de produção. Lotes mais pequenos têm mais paragens programadas e conseqüentemente os tempos de produção reais são menores.

Segundo dados fornecidos pela cooperativa, cada unidade engarrafada tem um preço de venda para clientes de 0,15 €. Este valor apresenta uma margem de lucro de 10%. Com os dados apresentados é possível verificar que o lucro esperado, num turno de 8 horas, é de 180 €.

O presente estudo tem como objetivo conseguir melhorar a capacidade real para 3500 unidades por hora. É através deste valor que se irá simular o plano de rentabilidade do investimento.

De acordo com a simulação realizada (Tabela 2), pode verificar-se que, se houver um aumento da produção de 2400 para 3500 unidades por hora, este representará um aumento de 45% na produção diária, sendo possível passar de 12000 para 17500 unidades engarrafadas por turno.

*Tabela 2 - Tabela de produção 3500 unidades por hora*

Designação	Custos
Preço venda	0,15 €
Margem de lucro	10%
Quantidade por dia	17500
Horas reais de produção	5
Produção por hora	3500
Total de Vendas	2 625,00 €
Lucro esperado	262,50 €

O aumento da quantidade de garrafas engarrafadas, de 12000 (valor atual) para 17500, traduzir-se-ia num aumento de lucro de 45%, de 180 € (atual) para 262,50 €.

Para que o aumento da produção seja viável, foram efetuadas pesquisas sobre eventuais fornecedores e maquinarias. No entanto, ocorreram alguns problemas na obtenção de informação e preços por questões de confidencialidade, não tendo sido possível associar valores aos equipamentos sem a consulta dos mesmos às instalações da UDACA.

Em pesquisas por equipamentos seminovos e usados, verificou-se que um equipamento com as características pretendidas teria um preço médio de 40.000 € (obtenção de dados fornecidos em confidencialidade por outras cooperativas).

Para amortizar o investimento feito, é necessário dividir o custo do equipamento (40000€) pelo acréscimo de retorno diário (82,5€), verificando-se que são necessários 485 dias úteis de trabalho para diluir o custo do novo equipamento, o que corresponde a sensivelmente

a 2 anos. Este indicador é considerado um excelente período de retorno, tornando o investimento muito atrativo (um excelente período de retorno financeiro está compreendido entre 0 e 2 anos, um bom período de retorno financeiro está compreendido entre 3 e 5 anos posteriormente a esses 5 anos a classificação do retorno já tem que ser ponderada consoante os detalhes).

#### **4.2.2 Abastecimento à linha**

O abastecimento à linha de engarrafamento de forma automática, é uma das melhorias referenciadas como fundamentais e prioritárias.

Atualmente, nesta estação de trabalho, o processo de abastecimento de garrafas é executado de forma manual. Os operadores sobem a uma escada para retirarem de uma palete um conjunto de garrafas e colocam-nas numa esteira mecânica que as introduz na linha. Os operadores executam movimentos exigentes e repetitivos.

Os movimentos de elevação, de rotação e dobragem do seu tronco, suportando nas suas mãos o peso de, por vezes, seis garrafas, para colocação das garrafas na esteira podem, no futuro, vir a causar lesões musculares e esqueléticas graves. Para além deste aspeto, a automatização do processo tornaria o abastecimento à linha um processo mais rápido.

##### **4.2.2.1 Solução encontrada**

Deste modo pensou-se que a melhor solução seria a automatização da estação (retirar o operador e automatizar toda a fase inicial do processo). Foram efetuadas recolhas de informação sobre soluções existentes no mercado que pudessem ser adaptadas ao sistema em questão, solicitadas informações técnicas e pedidas cotações.

Com cotações financeiramente inviáveis, elaboraram-se pesquisas por diversos fornecedores especializados, tendo sido possível encontrar algumas soluções. No entanto, as informações de funcionamento dos equipamentos não se encontram disponíveis para consulta. Verificou-se, ainda que a informação apenas seria cedida em caso de contratação ou prestação de serviços.

#### **4.2.2.2 Escolha da solução e desenvolvimento do protótipo**

A apresentação de um conjunto de orçamentos de soluções existentes no mercado teria sido suficiente, não fosse a empresa já ter efetuado esse trabalho anteriormente e chegado à conclusão que ia para além da sua disponibilidade financeira.

No entanto, como o trabalho se mostrou desafiante pensou-se que seria motivador, desenvolver um protótipo à escala 1:4, na medida que seria possível aplicar os conhecimentos adquiridos ao longo do seu curso.

Todo o desenvolvimento foi pensado para uma escala real, tendo em conta todas as condições da cooperativa (espaço, linhas de produção e características do produto a transportar).

Este desenvolvimento foi acompanhado e aconselhado por duas empresas de conceção, venda e manutenção de soluções industriais (SMC e SACNOR), que auxiliaram na escolha dos equipamentos e em aspetos técnicos de instalação (com base na experiência dos técnicos).

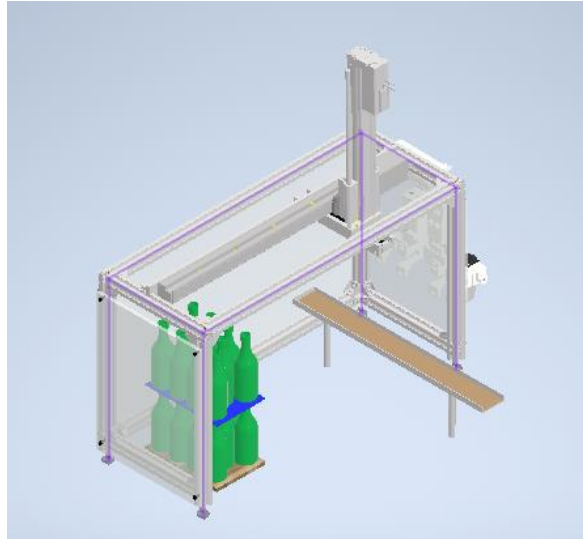
#### **Simulação do ambiente real em plataforma virtual**

Um dos pontos importantes neste projeto é a conceção virtual do protótipo em ambiente de trabalho, para isso foi utilizado o software “*Autodesk Inventor pro 2023 - versão estudante*”.

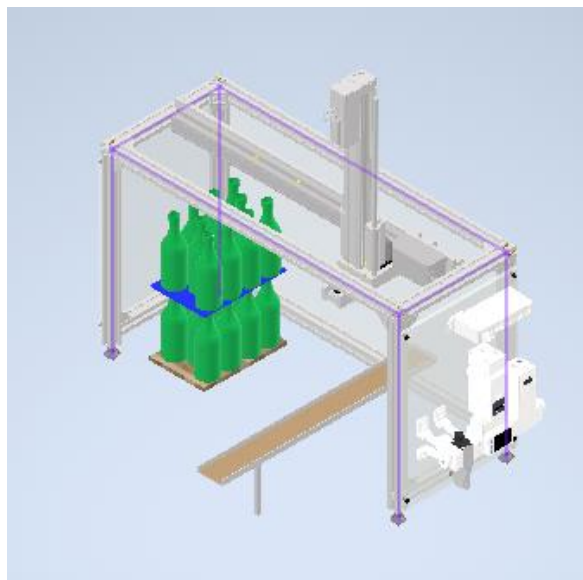
Este programa foi selecionado por possuir versão gratuita para estudantes e por estar presente nos laboratórios de investigação do Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial.

Inicialmente todos os componentes foram previamente idealizados, para isso contou-se com a ajuda dos responsáveis de produção e manutenção da cooperativa. Os elementos foram idealizados para uma escala real, tendo sido depois ajustados para uma escala 1:4.

A estação de trabalho conta com diversos componentes interligados entre si, como se pode verificar Figura 14 e Figura 15. Nesta fase do projeto os elementos serão apresentados de uma forma mais detalhada.



*Figura 14 - Representação virtual 1 da estação de trabalho*



*Figura 15 - Representação virtual 2 da estação de trabalho*

Todos os componentes pertencentes à estrutura foram elaborados com o plug-in Autodesk Inventor FRAMEpro da Bosh Rexroth, versão gratuita e acessível a todos os utilizadores.

Este complemento, tem como finalidade atribuir o perfil desejado a uma determinada estrutura já desenhada anteriormente (Figura 16).

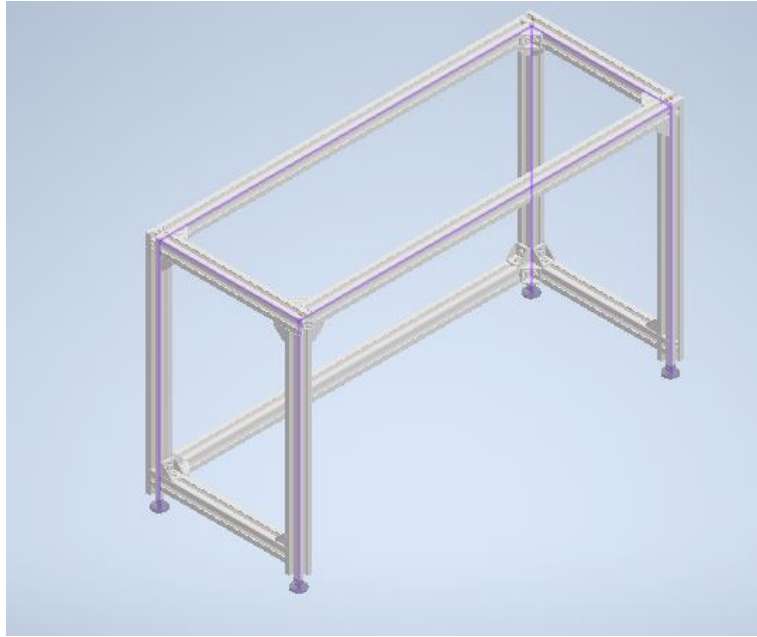
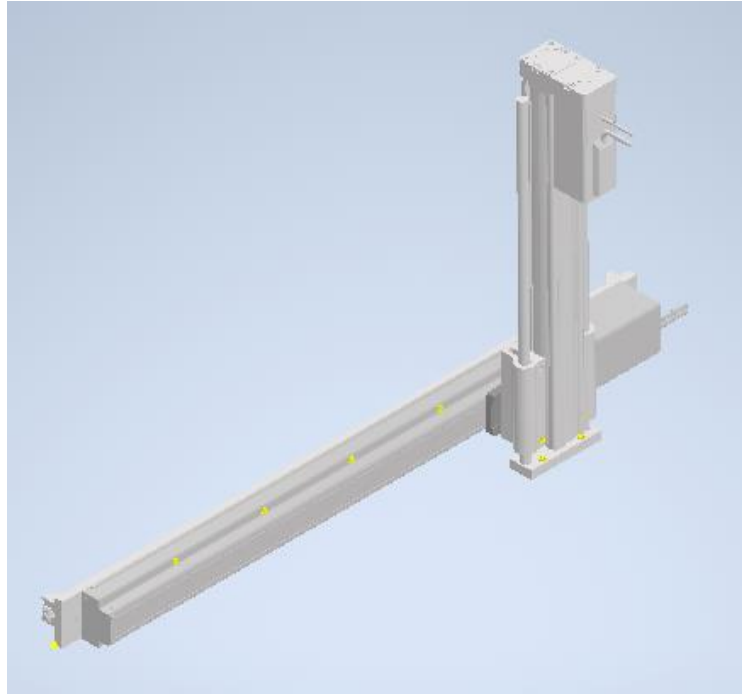


Figura 16 - Estrutura feita com o plug-in FRAMEpro

O plug-in possibilitou a escolha do perfil desejado (30x30 mm), assim como todos os acessórios adjacentes necessários para a sua montagem, permitindo assim aumentar a sua rigidez estrutural.

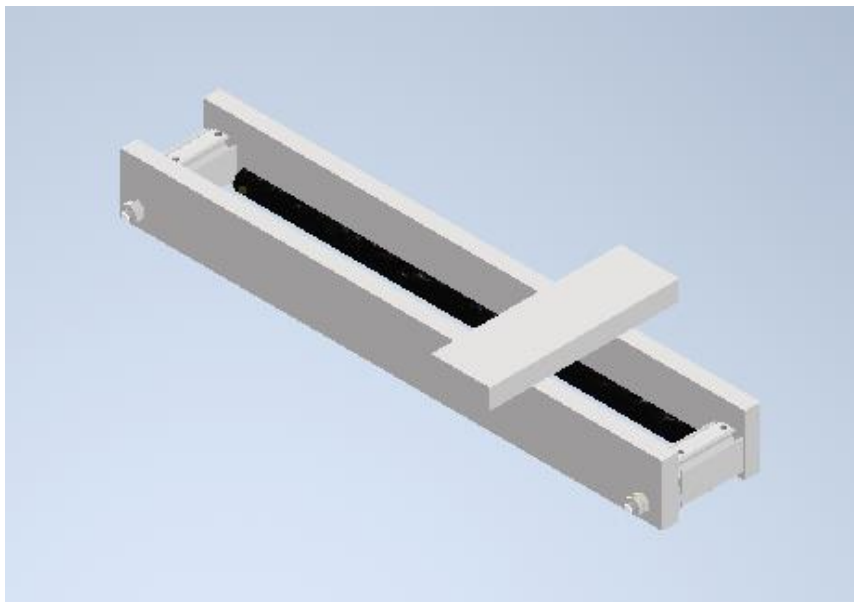
Os equipamentos de movimentação e de controlo foram retirados do “web site” da SMC, sendo que todos foram escolhidos anteriormente de forma detalhada.

Os equipamentos de movimentação (descritos pormenorizadamente mais à frente no presente relatório), estão acoplados um ao outro com recurso a ligações aparafusadas (Figura 17). Estas ligações têm de possuir resistência suficiente para suportar o peso do próprio equipamento mais o peso da carga (garrafas vazias) em movimentação no eixo horizontal x e no eixo vertical y. O atuador elétrico vertical (Figura 17) possui uma base de suporte (base para fixação do sistema de aperto criado, que fará a compressão no gargalo das garrafas vazias).



*Figura 17 - Representação acoplagem dos equipamentos*

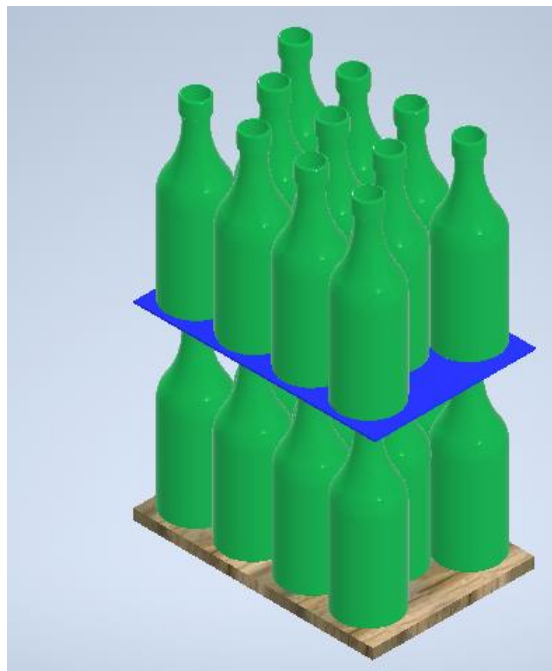
O sistema de aperto (aparafusado no atuador elétrico vertical) é constituído por duas laterais (peças em chapa ou garra) (Figura 18), uma base para a conexão ao atuador elétrico vertical e dois micro cilindros, sendo estes os responsáveis pela movimentação das laterais que permitem efetuar o aperto dos gargalos das garrafas sem os danificar.



*Figura 18 - Garra de fixação para as garrafas*

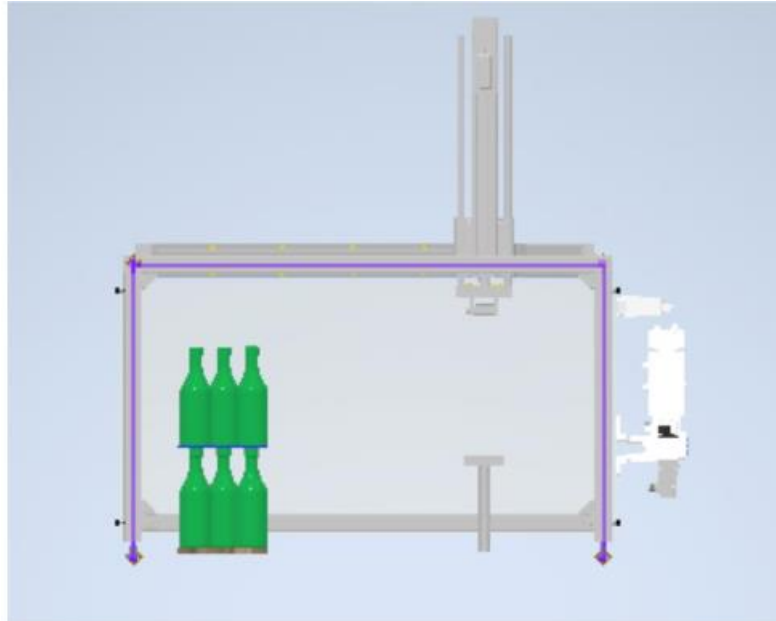
Na Figura 19, é possível verificar a representação das Euro paletes que chegam ao posto de abastecimento. As garrafas encontram-se vazias e separadas por uma divisória rígida representada pela cor azul-escura.

A sua distribuição em cada camada horizontal é efetuada da forma mais eficiente de modo que as garrafas se toquem em diagonais para facilitar todos os seus processos de movimentação.



*Figura 19 – Representação das paletes de garrafas*

É no intervalo entre as garrafas que vai penetrar o sistema de aperto, apertando-as de forma controlada para as conseguir transportar através do gargalo para a linha de montagem representada na Figura 14 com cor castanha.



*Figura 20 - Representação do protótipo visto de frente*

Para que não seja possível aos operadores a interação com os equipamentos em movimento, foram incluídos nas laterais da estrutura acrílicos de segurança.

No acrílico é possível verificar (Figura 20) a existência dos equipamentos de controlo do sistema, nomeadamente, gestão de ar comprimido, electroválvulas, controladores, entre outros equipamentos de controlo ou elétricos. Estes equipamentos foram colocados no acrílico sem grandes níveis de proteção devido a possuírem valores de intensidade de corrente e tensão reduzidos.

#### **4.2.2.3 Avaliação financeira da solução**

Um dos pontos fundamentais na elaboração do projeto é a escolha dos equipamentos e materiais a utilizar. Estes devem ser selecionados de forma rigorosa (os equipamentos foram selecionados para uma situação ideal sem limite de financiamento, no entanto nem todos foram posteriormente usados devido ao elevado custo financeiro e à existência de equipamentos similares nos laboratórios do Politécnico).

O protótipo utiliza diversas classes de equipamentos, entre eles os de movimentação, cadeia de controlo, segurança e os materiais estruturais.

## Equipamentos de movimentação

Os equipamentos de movimentação são responsáveis pelo transporte das garrafas vazias da palete para a linha de engarrafamento. Estes movimentos são efetuados de forma linear (eixos: horizontal, X e vertical, Y) com altos níveis de precisão.

Os atuadores elétricos são responsáveis por acoplar todos os elementos, nomeadamente o sistema de aperto, como visível nas Figura 14 e Figura 15. Os atuadores deslocam-se para uma fila de garrafas vazias em movimentos precisos, apanham um conjunto de garrafas pelo gargalo e transportam-nas para a linha de montagem. Este conjunto de movimentos é repetindo de forma sucessiva.

- **Atuador elétrico horizontal**


Este atuador elétrico horizontal (Tabela 3), foi selecionado por ser um atuador com 64 posições programáveis ao longo dos 500 mm de curso. Possui um corpo resistente, pois é necessário suportar o peso do atuador elétrico vertical e o peso das garrafas vazias ao longo do curso.

Possui valor de aceleração e velocidade respetivamente até  $3000 \text{ mm/s}^2$  e até  $1200 \text{ mm/s}$ , sendo possível ajustar a velocidade ao tipo de garrafas e aos objetivos de produção.

O atuador elétrico horizontal possui o driver e o cabo para efetuar as ligações necessárias para o seu funcionamento.

Tabela 3 – Características técnicas do atuador elétrico horizontal

Atuador elétrico horizontal + driver + cabo	
Marca	SMC
Modelo	LEFS25A-500-R3C918
Tamanho do corpo:	25mm
Curso:	500 mm
Aceleração:	até $3000 \text{ mm/s}^2$
Velocidade:	até $1200 \text{ mm/s}$
Tipos de degraus e servomotores	
Controle de velocidade/posicionamento	64
Codificador:	incremental
Preço (S/ IVA)	1.075,10€




- **Atuador elétrico vertical**

O atuador elétrico vertical (Tabela 4) foi selecionado por ter a particularidade de poder ser programado para efetuar 64 posicionamentos durante seu curso de 300 mm. Possui um corpo suficientemente resistente para suportar o sistema de aperto e as garrafas vazias.

Este conjunto é composto por um atuador elétrico vertical com travão, um driver e os cabos de ligação.

Tabela 4 - Características técnicas do atuador elétrico horizontal

Atuador elétrico vertical	
Marca	SMC
Modelo	LEYG25MEB-300W-R3C918
Corpo	25
Curso	300mm
Controle de velocidade/posicionamento	64
O posicionamento e o controle de pressão podem ser selecionados.	
Preço (S/ IVA)	1.128,23€



- **Micro cilindros**

Os micro cilindros (Tabela 5) têm uma extrema importância neste projeto, são os responsáveis por efetuar o momento de aperto que antecede o transporte das garrafas vazias. Estes cilindros foram selecionados por possuírem características importantes, como a sua haste de 10 mm de comprimento para que não exista muito espaço para oscilações, visto que os gargalos das garrafas vazias têm cerca de 24 mm (gargalo) e 22 mm (separação para o resto do corpo) e um furo de 6 mm com rosca para ter uma base de ligação com a garra mais resistente.

Tabela 5 - Características técnicas micro cilindros

Micro cilindros	
Marca	SMC
Modelo	CDJP2 B 6-10D- nil M9NWL
Ímã	D (Embutido)
Montagem	B (Básico)
Tamanho do furo	Ø6 milímetros
Derrame	10 milímetros
Rosca de extremidade de haste	Com Rosca
Quantidades	2
Preço unidade	Sob consulta



## Equipamentos da cadeia de controlo


Os equipamentos de controlo permitem controlar o funcionamento de um ou mais elementos de acionamento.

- **Sensores fim de curso**

Os fins de curso seleccionados (Tabela 6), fornecem a informação precisa da localização da extremidade da haste dos micro cilindros nos gargalos das garrafas vazias, para não correr o risco de as danificar no momento do aperto.

Tabela 6 - Características técnicas dos sensores fins de curso

Fins de curso	
Marca	SMC
Modelo	D-A9 (V)
Entrada elétrica:	Grommet
Tensão de alimentação	24V DC
Corrente de carga	5 a 40mA
Quantidades	2
Preço	Sob consulta




- **Electroválvulas**

As electroválvulas seleccionadas (Tabela 7) têm uma função, controlar a posição do mecanismo de aperto através do controlo do ar comprimido. Estas electroválvulas foram escolhidas por serem 5/2 (cinco orifícios e duas posições fixas: aperto e desaperto).

Tabela 7 - Características técnicas das electroválvulas

Electroválvula	
Marca	SMC
Modelo	VF1220-5M1-FM5
Válvula tipo piloto de 5 portas	
Consumo de energia Maximo:	1.55W padrão
Consumo de energia Minimo:	0.55W w /economia de energia
Retificador de onda completa (AC) integrado	
Temperatura do ambiente	Máx. 50°C
Invólucro:	à prova de poeira
Preço	Sob consulta




- **Gestão de tratamento de ar**

Os micro cilindros são pneumáticos e como tal precisam de possuir um sistema de tratamento de ar comprimido (Tabela 8). É necessário conseguir controlar o ar comprimido que entra no sistema, para isso o sistema escolhido (para uma situação ideal) possui monitores virtuais e controladores de parâmetros virtuais.

Tabela 8 - Características técnicas da gestão e tratamento de ar comprimido

Gestão tratamento de ar	
Marca	SMC
Modelo	EXA1
Monitoramento virtual e controle de parâmetros com coleta de dados de barramento de campo ou OPC UA	
Conexão sem fio de até 100 metros de alcance e 10 unidades remotas	
A criptografia de dados exclusiva impede o acesso não autorizado.	
Compatível com Ethernet e Profinet, Base sem fio ou função remota, Compatível com IO-link	
Preço	Sob consulta

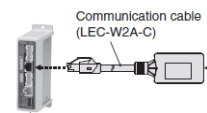


- **Cabos de comunicação**

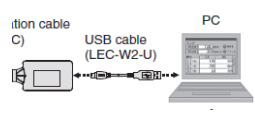
Os cabos de comunicação (Tabela 9) entre drivers e as estações de programação são importantes, é a forma de conseguir fornecer sinais programáveis entre os softwares de programação e os atuadores elétricos.

Tabela 9 - Características técnicas dos cabos de comunicação

CABO DE COMUNICAÇÃO	
Marca	SMC DRIVER
Modelo	JXC-W2A-C
Preço (S/ IVA)	
	143,59


CABO USB	
Marca	SMC
Modelo	LEC-W2-U
Preço (S/ IVA)	
	11,44



- **Controlador lógico (PLC)**

O controlador lógico (Tabela 10) tem como função, monitorizar os processos e, fazer com que a sequência de operações seja respeitada. É considerado como o cérebro dos sistemas automatizados. O modelo escolhido por possuir cartas digitais transístor (4 cartas de entrada e 4 cartas de saída) alimentadas a 24 volts.


Tabela 10 - Características técnicas do controlador lógico

Controlador lógico		
Marca	Schneider Electric	
Modelo	M262	
tensão de alimentação nominal	24 V DC - 15...20 %	
limites de tensão da alimentação	20,4...28,8 V CC	
corrente de irrupção	40 A	
Preço	984,98 €	

- **Botão Start**

Os circuitos precisam de botões Start (Tabela 11) para dar início a um ciclo de trabalho.


Tabela 11 - Características técnicas do botão Start

Botão Start		
Marca	Schneider Electric	
Modelo	XALD101H29	
Estação de control	1	
Material:	Policarbonato	
Configuração de contato	SPST-NO	
Série	XAL	
Preço	52,10 €	

- **Interruptor On/Off**

O interruptor on e off (Tabela 12) é do tipo termal e funciona com temperatura máxima de 60 °C, tem como tensão de alimentação máxima de 250 V, possui como função ligar e desligar todo o protótipo.


Tabela 12 - Características técnicas do interruptor On/Off

Interruptor On/Off		
Marca	TE Connectivity	
Modelo	W31-X2M1G-5	
Tipo de Interruptor	Termal	
Temperatura máxima de operação	60 °C	
Tensão de Alimentação de Operação	250 V	
Classificação de tensão	240 V	
Preço	26,43 €	

- **Fonte de alimentação**

Fonte de alimentação (Tabela 13) é o dispositivo que fornece tensão para alimentar o circuito. A fonte de alimentação foi selecionada por pertencer à mesma gama de equipamentos do PLC e dos restantes equipamentos da cadeia de controlo o que facilita a interligação entre ambos (equipamento escolhido para uma situação ideal).

*Tabela 13 - Características técnicas da fonte de alimentação*

Fonte de alimentação		
Marca	Schneider Electric	
Modelo	ABL8BBU24200	
Tensão máxima de entrada	30 V	
Temperatura máxima de operação	60 °C	
Tensão máxima de saída	500 mV	
Tensão de entrada mínima	22 V	
Tensão de saída mínima	250 mV	
Preço	594,33 €	

### Equipamentos de emergência


Os equipamentos de emergência desempenham um papel fundamental nos circuitos, pois diminuem a existência de riscos associados à utilização de energia elétrica para os utilizadores assim como para os equipamentos.

- **Disjuntor de proteção**

Por questões de segurança é necessário utilizar um disjuntor de proteção 16 A (Tabela 14), este protege contra os curto-circuitos e contra as sobrecargas, dos equipamentos.

Evita lesões aos utilizadores e garante que o material utilizado tenha uma maior longevidade em plenas condições de funcionamento.

*Tabela 14 - Características técnicas do disjuntor de proteção*

Disjuntor de proteção 16 A		
Marca	Schneider Electric	
Modelo	GZ1E16	
Preço	48,28 €	

- **Botão de emergência**

Por questões de segurança, os sistemas de funcionamentos automáticos, possuem um botão de emergência (Tabela 15), para salvaguardar os utilizadores e os equipamentos.

*Tabela 15 - Características técnicas do botão de emergência*

Botão emergência	
Marca	Schneider Electric
Modelo	XALK178
1 botão de pressão de cabeça de cogumelo, Ø 40 mm, vermelho 1 NF	
Preço	51,29 €



- **Placa de fixação**

A placa de fixação (Tabela 16) tem como função fixar o cilindro horizontal ao perfil escolhido, tem um mecanismo de travamento para prevenir quedas e tem velocidade e posicionamento ajustáveis.

*Tabela 16 - Características técnicas da placa de fixação*

Placa de fixação	
Marca	SMC
Modelo	EA-LEF-X25
Simplicidade de instalação e operação	
Mecanismo de travamento para prevenção de quedas	
Velocidade e posicionamento ajustáveis	
Controladores compatíveis	
Preço (S/ IVA)	65,70 €



- **Adaptador**

O adaptador (Tabela 17) tem a função efetuar a ligação entre os atuadores elétrico horizontais e verticais.

*Tabela 17 - Características técnicas do adaptador*

Adaptador	
Marca	SMC
Modelo	EA-LEYG-Z25
Um tipo de haste com guia recém-adicionada	
Compatível com rolamento deslizante e rolamento de esferas	
Compatível com carga momentânea e rolha (rolamento deslizante)	
Preço (S/ IVA)	81,61



## Materiais estruturais

Em termos de estrutura foi selecionado o perfil técnico em alumínio da *Bosch Rexroth* de secção 30x30 mm (Tabela 18), por questão de preço e resistência, pois é necessário suportar os equipamentos necessários sem ceder.

Todos os elementos utilizados para efetuar a montagem da estrutura (Tabela 19, Tabela 20 e Tabela 21) foram selecionados para se ajustarem aos perfis selecionados.

Tabela 18 - Características técnicas do perfil estruturado 30x30


Perfil estruturado 30x30		
Marca	Bosh	
Modelo	3842993703	
Dimensão modular [mm]	30	
Slot de perfil	8	
Seção transversal	30x30	
Vagas abertas	4	
Quantidade	Barra de 6 Metros	
Preço	Sob consulta	

Tabela 19 - Características técnicas do suporte 30x30 mm


Suporte 30x30 conjunto		
Marca	Bosh	
Modelo	3842523528	
Dimensão	30x30	
ESD	sim	
Informação Material	Alumínio fundido, terra vibratória, material de fixação:	
Quantidade	22	
Preço	Sob consulta	

Tabela 20 - Características técnicas dos pés de nivelamento



PÉ DE NIVELAMENTO D30 M8X65		
Marca	Bosh	
Modelo	3842502257	
Ranhura de perfil	8, 10	
ESD	sim	
Tamanho da rosca	M8	
Material	Aço, galvanizado	
Comprimento [L] [mm]	65mm	
Quantidade	4	
Preço	Sob consulta	

Tabela 21 - Características técnicas da tampa de proteção

Tampa 30x30, preto	
Marca	Bosh
Modelo	3842548745
Secção transversal	30x30
Ranhura de perfil	8
Dimensão modular [mm]	30
ESD	sim
Quantidade	4
Preço	Sob consulta



#### 4.2.2.4 Diagrama específico geral do sistema

Para realizar a simulação, em ambiente virtual, da solução proposta e garantir o seu funcionamento foi necessário escolher uma ferramenta de simulação e nela incluir os circuitos pneumáticos de comando elétrico, os circuitos elétricos, as cartas de entrada e saída que representam o controlador e o programa de controlo.

O diagrama apresentado na Figura 21 é um diagrama resumo de todo o sistema de comando do protótipo desenvolvido. Pode ser usado para que o leitor possa acompanhar a descrição das diversos módulos de que constituem o protótipo. Os retângulos apresentados constituem blocos distintos do sistema de controlo. O seu nome é referido como título. Cada bloco é explicado no decorrer do texto ao qual corresponde um circuito esquemático de funcionamento (Figuras referenciadas abaixo do título). As interligações existentes identificam os fluxos entre blocos (descritos mais à frente no texto).

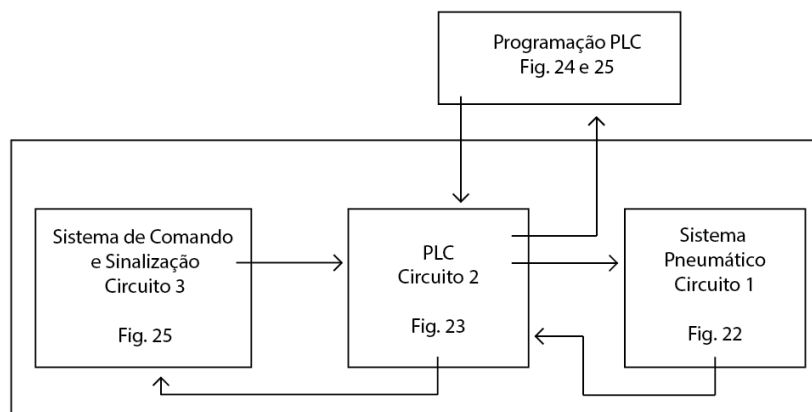


Figura 21 – Diagrama específico do sistema

Como se pode observar no diagrama (Figura 21), o Sistema Pneumático (com o mesmo título) aparece representado na Figura 22 e identificado como Circuito 1. O trabalho foi iniciado com a execução do circuito pneumático de comando elétrico, é neste sistema que contam todas as ligações e abastecimentos para os sistemas escolhidos.

Após a criação do sistema de trabalho (sistema pneumático), é selecionado um PLC que possua as cartas de entrada e saída necessárias ao funcionamento do sistema. Uma vez ter sido escolhido um controlador alimentado a 24 VDC foi necessário introduzir a fonte de alimentação no programa de desenho e simulação utilizado (Automation Studio) (Figura 22, Circuito 2)

Com o sistema de trabalho pré-definido e com o PLC com as cartas de entrada e de saída alimentadas, é necessário recorrer à programação do PLC (Figuras 24 e 25, mais à frente no texto) para colocar os equipamentos selecionados em correto funcionamento na área de trabalho.

Posteriormente à programação do PLC e aos testes da mesma para comprovar o seu pleno funcionamento, torna-se necessário desenvolver um sistema de comando e sinalização (*HMI*), para ser possível interagir mais facilmente e intuitivamente com todo o sistema. De referir que todos os elementos estão interligados entre si, para tornar o sistema ágil e fácil de manusear (sendo que tem que existir todas as trocas de informação representadas na Figura 21). O sistema de comando troca informações com o PLC do circuito que por sua vez interage com o sistema pneumático através da programação inserida no PLC.

#### **4.2.2.5 Programação do protótipo em ambiente de trabalho**

##### **Simulação do funcionamento protótipo em ambiente virtual**

A programação virtual do protótipo foi realizada no software “Automation Studio 5.6”, este programa foi selecionado por possuir versão gratuita para estudante e estar presente nos laboratórios do Departamento de Engenharia Mecânica e gestão Industrial, o que

facilita a sua utilização. O programa foi usado como base para realizar a movimentação dos atuadores elétricos e dos cilindros pneumáticos.

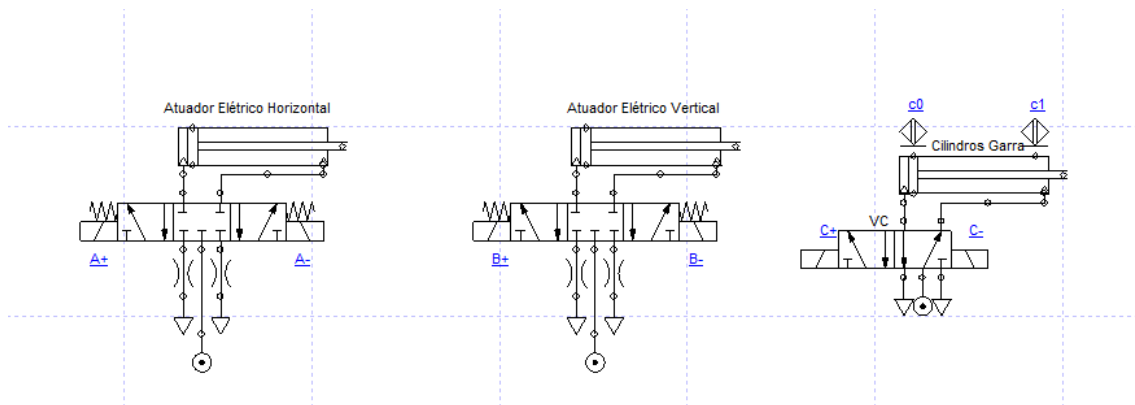


Figura 22 – Equipamentos Automation Studio

Recorrendo às ferramentas do software de desenho de circuitos, foi elaborado o circuito pneumático (representado na Figura 22) com três cilindros de duplo efeito para simular os movimentos horizontal e vertical e de aperto da garra. Apesar dos movimentos horizontal e vertical serem realizados, na realidade, por atuadores elétricos foram simulados como cilindros pneumáticos. Todos são comandados por válvulas distribuidoras. Contudo, as dos atuadores elétricos, são monoestável de 3 posições e de centros cerrados, para possibilitar a paragem em posições intermédias. Os cilindros foram configurados para possuírem régua analógica de posicionamento limitado entre 0 a 10 V (valores importantes para definir as paragens em posições intermédias). A garra é composta por um cilindro pneumático, controlado por uma válvula de 2 posições em que só é possível efetuar duas posições ou esta totalmente aberta ou totalmente fechada.

O funcionamento dos sistemas selecionados só se torna possível com a inclusão de um sistema programável (**PLC**), sendo este o responsável por ordenar todo o sistema de movimentação nos elementos.

É no PLC (representado por um conjunto de duas cartas, uma de entrada e outra de saída, colocadas frente a frente) onde vai acontecer o controlo elétrico do sistema.

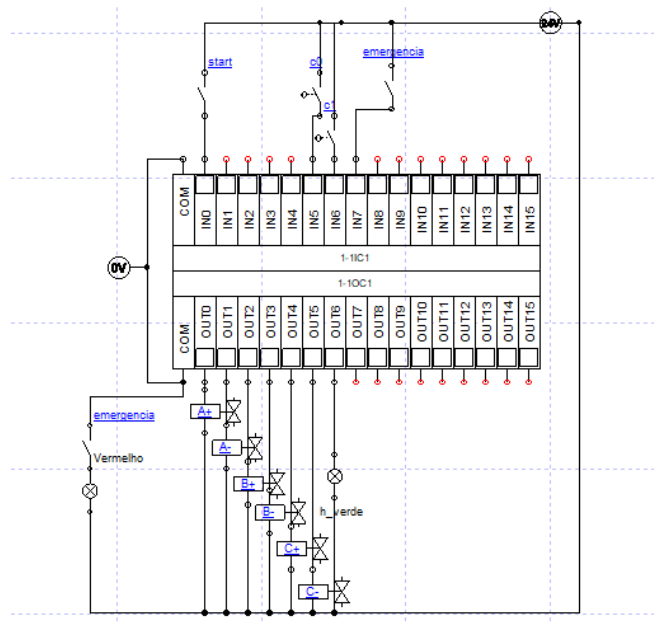


Figura 23 – Controlador lógico programável

O circuito elétrico representado na Figura 23 é constituído pela fonte de alimentação (24VDC), pelas cartas (I/O, de entrada e saída) e pelos dispositivos elétricos ligados às cartas. Nas entradas estão ligados os botões start (IN0), os fins de curso  $c_0$  (IN5) e  $c_1$  (IN6) e o botão de emergência (em IN7), Nas saídas estão ligados os solenoides DC/AC de forma sequencial designados A+ (OUT0), A- (OUT1), B+ (OUT2), B- (OUT3), C+ (OUT4), C- (OUT5) e a luz verde do sistema (OUT6). Estes elementos estão disponíveis na biblioteca dos elementos passíveis de ser utilizados na realização de um circuito elétrico de controlo (Electrical Control IEC), a parte experimental destes elementos pode ser consultada no Apêndice A.

Na Figura 23, pode verificar-se que alguns contactos de entrada se encontram vazios, devido aos atuadores elétricos serem controlados por posição (pela comparação do valor da posição medido, valor este decimal guardado numa variável interna do AS (entre 0 e 10 V)) e não por valor logico dos sensores de posição limite, como no atuador C (cilindros de garra) .

A programação *Grafcet* deste programa é demasiadamente extensa não sendo possível colocá-la de forma legível, sendo apresentada em diversos *frames* (cortes de imagens colocadas como figuras) no apêndice C para que a sua leitura seja possível, (será apresentado apenas um pequeno *frame* na Figura 24).

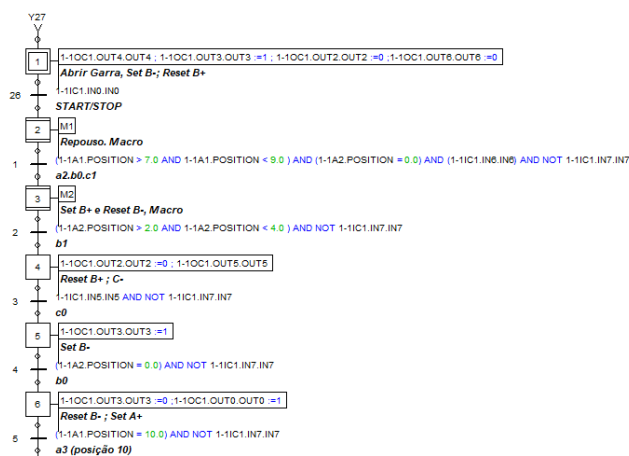


Figura 24 - Frame de programação grafcet

Como referido anteriormente os atuadores elétricos são controlados por um subprograma (subgrafcet) com propriedades específicas, são classificados com macros de posição como é possível verificar na Figura 25.

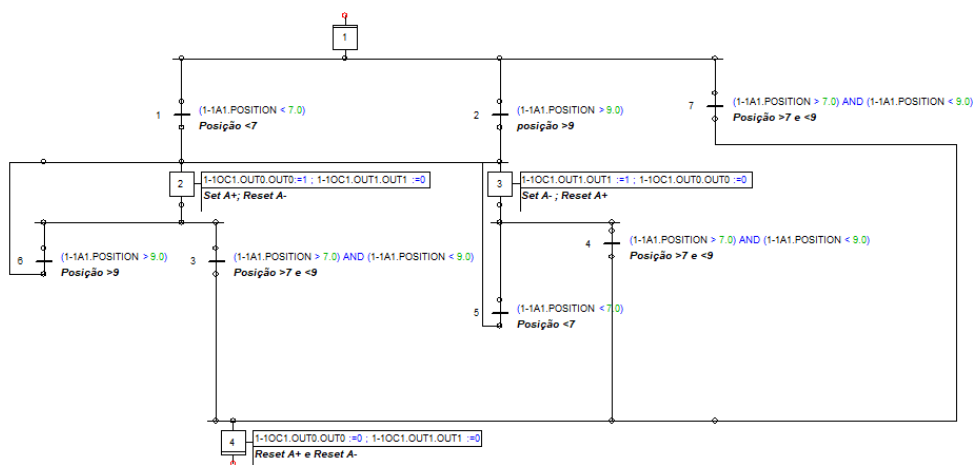


Figura 25 - Macros de posição

As macros (representadas por um quadrado com 2 traços horizontais, visível na Figura 25 pela etapa número 1 e 4) de posição são compostas por várias etapas verificadoras de posição, estas verificam a posição atual do atuador e fazem-lo movimentar para uma nova posição, que deve ficar compreendida entre as margens definidas. No caso da Figura 25, a posição para a operação está compreendida entre os 7 e os 9 mm.

Para garantir que o atuador elétrico se encontra na posição definida fazemos dois tipos de verificações diferentes, caso esteja em posição menor que 7 e uma para caso a posição atual seja maior que 9.

Em ambos os casos recorremos as válvulas 5/2 (5 orifícios e 2 posições (ou estados)) para realizar a movimentação do atuador para o intervalo predefinido anteriormente. Cada posicionamento intermédio no atuador obriga à criação de uma macro diferente (todas as macros de posição estão disponíveis no apêndice C).

Com todos os movimentos intermédios programados para o correto funcionamento dos atuadores elétricos (verticais e horizontais), estes são inseridos na programação *Grafcet*.

No decorrer da programação virtual do sistema em Automation Studio, foi sentida uma limitação por parte do sistema, a licença usada é para estudantes e como tal o programa está limitado à criação máxima de dez folhas de programação independentes. Este limite representa uma limitação devido as macros de posição necessárias serem 7, com esta limitação apenas foi possível programar o deslocamento de uma coluna de garrafas.

Após ter sido efetuada a simulação da programação, foi desenvolvido uma interface homem máquina também conhecida como **HMI** (*Human Machine Interface*). Trata-se de uma ferramenta tecnológica que permite interagir com todo o equipamento. seu principal objetivo é tornar o controlo do sistema muito mais simples e direto.

A a interface foi desenvolvida para possuir botões de controlo do sistema, um botão de emergência e luzes de funcionamento (como se poderá observar na Figura 26).

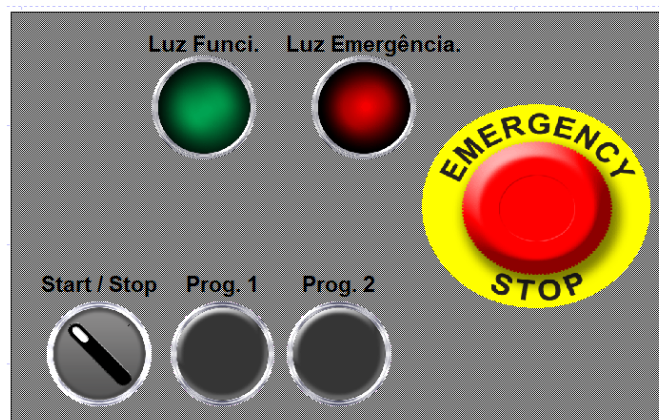


Figura 26 – HMI (Interface de comunicação)

Para inicializar o sistema através do *HMI*, deve-se ligar o interruptor *Start/Stop* (nome atribuído ao interruptor) e automaticamente a luz de funcionamento acenderá com a cor verde. O sistema funciona de forma contínua até chegar ao fim do ciclo. Os ciclos estão divididos em dois programas, sendo estes facilmente trocados pelo acionamento dos botões de comando (Prog 1 e Prog 2). Em caso de emergência deve acionar-se o botão de emergência e o sistema parará de imediato, acendendo a luz de emergência (Luz Emergência) de cor vermelha.

Para ter uma percepção dos elementos contidos na programação é necessário recorrer a uma tabela de correspondência (Tabela 22) Nesta é feita a descrição das etapas do programa, assim como de todos os componentes utilizados.

Tabela 22 - Tabela de correspondência

Tabela de correspondencia		
Elementos	Designação	Atividade / Função
Macro 1	M1	Testar a posição do atuador elétrico horizontal para o posicionar para o A2, acender a luz verde de funcionamento
Macro 2	M2	Testar a posição do atuador elétrico vertical para o posicionar para o B1
Macro 3	M3	Testar a posição do atuador elétrico vertical para o posicionar para o B2
Macro 4	M4	Testar a posição do atuador elétrico horizontal para o posicionar para o A1
Macro 5	M5	Testar a posição do atuador elétrico vertical para o posicionar para o B1
Macro 6	M6	Testar a posição do atuador elétrico horizontal para o posicionar para o A2
Macro 7	M7	Testar a posição do atuador elétrico Horizontal para o posicionar para o A2
Atuador Elétrico Horizontal	A0	Posição de origem, 1ª linha de garrafas
	A1	2ª linha de garrafas
	A2	3ª linha de garrafas
	A3	Linha de montagem
Atuador Elétrico Vertical	B0	Posição de origem
	B1	Altura da 1ª Coluna de Garrafas
	B2	Altura da linha de Montagem
	B3	Altura da 2ª Coluna de Garrafas
Cilindro pneumático (Garra)	C0	Garra Fechada
	C1	Garra Aberta
Botão Start/Stop	Bt_Start	Iniciar o ciclo
Botão Emergencia	BT_emergencia	Enterromper o ciclo em caso de emergência
Botão Programa 1	P1	Colocar programa altura B1
Botão Programa 2	P2	Colocar programa altura B2
Luz Verde	H_verde	Luz acende quando o programa está em funcionamento
Luz Vermelha	H_vermelha	Luz acende quando o programa é interrompido e quando acende apaga a luz verde

## Construção, montagem, teste e avaliação do protótipo

Nesta etapa é desenvolvido o protótipo físico, desde a parte da montagem até à parte de teste e avaliação do mesmo.

Na montagem do atuador elétrico horizontal LEFS25EA-500 SMC, primeiramente foram efetuadas as ligações entre os diversos componentes adjacentes ao atuador elétrico horizontal.

Após a ligação de todos os componentes, torna-se necessário ligar o sistema à corrente elétrica, sendo utilizado um transformador de corrente contínua (desenvolvida pelo docente da escola, Eng. Gabriel Afonso, em 2009), (este equipamento é utilizado apenas uma vez, possui 24VDC de saída e 230VAC de entrada), com dois tipos de saídas 24 V e 0 V.

Através do manual de utilização do equipamento verificou-se que saídas são necessárias alimentar, para fornecer energia a todo o sistema de movimentação do atuador elétrico horizontal, (como é visível na Figura 27).



Figura 27 - Alimentação do driver do atuador elétrico horizontal

O sistema é alimentado em três pontos com 24 V (EMG, M24C e C24V) e no ponto 0V com 0V, com o sistema devidamente alimentado, é necessário verificar como fazer a interação com o eixo. A SMC disponibiliza um software (disponível para transferência no seu próprio *site*), o ACT Controller 2, para esse efeito (Figura 28).



Figura 28 - ACT Controller 2

Seguindo todos os procedimentos de comunicação entre o software e o eixo horizontal foi verificada a existência de uma incompatibilidade: o driver não se encontrava programado para o atuador elétrico.

Para resolver esta incompatibilidade, recorreu-se ao apoio técnico da SMC (fornecedor do equipamento), e em conjunto efetuou-se a programação do drive, através do executável JXC-BCW\_E\_SV360\_PV530 (retirado do próprio site do fornecedor, Figura 29).

Selecting ACT

Selecting product No. of ACT

ACT seeking on condition

ACT series: LEFS, 25, Controller series: JXC\*1, Dir. of installing: [blue bar]

Motor type: E, Lead: A(12), Stroke: 500

ACT seeking by product no.

Parameter condition

Parameter Version: [blue bar], Comms setting

Written data

Parameter & Step data

Back Next

Figura 29 - Programação do driver

Depois de ser efetuada a programação do mesmo (com os dados referidos na Figura 29), foi possível fazer a interação com o atuador elétrico horizontal em modo de teste e verificou-se que é possível fazer as posições pré-definidas.

Para o teste das posições pré-definidas recorreu-se ao ACT Controller 2 em *Easy Mode* (como visível na Figura 30), sendo só necessário colocar a posição pretendida em mm e o modo da operação pretendido no nosso caso é sempre utilizado o modo *Absolute*, todos os outros valores já se encontram pré-definidos (podendo ser alterados para seja pretendido).

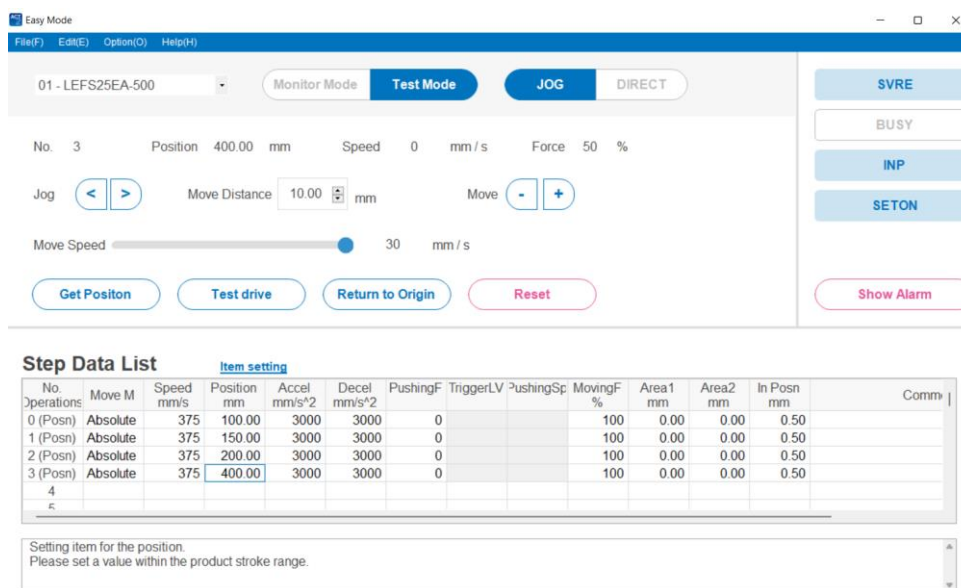


Figura 30 - Modo de teste de posições

Com o funcionamento das posições pré-definidas, passou-se para a construção do protótipo, para isso contou-se com a ajuda do Eng. Nelson Santos.

Para se realizar a montagem do protótipo foi necessário recorrer à maquinação e corte de diferentes materiais.

Inicialmente começou-se por cortar perfil nas medidas definidas (3x830 mm; 4x600 mm; 4x400 mm). Com auxílio de cantos foi montada a estrutura com rigidez, sendo esta última uma característica bastante importante visto que tem de conseguir suportar todos os equipamentos presentes no projeto.

Depois de montada a estrutura, tornou-se necessário desenhar e maquinar peças com o objetivo de interligar os diferentes equipamentos. Nos tópicos que se seguem serão apresentadas as peças desenhadas e maquinadas assim como as suas funcionalidades.

- **Suporte do atuador elétrico**

O suporte do atuador elétrico foi maquinado em contraplacado fenólico de 10 mm e é composto por 12 furos roscados, 2 x M8 e 10 x M4, possuindo finalidades distintas já que os M8 servem como forma de ligação entre o suporte do atuador e a estrutura, ao passo que os M4 prendem o atuador elétrico ao suporte (Figura 31).

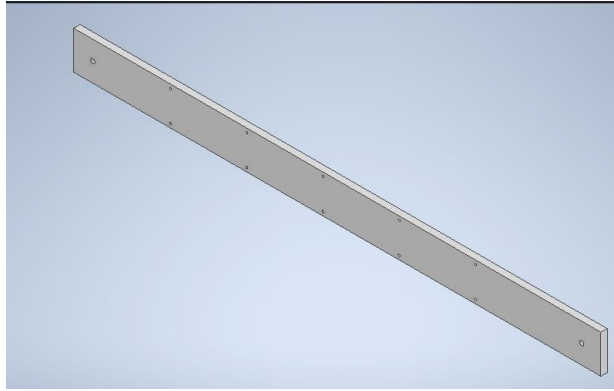


Figura 31 - Suporte atuador

- **Suporte cilindro**

O suporte do cilindro foi maquinado em alumínio. A escolha deste material deve-se essencialmente a duas razões, a primeira é que tem de ser um material resistente à fadiga e a segunda foi por estar visível, devido a todos os equipamentos envolventes serem da cor do alumínio.

A peça foi construída para efetuar a ligação entre o atuador elétrico horizontal e o cilindro pneumático vertical, é composta por 14 furos passantes tendo estes diferentes tipos de utilização.

Como se pode observar na Figura 32, os 4 furos iniciais servem para efetuar a ligação ao atuador elétrico horizontal à estrutura, os restantes 10 tem o objetivo, fazer a ligação com o cilindro pneumático, sendo que neste pode ser ajustado à medida, devido aos furos estarem separados por 15 mm em altura.

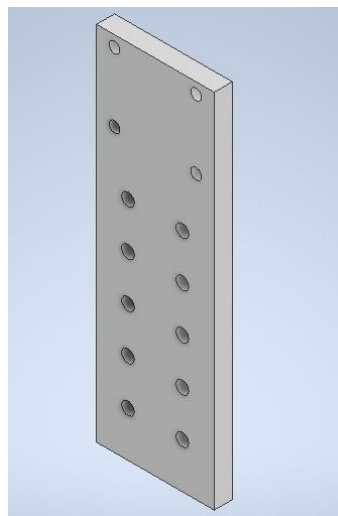
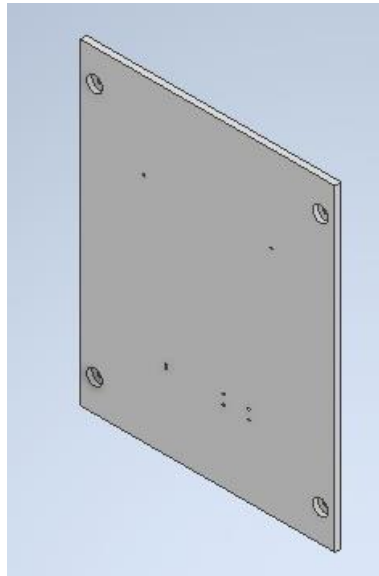


Figura 32 - Suporte Cilindro

- **Suporte quadro elétrico**

O suporte do quadro elétrico é composto por contraplacado fenólico de 10 mm, e tem como objetivo efetuar a ligação entre a estrutura e os equipamentos de controlo de todo o protótipo (Figura 33).



*Figura 33 - Suporte Quadro elétrico*

Com todas as peças maquinadas e prontas a serem utilizadas, foi efetuada a montagem do protótipo como visível na Figura 34 (todos os processos de montagem concluídos).



*Figura 34 - Projeto Montado, diferentes perspetivas de profundidade*

Com todos os elementos corretamente montados e acoplados uns aos outros através de ligações aparafusadas, é necessário fazer a ligação elétrica dos mesmos.

Para escolher a secção dos condutores elétricos (de tensão contínua) e identificar o modo como os equipamentos se ligam, consultaram-se respetivos manuais técnicos. Todos os elementos de ligação foram efetuados com condutores elétricos de  $0,75 \text{ mm}^2$  de secção e comprimento aproximado da distância de ligação (com alguma folga para facilidade de montagem ou desmontagem e permitir a sua inclusão em calhas fechadas).

Para cumprir os requisitos de configuração das ligações nos quadros elétricos e da forma de disposição do grupo de componentes elétricos colocados no quadro recorreu-se à norma IEC7 61439 e a todas as recomendações sugeridas pelo formador da formação de Sistemas Elétricos Industriais da F. Fonseca (empresa de referência no setor elétrico), através da formação e com o apoio da norma IEC7 61439 (referência em segurança e fiabilidade em quadros elétricos de baixa tensão), foi possível efetuar as ligações entre os equipamentos de forma segura e fiável (Figura 35). A figura foi desenvolvida em *Adobe Illustrator CS6*.

No sentido de garantir a proteção dos equipamentos e do quadro elétrico foram aplicados equipamentos de segurança, nomeadamente um disjuntor (antes da fonte de alimentação de 5 A de corrente máxima à saída, referido apenas que se usou um cabo standard multicondutor com 2 condutores de fase e um condutor neutro de secção  $1,5 \text{ mm}^2$ , com um comprimento de 1 metro) e dois fusíveis de proteção.

Segundo as regras técnicas das instalações elétricas de baixa tensão, com o apoio da legislação presente no Diário da República, 1.ª série – N.º 175- 11 de setembro de 2006 as características dos dispositivos de proteção escolhidos devem satisfazer as regras estabelecidas nas respetivas normas.

Todos os cálculos elaborados encontram-se efetuados detalhadamente no apêndice B, foram calculados diversos fatores, como a secção da canalização elétrica, distâncias (comprimento do cabo de alimentação para verificar que o valor limite da queda de tensão não é atingido), temperaturas ambientes (valores estatísticos) entre os demais parâmetros.

Depois de verificar e calcular detalhadamente todos os parâmetros da norma foi possível verificar que o projeto necessita de um disjuntor de 16 A (para uma secção nominal de

1,5 mm<sup>2</sup> de cobre isolado a policloreto de vinilo), este consegue proteger o sistema contra sobrecargas e curto-circuitos, mantendo assim o sistema em segurança.

Não foi dimensionada a proteção contra choques elétricos uma vez que a instalação é inserida num quadro elétrico fora do alcance das pessoas e apenas é em corrente alternada (230V, Hz) até ao transformador.

Os fusíveis de proteção, foram colocados de forma estratégica no quadro elétrico de forma a garantir a proteção dos equipamentos mais valiosos (o PLC e o driver do atuador elétrico horizontal), para que estes possam funcionar de forma correta sem existir riscos associados aos picos de corrente e sobretensões.

Para elaborar as ligações dos elementos de controlo e pneumáticos foram utilizados ligadores individuais por questões de organização e estéticas, conseguindo acoplar todas as ligações no mesmo local o que facilita a passagem das mesmas nas canalizações de forma correta e organizada.

Para garantir a conservação das canalizações e da proteção contra a corrente elétrica foram usadas calhas de proteção elétricas exteriores, como se pode verificar nas figuras 35 e 36).

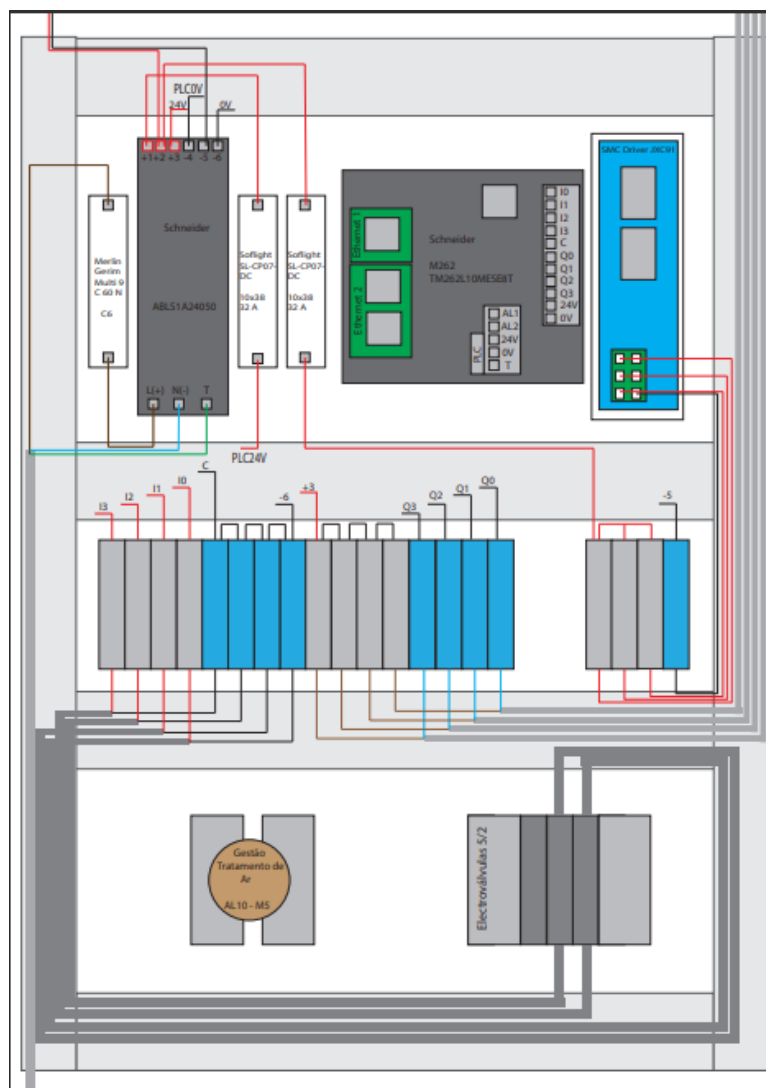


Figura 35 - Esquema elétrico executado no Adobe Illustrator CS6

O esquema elétrico encontra-se dividido em 3 secções, a 1 secção é onde se encontram as fontes de alimentação (Schneider ABL51A24050), os dois fusíveis de proteção (Soflight SL-CP07-DC 10x38 32 A), o interruptor de proteção (Merlin Gerim Multi 9 C 60 N) e os equipamentos de controlo (SMC Driver JXC91 e o controlador lógico programável da Schneider M262 TM262L10MESE8T).

Na 2 secção estão presentes os elementos de ligação entre a estação 1 e 3. Na 3 estação encontram-se os elementos pneumáticos nomeadamente as electroválvulas 5/2 e gestão tratamento de ar AL10 - M5.

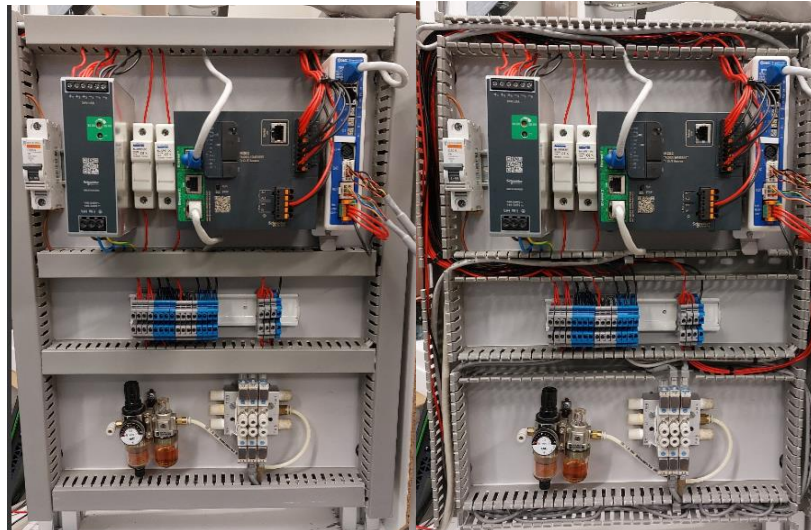


Figura 36 - Quadro elétrico com calha tapada e calha aberta

Com todas as ligações elétricas efetuadas, é crucial programar o PLC da Schneider Electric. Para efetuar a programação utilizou-se o software da marca do PLC, o *Machine expert logic builder 2.0*.

No decorrer da programação do PLC verificou-se que a versão do controlador não era suportada pelo *Machine expert logic builder 2.0*.

Para resolver o problema, entrou-se em contacto com a assistência técnica da Schneider Electric e através da descrição pormenorizada do problema aos técnicos, foi possível verificar que o que estava em falta era a atualização do *firmware*, para ser compatível com a versão do software (verificar todos os passos sobre a atualização do *firmware* no Apêndice D).

Após o término da atualização do *firmware*, deve-se retirar o cartão de memória do computador e, com o controlador totalmente desligado, deve-se colocar o cartão no controlador. Em seguida liga-se o controlador à corrente elétrica até que o software do mesmo seja atualizado (luz verde na indicação do cartão SD).

No final da programação do cartão SD é possível reconhecer o PLC no software, estando tudo pronto para efetuar a ligação entre o programa e o controlador.

Para efetuar a conexão entre o atuador elétrico e o controlador, foi disponibilizado um programa pela SMC (fornecedor do equipamento) em que neste já se encontram ligações

previamente definidas o que facilita a interação com o driver do atuador elétrico horizontal.

No programa disponibilizado pela SMC (Figura 37) é possível verificar a existência de variáveis de funcionamento intrínseco, tendo estas como objetivo fornecer dados sobre posições reais do atuador elétrico horizontal.

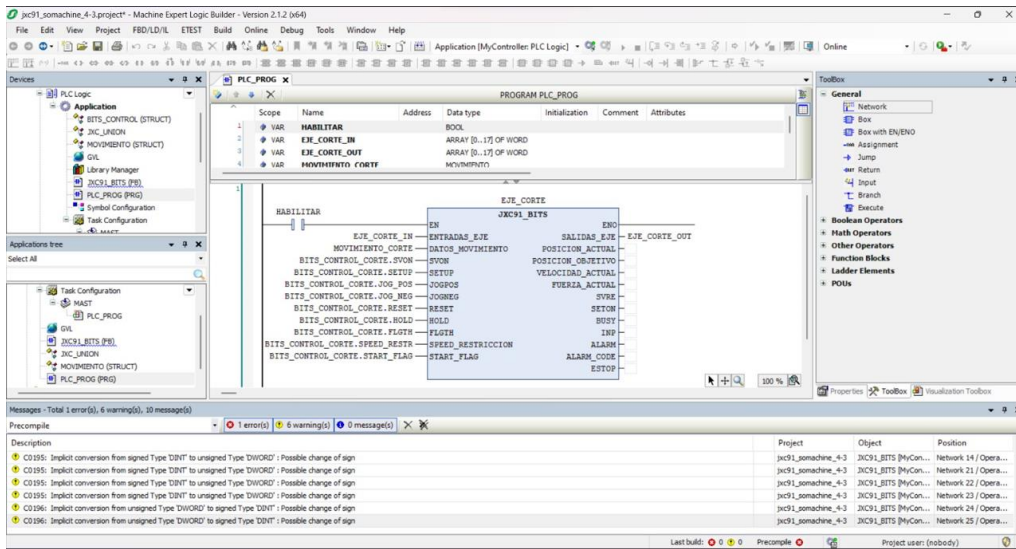


Figura 37 - Programa fornecido pela SMC

Para ser possível efetuar a interação entre o PLC e o programa fornecido, é necessário colocar a placa de rede do computador na mesma gama de IP's do controlador, como visível na Figura 38.

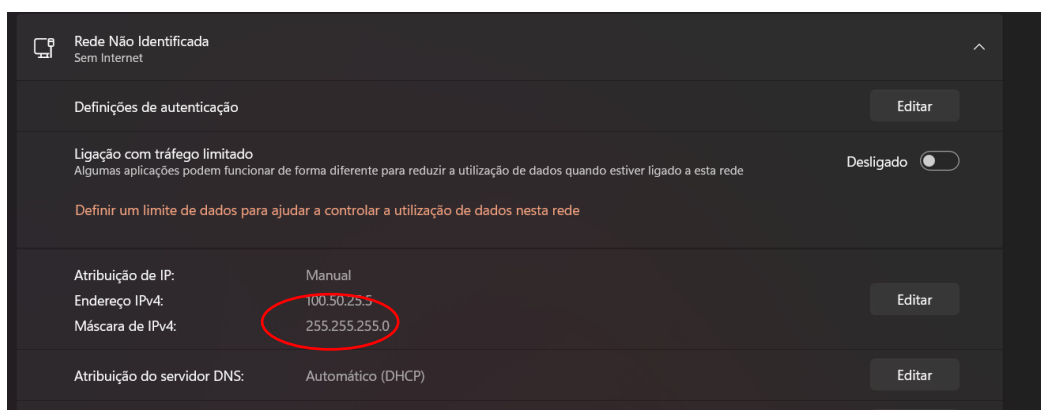


Figura 38 - Placa de rede do computador

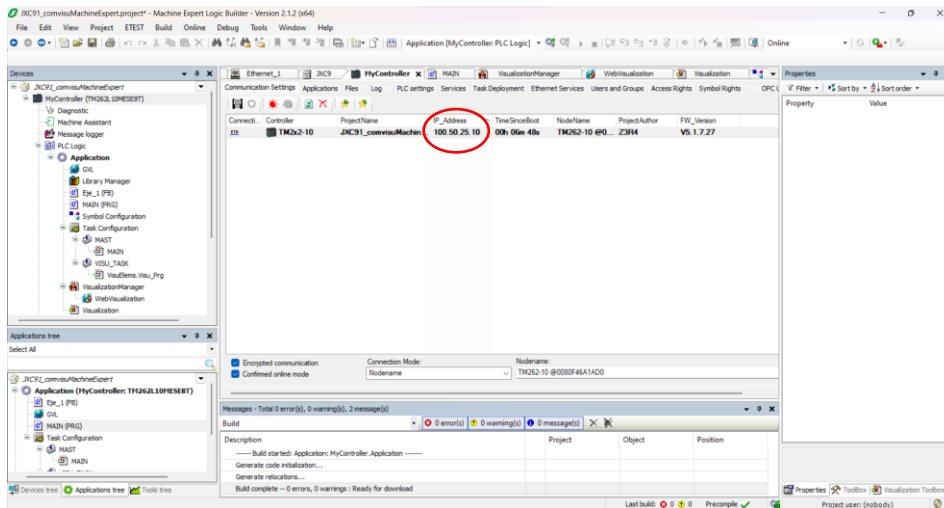


Figura 39 - Machine Expert controlador

Com as gamas de IP's correspondentes é possível estabelecer a comunicação entre o computador e o PLC, conseguindo assim colocar o programa em fase de simulação (Figura 39).

O programa cedido pela SMC está desenvolvido em linguagem *Function Block*, onde são testadas várias variáveis funcionais (Figura 40).

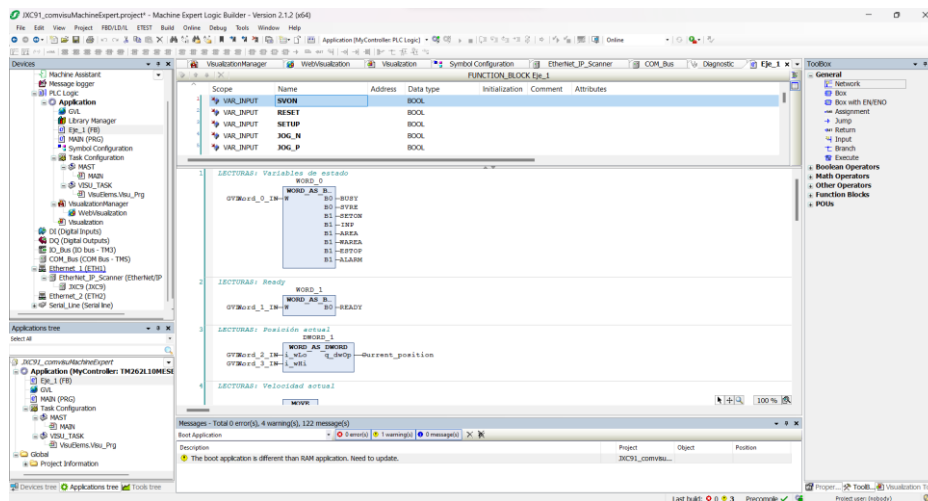


Figura 40 - Programação Function Block

Na Figura 41 é possível ver a listagem de todas as variáveis do sistema e verificar a existência de diferentes tipos de variáveis, entre elas: Bool, Unit e Word.

Expression	Type	Value	Prepared value	Address	Comment
Eje_1_0	Eje_1				
SVON	BOOL	FALSE			
RESET	BOOL	FALSE			
SETUP	BOOL	FALSE			6
JOG_N	BOOL	FALSE			
JOG_P	BOOL	FALSE			
Start_Flag	BOOL	FALSE			
Movement_mode	UINT	0			
Speed	WORD	0			
Position	DWORD	0			
Acceleration	WORD	0			
Deceleration	WORD	0			
Pushing_F	WORD	0			
Trigger_LV	WORD	0			
Pushing_Speed	WORD	0			
Moving_Force	WORD	0			
AREA1	DWORD	0			
AREA2	DWORD	0			
In_pos	DWORD	0			

Figura 41 – Lista Variáveis do sistema

As variáveis possuem diversas designações dependendo da sua função, as Bool são variáveis de valor binário (0 ou 1) em que 0 é falso (False) ou 1 é verdadeiro (True), as variáveis Unit são de valores inteiros (1,2,3...), enquanto as variáveis Word ou Dword são variáveis escritas que podem ter casas decimais na sua composição.

Com todas as variáveis organizadas e em pleno funcionamento é possível aceder a um quadro de funcionamento como visível na Figura 42.

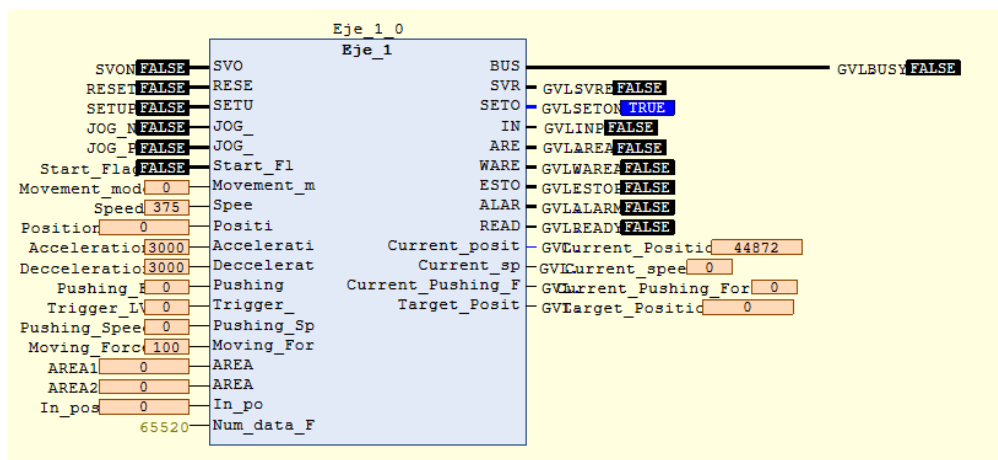


Figura 42 - Variáveis funcionais

É possível verificar a existência de parâmetros já definidos como a velocidade, aceleração, desaceleração, movimentos de força e a posição atual do atuador elétrico (figura retirada depois de já ter sido feita programação). Para que ocorra o funcionamento do atuador elétrico, para além destas variáveis, é necessário ter o Svon e o Start\_Flag em **true** assim como o *Movement\_mode* com o valor de 1.

Com as variáveis todas definidas é possível movimentar o atuador elétrico para a posição desejada, sendo só necessário colocar a posição na variável **Position** em valores decimais (0 a 50000).Figura 2

Com todo o programa em perfeito funcionamento, é necessário desenvolver um *layout* apelativo para controlar os movimentos de posicionamento definido como **HMI**, sendo que este tem o intuito de facilitar a interação com o sistema tornando-o assim mais fácil e intuitivo.

Para isso seguiu-se um conjunto de procedimentos:

Inicialmente criou-se o Visualization Manager (Figura 43) e a página Visualization. É nesta que será realizado a interface do **HMI**, mas antes é necessário definir os parâmetros do *Visualization Manager* como visível na Figura 44.

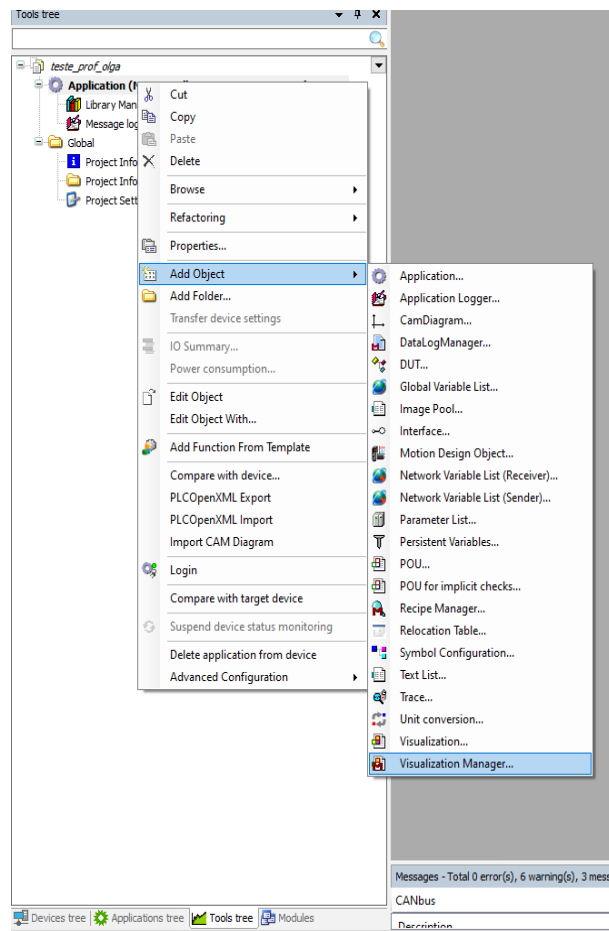


Figura 43 - Criação da interface 1

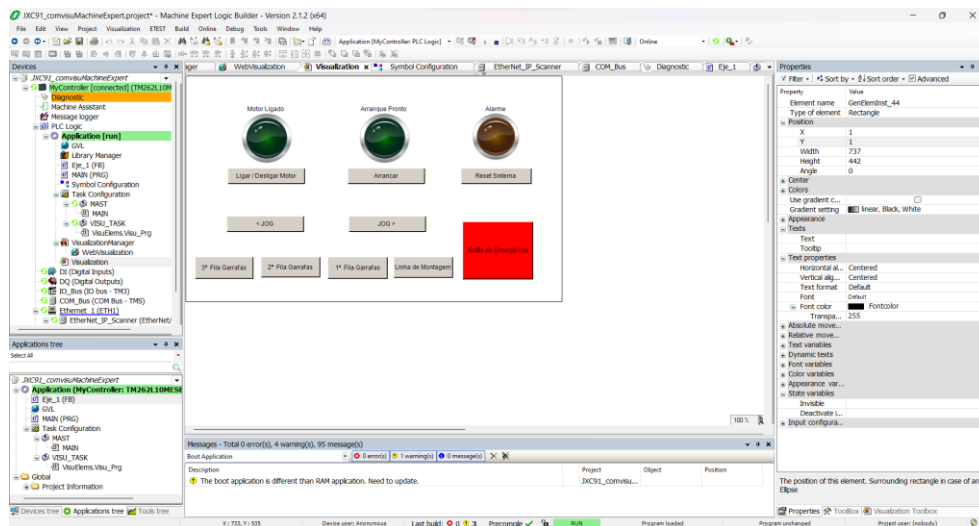
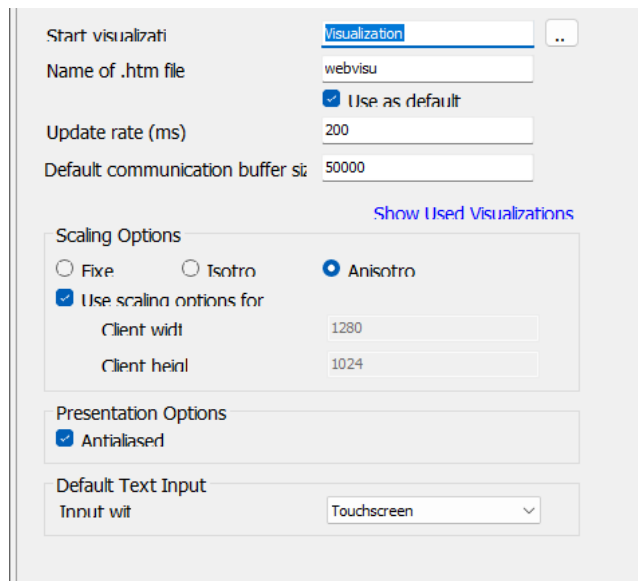


Figura 44 - Interface 2

Posteriormente à definição de todos os parâmetros, com o **layout** do **HMI** (*layout* composto por um conjunto de botões e sinalizadores como visível em detalhe na Figura 47), é necessário atribuir variáveis aos botões, para que quando se pressiona os botões eles executem a sua função. E estas variáveis são atribuídas aquando da sua criação (podendo ter de ser programadas em linguagem *Function Block*, como o caso dos botões de posição).

No *Layout* é possível verificar a existência de diversos botões e distintos sinais luminosos. Mais à frente, no manual de utilização da consola (página 74), serão explicados de uma forma pormenorizada para que o protótipo seja usado de forma correta.

Para espelhar o *layout* criado no *Machine Expert* na consola é necessário alimentar a consola e seguintes seguintes elaborar passos:

O primeiro passo consiste em ir à consola e arrastar o menu do topo para baixo até aparecerem 3 pontos na zona superior do ecrã. Seguidamente carregar na roda dentada até aparecer o menu Admins para se colocar uma palavra chave que é Admins\*\*\*\*\* (Figura 45).

Com o controlo completo da consola, é possível fazer a programação da mesma para que todo o *layout* apareça na consola. Para isso é necessário recorrer-se ao menu *Network* e desativar o modulo DHCP ( Figura 46).

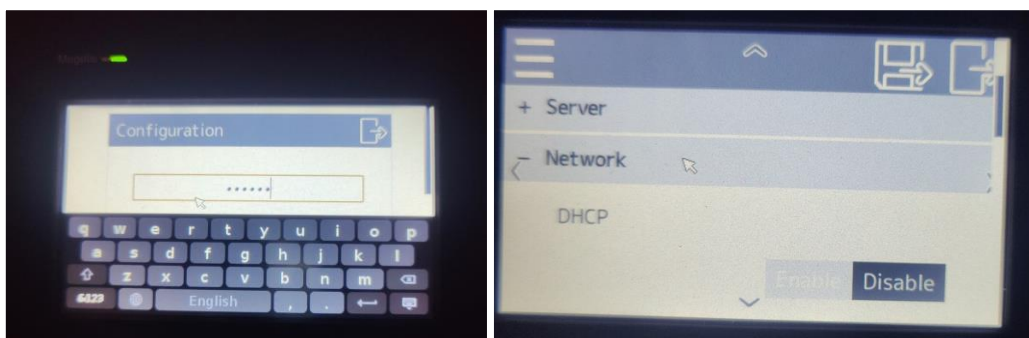


Figura 45 – Consola Magelis Schneider Eletric    Figura 46 - Definição dos parâmetros da consola

No mesmo menu ( Figura 46), é imperativo definir o *IP Address* e a *Subnet Mask*, para que estejam possível interligar com todos os equipamentos. Estes devem ser definidos cuidadosamente pois devem estar na mesma gama de IP's do PLC e do Computador. Neste caso foi utilizado o *IP Address* de 100.50.25.11 e a *Subnet Mask* de 255.255.0.0.

Após o término do passo anterior, é necessário fazer as configurações dos Server's no *menu* da consola. Foram utilizados dois Server's por opção porque, na realidade, a consola trabalhará maioritariamente com a segunda configuração (Server 2).

A primeira configuração tem como nome PLC, com um URL de <http://100.50.25.10>, e o segundo server tem o nome de webvisu, com um URL de [Http://100.50.25.10:8080/webvisu.htm](http://100.50.25.10:8080/webvisu.htm). Depois de concluída esta operação de configuração dos server's só é necessário escrever o URL do server dois numa página de internet vazia e assim podemos dar por terminada a configuração da consola onde aparece

tudo o que foi desenhado na visualização do *Machine Expert* (programa *Schneider*) (Figura 47).



Figura 47 - Interface consola

## Procedimentos para utilização da Consola

A consola serve para interagir com o sistema de abastecimento automático da linha de enchimentos de vinhos da UDACA, desenvolvido por Carlos Silva no âmbito do projeto de dissertação do Mestrado em Engenharia Mecânica e Gestão Industrial do Politécnico de Viseu.

Com o objetivo controlar e monitorizar todo o funcionamento do sistema são apresentados em seguida alguns procedimentos utilizando os botões colocados ao dispor do utilizador (Figura 48 - Interface consola manual de utilização).

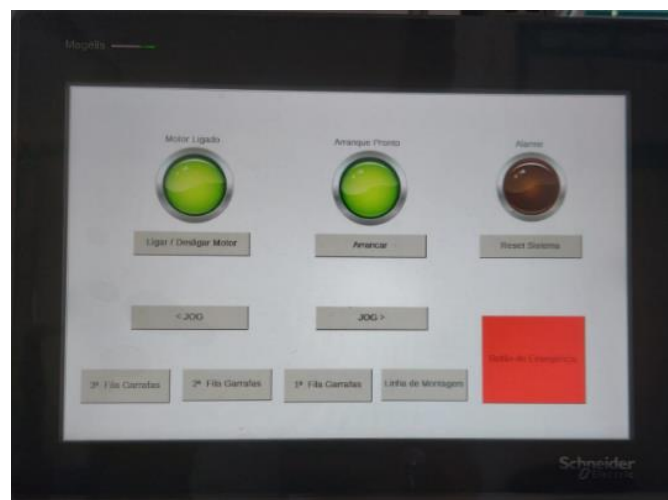


Figura 48 - Interface consola manual de utilização

Para iniciar os processos de posicionamento do sistema, quer na forma passo a passo (designação utilizada para os botões jogging), quer com posições pré-definidas, é necessário realizar os seguintes passos.

### **1º Passo: Inicialização do sistema**

Para Iniciar o sistema é necessário ligar o servo motor do atuador elétrico (apertando o botão “Ligar Motor”) e em seguida ligar o sistema de arranque do driver (apertando o botão “Arranque”) até que as duas luzes representadas fiquem a verde (Figura 49).



*Figura 49 - Painel luminoso motores*

### **2º Passo: Posicionamento**

Com o sistema ligado já é possível interagir com o mesmo de duas formas distintas:

Existe o sistema manual com os botões de “jogging” ou o sistema automático com botões com posições pré-definidos já programadas (3ª fila, 2ª fila, 1ª fila e Linha de montagem). As filas das garrafas estão definidas e numeradas da direita para a esquerda, de modo a que as garrafas consigam ser retiradas de uma simples para a linha de montagem. De referir que o deslocamento só ocorre no eixo horizontal.

Com os botões de movimentação “jogging” o eixo horizontal só se moverá enquanto o botão estiver a ser pressionado.

Na interação com os botões programados, estes devem ser pressionados uma vez, para se movimentarem para a posição pretendida. A, a posição ficará fixa até se carregar novamente no botão (neste caso, o atuador elétrico volta para a origem denominada como linha de montagem).

**Caso de emergência:**

Em caso de emergência (perigo para o utilizador, risco de danificar o material ou risco de danificar o equipamento) deve-se carregar no botão de emergência, este desligará todos os sistemas de movimentação.

Caso se carregue duas vezes no botão de emergência o alarme do sistema será ativado, bloqueando assim todo o sistema (caso aconteça deve-se recorrer ao desbloqueio do sistema).

**Desbloqueio do sistema:**

Caso ocorra o bloqueio do sistema (devido à má utilização do sistema) e consequentemente a luz do alarme seja ativada, deve-se pressionar o botão ligar motor até a luz de sinalização motor ficar a verde, e carregar no botão de reiniciar o sistema (Reset), até que a luz do alarme fique desativada.

Depois de desativada a luz de alarme, devem ser seguidos os passos inicialmente descritos no passo 1, para um correto funcionamento do sistema.

**Caso de manutenção:**

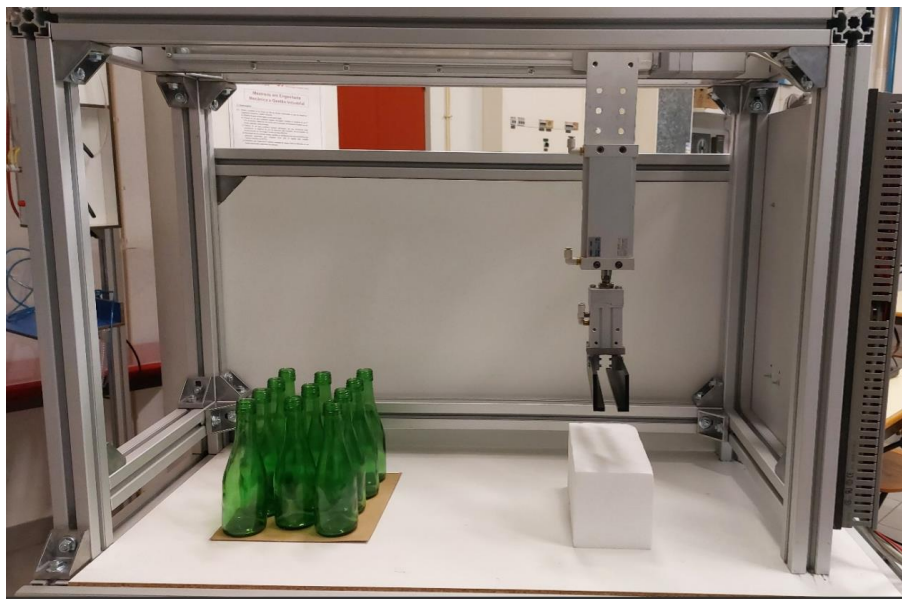
Em caso de ser necessário efetuar manutenção ao sistema com o mesmo ligado, devemos garantir que todos os botões programados estejam desativados, só depois destes estarem desativados é que se deve pressionar o botão “linha de montagem”.

O botão linha de montagem desativa todos os outros botões programados para que não ocorra nenhum incidente durante a manutenção.

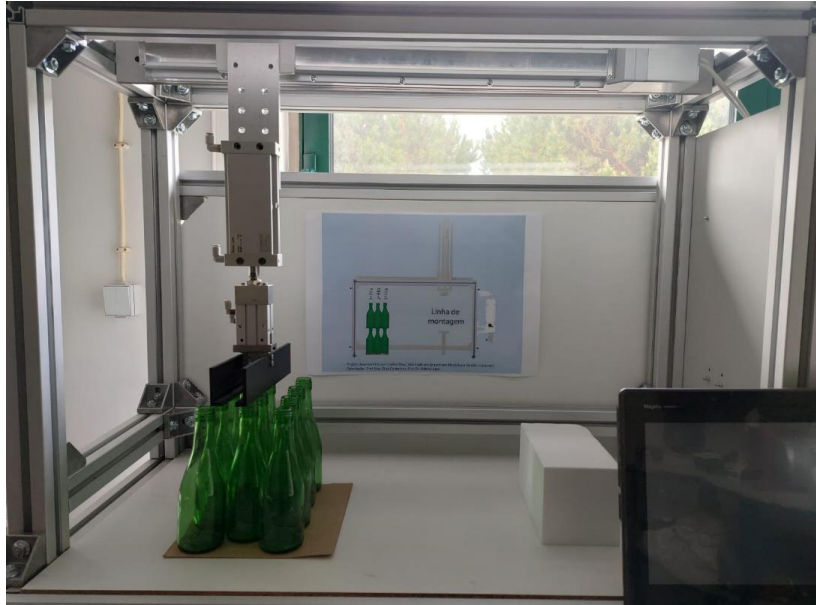
Após a manutenção, para se colocar novamente o sistema em funcionamento, deve desativar-se o botão “linha de montagem” deixando assim o sistema em pleno funcionamento.

## **Fotografias sobre a validação do protótipo**

Para validação da movimentação do eixo linear elétrico, e conseqüentemente de todo o trabalho descrito, foram realizados vários testes de posicionamento do protótipo nas diferentes modalidades. Como se pode observar pelas figuras seguintes (que apresentam fotografias retiradas em funcionamento), a garra é movimentada da posição inicial (Figura 50, sobre a espuma) para a posição de recolha de garrafas (Figura 51) junto às garrafas e depois retorna ao repouso (Figura 52, sobre a espuma).



*Figura 50 - Foto protótipo montado 1*



*Figura 51 - Foto protótipo montado 2*



*Figura 52 - Foto protótipo montado 3*

## 5. DISCUSSÃO

Decorrente do estudo efetuado no posto de rolhagem, percebeu-se que o investimento que seria necessário realizar tinha um ótimo período de retorno (2 anos). No entanto, embora o investimento fosse desejável, não pôde ser realizado uma vez que, por informação do responsável da linha, todo o sistema de lavagem, enchimento e rolhagem fazem parte do mesmo monobloco. Este facto torna inviável a proposta feita, dado o custo que acarretaria proceder à troca da linha de engarrafamento. Não obstante este impedimento, o estudo foi feito, uma vez que a informação de que não podiam ser feitas alterações parcelares só foi dada à posteriori.

Em relação à execução do protótipo, este não foi realizado na íntegra, pois a aquisição de todos os equipamentos necessários à sua construção é inviável, por ser demasiado dispendiosa. De modo a solucionar este impasse e em concordância com os respetivos órgãos académicos, optou-se por dividir a construção do protótipo em fases distintas.

A fase desenvolvida no presente relatório, conta com o desenvolvimento de simulações realistas, montagem das estruturas do protótipo, ligações e interações com o atuador elétrico horizontal adquirido para o desenvolvimento desta primeira fase.

O restante sistema foi implementado com recurso a equipamento didático existente no laboratório não sendo testado na totalidade. Falta instalar e colocar em funcionamento todo o sistema pneumático.

Nesta fase foram elaboradas várias pesquisas sobre equipamentos para a realização de todo o projeto, alguns ainda em consulta, devido à tecnologia ser bastante dispendiosa e só ser possível de ser adquirida através de fornecedores muito específicos.

O desenvolvimento desta primeira fase foi bastante dificultado pelo tempo reduzido para a realização de um projeto com esta envergadura, pelo acesso restrito a informação e pela dificuldade em fazer as interligações entre os equipamentos selecionados, sendo necessário recorrer ao apoio das assistências técnicas (fornecedores de equipamentos) para se conseguir resolver o problema.

Passando esta fase e já com os equipamentos interligados e em correto funcionamento foi possível verificar que a solução apresentada é uma mais-valia para o desenvolvimento da presente linha de enchimento da UDACA. Com efeito, verifica-se que aquela solução

liberta trabalhadores, que são deslocados para funções com maior controlo, e reduz o risco de eventuais lesões ergonómicas dos mesmos.

A presente solução é passível de ser ajustada em termos de velocidade e deslocamento do eixo para possuir uma maior eficácia (obter resultados desejados) e eficiência (realizar as operações da maneira correta), reduzindo assim os desperdícios associados a tempos de espera.

A garra desenvolvida foi elaborada através de impressão 3D e contempla o standard de garrafas (consegue transporta a maior parte das garrafas engarrafadas na cooperativa). Futuramente podem ser aplicadas novas ferramentas para ser possível o transporte de um maior número de modelos de garrafas. Esta atualização teria como resultado o aumento dos desperdícios em "Setup" relativos a trocas de ferramentas.

## **6. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS**

O presente projeto de investigação teve como objetivo analisar possibilidades de melhoria na cooperativa UDACA. Através da observação da cadeia de valor foi possível identificar melhorias que ajudam ao aumento da produtividade.

O foco deste projeto não incidiu só no processo produtivo, mas também em todas as características dos produtos, desde as matérias-primas até aos sistemas que abastecem as estações de trabalho. Todos os dados relativos aos equipamentos presentes na linha de engarrafamento foram recolhidos nomeadamente capacidades e especificações.

Este projeto decorreu de uma forma bastante dificultada, devido a ausência de informação disponível pelos fornecedores. A informação só é disponibilizada aquando da contratação dos serviços ou aquisição de equipamentos por parte dos vendedores ou fornecedores.

Embora tenha existido um elevado grau de dificuldade na obtenção da informação, a UDACA sempre se mostrou disponível, facultando todas as informações de que dispunha e que eram relevantes para o desenvolvimento deste trabalho.

Decorrente do estudo feito à estação de trabalho da rolhagem, e considerando um aumento da capacidade da linha de engarrafamento igual à sua capacidade teórica, concluiu-se que poderia existir um aumento diário do lucro na ordem dos 45%.

Com este resultado seria possível recuperar o investimento de 40000€, numa nova estação de rolhagem, em 485 dias úteis de trabalho. No entanto, segundo informações fornecidas pela empresa, a aquisição de um novo equipamento de rolhagem é inviável pelo facto de esta estação ser indissociável das restantes estações da linha de engarrafamento. É de salientar que esta informação só foi fornecida após a apresentação da nova proposta.

Relativamente aos resultados obtidos com a criação de uma estação de abastecimento automático para a linha de enchimento da UDACA, teve como objetivo fundamental libertar os operadores do abastecimento manual à linha e, simultaneamente, eliminar a possibilidade de ocorrência de lesões ergonómicas associadas à realização daquelas funções.

A implementação do sistema automatizado torna possível a realização das operações de uma forma mais eficiente e mais eficaz, dependendo dos ajustes que se possam realizar nos eixos lineares nomeadamente a velocidade e deslocamento.

Para o desenvolvimento do protótipo utilizaram-se diversos tipos de ferramentas informáticas (Inventor® e Automation Studio®), que permitiram uma análise pormenorizada de eventuais problemas e defeitos que seriam um impedimento à realização do protótipo, permitindo assim desenvolver soluções de carácter preventivo no desenvolvimento do protótipo físico.

Em relação ao protótipo apresentado, mas ainda não implementado em área laboral, espera-se que ocorra uma reestruturação da fase inicial do processo produtivo da atual linha de enchimento, o que poderá melhorar a integração e a interoperabilidade do processo, possibilitando o aumento da produtividade da estação de trabalho e redução dos custos operacionais.

Em suma, considera-se que as duas propostas apresentadas vão ao encontro dos objetivos do presente projeto.

A empresa sempre se mostrou recetiva às propostas de melhoria, embora a implementação das mesmas seja considerada um obstáculo ao funcionamento atual das linhas de enchimento. Este facto deve-se à necessidade de envolvimento de técnicos de vários departamentos, tornando as melhorias em processos demasiado demorados e com um elevado grau de investimento.

Como possíveis propostas de trabalho futuro existem dois grandes tópicos a desenvolver, nomeadamente:

- conclusão do protótipo para o abastecimento automático à linha de engarrafamento;
- elaboração de um novo estudo para tornar automático o abastecimento de rolhas ao posto de rolhagem, uma vez que atualmente é feito de forma manual.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Autodesk AutoCAD 2024* / Obtido 16 de janeiro de 2024, de <https://www.autodesk.pt/products/autocad/overview>
- Automation Studio™—Simulação Hidráulica, Pneumática, Elétrica e CLP.* (2023). <https://www.famictech.com/pt/Produtos/AutomationStudio/Edi%C3%A7%C3%A3o-Profissional>
- Bacelar, C. (2021, dezembro 29). Sofre com tarefas repetitivas no trabalho? <https://www.pipify.com>
- Bermudez Irreño, C. A. (2021). RPA - automatización robótica de procesos: Una revisión de la literatura. *Revista Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información*, 8(15), 111–122.
- Biscontini, T. (2020). Toyota Production System (TPS). Em *Salem Press Encyclopedia*. Salem Press. <https://eds.s.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=5&sid=82e8ca9b-dfd1499b9ecc9bc51c8abcbc%40redis&bdata=JkF1dGhUeXBIPWlwLHN0aWImbGFuZz1wdC1wdCZzaXRIPWVkey1saXZlJnNjb3BIPXNpdGU%3d#AN=121772931&db=ers>
- Bookbinder, J. H., & Ülkü, M. A. (2021). Freight Transport and Logistics in JIT Systems. Em R. Vickerman (Ed.), *International Encyclopedia of Transportation* (pp. 107–112). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102671-7.10228-3>
- Braga, N. C. (2023). *Dispositivo de Automação Sequencial (MEC184)*. Instituto Newton C. Braga. <https://www.newtoncbraga.com./index.php/automacao-industrial/11368-dispositivo-de-automacao-sequencial-mec184.html>
- Conjunto de ferramentas Electrical | 2024 | Autodesk*. Obtido 16 de janeiro de 2024, de <https://www.autodesk.pt/products/autocad/included-toolsets/autocad-electrical>
- Cravo, E. (2021, outubro 20). 10 protocolos de comunicação mais usados na automação. *Blog*. <https://blog.kalatec.com.br/protocolos-de-comunicacao/>
- Felippe, A. M., Rech, S., & Silveira, I. (2021). Contributos da gestão visual para análise de tendências. *Modapalavra e-periódico*, 14(31), Artigo 31. <https://doi.org/10.5965/1982615x14312021010>
- FIALHO, A. B. (2018). *Automação Pneumática – Projetos, dimensionamento e análise de circuitos*. Saraiva Educação S.A.
- Filho, G. (2019). *Gestão da qualidade total: Uma abordagem Pratica* (6ª ed). Alinea.

- Foit, K., Banaś, W., & Ćwikła, G. (2018). The pneumatic and electropneumatic systems in the context of 4th industrial revolution. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 400(2), 022024. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/400/2/022024>
- Jorna Calixto, A. R., Véliz Martínez, P. L., & Bibilonia, L. M. (2022). Propuesta de acciones para eliminar mudas en la gestión de los procesos en instituciones de salud cubanas: Proposal of Actions to Eliminate Changes in the Management of Processes in Cuban Health Institutions. *Revista Cubana de Salud Pública*, 48(1), 1–17.
- Korytkowski, P., Wisniewski, T., & Rymaszewski, S. (2013). Multivariate simulation analysis of production leveling (heijunka): A case study. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(9), 1554–1559. <https://doi.org/10.3182/20130619-3-RU3018.00285>
- Branco, D. J. (2020). Automatização de Processos através de Robotic Process Automation: Agregador Semiautomático de Currículos.[Dissertação Mestrado].ISCTE. [https://repositorio.iscteuiul.pt/bitstream/10071/20974/4/master\\_daniel\\_branco\\_santos.pdf](https://repositorio.iscteuiul.pt/bitstream/10071/20974/4/master_daniel_branco_santos.pdf)
- Melton, T. (2005). The Benefits of Lean Manufacturing: What Lean Thinking has to Offer the Process Industries. *Chemical Engineering Research and Design*, 83(6), 662–673. <https://doi.org/10.1205/cherd.04351>
- Ohno, T. (1988). : *Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press. <https://doi.org/10.4324/9780429273018>
- Pereira, J. P. N. G. da C. (2012). *Aplicação do lean construction no controlo e gestão em processos de produção* [Dissertação Mestrado].IPL. <https://repositorio.ipl.pt/handle/10400.21/1637>
- Pinto, J. P. (2014). *Pensamento Lean* (6.<sup>a</sup> ed.). Lidel.
- Romero, D., Gaiardelli, P., Powell, D., Wuest, T., & Thürer, M. (2019). Rethinking Jidoka Systems under Automation & Learning Perspectives in the Digital Lean Manufacturing World. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 899–903. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.309>
- Sabadka, D., Molnar, V., Fedorko, G., & Jachowicz, T. (2017). Optimization of Production Processes Using the Yamazumi Method. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 11(4), 175–182. <https://doi.org/10.12913/22998624/80921>

- Santos, D. M. C. dos, Santos, B. K. dos, & Santos, C. G. dos. (2021). Implementation of a standard work routine using Lean Manufacturing tools: A case Study. *Gestão & Produção*, 28(1). <https://doi.org/10.1590/0104-530x4823-20>
- Schneckenreither, M., Haeussler, S., & Gerhold, C. (2021). Order release planning with predictive lead times: A machine learning approach. *International Journal of Production Research*, 59(11), 3285–3303.  
<https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1859634>
- Software Inventor Inventor 2023 oficial*. (2023).  
<https://www.autodesk.pt/products/inventor/overview>
- SOLIDWORKS 3D CAD*. (2017, novembro 27). SOLIDWORKS.  
<https://www.solidworks.com/product/solidworks-3d-cad>
- SOLIDWORKS Electrical Professional | SOLIDWORKS*. (2024). Obtido 16 de janeiro de 2024, de <https://www.solidworks.com/pt/product/solidworks-electrical-professional>
- Suryaningrat, R. G., Wijatmiko, I., & Devia, Y. P. (2022). An Implementation of Lean Approach to Achieve Working Time Efficiency in Precast Factory. *Lean Construction Journal*, 62–81.
- Theodore Wildi. (2002). *Electrical Machines, Drives, and Power Systems* (1.<sup>a</sup> ed.). Prentice Hall.
- Wang, P.-T., Lu, C.-J., & Chang, C.-L. (2022). GRAFCET Virtual Machine Enables Digital Twin and Implements PLCopen Systems. *2022 10th International Conference on Orange Technology (ICOT), Orange Technology (ICOT), 2022 10th International Conference on*, 1–4.  
<https://doi.org/10.1109/ICOT56925.2022.10008133>
- Womack et al. (1990). *The Machine That Changed the World*. Simon and Schuster.
- Zaidi, N., & Kheder, A. (2022). A Novel Electronic throttle control strategy based on Grafcet formalism under real vehicle engine operating conditions. *2022 8th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT), Control, Decision and Information Technologies (CoDIT), 2022 8th International Conference on*, 1, 944–949.  
<https://doi.org/10.1109/CoDIT55151.2022.9804148>

## APÊNDICE A

### Parte experimental (simulação)

Com recurso ao software “Automation Studio, versão 5.6”, foi realizado uma simulação do funcionamento do circuito pneumático de comando elétrico admitindo a existência de apenas dois atuadores, para a realização de um ciclo de trabalho simples.

Para esta simulação, foi elaborado uma sequência simples de operações pneumáticas: A+, A-, B+, B- (em que A+ é o avanço do cilindro A e o A- é o recuo do mesmo, sendo a mesma nomenclatura para o cilindro B). Cada um dos cilindros executa movimentos limitados pela sua haste, detetada a sua conclusão por sensores de fim de curso, de indução, representado na Figura 53 por a0, a1, b0 e b1. Na figura são também visíveis duas válvulas 5/2 (5 orifícios e 2 posições (ou estados)), de acionamento elétrico. Estes componentes são escolhidos da biblioteca de componentes existentes e colocados na folha de desenho de circuitos. As tubagens de ar comprimido, que ligam os orifícios dos componentes utilizados são representadas por linhas.

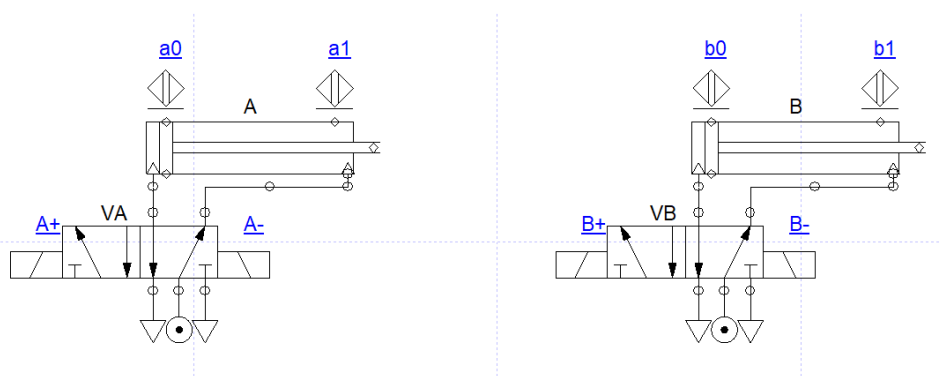


Figura 53 - Imagem da representação dos cilindros no Automation Studio 5.6, parte experimental

Depois de inseridos e identificados os equipamentos foram efetuadas as ligações funcionais. Não são visíveis nesta folha de desenho as ligações elétricas por terem de ser representadas em folha diferente, para o efeito (Electrical Control IEC).

O funcionamento dos equipamentos é controlado por um sistema programável designado PLC, sendo este o responsável por dar ordens ao sistema durante o seu funcionamento.

É no PLC que acontece o controlo de todo o sistema, o PLC possui módulos de entrada, módulos de saída e os comuns presentes em ambos os módulos.

Os comuns estão ligados entre si e em contacto com o neutro do controlador representado por 0V. Todos os outros funcionam de forma individual quando alimentados a 24V.

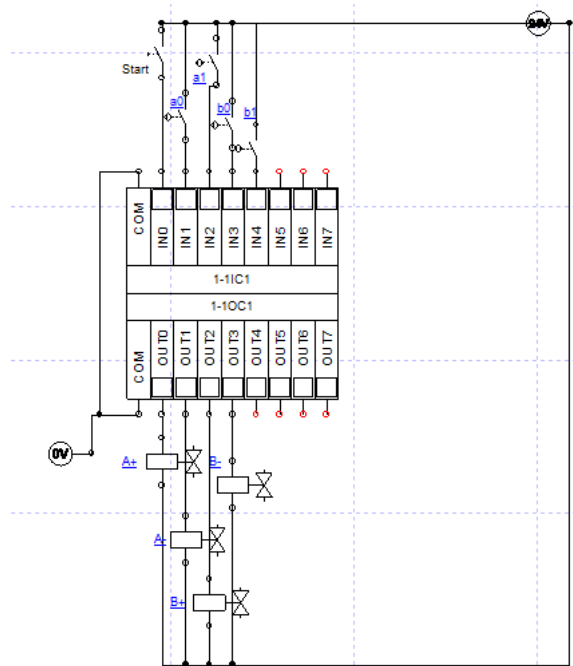


Figura 54 - Controlador com ligações

No módulo de entrada do PLC, são visíveis dois tipos de interruptores, o interruptor de alternância aberto designado por “start”, dando ordem ao sistema para arrancar, e pelos interruptores de proximidade (designados anteriormente por sensores de posição) normalmente abertos designados por a0, a1, b0 e b1, estando estes em concordância com os sensores de proximidade colocados nos cilindros (fins de curso) (Figura 54).

No módulo de saída do PLC são visíveis os solenoides DC/AC designados por A+, A-, B+ e B-, estes estão em concordância com os solenoides representados nas válvulas 5/2.

Para que o sistema tenha uma ordem de funcionamento é necessário a execução de um programa. A programação de um “grafcet”, foi a metodologia adotada e tem com função sequenciar os movimentos do ciclo. Cada movimento do ciclo é representado por uma quadrícula (etapa do grafcet) sendo que só inicia um movimento seguinte quando o movimento anterior tenha sido realizado, isto se a condição da transição for verdadeira (representada por um traço entre 2 quadrícula) (Figura 55).

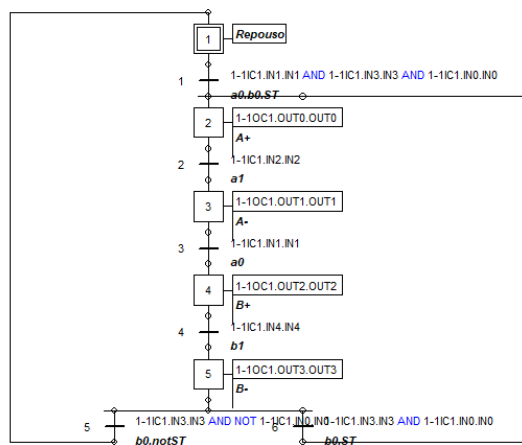


Figura 55 - Grafcet

A Figura 56 representa uma imagem retirada da simulação. Corresponde à realização da etapa 2 do ciclo, ou seja, à ordem de avanço do cilindro A, quando o sensor a1 é ativado (visível a verde a saída do PLC (OUT0). As entradas ativas são também representadas a verde (IN2 e IN3), fazendo avançar o cilindro A.

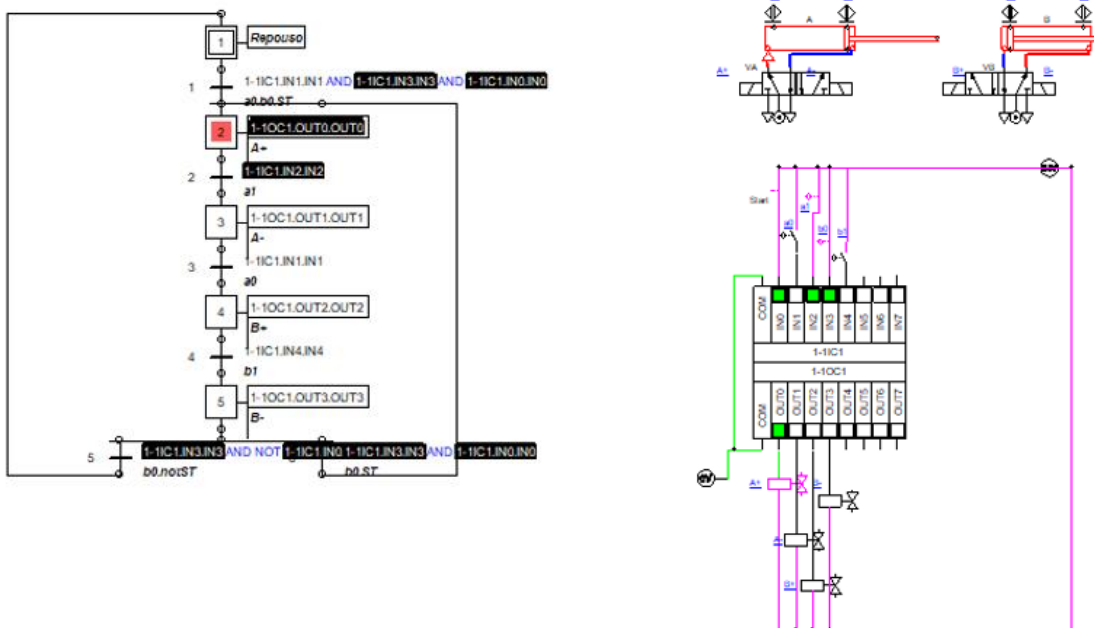


Figura 56 - Testes experimentais Automation Studio

Em suma, com o correto funcionamento dos testes experimentais realizados em Automation Studio versão 5.6, é possível verificar que o programa consegue realizar o que é pretendido neste teste, fazendo deste um excelente recurso para o desenvolvimento da programação virtual do protótipo.

## APÊNDICE B

### Dimensionamento da instalação elétrica contra sobrecargas e curto-circuitos

Apenas é realizado o dimensionamento do condutor que alimenta, em monofásico (230 AC, 50Hz) a instalação elétrica

O dimensionamento é feito segundo as regras técnicas das instalações elétricas de baixa tensão, com o apoio da legislação presente no Diário da República, 1.ª série – N.º 175- 11 de setembro de 2006.

Todos os equipamentos escolhidos para proteção da instalação devem satisfazer a respetiva norma.

### Corrente de serviço do circuito

A corrente de serviço é importante para o dimensionamento dos cabos e dos dispositivos de proteção. A corrente é calculada pela soma de intensidade elétrica dos aparelhos Tabela 23.

Tabela 23 - Intensidade de corrente

<i>Equipamento</i>	<i>Intensidade corrente</i>
<i>PLC</i>	5 A
<i>Atuador horizontal</i>	4,25 A
<i>Atuador vertical</i>	4 A
<i>Electroválvulas</i>	0,129 A
<i>Luz Sinalização</i>	0,125 A
<i>Total</i>	13,504 A

A corrente de serviço foi retirada pela intensidade máxima dos equipamentos presentes no circuito dando assim um total de 13,504 A, correspondendo ao valor de  $I_B$ . Todos os cálculos foram realizados com este valor, mas na realidade o projeto não ultrapassa os 5 A, pois os equipamentos maioritariamente não funcionam em simultâneo (podendo chegar até aos 13,504 A, se este valor for atingido terá que alterar a fonte de alimentação atual).

## Resistividade do Cobre

$$\rho_{[T^{\circ}]} = \rho_{[20^{\circ}C]} \times [1 + \alpha \times (T - T_0)] \quad (1)$$

Segundo a norma:

Resistividade a 20°C do Cobre recozido é 0,17241  $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ .

Coefficiente de variação de resistência ôhmica com a temperatura é 0,00393 $\Omega$

$$\rho_{[T^{\circ}]} = 0,017241 \times [1 + 0,00393 \times (70 - 20)] = 0,0206 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$$

## Queda de tensão máximas admissíveis

“A queda de tensão entre a origem da instalação e qualquer ponto de utilização expressa, função tensão nominal da instalação, não deve ser superior aos valores indicados na norma”.

Tabela 24 - Quedas de tensão máximas admissíveis

QUADRO 520		
Quedas de tensão máximas admissíveis		
Utilização	Iluminação	Outros usos
A - Instalações alimentadas directamente a partir de uma rede de distribuição (pública) em baixa tensão	3 %	5 %
B - Instalações alimentadas a partir de um Posto de Transformação MT/BT <sup>(1)</sup>	6 %	8 %

*(1) - Sempre que possível, as quedas de tensão nos circuitos finais não devem exceder os valores indicados para a situação A. As quedas de tensão devem ser determinadas a partir das potências absorvidas pelos aparelhos de utilização com os factores de simultaneidade respectivos ou, na falta destes, das correntes de serviço de cada circuito.*

$$\Delta V(\%) = \frac{2 \times \rho \times l \times I_B}{S \times V} \times 100 \quad (2)$$

Assumindo que a extensão do fio a utilizar é de 1 metro a variação é de:

- $$\Delta V(\%) = \frac{2 \times 0,0206 \times 1 \times 13,504}{1,5 \times 230} \times 100 = 0,162\%$$

Como visível na equação (2) a queda de tensão existente neste sistema é menor que 5% admissível, o projeto é viável.

## Proteção contra as sobrecargas

Nas instalações elétricas devem ser previstos equipamentos de proteção que interrompam as correntes de sobrecarga, antes que estas possam provocar aquecimentos prejudiciais ao isolamento, ligações e elementos colocados próximos das canalizações.

As características dos dispositivos de proteção das canalizações contra as sobrecargas devem satisfazer as equações (3) e (4):

$$I_B \leq I_N \leq I_Z \quad (3)$$

$$I_2 \leq 1,45 \times I_Z \quad (4)$$

$I_B$  – Corrente de serviço do circuito, em amperes;

$I_Z$  – Corrente admissível na canalização, em amperes;

$I_N$  – Corrente estipulada do dispositivo de proteção, em amperes;

$I_2$  – Corrente convencional de funcionamento, em amperes;

- **Corrente estipulada do dispositivo de proteção e corrente convencional de funcionamento**

Segundo a tabela “correntes estipuladas e correntes convencionais dos disjuntores tipo”.

Tabela 25 - Corrente estipulada e corrente convencional para disjuntores

Corrente estipulada $I_n$ (A)	Corrente convencional de não funcionamento $I_{nf}$ (A)	Corrente convencional de funcionamento $I_2$ (A)
10	11	14
16	18	23
20	22	29
25	28	36
32	36	46
40	45	58
50	56	72
63	71	91
80	90	116
100	113	145
125	141	181

CEI 608098

$I_n$  – Corrente estipulada do disjuntor ;  $I_{nf}$  – Corrente convencional de não funcionamento

$I_2$  – Corrente convencional de funcionamento

O valor de  $I_N$  para a intensidade de corrente máxima (13,504 A) corresponde à utilização de um disjuntor de 16 A e conseqüentemente a um valor de corrente convencional de funcionamento de 23 A (valor de  $I_2$ ) (Tabela 25).

- **Dimensionamento da instalação elétrica**

Segundo o “Quadro 52-C1” presente no Diário da República, 1ª série – Nº175 – 11 de setembro 2006, os condutores isolados a policloreto de vinilo (PVC) para:

- Dois condutores carregados;
- Cobre;
- Temperatura da alma condutora de 70°C;
- Temperatura ambiente: 30°C;

Contudo temos de respeitar a equação para o dimensionamento das tubagens elétricas

$$I_Z > I_B \quad (5)$$

O valor de  $I_B$  (intensidade de corrente de serviço) como calculado anteriormente de 13,504 A, pela consulta do quadro “52-C1 – Correntes admissíveis, em amperes, para os métodos de referência A, B e C de acordo com o quadro 52H”, com situação à vista, com fixação direta de cabos mono ou multicondutores (com ou sem armadura) fixados às paredes, é possível verificar que o método de referência a utilizar é o C.

Com uma secção nominal dos condutores de 1,5 mm<sup>2</sup> e com o método de referência C é possível satisfazer a condição de  $I_B$ , assumindo assim que a intensidade de corrente admissível na canalização,  $I_Z$ , toma o valor de 19,5 A

Tabela 26 - Corrente admissível na canalização

Secção nominal dos condutores (mm <sup>2</sup> )	Método de referência		
	A	B	C <sup>(1)</sup>
<i>Condutores de cobre</i>			
1,5	14,5	17,5	19,5
2,5	19,5	24	27
4	26	32	36
6	34	41	46
10	46	57	63
16	61	76	85
25	80	101	112
35	99	125	138
50	119	151	168
70	151	192	213
95	182	232	258
120	210	269	299
150	240	-	344
185	273	-	392
240	320	-	461
300	367	-	530

Os valores de  $I_Z$  foram retirados para uma temperatura média de 30°C, segundo pesquisas a temperatura média de Viseu encontra-se nos 20°C, sendo necessário ajustar os fatores de correção para os 20°C (equação (6)).

Utilizando o “Quadro 52 – D1” do Diário da República, 1ª série – N°175 – 11 de setembro 2006, foi selecionado a temperatura ambiente de Viseu e o tipo de revestimento do isolamento (PVC) tendo-se obtido um fator de correção da temperatura de 1,12. Assim o valor da corrente admissível corrigida toma o valor aproximado de 21,5 A.

Tabela 27 - Isolamento para temperatura ambiente

Temperatura ambiente (°C)	Isolamento			
	PVC	XLPE/EPR	Mineral <sup>(*)</sup>	
			(a)	(b)
10	1,22	1,15	1,26	1,14
15	1,17	1,12	1,20	1,11
20	1,12	1,08	1,14	1,07
25	1,06	1,04	1,07	1,04
30	1,00	1,00	1,00	1,00
35	0,94	0,96	0,93	0,96
40	0,87	0,91	0,85	0,92
45	0,79	0,87	0,76	0,88
50	0,71	0,82	0,67	0,84
55	0,61	0,76	0,57	0,80
60	0,50	0,71	0,45	0,75
65	-	0,65	-	0,70
70	-	0,58	-	0,65
75	-	0,50	-	0,60
80	-	0,41	-	0,54
85	-	-	-	0,47
90	-	-	-	0,40
95	-	-	-	0,32

(\*) Para temperaturas ambientes superiores, consultar os fabricantes.  
(a) - Cabos com bainha em PVC ou cabos nus e acesíveis (70°C).  
(b) - Cabos nus e inacessíveis (103°C).

$$I'_Z = I_Z \times K_{T_{ambiente}} \quad (6)$$

Com os valores obtidos nas equações anteriores é possível agora calcular a proteção sobre sobrecargas através das seguintes equações (3) e (4):

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$15,504 A < 16 A < 21,84 A$$

$$I_2 \leq 1,45 \times I_Z$$

$$23 A \leq 1,45 \times 21,84 A$$

Como todos os elementos são válidos conseguimos perceber que um disjuntor de 16 A consegue suportar as sobrecargas.

## Proteção contra os curtos-circuitos

“Devem ser previstos dispositivos de proteção que interrompam as correntes de curto-circuito antes que estas se possam tornar perigosas em virtude dos efeitos térmicos e mecânicos que se produzam nos condutores e nas ligações.” Diário da República, 1ª série – Nº175 – 11 de setembro 2006

O tempo de corte da corrente não deve ser superior ao tempo necessário para que a temperatura dos condutores atinja o seu limite admissível, para os curtos-circuitos de duração não superior a 5s.

Este pode ser calculado numa primeira aproximação, pela equação (7)

$$\sqrt{t} = K \times \frac{S}{I_{cc}} \quad (7)$$

t – Tempo, em segundos;

S – Secção dos condutores, em milímetros quadrados;

I<sub>cc</sub> – Corrente de curto-circuito efetiva, em amperes;

K – Constante assumindo o valor de 115 para condutores de cobre isolados a policloreto de vinilo.

Inicialmente foi calculado um novo valor de resistividade para a temperatura curto-circuito da alma admitindo-se um valor medio de 145°C.

$$\rho_{T[^\circ C]} = \rho_{[20^\circ C]} \times [1 + \alpha \times (T - T_0)]$$

$$\begin{aligned} \rho_{T[^\circ C]} &= 0,017241 \times [1 + 0,00393 \times (145 - 20)] \\ &= 0,026 \frac{\Omega mm^2}{m} \end{aligned}$$

Com o novo valor de resistividade é possível calcular a resistência dos condutores equação (8) .

$$\begin{aligned} R_{cond} &= \frac{2 \times \rho \times l}{S} \\ R_{cond} &= \frac{2 \times 0,026 \times 1}{1,5} \\ &= 0,034 \Omega mm^2 / m \end{aligned} \quad (8)$$

Com a resistência dos condutores calculada e com a resistência montante do quadro assumida de 0,20Ω, consegue-se calcular a resistência total equação (9). O valor obtido foi de 0,234 Ω.

$$R_{Total} = (R_{cond} + R_{montante da instalação até ao quadro}) \quad (9)$$

Com o valor da resistência total, é possível foi determinado o valor de 983 A para a intensidade curto-circuito através da equação (10).

$$I_{CC} = \frac{V}{R_{Total}} \quad (10)$$

Através da tabela dos disjuntores magneto térmicos, D30 tipo U presente no Diário da República, 1.ª série – N.º175- 11 de setembro de 2006 é possível verificar que o tempo de disparo do disjuntor para uma intensidade de curto-circuito de 983 A é de 6 ms.

Com os elementos calculados, foi determinado o valor de 30.7 ms como tempo de disparo das canalizações em caso de curto-circuito, pela equação (11).

$$\sqrt{t} = K \times \frac{S}{I_{CC}} \quad (11)$$

Como o tempo de disparo do disjuntor é inferior ao tempo de disparo da canalização elétrica é viável utilizar um disjuntor de 16 A, pois consegue proteger o sistema contra as sobrecargas e curto-circuitos, mantendo assim o utilizador e os equipamentos presentes no sistema em segurança. Todos os cálculos foram elaborados para uma secção nominal de 1,5 mm<sup>2</sup> de cobre isolados a policloreto de vinilo.

Não é necessário fazer o dimensionamento contra choques elétricos uma vez que a alimentação é feita por um condutor monofásico instalado em espaço industrial seco e fora do alcance das pessoas

## APÊNDICE C

### Simulação de programação Automation Studio 5.6

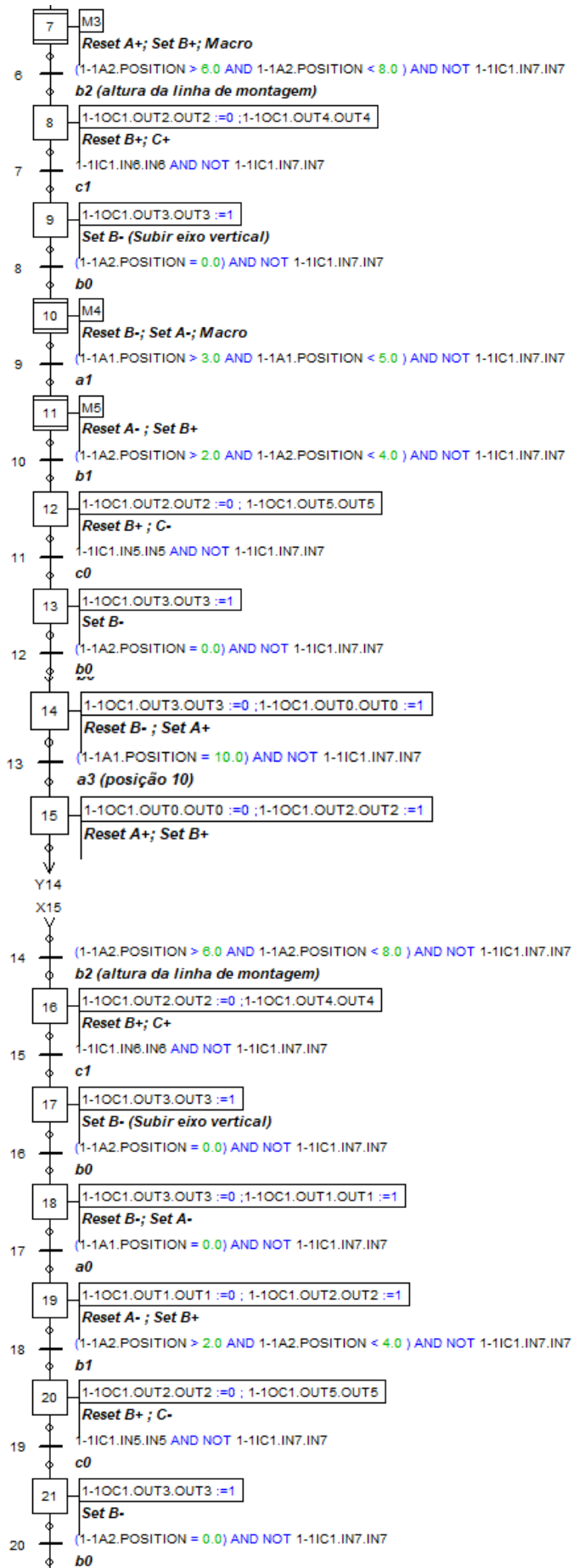
#### Programação *grafcet*

As imagens apresentadas tratar-se de *frames* (imagens retiradas e apresentadas como figuras) retirados do simulador quando o programa estava a ser executado. A programação foi elaborada de forma sequencial para que todas as etapas sejam cumpridas, para ajudar na programação e conceção, cada etapa possui comentários (tanto nas etapas como nas transições).

Todas as macros estão representadas no *grafcet* com as siglas M1, M2 e assim sucessivamente até ao M7. Estas macros são de posicionamento intermédio tanto no atuador elétrico horizontal como vertical.

Em termos de pormenores relativos à programação conseguimos verificar a existência de intervalos de posição (Macros), ( $:=$  (0 ou 1)) representado por 0 (reset – forçar a variável a parar) ou 1 (Set – Forçar a variável a avançar) os Y's ( são os caminhos de programação por exemplo y27- a operação anterior é a 27).





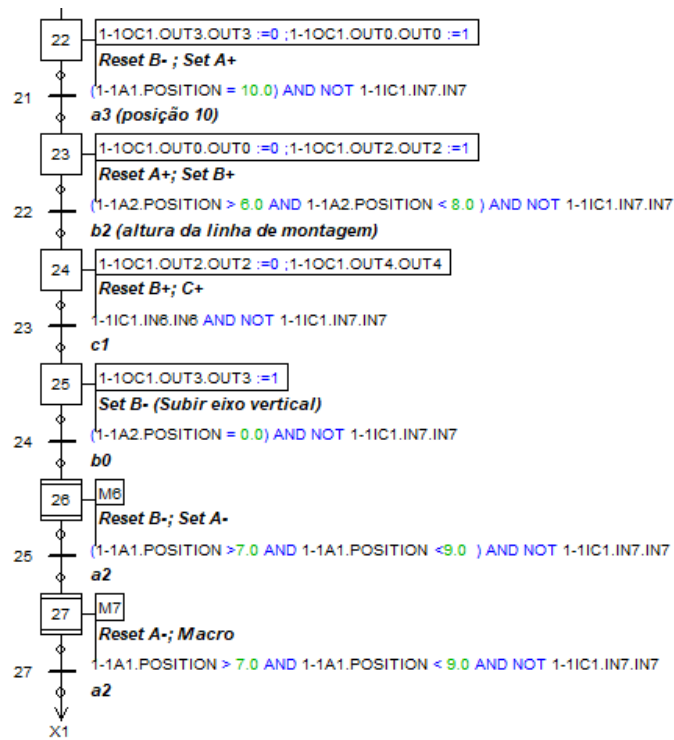


Figura 57 - Programação simulação

## Testes de posição Macros

As macros de posição são compostas por várias etapas verificadoras, estas verificam a posição atual do atuador e o fazem movimentar para uma nova posição até que este se encontre dentro dos limites pré-definidos.

Para garantir que o atuador elétrico se encontra na posição definida, é necessário fazer dois tipos de verificações diferentes, uma para o caso da posição ser menor do que o limite inferior definido e a outra caso a posição seja maior do que o limite superior definido. Quando a posição se encontra nos limites pré-definidos o *grafcet* prossegue para nova etapa.

As macros de posição 1-1A1.POSITION são macros relativas ao atuador elétrico horizontal, ao passo que as macros com posição 1-1A2.POSITION são macros relativas ao atuador elétrico vertical.

A grande diferença entre as macros de posição intermédias são os intervalos definidos, assim a que atuador elétrico pertencem.

As Figura 58, Figura 63 Figura 64 são macros de posição intermédia, do atuador elétrico horizontal, a posição está compreendida entre 7 e 9 volt.

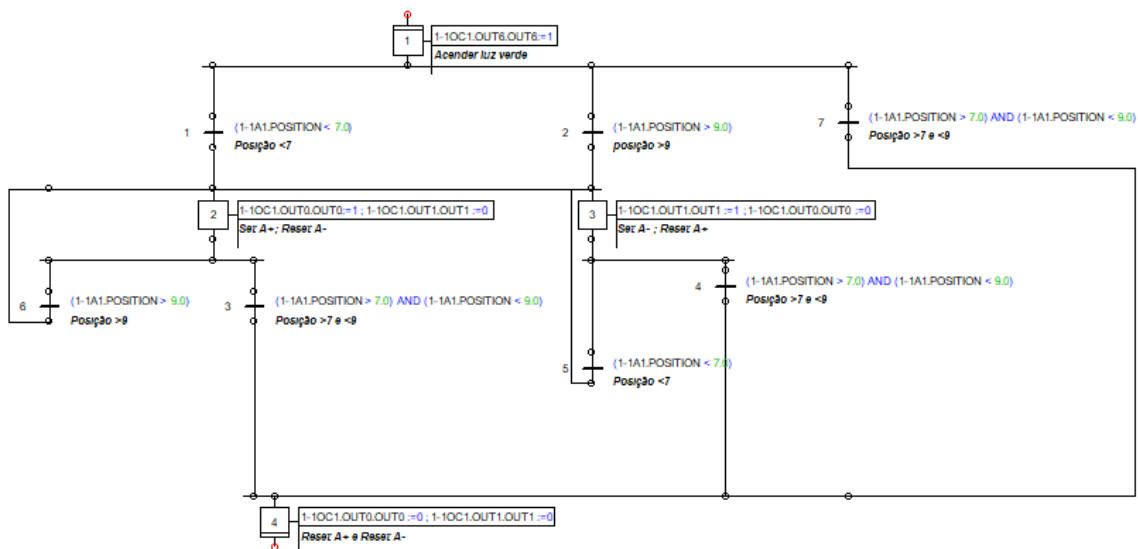


Figura 58 - Macro de posição intermedia 1

As Figura 59 e Figura 62 são macros de posição intermédia do atuador elétrico vertical, a posição está compreendida entre 2 e 4 volt.

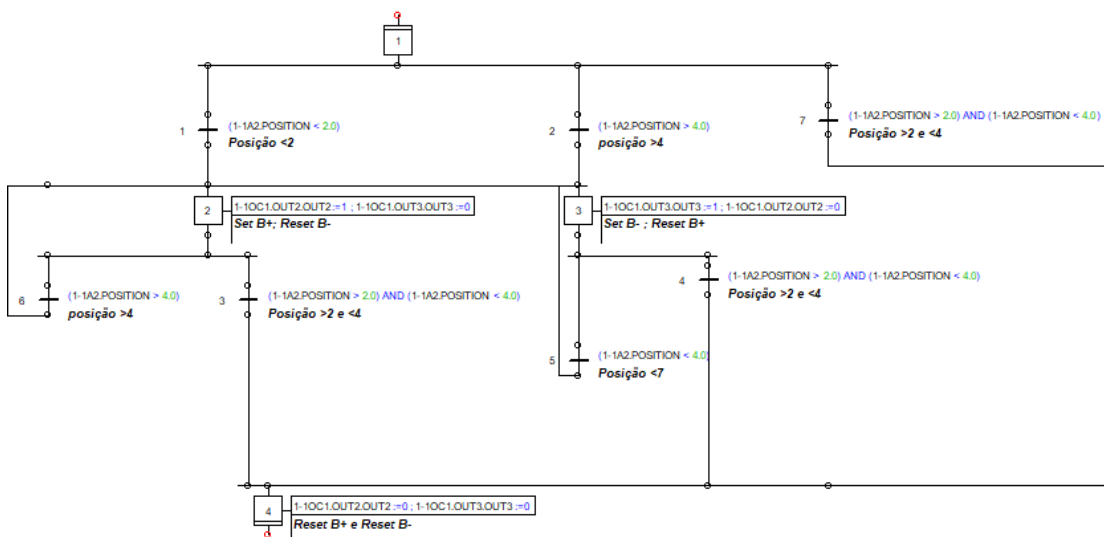


Figura 59 - Macro de posição intermedia 2

A Figura 60 é uma macro de posição intermédia do atuador elétrico vertical, a posição está compreendida entre 6 e 8 volt.

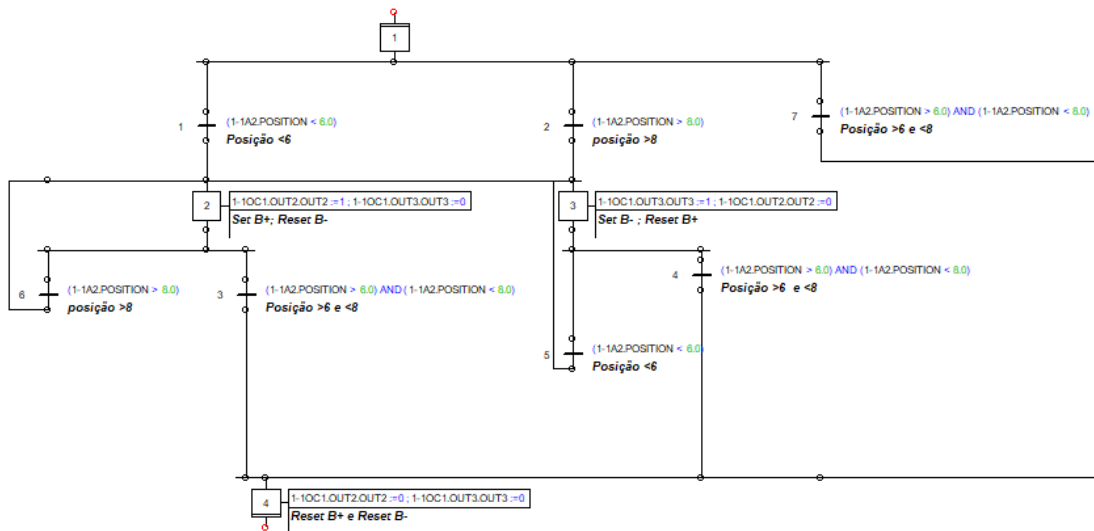


Figura 60 - Macro de posição intermedia 3

A Figura 61 é uma macro de posição intermédia do atuador elétrico horizontal, a posição está compreendida entre 3 e 5 volt.

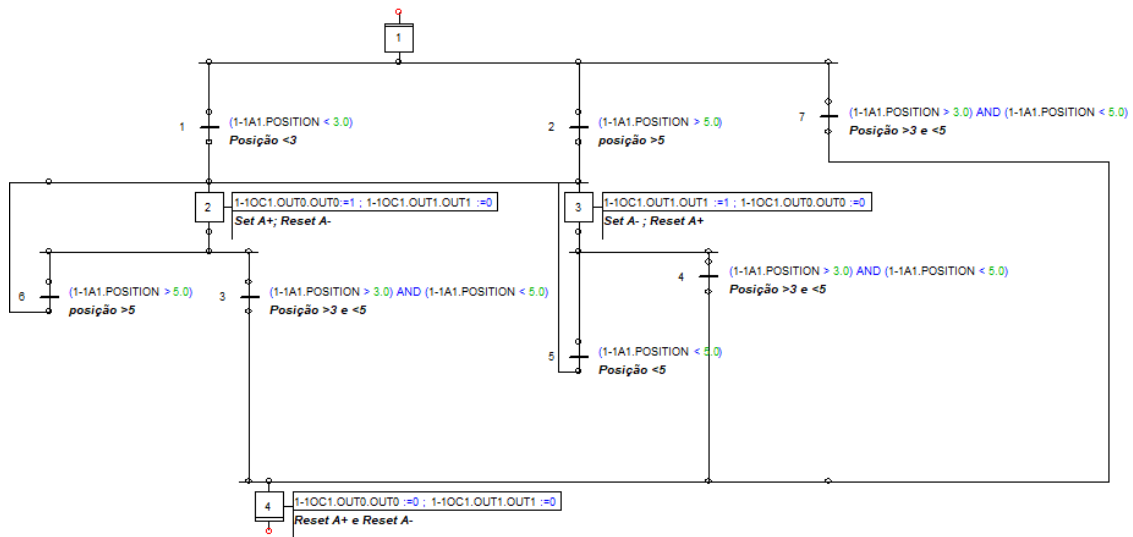


Figura 61 - Macro de posição intermedia 4

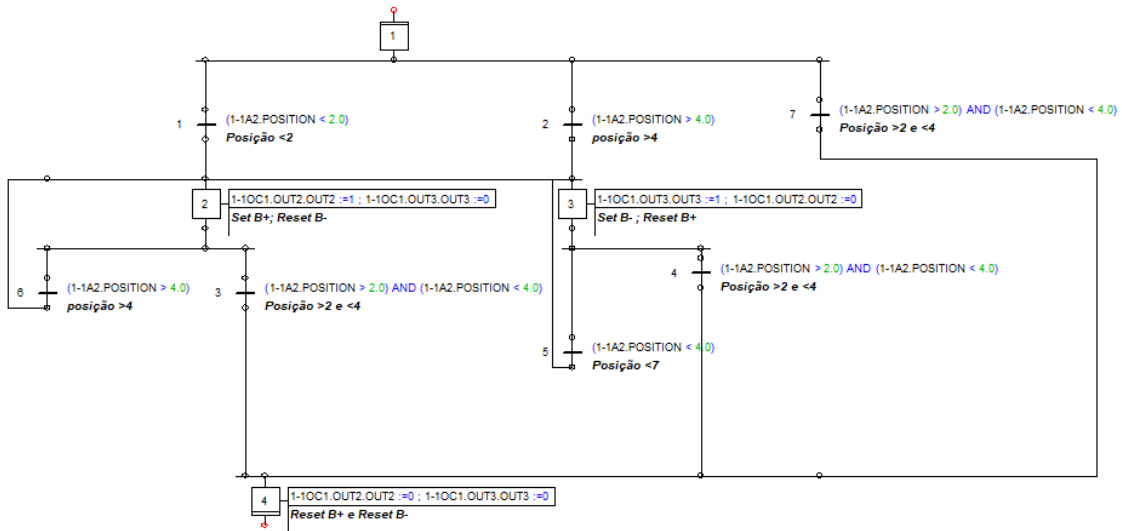


Figura 62 - Macro de posição intermedia 5

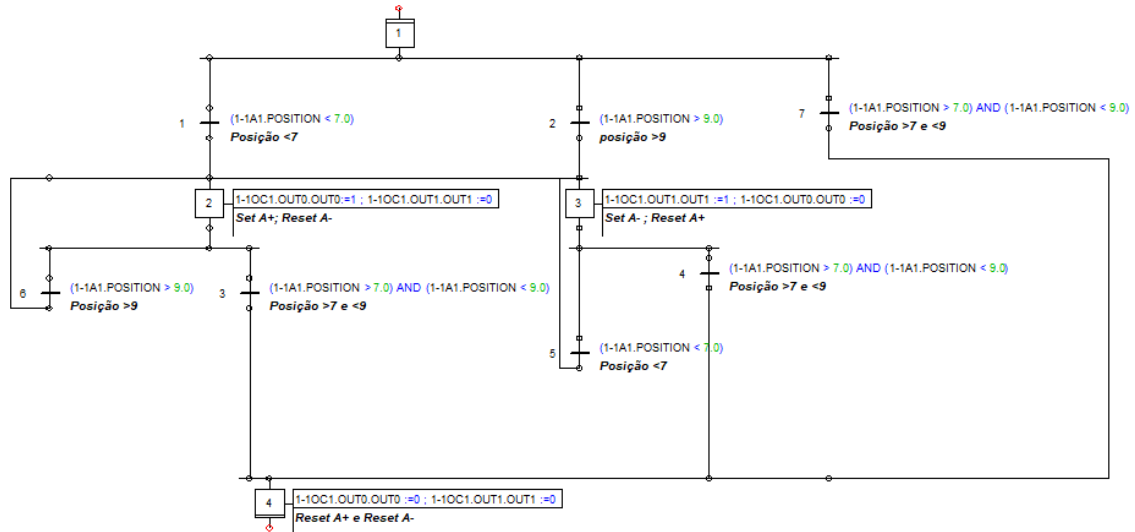


Figura 63 - Macro de posição intermedia 6

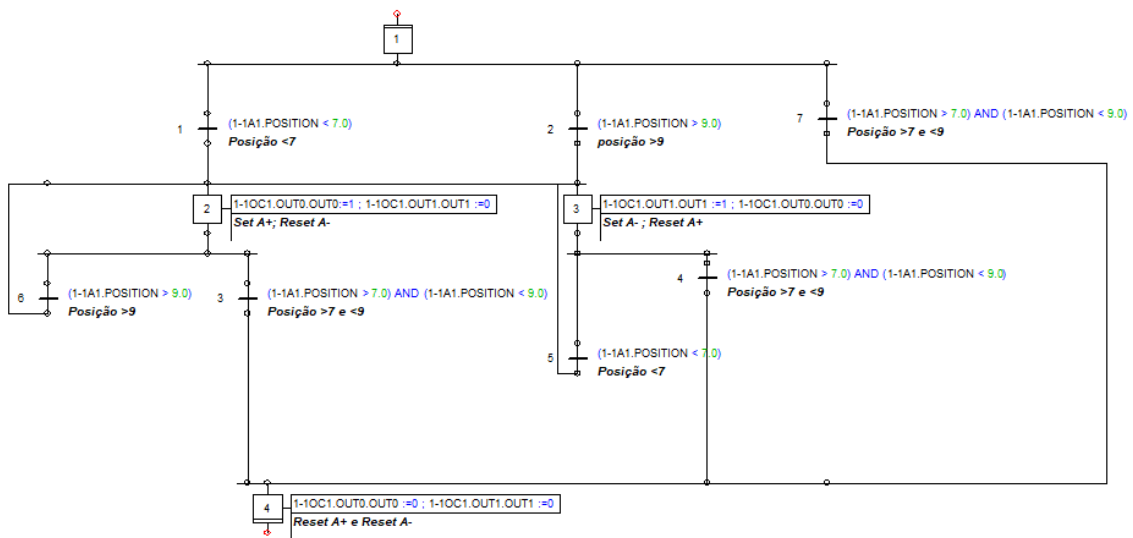


Figura 64 - Macro de posição intermedia 7

## APÊNDICE D

### Atualização do *firmware* do controlador

Para a atualização do *firmware* do controlador, os técnicos da Schneider enviaram um pequeno vídeo onde se identificam os passos a efetuar.

Para fazer a atualização do *firmware* utilizou-se o cartão de memória do PLC e o software da marca o “*Controller Assistant da Schneider*”.

Foi selecionada a opção *Update firmware*, para prosseguir para a próxima etapa (Figura 65)

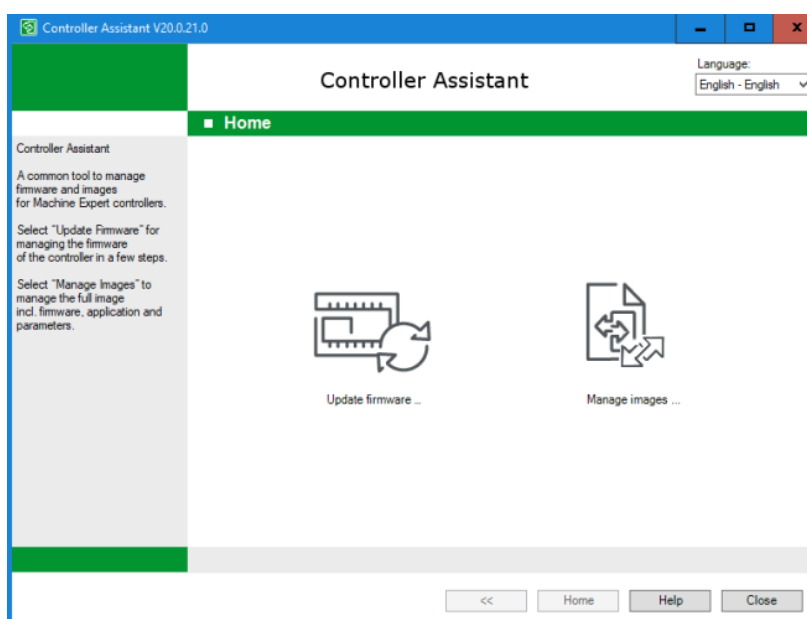


Figura 65 - Controller Assistant passo 1

Nesta segunda etapa será escolhido o modelo no nosso PLC assim como a referência do software, em seguida carrega-se no botão *Next* (Figura 66).

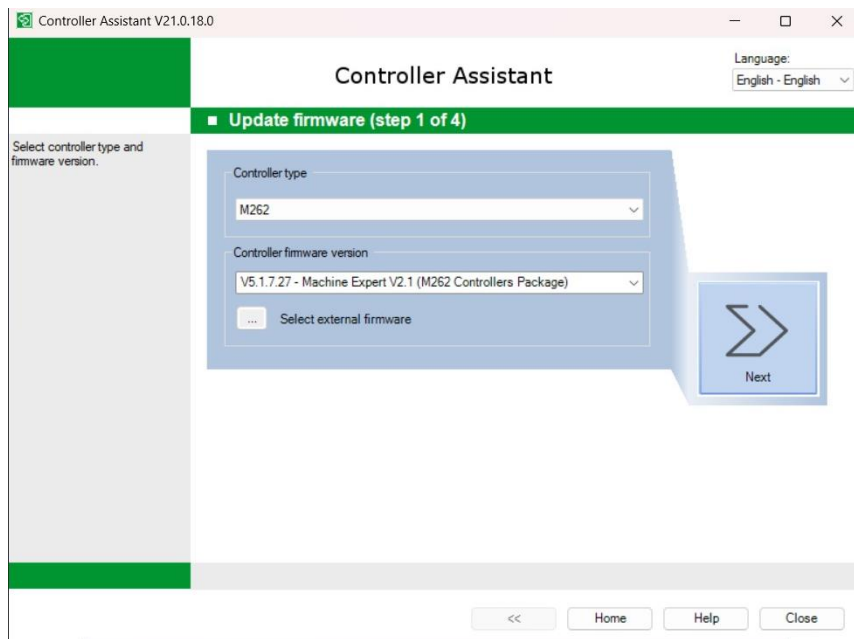


Figura 66 - Controller Assistant passo 2

Na terceira etapa de configuração coloca-se o *IP-Address* com os seguintes valores 0.0.0.0, assim como são usados os mesmos valores para os seguintes parâmetros, *Subnet mask* e o *Gateway* (Figura 67).

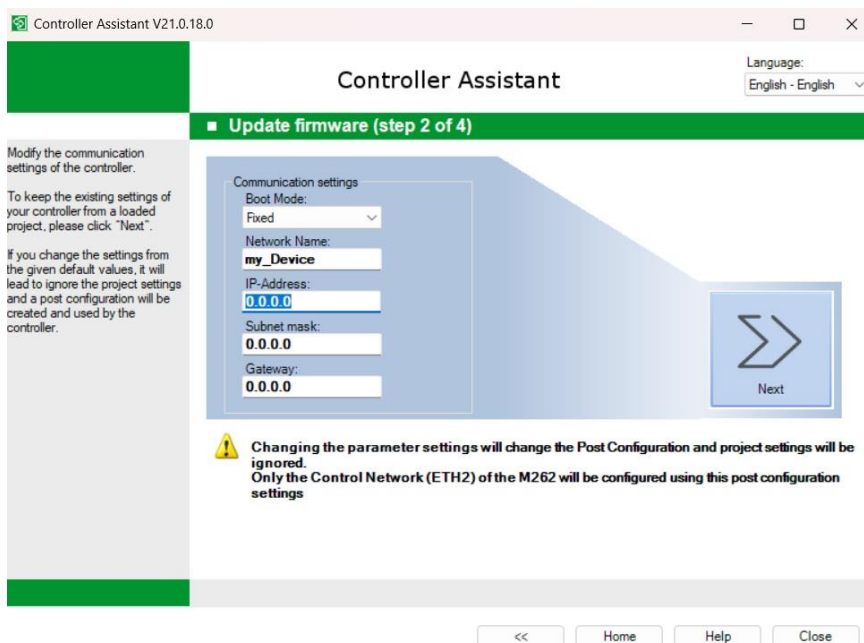


Figura 67 - Controller Assistant passo 3

Após a configuração deve-se carregar no botão *Next* para avançar para a próxima página.

Selecionamos o cartão de memória no *disk drive* e escolhemos a opção *Write* para seguir para a última etapa (Figura 68).

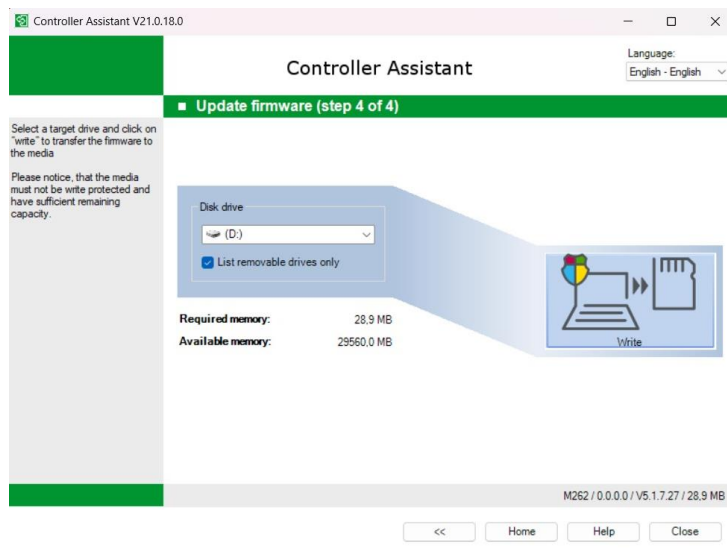


Figura 68 - Controller Assistant passo 4

Esta última etapa (Figura 69) consiste em escrever no cartão de memória as novas atualizações para que o programa consiga reconhecer o controlador.

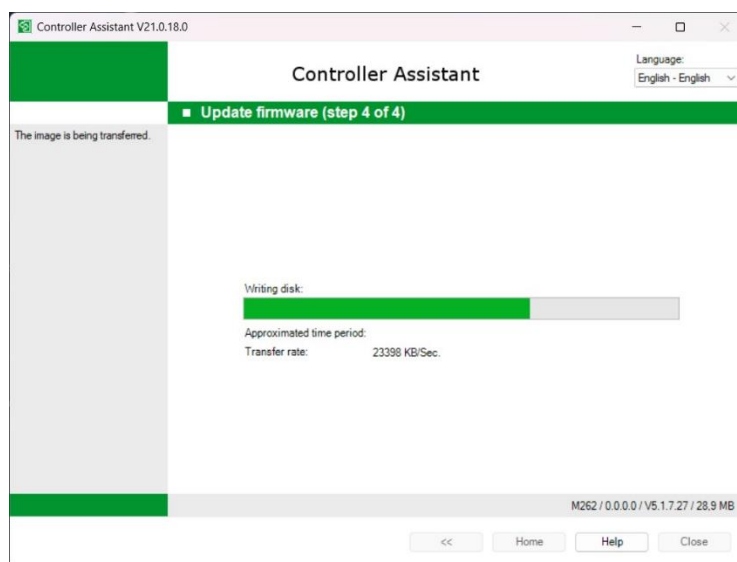


Figura 69 - Controller Assistant final

Após o término da atualização do *firmware*, deve-se dar por concluído todas as etapas do programa “*Controller Assistant*” e seguir com as indicações dos técnicos da Schneider (referidas no texto da dissertação).