

Sistema de Inspeção de Paletes

HUGO MIGUEL LOPES OLIVEIRA

Outubro de 2022

SISTEMA DE INSPEÇÃO DE PALETES

Hugo Miguel Lopes Oliveira

Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Área de Especialização em Automação e Sistemas

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de
Tese/Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Candidato: Hugo Miguel Lopes Oliveira, Nº 1170768, 1170768@isep.ipp.pt

Orientação científica: Professor Ramiro de Sousa Barbosa, rsb@isep.ipp.pt

Empresa: Körber Supply Chain PT, S.A.

Supervisão: Vasco Branco, vasco.branco@koerber.com



Departamento de Engenharia Eletrotécnica
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Área de Especialização em Automação e Sistemas

2022

Agradecimentos

Durante esta jornada longa e árdua, muitas pessoas contribuíram para me manter focado e motivado. Deixo aqui um grande obrigado a todas as pessoas que contribuíram nesta jornada, tanto diretamente como indiretamente.

Ao meu orientador no Instituto Politécnico de Engenharia do Porto, o Professor Ramiro Barbosa, por toda a ajuda e monitorização e pelas várias sugestões para a melhoria do trabalho.

Ao Engenheiro Vasco Branco, o meu orientador na empresa, por todo o suporte, confiança e ajuda providenciada ao longo deste projeto.

Ao Engenheiro Fernando Pinheiro, pela disponibilidade, pela companhia e por estar sempre disposto a ajudar-me no que fosse necessário.

À Körber pela oportunidade que me permitiu crescer tanto a nível pessoal como académico.

A todos os meus amigos, colegas e professores.

Um grande obrigado à Inês, uma parceira fundamental na minha jornada, pelo apoio incondicional, paciência, compreensão e motivação ao longo destes meses.

E por fim um grande obrigado aos meus pais por investirem no meu percurso académico e por acreditarem nas minhas capacidades.

Resumo

A presente dissertação, desenvolvida no âmbito do 2º ano do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, com especialização em Automação e Sistemas, surgiu como conclusão de um projeto, em contexto industrial, realizado na Körber Supply Chain PT.

O projeto apresentado surge no sentido de desenvolver um sistema de inspeção de paletes com recurso ao mínimo de elementos mecânicos possíveis, que seja capaz de substituir o atual sistema totalmente mecânico.

Iniciou-se, com uma revisão do estado da arte, com o objetivo de verificar que tipos de sistemas de inspeção de paletes existem no mercado, quais os trabalhos académicos realizados sobre o tópico, quais os sensores que são possíveis de usar para a inspeção de paletes, *software* existente para o tratamento de dados provenientes desses mesmos sensores, um aprofundamento sobre os PLC e por fim quais as normas existentes para a construção/inspeção de paletes.

Posteriormente, para se definir os requisitos necessários para a criação do novo sistema, foi necessário analisar o sistema atual, quais os seus componentes, como funciona, quais os seus problemas e por fim quais os erros que consegue identificar.

Após se ter identificado quais os requisitos necessários, procedeu-se à construção do novo sistema de inspeção de paletes. Este sistema tem como elemento principal um sensor LiDAR, sendo que foram feitos alguns testes iniciais para determinar qual o melhor sensor LiDAR disponível na empresa. Este comunica diretamente com um PLC e este com uma consola HMI simulada. Este sensor LiDAR através do seu *software* permite desenhar 3 áreas, sendo que caso algum objeto se encontre numa dessas áreas é enviado um sinal digital ao PLC para tratamento e visualização na consola.

Para validação da *performance* do sistema foram efetuados diversos testes com várias paletes com diferentes tipos de defeitos. Através destes testes foi possível determinar o

que era possível identificar com este sistema e qual o fator que está a limitar esta aplicação, verificando-se que em movimento o tempo de resposta do sistema era limitativa.

Por fim verificou-se que apesar de este sistema de inspeção de paletes atingir quase todos os requisitos pretendidos, ficava aquém quando o erro a detetar era plástico transparente.

Palavras-Chave

Inspetor de Paletes, LiDAR, PLC, TIA Portal, HMI.

Abstract

The present dissertation, developed within the scope of the 2nd year of the Master in Electrical and Computer Engineering, with a specialization in Automation and Systems, emerged as the conclusion of a project, in an industrial context, carried out at Körber Supply Chain PT.

The project presented arises in the sense of developing a pallet inspection system using the least possible mechanical elements, which is capable of replacing the current fully mechanical system.

It began with a review of the state of the art, with the objective of verifying what types of pallet inspection systems exist on the market, what academic works have been carried out on the topic, what sensors are possible to use for the inspection of pallets, existing software for processing data from these same sensors, an in-depth look at PLCs and finally what are the existing standards for the construction/inspection of pallets.

Subsequently, in order to define the necessary requirements for the creation of the new system, it was necessary to analyze the current system, what are its components, how it works, what are its problems and finally what errors it can identify.

After identifying the necessary requirements, the construction of the new pallet inspection system was carried out. This system has a LiDAR sensor as its main element, and some initial tests were carried out to determine the best LiDAR sensor available in the company. It communicates directly with a PLC and the latter with a simulated HMI console. This LiDAR sensor, through its software, allows you to draw 3 areas, and if an object is in one of these areas, a digital signal is sent to the PLC for processing and visualization on the console.

To validate the system's performance, several tests were carried out with several pallets with different types of defects. Through these tests it was possible to determine what was possible to identify with this system and which factor is limiting this application, verifying that in motion the response time of the system was restrictive.

Finally, it was found that although this pallet inspection system reached almost all the requirements, it was not the desired when the error to be detected was transparent plastic.

Keywords

Pallet Inspector, LiDAR, PLC, TIA Portal, HMI.

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
1.1.CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2.OBJETIVOS.....	2
1.3.CALENDARIZAÇÃO	2
1.4.ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO.....	3
2. ESTADO DA ARTE	5
2.1EXEMPLOS DE SISTEMAS DE INSPEÇÃO DE PALETES	5
2.1.1IVISIS PALLETINSPECTOR	5
2.1.2KÖHL – INNOVATIVE EMPTY PALLET CHECKING SYSTEM (LPK)	8
2.1.3SCORPION 3D STINGER FOR PALLET SORTING	11
2.2TRABALHOS DESENVOLVIDOS PARA A INSPEÇÃO AUTOMATIZADA DE PALETES.....	18
2.2.1INSPEÇÃO ULTRASSÔNICA DE COMPONENTES DE PALETES DE MADEIRA.....	18
2.2.2MEDIDAÇÃO E INSPEÇÃO AUTOMATIZADA DE PALETES DE MADEIRA USANDO O HISTOGRAMA.....	20
2.3SENSORES USADOS PARA A INSPEÇÃO DE PALETES	22
2.3.1CÂMARAS 2D E 3D	22
2.3.2LIDAR	28
2.4SOFTWARE.....	30
2.4.1TERRASOLID	30
2.5PLC – PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER.....	38
2.5.1O QUE É UM PLC?	39
2.5.2HARDWARE	43
2.6NORMAS PARA A INSPEÇÃO E/OU CONSTRUÇÃO DE PALETES	44
2.6.1DIN EN 13698-1	44
2.6.2DIN EN 13698-1	48
3. SISTEMA ATUAL E REQUISITOS A ATINGIR	53
3.1SISTEMA ATUAL.....	53
3.2REQUISITOS DO SISTEMA	56
4. ARQUITETURA E IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA.....	59
4.1ARQUITETURA	59
4.2TIA PORTAL.....	60
4.2.1SIMATIC STEP7	61
4.2.2SIMATIC WINCC	62
4.3ESCOLHA DO SENSOR LIDAR.....	63

4.3.1	SENSORES DISPONÍVEIS PARA TESTES.....	63
4.3.2	TESTES REALIZADOS PARA AVALIAR QUAL SENSOR É O MELHOR.....	65
4.4	IMPLEMENTAÇÃO DO <i>HARDWARE</i>	69
4.5	CONFIGURAÇÃO DO LGS-N10	72
4.6	PROGRAMAÇÃO PLC.....	76
4.7	PROGRAMAÇÃO HMI.....	83
4.8	CUSTO DO SISTEMA.....	87
5.	TESTES E RESULTADOS	89
5.1	TESTES.....	89
5.2	CONCLUSÕES	101
6.	CONCLUSÃO E MELHORIAS FUTURAS.....	103
	REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS	105

Índice de Figuras

Figura 1 IVISIS – PalletInspector [1]	6
Figura 2 KÖLH - <i>Innovative empty pallet checking system</i> (LPK) [2]	8
Figura 3 Diferentes módulos do sistema de inspeção de paletes da KÖLH [2]	10
Figura 4 <i>Layout</i> do Scorpion 3D Stinger for Pallet Sorting [3]	12
Figura 5 Scorpion 3D Stinger Camera + <i>Software</i> [4]	13
Figura 6 Scorpion 2D Stinger Camera [5]	15
Figura 7 Scorpion Vision Software [6]	16
Figura 8 Arquitetura geral do sistema de inspeção baseado em ultrassons [7]	19
Figura 9 Arquitetura geral do sistema de inspeção baseado em segmentação de imagens [8]	20
Figura 10 Resultados da segmentação usando o método HCE [8]	22
Figura 11 Triangulação Laser [9]	24
Figura 12 Visão Estéreo [10]	25
Figura 13 Tecnologia TOF [11]	26
Figura 14 Scanner de luz estruturada [9]	27
Figura 15 Tecnologia LiDAR [12]	29
Figura 16 TerraScan a correr por cima do MicroStation	33
Figura 17 Filtragem realizada pelo TerraMatch [16]	36

Figura 18 Arquitetura básica de um PLC [18]	39
Figura 19 Exemplo de programação LD [27]	40
Figura 20 Exemplo de programação FBD [24]	41
Figura 21 Exemplo de programação IL [28]	41
Figura 22 Exemplo de programação ST [29]	42
Figura 23 Sistema PLC [18]	44
Figura 24 Partes de uma euro palete de 800 mm x 1200 mm [20]	45
Figura 25 Inspetor de paletes atual	53
Figura 26 Configuração das fotocélulas	55
Figura 27 Matriz de erros para Euro e Type D/Cage paletes	55
Figura 28 Arquitetura do sistema de inspeção de paletes.	59
Figura 29 Listagem de <i>software</i> instalado no TIA Portal	61
Figura 30 Aplicação desenvolvida em WinCC [25]	62
Figura 31 Ecrã de uma HMI [26]	62
Figura 32 Sick TIM 310 e suas especificações [30]	63
Figura 33 Sick TIM 351 e suas especificações	64
Figura 34 DataLogic LGS-N10 e suas especificações [31]	64
Figura 35 Configuração adotada para os testes iniciais	66
Figura 36 Silhueta da paleta traçada pelo LGS-N10	66
Figura 37 Teste do prego	67

Figura 38 Teste do prego com o TIM 351	68
Figura 39 Teste do plástico com o LGS-N10	69
Figura 40 Distâncias de instalação do sensor à parte debaixo dos rolos	70
Figura 41 Fotocélula e bloco de madeira	71
Figura 42 PLC, carta AS-i e cartas E/S	71
Figura 43 Relés	72
Figura 44 Página de configuração do LGS-N10	73
Figura 45 Página de configuração avançado do LGS-N10	74
Figura 46 <i>Software</i> OforgeV2	74
Figura 47 Primeiro conjunto de áreas	75
Figura 48 Conjunto de áreas para verificação dos blocos	75
Figura 49 Conjunto de áreas para verificação das tábuas	76
Figura 50 Fluxograma geral do programa PLC desenvolvido	77
Figura 51 Fluxograma do bloco 11 em detalhe	80
Figura 52 Fluxograma do bloco 12 em detalhe	81
Figura 53 Fluxograma do bloco 13 em detalhe	83
Figura 54 Ecrã inicial	84
Figura 55 Ecrã manual com o <i>drive</i> do motor desativo	84
Figura 56 Ecrã manual com o <i>drive</i> do motor ativado	85
Figura 57 Modo automático desativo	86

Figura 58 Modo automático ativo	86
Figura 59 Palete boa	90
Figura 60 Palete totalmente danificada	91
Figura 61 Palete com buraco 20x20 mm e 40x40 mm	92
Figura 62 Palete com uma camada de plástico de 4 cm	93
Figura 63 Palete com cartão de 4 cm	94
Figura 64 Palete com uma camada de plástico a bloquear completamente o túnel	94
Figura 65 Palete com 3 camadas de plástico a bloquear completamente o túnel	95
Figura 66 Palete com 5 camadas de plástico a bloquear completamente o túnel	95
Figura 67 Palete com 5 camadas de plástico com 4 cm	96
Figura 68 Palete com tábua partida e buraco 40x40 mm	97
Figura 69 Palete com buraco 20x240 mm e 40x40 mm	98
Figura 70 Palete com buraco 20x20 mm e 40x40 mm no meio das tábuas	99
Figura 71 Palete com buraco 20x80 mm e 40x80 mm no meio das tábuas	100
Figura 72 Rede 1 e 2	111
Figura 73 Rede 3	111
Figura 74 Rede 4	112
Figura 75 Rede 5	112
Figura 76 Rede 6 e 7	113
Figura 77 Rede 8	113

Figura 78 Rede 9 e 10	114
Figura 79 Rede 11	114
Figura 80 Rede 12	114
Figura 81 Rede 13	115

Índice de Tabelas

Tabela 1 Calendarização	3
Tabela 2 Dimensões e tolerâncias dos componentes de uma paleta [20]	45
Tabela 3 Dimensões e tolerâncias na montagem (em mm) [20]	45
Tabela 4 Tamanho das amostras	47
Tabela 5 Número máximo de defeitos [20]	48
Tabela 6 Tolerância máxima dos componentes [21]	50
Tabela 7 Tolerâncias gerais máximas de paletes com especificações desconhecidas [21]	51
Tabela 8 Medidas do inspetor de paletes atual importantes	54
Tabela 9 Comparativo das especificações dos 3 LiDAR	65
Tabela 10 Preço do sistema finalizado	87
Tabela 11 Paleta com buraco 20x20 mm e 40x40 mm no meio das tábuas a uma velocidade de 0,09 metros por segundo	99
Tabela 12 Exemplo de um relatório típico de inspeção.	109

Acrónimos

AC	<i>Alternating Current</i>
AS-i	<i>Actuator Sensor Interface</i>
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
CCD	<i>Charge-Coupled Device</i>
CHEP	<i>Commonwealth Handling Equipment Pool</i>
CMOS	<i>Complementary Metal-Oxide Semiconductor</i>
CPU	<i>Central Process Unit</i>
DC	<i>Direct Current</i>
DIN	<i>Deutsche Industrie Norm</i>
EPAL	<i>European Pallet Association</i>
FBD	<i>Function Block Diagram</i>
FPGA	<i>Field-Programmable Gate Array</i>
GigE	<i>Gigabit Ethernet</i>
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GPU	<i>Graphics Processing Unit</i>
HCE	<i>Histogram of Connected Elements</i>
HMI	<i>Human-Machine Interface</i>

IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IL	<i>Instructions List</i>
IMU	<i>Inertial Measurement Unit</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
KSC	Körber Supply Chain
LAN	<i>Local Area Network</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
LD	<i>Ladder Diagram</i>
LED	<i>Light-Emitting Diode</i>
LiDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
LPR	<i>La Palette Rouge</i>
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
RADAR	<i>Radio Detection and Ranging</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
ROI	<i>Region of Interest</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SCL	<i>Structured Control Language</i>
SGM	<i>Semi-Global Matching</i>

ST	<i>Structured Text</i>
STL	<i>Statement List</i>
SXGA	<i>Super Extended Graphics Array</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TIA	<i>Totally Integrated Automation</i>
TOF	<i>Time-Of-Flight</i>
UAV	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>
UIC	<i>Unit Identification Code</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
VGA	<i>Video Graphics Array</i>

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo será efetuada uma contextualização da empresa e do trabalho a desenvolver ao longo deste trabalho, assim como os objetivos a atingir, a calendarização das diversas etapas durante o desenvolvimento do trabalho e a estruturação da presente dissertação.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A automatização de todo o tipo de processos é cada vez mais recorrente, sendo que os armazéns automáticos são soluções de gestão de produtos e *stock* cada vez mais usadas em todo o tipo de indústria, permitindo agilizar as operações de receber, tramitar, inventariar e embarcar as mercadorias.

Na Körber Supply Chain PT são desenvolvidas e construídas soluções personalizadas de acordo com os requisitos do cliente para armazéns automáticos. Estas soluções podem ser aplicadas em vários setores de atividade, como alimentação, bebidas, papel, químicos, farmacêutica, automóvel, entre outros.

A empresa tem mais de 30 anos de experiência, contudo, só em 17 de setembro de 2015 é que o grupo Körber adquiriu a empresa, antes a KSC pertencia ao grupo da Efacec e o nome da mesma era Efacec Handling Solutions.

A presente dissertação centra-se no desenvolvimento de um sistema automático de inspeção de paletes que permita a identificação de paletes defeituosas, e foi elaborada em colaboração com o departamento de Investigação & Desenvolvimento.

Estes sistemas são vastamente implementados em armazéns automatizados e permitem eliminar o erro humano durante a inspeção das paletes assim como diminuir o esforço físico por parte do operário.

1.2. OBJETIVOS

Como referido anteriormente, o objetivo da presente dissertação passa pelo desenvolvimento de um sistema de inspeção de paletes que consiga resultados tão bons ou melhores que o sistema atualmente implementado pela KSC e que necessite de pouca manutenção, evitando o uso de componentes mecânicos de contacto. De modo a atingir o objetivo foi necessário:

- Averiguar o tipo de sistemas disponíveis no mercado;
- Definir qual o tipo de tecnologia a adotar;
- Verificar quais as normas disponíveis para a inspeção de paletes;
- Testar qual o tipo de sensor que mais se adequa para o projeto;
- Levantamento dos requisitos necessários para a construção do novo sistema;
- Montagem do sensor num tapete de rolos;
- Desenvolver código PLC para tratamento dos dados provenientes do sensor;
- Realização de diversos testes para verificar a *performance* do sistema.

1.3. CALENDARIZAÇÃO

Para a pesquisa e desenvolvimento de um sistema de inspeção de paletes automatizado foram necessárias realizar diversas tarefas ao longo destes meses, levando à calendarização apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 Calendarização

	Fevereiro				Março				Abril				Maio				Junho				Julho				Agosto				Setembro				Outubro			
	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª						
Pesquisa e elaboração do estado da arte																																				
Testes para escolha do LiDAR																																				
Instalação do <i>hardware</i> do protótipo final																																				
Desenvolvimento do código PLC																																				
Desenvolvimento de uma HMI																																				
Testes de <i>performance</i> finais																																				
Elaboração da dissertação																																				

1.4. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

Esta dissertação está estruturada em 6 capítulos.

No Capítulo 1 é efetuada uma introdução e respetiva contextualização do tema do trabalho, a empresa que abraçou o projeto e os objetivos que são propostos a cumprir.

No Capítulo 2 é apresentado o estudo efetuado sobre o Estado da Arte relativamente ao tipo de sistemas para inspeção de paletes disponíveis na indústria, trabalhos de pesquisa desenvolvidos para este tipo de aplicação, quais os tipos de sensores que podem ser usados para o efeito, *software* utilizado e quais as normas a aplicar para a inspeção de paletes.

No Capítulo 3 é efetuada uma descrição do sistema atual de inspeção de paletes, quais as suas características, o que consegue e o que não consegue inspecionar e os atuais problemas. É realizado também um levantamento dos requisitos necessários para a construção do novo sistema.

No Capítulo 4 é apresentada a arquitetura do sistema a desenvolver, são realizados alguns testes para a escolha do melhor sensor LiDAR para o efeito, é realizada a montagem do sensor no tapete, é apresentada a programação efetuada a nível de PLC assim como toda a configuração do sensor.

No Capítulo 5 são apresentados os resultados dos testes realizados para verificação da eficácia do sistema desenvolvido.

No Capítulo 6 é efetuada a conclusão do trabalho desenvolvido e quais as possíveis melhorias futuras a aplicar.

2. ESTADO DA ARTE

Os sistemas de inspeção de paletes automatizados são comuns na indústria, mas a informação disponível para a sua construção é limitada.

Neste contexto, optou-se em primeiro lugar por descrever alguns sistemas existentes no mercado para entender os diferentes tipos de abordagens para o problema em questão. Seguida de uma descrição das abordagens seguidas pelos únicos dois trabalhos encontrados no âmbito da inspeção de paletes. Em terceiro lugar, faz-se uma análise de alguns sensores usados para a inspeção de paletes. De seguida alguns tipos de *software* que permitem o tratamento de dados provenientes de sistemas LiDAR. Seguido de uma breve descrição dos PLC e por fim abordam-se as duas normas usadas tanto na construção como na inspeção de paletes.

2.1 EXEMPLOS DE SISTEMAS DE INSPEÇÃO DE PALETES

2.1.1 IVISIS *PALLETINSPECTOR*

IVISYS é uma empresa sediada na Suécia com mais de 20 anos de experiência na indústria de inspeção automatizada, entregando soluções robustas para clientes à procura de automatizar os seus sistemas de inspeção visual.

Através do seu *software* e câmaras únicas, os inspetores da IVISYS entregam:

- Elevada flexibilidade não sendo necessário condições de luz rígidas e rotação dos objetos limitada;

- Custos reduzidos devido à redução do custo laboral, evitando o custo da ação corretiva e evitando o custo relacionado à perda dos bens;
- Produção de séries curtas de produtos;
- Atualizações grátis de fácil instalação sem necessidade de um engenheiro de visão especializado.



Figura 1 IVISYS – PalletInspector [1]

Como funciona o inspetor de paletes da IVISYS, Figura 1:

1. As paletes são transportadas pelo tapete para o PalletInspector, sendo que deve ser apenas verificada uma paleta de cada vez para fazer a inspeção por cima e por baixo da paleta;
2. As paletes são inspecionadas à medida que passam pelo PalletInspector, sendo verificadas que não têm defeitos, resíduos ou deformações;
3. Os dados obtidos durante a inspeção são comparados com a tolerância e parâmetros predefinidos (por exemplo segundo a norma UIC 435-2 para as EUR paletes), caso um erro seja detetado o sistema comunica com os outros sistemas para fazer a rejeição da paleta;
4. A informação das paletes defeituosas é guardada numa base de dados local;
5. Os critérios de classificação são enviados ao sistema de controlo para classificação automática e exibidos num ecrã para o operador visualizar os resultados.

Características do PalletInspector:

- Inspeção de alta velocidade de 7 segundos e desempenho escalável;
- Aceita paletes de madeira assim como de plástico;
- Funciona com quase todas as configurações de paletes (incluindo EPAL, CHEP, LPR e IPP);
- Rejeição e classificação com base no tipo de defeito encontrado;
- Adaptável às linhas de produção existentes;
- Contrato de serviço oferecido (com suporte remoto);
- Estatísticas de produção em tempo real;
- Consegue detetar os seguintes tipos de defeitos:
 - Pregos saídos;
 - Rachadelas nas tábuas e nos blocos;
 - Classificação baseada na aparência;
 - Tábuas e blocos em falta, partidos ou fora do sítio;
 - Túneis bloqueados;
 - Detecção e verificação de logotipos;
 - Resíduos de plástico ou papel.

Para obter a melhor imagem possível para fazer a classificação das paletes, são usadas câmaras 2D e 3D em conjunto com lasers [1].

2.1.2 KÖHL – INNOVATIVE EMPTY PALLET CHECKING SYSTEM (LPK)

Köhl é um grupo de empresas com mais de 50 anos sediada em Wrecker, Luxemburgo, tendo como foco as áreas:

- Da energia: distribuição da energia elétrica eficientemente e energias regenerativas;
- Dos sistemas robóticos: tecnologia de automação otimizada estando diretamente ligada à gestão eficiente de projetos;
- Da intra-logística: desenvolvimento e implementação de armazenamentos *high-stack* totalmente automatizados e sistemas de fluxo de materiais;
- Das tecnologias do tabaco: combina a experiência da HEINEN no processamento de tabaco com o know-how da KÖHL em Logística e Automação;
- Das tecnologias de construção: a LUXELEC Building Technology SA faz parte do grupo de empresas KÖHL, para soluções de construção, desde sistemas de distribuição de energia a instalações elétricas, sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado até tecnologia de segurança e comunicação.

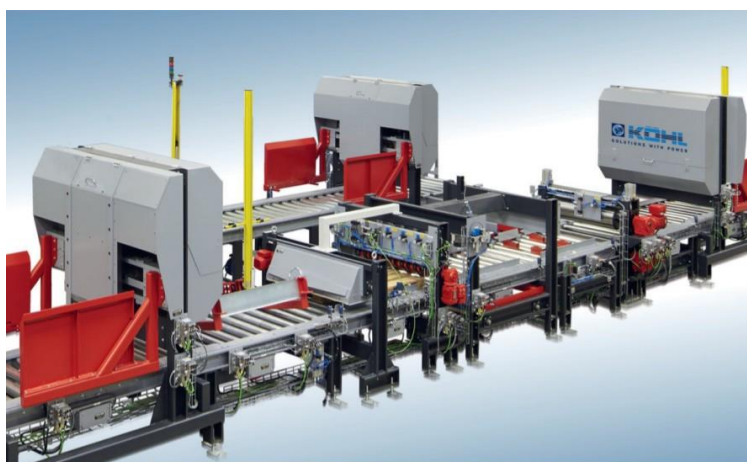


Figura 2 KÖHL - *Innovative empty pallet checking system (LPK)* [2]

Como funciona o sistema de inspeção de paletes da KÖHL, Figura 2:

1. As paletes chegam em lotes e são desempilhadas uma a uma no início da linha de teste antes de entrarem no sistema de inspeção;
2. Um dispositivo inclina a paleta para fazer a remoção do lixo grosseiro presente;
3. Passagem por uma escova de limpeza para remover partículas de sujidade;
4. Verificação da geometria da paleta;
5. Inspeção dos blocos e verificação do espaço para os dentes do empilhador;
6. Verificação das tábuas superiores e inferiores da paleta;
7. Verificação da deflexão da paleta aplicando uma força longitudinal e transversal;
8. Verificação se as tábuas estão bem pregadas aos blocos;
9. Passagem num rolo nivelador de paletes;
10. Ordenação das paletes conforme classificação efetuada pelo sistema.

Este sistema permite a verificação de até 300 paletes por hora e é totalmente modular, sendo que quase todas as etapas descritas anteriormente fazem parte de um módulo, o cliente pode optar por ter apenas um módulo ou vários, dependendo das necessidades [2].

Na Figura 3 é possível observar os diferentes módulos que constituem o sistema de inspeção, assim como um exemplo de um relatório dos testes efetuados por cada módulo.

- Geometry Check - Faz a verificação da borda da paleta reconhecendo possíveis quebras das tábuas nas bordas externas através do uso de barreiras de luz. Para controlar a largura da paleta, uns rolos são encostados na lateral sendo possível identificar possíveis quebras nas tábuas lateralmente. É verificada também a altura da paleta;
- Deflection Check - Este módulo controla a máxima deflexão das paletes na direção longitudinal e transversal, através de um sistema de elevação pneumático, a paleta é levantada dos rolos de transporte e pressionada com uma pressão predefinida através de um "soco" de teste;
- Fork Clearance and Block Detection - A verificação do espaço para os dentes do empilhador é feita usando abas giratórias que se projetam verticalmente, caso estes canais estejam com algum tipo de restrição, as abas vão acionar um erro e vão se retrair para não danificarem o sensor. Através de lasers é feita a verificação da existência e tamanho dos blocos;
- Nail Connection Check - Para verificar a conexão das tábuas aos blocos, são usados seis cilindros espaçadores pneumáticos, estes deslizam entre a tábua de cima e de baixo e verificam se estão bem pregadas aos blocos;
- Pallet Leveling Roller - Este cilindro tem como função nivelar a paleta caso existam pregos que estejam um pouco saídos ou que a tábua não esteja totalmente pregada [2].

2.1.3 SCORPION 3D STINGER FOR PALLET SORTING

Este sistema de inspeção de paletes foi desenvolvido por uma empresa Norueguesa, sediada em Oslo, de nome Tordivel AS, fundada em 1996, sendo esta uma empresa focada em visão de máquina, que desenvolve e entrega soluções baseadas no seu *software*

Scorpion Vision. Os seus produtos principais são o *software* que é a base para o desenvolvimento dos seus projetos e as câmaras de visão 2D e 3D Scorpion.

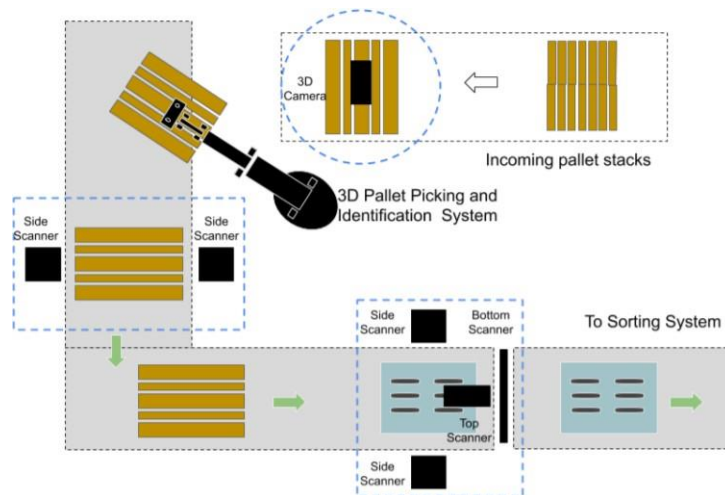


Figura 4 Layout do Scorpion 3D Stinger for Pallet Sorting [3]

Como funciona o sistema de inspeção de paletes proposto pela Tordivel, Figura 4:

1. Um lote de paletes de até 2,5 metros de altura entra no sistema;
2. Um sistema de visão 3D identifica e verifica as paletes para um robô as transportar individualmente para o sistema de inspeção de paletes, este sistema de visão é montado a uma altura de 5 metros permitindo o funcionamento contínuo do sistema;
3. Através de câmaras 2D e 3D é feito o scan da parte da frente e traseira da paleta;
4. Passa para um tapete posicionado perpendicularmente de forma a ser possível fazer o *scan* das laterais da paleta;
5. Através de câmaras 2D e 3D, em conjunto com uma luz laser para otimizar o *scan*, é feita a verificação da parte superior da paleta, este processo está sincronizado com o *encoder* do tapete sendo que a frequência do scanner pode ser alterada para melhorar a *performance*;
6. Cinco câmaras 2D fazem a verificação da parte debaixo da paleta;

7. Conforme a classificação efetuada pelos diversos sistemas de visão, é efetuada a separação das paletes.

Este sistema permite a verificação de 480 paletes por hora, cada paleta em 7,5 segundos.

Para realizar a construção deste sistema foram usados diversos sistemas para a obtenção dos dados a ser processados pelo *software*:

- **Scorpion 3D Stinger Camera**

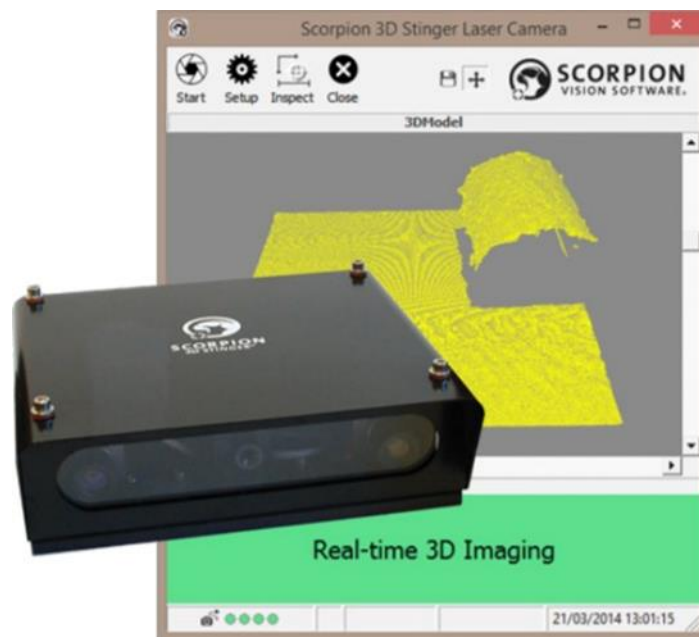


Figura 5 Scorpion 3D Stinger Camera + *Software* [4]

Esta câmara, Figura 5, foi desenvolvida para poder ser usada em aplicações de visão 3D com boa ou má iluminação, sendo compatível com o *software* Scorpion Vision e podendo detetar em tempo real objetos em movimento. Esta unidade está desenhada para ser usada em visão robótica 3D, triangulação laser 3D, medição 3D, verificação de montagem 3D e outras soluções de visão de máquina.

Foi criada uma versão de 200 mm que pesa 3,5 kg que pode ser instalada num robô e uma versão mais pequena de 30 mm que pode substituir uma câmara 2D onde a noção de profundidade é necessária para a deteção de objetos.

As características principais deste sistema resumem-se a:

- *Stereo Vision* - é a extração de informação 3D de imagens digitais obtidas pela Scorpion 3D Stinger Camera. Comparando informação de dois pontos de vista a informação 3D pode ser obtida. Este processo é realizado recorrendo à ferramenta de software #97 - Locate3D;
- *Image Retification* - é suportada pela ferramenta STC-0084 StereoRectify3D. Transforma imagens 3D calibradas em duas imagens estéreo retificadas onde todas as linhas epipolares são paralelas ao eixo horizontal e os pontos correspondentes têm coordenadas verticais idênticas;
- *2D Image Calibration* - é realizada pela ferramenta Scorpion #15 - Calibrator;
- *One Push 3D Calibration* - permite a calibração rápida e eficaz de múltiplas câmaras 3D usando uma única imagem e um objeto Scorpion Stinger 3D Calibration;
- *Active Stereo Vision* - a energia em forma de luz é projetada na cena. A Scorpion 3D Stinger Camera está dentro de uma caixa com uma classificação IP64, a câmara é alimentada por 24 V e um cabo de Ethernet. Active Stereo Vision é suportado pelo uso de LED brancos ou infravermelhos, iluminação estruturada com diferentes padrões baseados em lasers vermelhos ou infravermelhos;
- *Stinger Control Card* - faz o disparo da iluminação laser e LED para melhorar a luz ambiente e a relação sinal-ruído do padrão projetado;
- *Structured Illumination* - a câmara suporta vários padrões de projeção para resolver problemas como criar características em superfícies sem características. Os padrões suportados são os seguintes: linha única, múltiplas linhas e padrão de projeção aleatório. Pode ser usado um laser vermelho ou infravermelho de 1 mW até 500 mW;
- *High Quality GigE Cameras* - uso de sensores Sony e Basler na construção do Scorpion 3D Stinger Camera, com resoluções de VGA até 5 MP monocromáticos ou a cores CMOS ou CCD;
- *Sparse 3D Image Creation* - pode acumular múltiplos pontos característicos 3D numa nuvem de pontos 3D. As imagens 3D são normalmente usadas para localizar objetos no plano com a ferramenta 121 - Plane- Fit3D;

- *Single Line Projection* - é normalmente usada para triangulações laser. A ferramenta # 166 - LaserProfiler3D permite criar nuvens de pontos através de uma sequência de imagens com uma projeção laser de linha única;
- *Multiple Line Projection* - é usado para projetar luz estruturada num objeto ou num plano. Esta projeção permite uma maior precisão em aplicações de medição. As linhas projetadas podem ser localizadas com a ferramenta STC-0064- LocatePaths3D;
- RPP - *Random Pattern Projection* - um laser com um padrão de projeção aleatório é usado para projetar uma textura aleatória nas duas imagens, a disparidade do padrão de projeção é ideal para BlockMatching [4].

- **Scorpion 2D Stinger Camera**



Figura 6 Scorpion 2D Stinger Camera [5]

Esta câmara, **Figura 6**, é um componente de automação especialmente desenvolvido para o uso em visão de máquina. A unidade padrão providência potência à visão GigE. É alimentado por 24 V, o *stinger control card* fornece 12 V à câmara e a corrente de disparo para barras de LED ou focus de LED internos ou externos.

- **Scorpion Vision Software**



Figura 7 Scorpion Vision Software [6]

Este *software* é uma ferramenta independente e de uso livre desenvolvida pela Tordivel para o uso na visão industrial, **Figura 7**. Foi o primeiro *framework* 3D configurável para visão de máquina. O sistema dá ao usuário a possibilidade de usar um computador de formato pequeno embutido, uma *SmartCam* ou o uso de um computador industrial com elevada capacidade de processamento. Beneficia do poder de processamento de um processador multicore, câmaras FireWire/USB/GigE e da possibilidade de conectar múltiplas câmaras a um computador.

O Scorpion Vision Software, **Figura 7**, disponibiliza uma ampla família de produtos:

- *Scorpion Lite* - para tarefas simples, com o seu baixo custo e de uso fácil, permitindo a um engenheiro medir dimensões, diâmetros, contar e detetar presença de objetos e verificação e inspeção de cores. Este software em conjunto com a substituição de sensores de hardware através de uma câmara de baixo custo USB, GigE ou FireWire, permite uma maior flexibilidade do sistema desenvolvido, assim como um menor custo;

- *Scorpion Basic* - é um *Scorpion Lite* com uma licença de câmara SXGA e uma *ToolBox* estendida com ferramentas de geometria e referência. Com as ferramentas de geometria novos pontos e linhas podem ser construídos e medidos de detalhes detetados. Ferramentas de referência lidam com rotação e medição em unidades de engenharia;
- *Scorpion Premium* - contém todas as ferramentas avançadas incluindo várias ferramentas de ROI de polígonos, calibração da câmara para eliminar distorção da lente e a ferramenta *LineFinder* capaz de encontrar uma multitude de linhas. Podem ser usadas câmaras de alta qualidade e resolução;
- *Scorpion Vision SDK* - o *Scorpion Development Kit* é necessário para desenvolver aplicações de visão *Scorpion*, componentes de ferramenta *Scorpion* e quando se pretende implementar software de visão *Scorpion* noutras aplicações;
- *Scorpion Maintenance* - é usado para desenvolver, testar e modificar sistemas de visão *Scorpion* num computador separado;
- *Scorpion Image Sentinel* - permite capturar e guardar imagens de todos os produtos produzidos em tempo real. Consegue captar imagens de múltiplas câmaras conectadas a um computador;
- *Scorpion 2D SmartCam e SmartCam3D* - consiste na junção do software Sony *SmartCamera* com o *Scorpion Vision* em conjunto com os últimos algoritmos de visão 3D. Este pacote é desenvolvido para uso em aplicações de orientação de robôs ou outras aplicações onde seja necessário detetar objetos;
- *Scorpion Vision Apps* - torna qualquer computador com uma câmara num sistema de visão profissional, o usuário configura a aplicação através de páginas de configuração customizáveis;
- *Scorpion Stinger e Scorpion 3D Stinger* - é uma família de componentes de visão de máquina e produtos. Estes sistemas são usados em visão robótica 3D, triangulação laser 3D e outras soluções avançadas de visão de máquina.

2.2 TRABALHOS DESENVOLVIDOS PARA A INSPEÇÃO AUTOMATIZADA DE PALETES

No que toca a trabalhos desenvolvidos na área da inspeção de paletes é algo raro e difícil de encontrar, apesar de tudo foram encontrados dois trabalhos que permitem observar e entender algumas perspetivas diferentes no tipo de abordagem utilizada.

2.2.1 INSPEÇÃO ULTRASSÔNICA DE COMPONENTES DE PALETES DE MADEIRA

Segundo [7], analisando trabalhos anteriormente realizados, é possível examinar objetos de madeira através de ultrassons, sendo possível a deteção de nós na madeira, decomposição, resistência estrutural de vigas, pequenas rachaduras, entre outros, sendo que nesses testes foram usados diversos tipos de madeira macia. Visto que as propriedades físicas e mecânicas são diferentes para madeiras duras, a inspeção usando ultrassons pode evidenciar resultados diferentes.

Visto que as paletes podem ser construídas com diferentes tipos de madeira e as suas superfícies serem de diversas texturas devido à natureza da madeira, o método de inspeção tem que se conseguir adaptar a estas variações.

O método usado por [7] para resolver estes problemas consistiu na geração a cada 10 milissegundos de um pulso de uma onda sinusoidal ultrassônica a 250 KHz e 0,3 V. Vaselina foi usada como acoplante. No retorno da onda refletida na madeira foi medida a amplitude de pico e o tempo de voo. Com base nas medições da espessura do material, a velocidade de propagação foi medida. Na Figura 8 encontra-se a arquitetura geral do sistema.

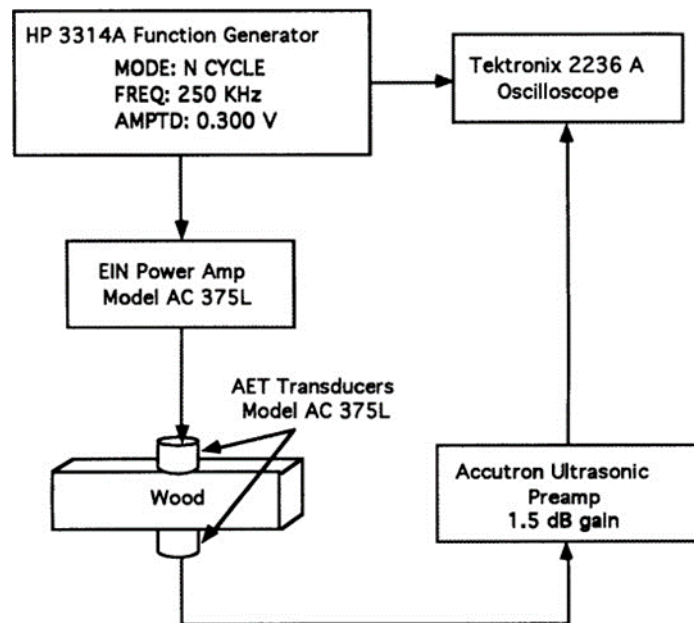


Figura 8 Arquitetura geral do sistema de inspeção baseado em ultrassons [7]

Foram realizadas duas experiências. A primeira experiência consistiu na obtenção de tábuas de madeira usadas no fabrico de paletes de um fabricante de paletes, de seguida foram transmitidos pulsos ultrassónicos ao longo da tábua de 5 em 5 centímetros, de amostra para amostra os valores de amplitude e velocidade variaram bastante.

Na segunda experiência foi usada apenas uma tábua de madeira do *deck* e desta vez foi feita uma análise face a face. Medições ao longo da transmissão foram tiradas de 2,5 em 2,5 centímetros ao longo da face da tábua, pulsos foram gerados a cada 1,25 centímetros perto de zonas defeituosas. Foi medido o tempo de voo, amplitude de pico e tempo à amplitude de pico. Conseguiram concluir que nas áreas da madeira com defeitos tanto a velocidade quanto a amplitude de pico apresenta valores diferentes dos medidos em áreas sem defeitos. Áreas sem defeitos apresentam uma velocidade dentro ou abaixo da média enquanto que os nós na madeira apresentaram uma velocidade superior à média. Nós "ocos" tende a ter amplitude de pico abaixo da média, assim como rachadelas.

Este trabalho permite observar que existem as mais variadas formas para se realizar a inspeção de paletes, apesar de não ir muito afundo na questão das paletes, apresenta uma boa análise no que toca à madeira usada na construção das mesmas.

2.2.2 MEDIÇÃO E INSPEÇÃO AUTOMATIZADA DE PALETES DE MADEIRA USANDO O HISTOGRAMA

O trabalho desenvolvido por [8] tem como proposta realizar a inspeção automatizada de paletes de madeira através da segmentação baseada no histograma, mais precisamente, no histograma de elementos conectados (HCE). O HCE incorpora todas as vantagens inerentes à segmentação baseada no histograma, velocidade e simplicidade, incluindo também informação sobre a distribuição espacial da característica específica discriminante na imagem digital.

O sistema desenvolvido é constituído por um sistema de iluminação, dois módulos de digitalização cada um controlando quatro câmaras de vídeo cada uma com uma resolução de 768 por 576 pixéis e 256 níveis de cinza, um sistema mecânico para virar as paletes, um computador com um sistema operacional customizado e o *software* de visão de máquina para a medição e inspeção das paletes e o PLC para fazer o controlo dos componentes elétricos e mecânicos do sistema. Na Figura 9 é possível visualizar-se a arquitetura do sistema em questão.

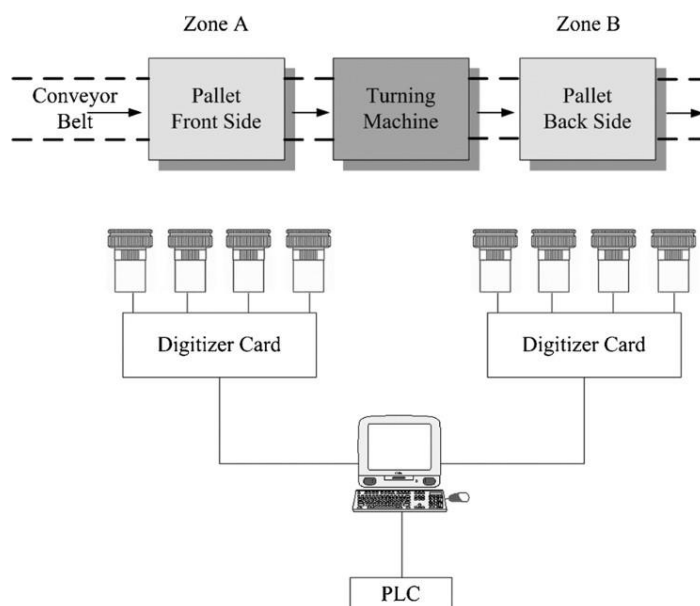


Figura 9 Arquitetura geral do sistema de inspeção baseado em segmentação de imagens [8]

Este sistema permite fazer a segmentação dos 20 elementos constituintes de uma paleta e a medição de 40 parâmetros em menos de 1 segundo usando apenas 1 dos 2 processadores disponíveis no computador.

A medição visual automática é implementada por meio de dois módulos:

- **Calibração:** este módulo faz a correspondência entre a distância dos pixels na imagem digital e a distância real através do uso de uma paleta "virtual" feita de um material leve com marcações específicas apenas para efeitos de calibração;
- **Segmentação:** o objetivo deste módulo é obter um contorno dos 20 elementos constituintes de uma paleta como um primeiro passo para a computação das medidas. Através da intensidade dos tons de cinza é possível fazer a classificação dos pixels da imagem para fazer a distinção entre a paleta e o plano de fundo. Através da aplicação de um método Bayesiano adaptativo após algumas iterações converge para um limite de segmentação estável, com a adição de um processo *ad hoc* para a extração das bordas e ajuste de linha, os elementos da paleta são segmentados com sucesso. Por fim com a informação recolhida no módulo de calibração todas as medições da paleta são tiradas.

Para a detecção de rachadelas na madeira de 1 mm de largura ou menos, visto que o algoritmo pode despoletar diversos falsos alarmes, devido à natureza da madeira, foi necessário proceder a uma calibração metódica do sistema através do uso do método do histograma de elementos conectados.

Na Figura 10 é possível observar que o processo de segmentação aplicando o método anteriormente descrito é um processo bastante eficaz visto que faz a segmentação das rachadelas presentes nas duas tábuas de madeira.

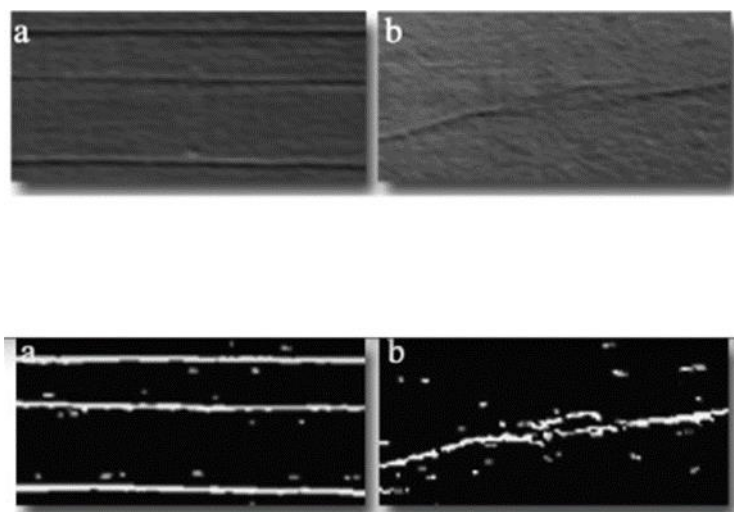


Figura 10 Resultados da segmentação usando o método HCE [8]

Este trabalho permite demonstrar que é possível atingir um elevado nível de precisão num sistema de inspeção de paletes através do uso de câmaras, sendo que as maiores dificuldades para a construção de um sistema deste estilo passam pela iluminação correta do ambiente de aquisição das imagens, o elevado poder de processamento necessário para executar uma tarefa de segmentação em tempo útil e a construção e calibração de um algoritmo capaz de realizar a segmentação e medição dos diversos componentes.

2.3 SENSORES USADOS PARA A INSPEÇÃO DE PALETES

2.3.1 CÂMARAS 2D E 3D

Para uso industrial já se usam câmaras há muitos anos, sendo as mais usuais e mais simples as 2D, que apesar das suas limitações, para tarefas específicas conseguem cumprir os requisitos pretendidos.

Uma câmara 2D é constituída por apenas uma lente, o seu objetivo é criar uma imagem de duas dimensões, largura e altura. Têm normalmente o seu foco fixo à distância pretendida, devido ao uso de lentes sem ajuste focal que apenas focam nitidamente a uma distância específica. O uso de lentes grande angular com pequena abertura leva a que sejam

normalmente usadas apenas para tirar fotos à luz do dia. Uma câmara 3D colmata alguns dos problemas das câmaras 2D, sendo o principal a falta de conhecimento geométrico e detalhe. Através do uso de *hardware* e *software* é possível eliminar o problema de estimação de profundidade e replicar três dimensões, largura, altura e profundidade. São usadas múltiplas lentes para capturar vários pontos de visão, gerando modelos 3D através de sequências de imagens. Dependendo da câmara o processo de captura é diferente. Uma câmara estéreo captura vídeo e em simultâneo associa a cada pixel a profundidade, uma câmara de visão múltipla captura múltiplas imagens de ângulos diferentes. Através de um mapa de disparidade para cada par de câmaras é gerado, através de um processo de correspondência de visão múltipla, a estrutura 3D estimada. Existem quatro técnicas para atingir sistemas 3D de visão de máquina:

- *Scanner* laser - funciona com base na triangulação trigonométrica projetando um ponto ou linha laser num objeto e depois captura a sua reflexão com sensores (ou câmaras). Como os sensores estão localizados a uma distância conhecida da fonte do laser, medições pontuais podem ser feitas calculando o ângulo de reflexão da luz laser. Com o conhecimento da distância do objeto ao *scanner*, é possível obter-se uma digitalização 3D do objeto. Este método chama-se triangulação porque o ponto laser, o sensor e o emissor do laser formam um triângulo, como se pode observar na Figura 11.

Os benefícios desta tecnologia são a sua resolução na ordem dos 10 micrómetros, precisão e baixos custos de aquisição. A desvantagem deste sistema passa pelo facto de que caso a superfície a mapear seja bastante brilhante ou transparente pode ser problemático para esta tecnologia [9];

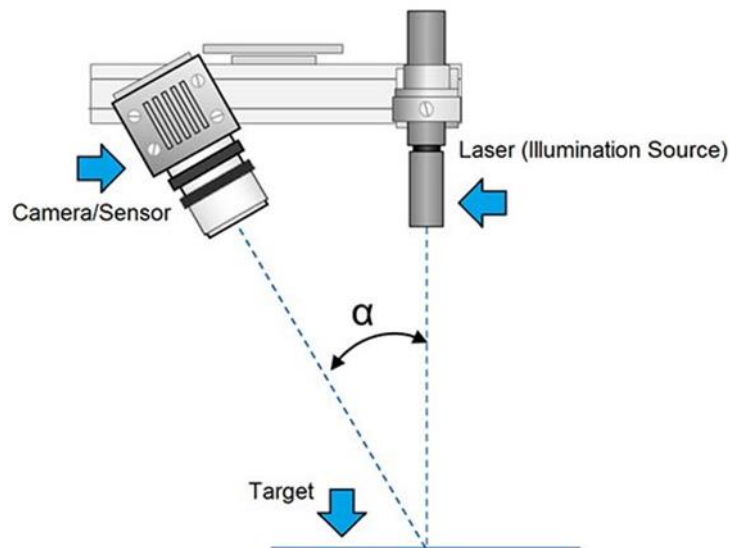


Figura 11 Triangulação Laser [9]

- Visão estéreo - é uma técnica de visão de máquina que permite fazer medições 3D do campo de visão total usando duas ou mais câmaras de visão de máquina. A fundação desta tecnologia é similar à percepção 3D na visão humana e é baseada em triangulação de raios de múltiplos pontos de vista, como é possível ver na Figura 12. Para obter a percepção de profundidade são usados dois sensores colocados a uma certa distância para triangular pixels similares dos dois planos 2D obtidos. Cada pixel numa imagem de uma câmara digital coleta luz que chega à câmara ao longo de um raio 3D. Através de múltiplas câmaras obtém-se múltiplos raios 3D do mesmo ponto, fazendo a interseção destes raios obtém-se a localização 3D do objeto assim como as suas características.

Visão estéreo é considerada uma tecnologia passiva, sendo que não necessita de iluminação artificial para funcionar, apesar que algumas aplicações beneficiam de luz artificial ou uma fonte de luz estruturada, passando a chamar-se de visão estéreo ativa. Este tipo de tecnologia pode ser bastante intensa a nível de CPU, quando não acelerada por hardware (FPGA, GPU, entre outros), devido ao uso de algoritmos como SGM (*Semi-Global Matching*) que realizam correspondência estéreo usando 2 câmaras e compensação de distorção da lente para que o sistema trabalhe com precisão e consistência ao longo do tempo. Apesar destas câmaras poderem trabalhar nas mais diversas condições de luz, caso estejam a trabalhar

com luz muito baixa ou a fazer a leitura de objetos com superfícies sem textura, estes sistemas tendem a ter um baixo desempenho. As vantagens deste sistema passam então pelo seu uso em ambientes bem iluminados em aplicações de coleta de lixo ou em carros autónomos, sendo que não necessitam de lasers ou pontos de iluminação caros. Os sistemas de visão estéreo acabam por ser mais acessíveis comparados com outras tecnologias 3D, é possível funcionar a longas distâncias assim como identificar objetos em movimento [10];

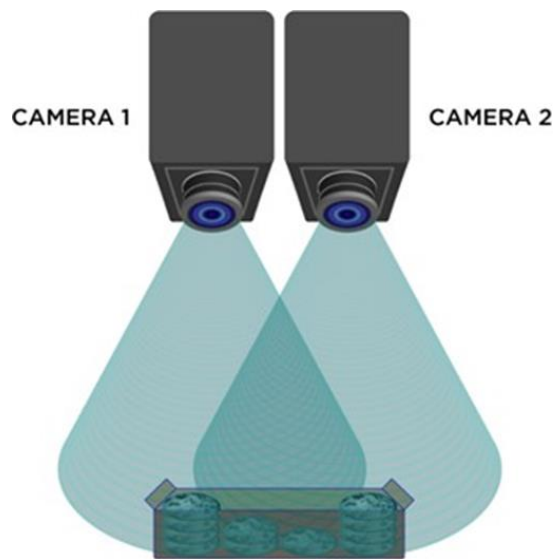


Figura 12 Visão Estéreo [10]

- TOF - *Time-Of-Flight* - como o seu nome indica, este sensor funciona com o princípio de "tempo de voo" mais conhecido do inglês *time-of-flight*. Este conceito é um método de determinar a profundidade de um objeto em relação ao sensor, essencialmente isto é alcançado medindo o tempo que demora o sinal a retornar ao sensor após ser refletido nos objetos circundantes, o comprimento é calculado com base em diversas fórmulas que interpretam as variáveis providenciadas pelo sensor. Estes dispositivos são constituídos por uma unidade de luz para emitir o sinal de luz (sendo que por vezes também pode ser usado um sinal de som), uma lente para receber a luz refletida e um circuito eletrónico para controlar os diversos componentes.

Estes sistemas trabalham muito rapidamente, considerando que a luz viaja a uma velocidade de 300 milhões de metros por segundo, podem ter um alcance desde

milímetros até quilómetros, funcionam a altas temperaturas e sobre elevadas pressões. Em ambientes enevoados ou em objetos transparentes, devido ao comportamento da luz, este tipo de sensor torna-se ineficiente. Na Figura 13 encontra-se um exemplo de como a tecnologia TOF funciona [11];

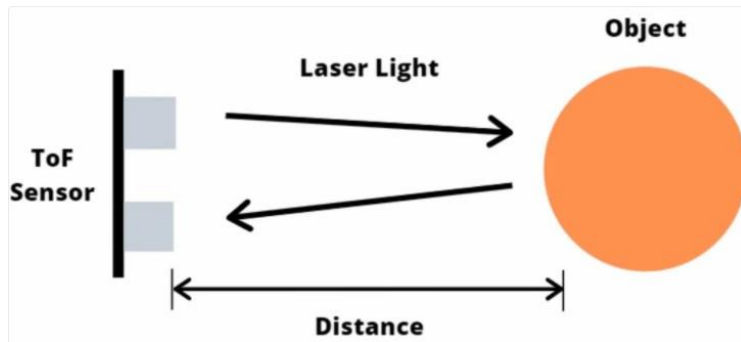


Figura 13 Tecnologia TOF [11]

- Luz estruturada - esta tecnologia também faz uso da triangulação trigonométrica, mas funciona projetando um padrão de luz em objetos. O padrão é projetado usando um projetor LCD ou outra fonte de luz estável, um ou mais sensores (ou câmaras), ligeiramente afastadas do projetor, observam a forma do padrão de luz e calculam a distância de cada ponto dentro do campo de visão. Na Figura 14 é possível observar a estrutura deste tipo de tecnologia. A luz estruturada usada no processo de digitalização pode ser branca ou azul e o padrão de luz normalmente consiste num conjunto de linhas, mas pode também consistir numa matriz de pontos ou outros formatos. Este tipo de dispositivo, assim como na triangulação trigonométrica a laser funciona a curtas distâncias.

Os benefícios desta tecnologia são a velocidade dos *scans*, uma digitalização pode ser obtida em 2 segundos de uma área consideravelmente ampla, assim como os scanners a laser são extremamente precisos e contam com uma elevada resolução. A desvantagem deste sistema passa pelo facto de ser bastante sensíveis às condições de luz, algo que no caso do laser não acontece [9].

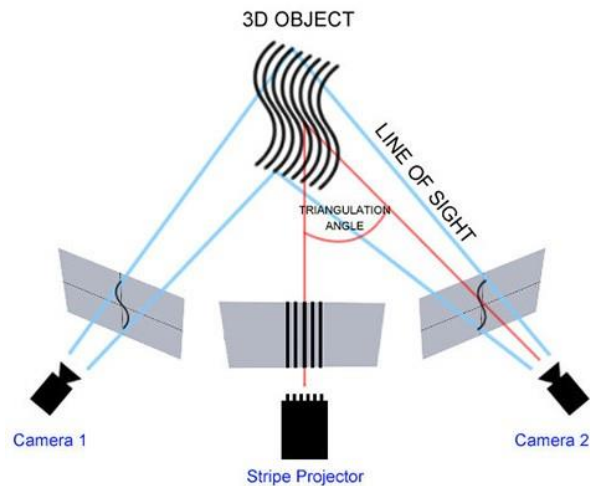


Figura 14 Scanner de luz estruturada [9]

Onde são usados os dois tipos de câmaras:

- Câmaras 2D:
 - Verificação de características e posição;
 - Verificação de dimensões;
 - Leitura de código de barras;
 - Reconhecimento de caracteres;
 - Verificação de rótulo;
 - Inspeção de qualidade;
 - Vigilância e rastreamento de objetos;
 - Detecção de presença.
- Câmaras 3D:
 - Medição da espessura, altura e volume;
 - Dimensionamento e gestão do espaço;
 - Medição de formas, buracos, ângulos e curvas;
 - Detecção de superfície ou defeitos de montagem;
 - Controlo de qualidade e verificação usando os modelos 3D CAD;
 - Orientação de robôs e rastreamento de superfícies (para solda, colagem, rebarbação, entre outros);
 - Coleta de lixo para colocação, embalagem ou montagem;
 - Digitalização de objetos.

2.3.2 LiDAR

LiDAR é o acrónimo de *Light detection and ranging*, Figura 15. Em termos gerais esta tecnologia usa luzes infravermelhas ou lasers para criar uma imagem 3D do ambiente. São enviados pulsos de luz fora do espectro visível e é medido o tempo que estes pulsos demoram a retornar. Cada vez que um objeto é atingido, são recolhidos pontos de dados à cerca da sua direção e distância do LiDAR. Através de leituras sucessivas é possível aprender como os objetos se movem, a sua velocidade, e se estão se a afastar ou aproximar do sensor. Os três componentes principais que formam um sistema LiDAR são:

- Um laser;
- Um *scanner*;
- Um recetor GPS especializado (em certos casos).

São emitidos até 150 mil sinais por segundo, assim como um RADAR, são enviados feixes varrendo um círculo, movendo também o laser para cima e para baixo para obter informação de uma área mais ampla (normalmente apenas em sistemas 3D). Todos os dispositivos LiDAR seguem o seguinte processo:

1. Um laser emite um sinal;
2. O sinal atinge um objeto;
3. O sinal é refletido no objeto;
4. O sinal retorna ao emissor;
5. Os pulsos laser são registados;
6. A cada pulso registado é atribuída uma localização e uma representação numa nuvem de pontos.

Na maioria dos casos, uma nuvem de pontos funciona como intermediária entre dados brutos coletados pelo sistema e modelos 3D. No entanto, as nuvens de pontos podem ser usadas para armazenar qualquer tipo de informação espacial e manipulá-la para vários algoritmos, inteligência artificial, *machine learning* e outros *softwares* de análise.

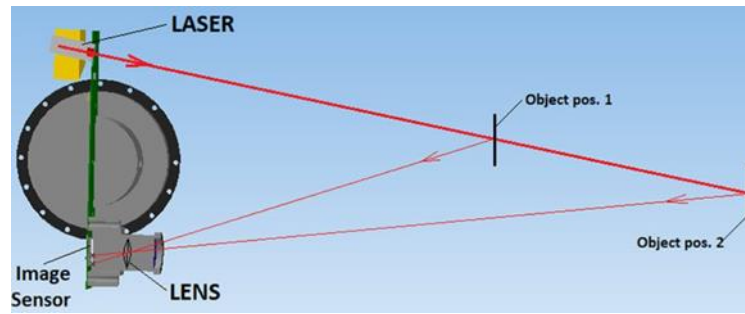


Figura 15 Tecnologia LiDAR [12]

O comprimento de onda de sensores LiDAR varia de infravermelho (10 micrómetros) até ultravioleta (250 nanômetros) e pode ser aplicado numa variedade de substâncias, incluindo rochas, chuva, químicos, ar, nuvens e até moléculas. Um feixe laser estreito e focado consegue mapear características a altas resoluções, por exemplo, um avião consegue mapear terreno com uma resolução de 30 centímetros.

Vantagens do LiDAR:

- Resultados precisos e consistentes;
- Pode ser integrado com outros sensores: sonar, câmara, IMU, GPS, e sensores ToF;
- Velocidade elevada, os pulsos são enviados e recebidos em nano segundos, sendo possível fazer o mapeamento de áreas de grandes dimensões em curtos espaços de tempo;
- Pode ser usado à luz do dia ou na escuridão, devido à iluminação ativa do sensor;
- Zonas que são de difícil acesso podem ser facilmente mapeadas usando LiDAR;
- Uma vez configurado, LiDAR é um sistema autónomo e pode trabalhar basicamente sozinho.

Desvantagens do LiDAR:

- Dificuldade em diferenciar objetos diferentes mas que têm tamanho e formato similares;
- Quando se pretende um sensor topo de linha acaba por ser significativamente mais caro do que câmaras ou sistemas radar;
- Inteligência artificial e *machine learning* não são inerentes ao LiDAR;

- Lasers poderosos usados podem danificar o olho humano;
- Quando usado em ambientes chuvosos, enevoados ou objetos transparentes, torna-se ineficiente [12].

2.4 SOFTWARE

2.4.1 TERRASOLID

Terrasolid é uma empresa que desenvolve software para processamento de dados LiDAR e imagens para qualquer usuário. Permite fazer o processamento via aérea através de drones, aviões, entre outros, e via móvel, através de veículos de dados LiDAR e imagens num ambiente de trabalho integrado. Capacidades elevadas de correspondência das várias passagens, calibração dos dados, classificação de pontos e verdadeira produção sem conversão de dados e com a habilidade de retornar a fases anteriores em caso de ser encontrado algo que deve ser arranjado. O *software* tira total vantagem de dados de trajetória e permite alcançar um nível de precisão elevado. Com as aplicações Terrasolid é possível tirar o máximo proveito dos dados LiDAR.

Mapeamento Móvel:

- Um *scanner* LiDAR móvel montado num carro ou um *scanner* no ar operado num helicóptero pode fornecer uma densa nuvem de pontos representando autoestradas, as suas redondezas e a superfície da estrada com bastante precisão. Usando fotografias tiradas ao mesmo tempo e pontos de controlo medidos por GPS melhora a precisão e ajuda a compensar as falhas no sinal de GPS provocadas por edifícios altos e árvores. Varrimento a laser pode ser executado sem colocar pessoas em risco no meio do trânsito. TerraMatch é usado para corrigir o desvio da trajetória nas localizações onde a precisão da solução da trajetória é fraca devido a falhas no sinal de GPS.

LiDAR no ar e Modelação 3D de Cidades:

- Com as aplicações Terrasolid é possível produzir um modelo 3D de uma cidade automaticamente usando dados laser aéreos e imagens. É possível criar um modelo de baixa resolução através de uma nuvem de pontos com menos de dois pontos por metro quadrado, mas quanto maior a densidade da nuvem de pontos, maior será a precisão do modelo obtido. Os melhores resultados serão obtidos fazendo o varrimento da área via aérea em conjunto com um veículo terrestre, fazendo a correspondência dos diversos pontos de edifícios varridos de todos os lados, e usando imagens e pontos de sinalização para controlar a qualidade dos dados.

A família de *software* Terrasolid é constituída por quatro aplicações distintas:

- **TerraScan**
 - TerraScan é a aplicação principal da família de produtos da Terrasolid para manuseamento e processamento de todos os tipos de nuvens de pontos;
 - Oferece ferramentas de importação e estruturação de projetos para lidar com o grande número de pontos de um varrimento a laser, bem como as informações de trajetória correspondentes. Várias rotinas de classificação permitem a filtragem automática da nuvem de pontos;
 - A gestão, processamento e visualização da nuvem de pontos é apenas uma parte do TerraScan. Além disso, o software fornece ferramentas automatizadas para a criação de dados vetoriais 3D com base nos pontos laser. Os usuários podem produzir modelos vetoriais 3D de edifícios automaticamente em áreas nacionais, vetorizar linhas de energia, executar análises de corredores relatando objetos de perigo ou analisar a condição da superfície da estrada ou detetar linhas pintadas. Os resultados da classificação totalmente automática podem ser refinados usando ferramentas de classificação semiautomáticas e manuais em combinação com opções versáteis de visualização de nuvem de pontos 3D;

- A maioria das rotinas de classificação automática podem ser combinadas em macros para processamento em lote. Em combinação com o processamento em lote, as macros podem ser executadas fora do TerraScan e do MicroStation, mesmo em outras estações de trabalho em uma LAN;
- O TerraScan suporta diversos formatos de importação e exportação, incluindo os formatos LAS e LAZ, formatos TerraScan Binary e TerraScan Fast Binary, além de formatos ASCII que podem ser definidos de acordo com a necessidade do usuário;
- TerraScan está integrado com a plataforma CAD, este ambiente oferece um vasto leque de ferramentas e capacidades na área de manipulação, visualização, posicionamento de vetores e legendagem. Na Figura 16 pode-se observar um *screenshot* do ambiente gráfico desta aplicação a correr sobre a ferramenta CAD MicroStation [14];
- TerraScan está disponível em três versões: TerraScan, TerraScan LITE e TerraScan UAV. TerraScan LITE é uma versão mais básica do TerraScan e pode ser usada para visualizar nuvens de pontos, configuração dos projetos, trabalhar em pontos carregados e classificar pontos manualmente. Contêm um número limitado de rotinas de classificação automáticas. TerraScan UAV é outra versão básica do TerraScan dedicada ao processamento de nuvens de pontos que são coletadas por scanners montados em UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*). Oferece as funcionalidades totais do TerraScan mas para uma nuvem de pontos de tamanho limitado. Basicamente, os pontos devem caber em memória para tarefas de processamento visto que não existem ferramentas para dividir a nuvem de pontos em partes mais pequenas. Por outro lado, permite o processamento totalmente automático da nuvem de pontos. Não contêm as mesmas capacidades da versão completa, visto que não contêm processamento de forma de onda e ferramentas de análise de túnel [14].

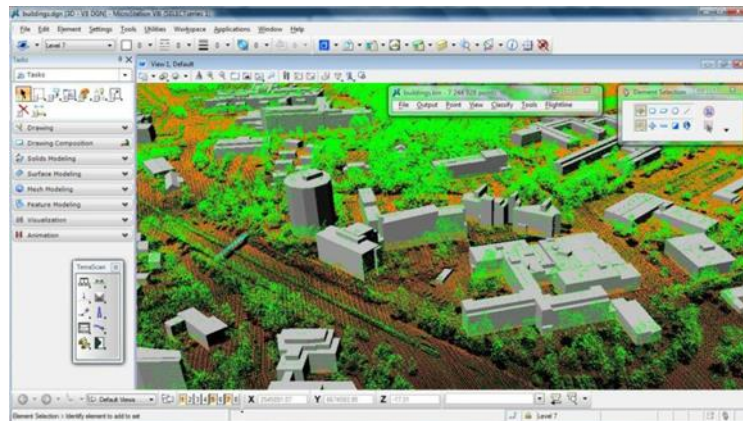


Figura 16 TerraScan a correr por cima do MicroStation

- **TerraModeler**

- É uma aplicação de modelação de terreno cheia de recursos, construída sobre uma plataforma CAD. Permite a criação de modelos do chão, camadas do solo ou superfícies de *design*. O modelo pode ser criado com base em dados de pesquisa, elementos gráficos, ficheiros de texto XYZ, nuvem de pontos carregada no TerraScan ou guardada em LAS ou formato binário do TerraScan;
- O *software* oferece as mais diversas opções de visualização incluindo superfícies sombreadas coloridas, linhas de contorno, grelhas, redes coloridas triangulares, textos de elevação, direcções da inclinação e superfícies com texturas;
- Quanto mais memória RAM tiver o computador, maior o número de superfícies diferentes possíveis no mesmo ficheiro CAD;
- É possível editar todos os modelos das superfícies, adicionar, mover ou apagar pontos individuais, mover, soltar ou nivelar todos os pontos numa cerca, construir linhas de quebra e adicionar novos elementos aos modelos;
- TerraModeler inclui ferramentas separadas para desenhar vistas 3D de secções, perfis e alinhamento de secções transversais ou secções de túnel. Adicionalmente, elementos 3D podem ser projetados num perfil e elementos desenhados num perfil podem ser projetados de volta para as suas verdadeiras posições 3D;

- Ferramentas para computação de quantidades podem ser usadas para calcular e reportar o volume entre duas superfícies e/ou baseado em secções de túnel ou trincheira. A área de computação pode ser limitada para ocorrer apenas dentro de um perímetro definido;
- Assim como o TerraScan, o TerraModeler está dividido em três versões diferentes: TerraModeler, TerraModeler Lite e TerraModeler UAV. A versão completa inclui ferramentas para produzir modelos de treliça, triângulos e linhas de contorno em processos em lote para grandes áreas de projeto. Os processos podem produzir à saída arquivos baseados em nuvens de pontos organizados em um projeto TerraScan. Além disso, as linhas de quebra podem ser incluídas nas linhas de contorno/modelos de treliça - criação de triângulos. A versão TerraScan Lite, como o nome indica, é uma versão mais leve que permite criar e editar manualmente modelos de superfícies de dados de *design*, modelos de exibição e calcular quantidades simples e criar perfis, esta versão não inclui ferramentas avançadas de cálculo de quantidades, ferramentas de domínio e região e fornece apenas uma seleção limitada de métodos de exibição para modelos de superfície. A versão TerraScan UAV é outra versão leve dedicada ao processamento dos dados provenientes de unidades montadas em veículos aéreos não tripulados, não inclui ferramentas de domínio e região, está disponível apenas num conjunto com outras ferramentas Terra UAV [15].

- **TerraMatch**

- É uma aplicação sofisticada para calibrar e fazer a correspondência de dados LiDAR. Usa dados de trajetória e compara linhas laser que se sobrepõem e faz a correção dos parâmetros de orientação para obter o melhor resultado e a melhor precisão;
- O usuário pode decidir se o TerraMatch faz a correspondência de todos os pontos ou apenas pontos de linhas de voo selecionadas;
- A comparação e correção de valores de cálculo pode ser tanto baseada na correspondência da superfície ou em diferentes tipos de linhas de ligação. A correspondência de linhas de ligação compreende pontos ou linhas em

superfícies horizontais, verticais ou inclinadas que podem ser usadas para combinar trajetórias de voo entre si, mas também locais conhecidos de pontos ou linhas que permitem o ajuste da nuvem de pontos do laser para controlar as medições;

- A incompatibilidade entre caminhos sobrepostos geralmente muda ao longo do tempo durante a obtenção de dados, dependendo da qualidade do sinal de GPS em diferentes locais. Isso requer uma solução de correção flutuante que pode ser alcançada com medições de controle e linhas de ligação TerraMatch;
- Este *software* é também usado para calibração do ângulo de desalinhamento que deve ser verificado e possivelmente melhorado no início do processamento dos dados. Dados são coletados numa calibração específica que oferece uma nuvem de pontos dedicada para a tarefa de calibração ao programa. Se o sistema incluir vários *scanners* a laser, a calibração envolve a correspondência entre *scanners*;
- Requisitos para os dados de entrada permitirem aos algoritmos funcionar corretamente:
 - O conjunto dos dados deve conter várias tiras que se sobrepõem. Alternativamente, uma única tira pode ser comparada a um conjunto denso de pontos conhecidos;
 - Devem conter algumas superfícies bem definidas ou outras características possíveis de identificar para a colocação das linhas de ligação. A correspondência não pode ser realizada se todos os dados forem coletados nas árvores de uma floresta, onde nenhuma superfície ou recursos significativos podem ser detetados;
 - Informações de trajetória com registo de data e hora devem ser importadas para o TerraScan;
 - Para sistemáticas correções de posição, a trajetória não se deve sobrepor a si mesma. Qualquer trajetória que dê uma curva de 180 graus deve ser separada em diferentes partes através do TerraScan;

- Os pontos laser devem estar ligados a posições de trajetória para que o TerraMatch consiga derivar a posição do laser e orientação para cada ponto laser. Isto requer que os pontos laser e as trajetórias usem o mesmo formato temporal.
- Para o funcionamento do programa é necessário estar acompanhado do TerraScan ou TerraScan Lite;
- Existem duas versões disponíveis: TerraMatch que é a versão completa e TerraMatch UAV que é uma versão mais leve dedicada ao processamento de nuvens de dados coletadas por veículos aéreos não tripulados. Visto que no ar o sistema é mais instável leva a uma perda de precisão dos dados obtidos, tornando-se então o papel deste *software* muito importante no processamento dos dados. A versão UAV está preparada para fazer o processamento de nuvens de pontos até alguns milhões de pontos. Esta versão não tem nenhuma capacidade de projeto, as ferramentas podem ser aplicadas em pontos carregados na memória, mas não ao nível do projeto. Está apenas disponível num pacote com outras versões UAV dos diversos programas da família Terrasolid UAV, devendo ser usado sempre em conjunto com o TerraScan UAV ou TerraScan.

Na Figura 17 é possível observar do lado esquerdo a nuvem de pontos coletada sem qualquer tipo de filtragem, e do lado direito é possível observar a filtragem realizada pelo TerraMatch eliminando pontos que se sobrepõem e fazendo a correspondência entre os diversos pontos e linhas de forma a melhorar e eliminar o ruído desnecessário.

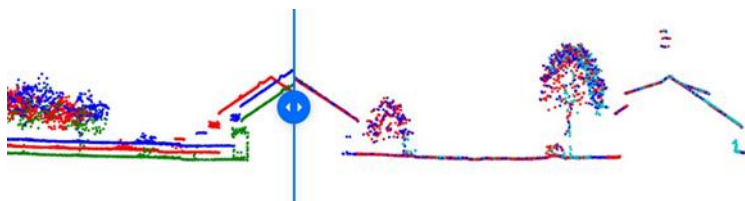


Figura 17 Filtragem realizada pelo TerraMatch [16]

- **TerraPhoto**

- TerraPhoto foi especificamente desenvolvido para o processamento de imagens capturadas em conjunto com dados laser durante o processo de obtenção;
- É usado para a produção de imagens ortorretificadas de imagens aéreas. O processo completo de ortorretificação pode ser realizado sem o conhecimento de pontos no sítio, por outro lado, pontos conhecidos podem ser usados para melhorar a precisão das posições das imagens;
- As vantagens da rotina de retificação são as seguintes:
 - Fluxo de trabalho simples que cria diretamente um mosaico de *rasters* ortorretificados;
 - O modelo do solo através de triangulação laser segue todas as características do terreno com precisão. O *software* calcula um valor de elevação para cada pixel na imagem retificada;
 - Suavização automática de transições de cores entre imagens, bem como vários métodos de correção para problemas de cor nas imagens sem qualquer nível de processamento.
- O TerraPhoto pode ainda criar texturas de parede automaticamente a partir de imagens oblíquas tiradas durante um voo. Os modelos de construção 3D necessários para a retificação da textura da parede devem estar disponíveis como elementos de arquivo CAD. Podem ser produzidos, por exemplo, pelo TerraScan através de ferramentas de vetorização de edifícios;
- Imagens provenientes de sistemas móveis podem ser usadas para fazer a calibração de sistemas com múltiplas câmaras, para melhorar o posicionamento das imagens de diversas câmaras de um sistema, para retificar imagens na superfície do solo e para criar uma fonte de dados para colorir nuvens de pontos MLS (*Mobile Laser Scanning*);
- O *software* é capaz de produzir vistas e imagens renderizadas, como também filmes de sobrevoo. Também pode ser usado para visualizar vídeos que são gravados durante uma sessão de voo ou condução e atribuída aos ficheiros de trajetória;

- TerraPhoto está totalmente integrado com Spatix e plataformas CAD. O ambiente CAD providência um número largo de ferramentas e capacidades úteis nas áreas de manipulação de vista, visualização, posicionamento do vetor elemental, rotulagem e plotagem;
- TerraPhoto está dividido em três versões. TerraPhoto é a versão completa com todas as ferramentas disponíveis. TerraPhoto Lite é uma versão leve que permite fazer a amostragem de imagens *raster* em segundo plano, suporta os mesmos formatos de ficheiros *raster* e consegue converter ficheiros *raster* entre alguns dos formatos, também consegue criar vistas e imagens renderizadas. Inclui todas as ferramentas necessárias para o balanceamento das cores e edição como preparação para a criação de um mosaico orto. Não inclui ferramentas de ortorretificação. TerraPhoto UAV é outra versão leve dedicada ao processamento de imagens provenientes de veículos aéreos não tripulados. É usado para imagens coletadas a uma altitude máxima de 500 metros. Não tem qualquer capacidade para realizar o processamento de imagens móveis no solo. Está apenas disponível num conjunto com outras aplicações Terra UAV [17].

2.5 PLC – *PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER*

Para a integração de um sistema de inspeção de paletes num armazém ou em algum tipo de sistema industrial é necessário o uso de um PLC, visto ser necessário fazer a interligação entre os sinais provenientes do sistema de inspeção de paletes com o restante sistema já existente. Nesta secção será feita a descrição do que é um PLC e a sua constituição, assim como a principal norma de referência destes equipamentos.

2.5.1 O QUE É UM PLC?

Um PLC é um tipo especial de controlador baseado num microprocessador que usa memória programável para guardar instruções e implementar funções de lógica, sequenciamento, temporização, contagem e de aritmética para controlar máquinas e processos. Na Figura 18 é possível observar a arquitetura básica de um PLC.

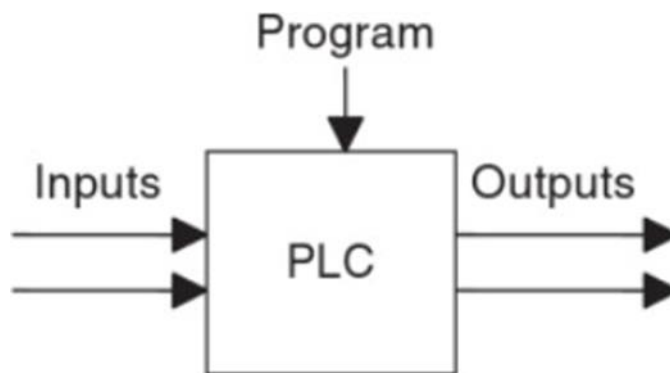


Figura 18 Arquitetura básica de um PLC [18]

Foi desenhado para ser operado por engenheiros que possam ter pouco conhecimento de computadores e linguagens de programação, tendo sido por isso desenvolvidas algumas linguagens de programação de PLC bastante intuitivas para o usuário, sendo definidas segundo a norma IEC 61131-3 [19] quatro linguagens de programação:

- Textuais:
 - Lista de Instruções, IL;
 - Texto Estruturado, ST.
- Gráficas:
 - Diagrama Ladder, LD;
 - Diagrama de Blocos Funcionais, FBD.

O LD, Figura 19, é uma linguagem de programação que pretende ser bastante simples de se entender, visto ser baseada na lógica de diagramas de circuitos. Usa três elementos básicos para o controlo de sistemas:

1. Entradas ou contactos, que fazem a leitura do valor de uma variável booleana, podendo esta ser normalmente aberta, ou normalmente fechada, conforme a necessidade associada ao programa (-||- contacto aberto; -|/|- contacto fechado);
2. Saídas ou bobinas, representadas pelo símbolo -()-, escrevem um valor booleano numa variável, essa variável pode estar diretamente associada a uma saída do PLC ou a uma posição em memória;
3. Blocos funcionais, são funções pré-definidas no sistema que permitem a execução de instruções mais complexas, como por exemplo temporizadores, contadores, entre outros.

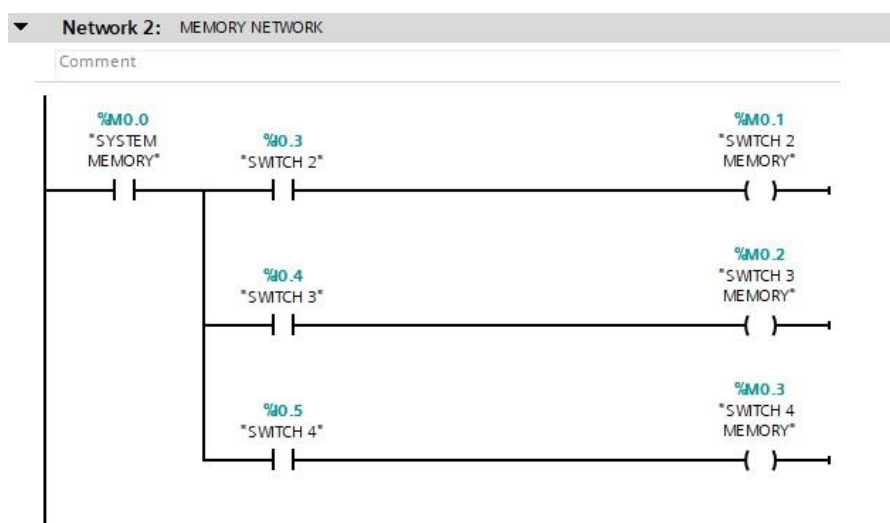


Figura 19 Exemplo de programação LD [27]

O FBD, Figura 20, é uma linguagem de programação simples e gráfica, sendo por isso fácil de aprender e muito usual na programação de PLC, apesar de não apresentar contactos elétricos como em LD, existem unidades funcionais equivalentes. Permite colocar funções com muitas linhas de código em blocos simples. Têm uma ou mais entradas e saídas, tendo como função criar a relação entre o estado das entradas e saídas, no topo de cada bloco está indicado o tipo de função a realizar por esse mesmo bloco [24].

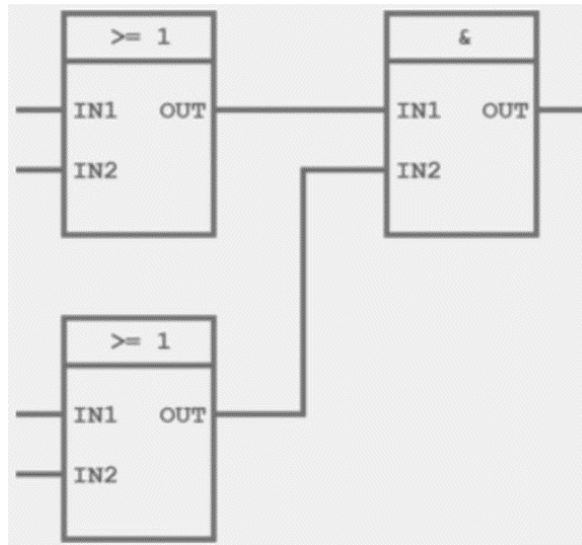


Figura 20 Exemplo de programação FBD [24]

A IL (ou STL no ambiente de trabalho da Siemens) é uma linguagem de programação baseada em texto com uma estrutura similar a linguagem *assembly*, conforme se pode observar na Figura 21.

```

0001 LD start
0002 AND Process1
0003 OR Manual_stir
0004 ANDN stir_complete
0005 ST Stir
0006
0007 JMPCN on_temp0
0008
0009 LD 147
0010 MOVX Process_code
0011 ST Process_code
0012
0013 en_temp0:
0014 LD start
0015 AND Process2
0016 OR Manual_clean
0017 ST CIP_P1
0018
0019 JMPCN on_temp1
0020
0021 LD 247
0022 MOVX Process_code
0023 ST Process_code
0024
0025 en_temp1:
0026 LD start
0027 AND Process3
0028 OR Manual_drain
0029 ANDN tank_empty
0030 ST Drain
0031
0032 JMPCN on_temp2
0033
0034 LD 347
0035 MOVX Process_code
0036 ST Process_code
0037
0038 en_temp2:
0039

```

Figura 21 Exemplo de programação IL [28]

O ST, Figura 22, é uma linguagem de programação de alto nível baseada em Ada, Pascal e C, contendo os elementos básicos destes tipos de linguagens, permitindo o uso de instruções condicionais (“IF-THEN-ELSE; CASE”) e cíclicas (“REPEAT-UNTIL;WHILE-DO”) e o uso de funções complexas.

```
1 IF #start = 1 THEN
2     //comment
3     "Max_nr" := #Array[0];
4 FOR #i := 1 TO 10 DO
5     // Statement section FOR
6     IF #Array[#i] > "Max_nr" THEN
7         "Max_nr" := #Array[#i];
8     END_IF;
9 END_FOR;
10 END_IF;
11
```

Figura 22 Exemplo de programação ST [29]

Dispositivos de entrada e de saída são conectados ao PLC, o operador cria uma sequência de instruções, programa, e descarrega-o para o dispositivo, o PLC a partir daí controla as entradas e saídas conforme o programa definido. Comparando com sistemas de relés, PLC podem implementar mudanças facilmente através de *software* sem necessidade de proceder à alteração de *hardware* que seria o caso dos relés. Pode ser facilmente expandido devido à sua elevada capacidade modular. São mais robustos e fiáveis que sistemas de relés, mais compactos, requerem menos manutenção e operam a velocidades mais elevadas.

Comparando com computadores que são otimizados para cálculos e tarefas de amostragem, PLC são otimizados para tarefas de controlo e o ambiente industrial, sendo que são mais robustos e desenhados para suportar vibrações, temperatura, humidade e ruído, têm interfaces para entradas e saídas que podem ser facilmente expandidas com um elevado número de portas, são facilmente programados com linguagens de programação intuitivas, não são tão bons para guardar e analisar dados, sendo que computadores são mais propícios a bloquear.

No caso de tarefas mais simples fica mais barato usar outro tipo de sistema, um microcontrolador ou microprocessador, por exemplo. Para tarefas onde é necessário

elevada capacidade de computação para algoritmos matemáticos é preferível o uso de computadores [18].

2.5.2 *HARDWARE*

Na Figura 23 é possível observar a configuração básica de um sistema PLC. Os elementos constituintes são:

- A *central processing unit* (unidade de processamento central) que contém o microprocessador que faz toda a interpretação e processamento dos sinais de entrada e realiza as ações de controlo de acordo com o programa guardado em memória via sinais de controlo de saída;
- A *power supply unit* (unidade de potência) que faz a conversão de tensão AC para a tensão DC necessária para o processador e os circuitos dos módulos de I/O (*Input/Output*);
- O *programming device* (dispositivo de programação) é usado para inserir o programa desenvolvido na memória do processador;
- A *memory unit* (unidade de memória) é onde o programa é armazenado e onde os dados provenientes das entradas são processados e para as saídas;
- As *input and output sections* (secções de entrada e saída) permitem o processador receber informação de dispositivos externos e comunicar informação para dispositivos externos;
- A *communications interface* (interface de comunicações) é usada para receber e transmitir dados em redes de comunicação de ou para outros PLC, tendo como função verificação de dispositivos, aquisição de dados, sincronização entre aplicações e gestão de comunicação.

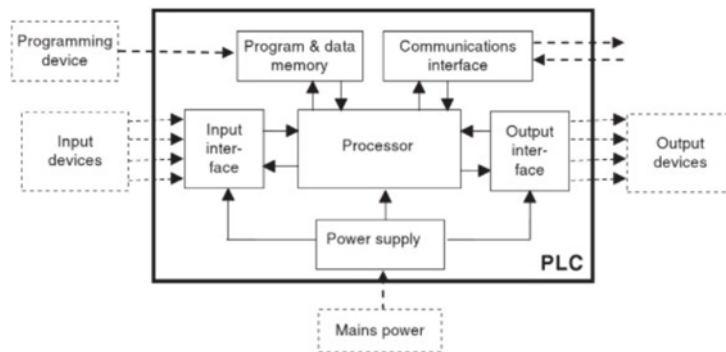


Figura 23 Sistema PLC [18]

2.6 NORMAS PARA A INSPEÇÃO E/OU CONSTRUÇÃO DE PALETES

2.6.1 DIN EN 13698-1

Esta norma europeia é baseada na norma UIC-Code 435-2:1994 e tem como objetivo especificar as características de manufatura de paletes reutilizáveis planas de dimensões 800 por 1200 milímetros, de dois andares, não reversível, com quatro entradas, palete com 9 blocos adequada para o transporte, armazenamento ou manuseio.

- **Dimensões**

Através da Figura 24 é possível observar os diferentes componentes que constituem uma euro palete, sendo que em conjunto com a Tabela 2 define-se para as diferentes partes as suas medidas com as tolerâncias permitidas para a sua construção.

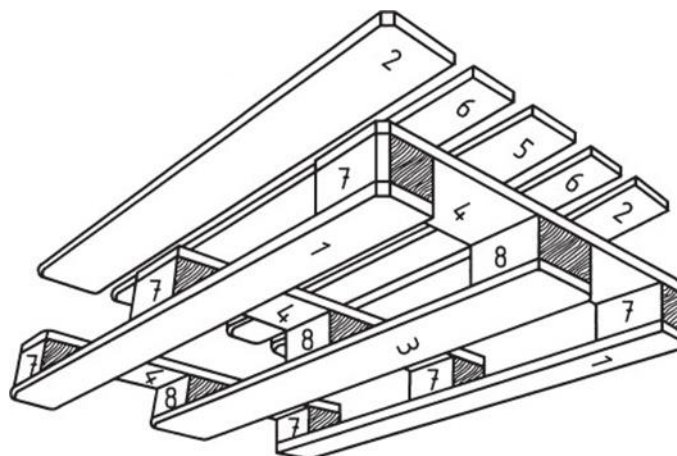


Figura 24 Partes de uma euro palete de 800 mm x 1200 mm [20]

Tabela 2 Dimensões e tolerâncias dos componentes de uma palete [20]

Parte	Componente	Número de componentes	Dimensões com 22% de humidade em mm		
			Comprimento	Largura	Espessura
1	Tábua da borda inferior	2	1200 ± 3	100 ± 3	22~24
2	Tábua da borda superior	2	1200 ± 3	142~150	22~24
3	Tábua central inferior	1	1200 ± 3	142~150	22~24
4	Tábua longarina	3	800 ± 3	142~150	22~24
5	Tábua central superior	1	1200 ± 3	142~150	22~24
6	Tábua intermédia superior	2	1200 ± 3	100 ± 3	22~24
7	Blocos exteriores	6	142~150	100 ± 3	78~79
8	Blocos centrais	3	142~150	142~150	78~79

Na Tabela 3 são definidas as dimensões e tolerâncias na montagem da palete.

Tabela 3 Dimensões e tolerâncias na montagem (em mm) [20]

Comprimento	1200 ± 3
Largura	800 ± 3
Altura	144~151

- **Tábuas e blocos:**

- Todas as tábuas e blocos de madeira natural devem ser feitos de uma única peça;
- Superfícies externas da parte superior e inferior não devem ser planas;

- As fibras da madeira dos blocos exteriores devem ser paralelas ao eixo longitudinal do eixo da paleta;
- Os blocos devem ser de madeira natural ou aglomerado.
- **Montagem da paleta e posição dos fixadores:**
 - Todos os fixadores devem ser colocados na vertical, a uma distância mínima de 20 mm das bordas das tábuas, e, para blocos de aglomerado, caso tenha um buraco no meio, devem ser colocados a um mínimo de 20 mm desse mesmo buraco;
 - Os fixadores não devem ser colocados paralelamente às fibras da madeira para impedir as tábuas de rachar, e devem ser colocados o mais afastado uns dos outros;
 - As cabeças dos pregos não devem sobressair ou estar afundadas da superfície da tábua mais de 3 mm;
 - Os fixadores não devem perfurar os lados dos blocos;
 - Não devem ser visíveis rachadelas provocadas pelo pregamento nos blocos ou tábuas depois da montagem;
 - Para cada bloco devem ser usados um mínimo de 3 fixadores, tanto na superfície de cima como de baixo;
 - Devem ser usados um mínimo de 3 fixadores para fixar cada tábua intermédia superior a uma tábua longarina;
 - A tábua da borda superior, e se necessário a tábua central, devem ser fixadas a cada tábua longarina por um fixador, qualquer prego saliente deve ser dobrado para trás.
- **Teste de resistência da montagem:**
 - Deve ser testada a rigidez diagonal de três paletes de acordo com a norma prEN ISO 8611-1:2000, sendo que são feitas seis quedas de canto em cada paleta (sempre o mesmo canto), a altura de queda deve ser um metro. Após o teste as paletes não devem apresentar uma distorção maior que 3%;

- As juntas da paleta devem ser testadas usando um separador de juntas. A média aritmética da força de separação é medida, e pelo menos 75% de todas as medidas, devem ser iguais ou superiores aos seguintes valores:
 1. Bloco/tábua longarina/tábua superior: 5,5 kN;
 2. Bloco/tábua inferior: 5,5 kN;
 3. Tábua longarina/tábua intermédia superior: 3,0 kN.

- **Inspecções e marcação:**

- Antes de serem entregues, as paletes devem ser inspecionadas segundo os pontos seguintes:
 1. O controlo de qualidade de um lote consiste na seleção aleatória de um número de paletes, sendo que esse número é definido conforme o tamanho do lote, conforme se observa na Tabela 4. Caso o tamanho do lote seja maior que 10000, as paletes devem ser divididas em lotes mais pequenos.

Tabela 4 Tamanho das amostras

Tamanho do lote	Tamanho da amostra
<150	8
151 <280	13
281 <500	20
501 <1200	32
1201 <3200	50
3201 <10000	80

2. Deve ser conduzida uma inspeção visual na amostra escolhida, as dimensões principais da paleta e dos seus diversos componentes devem ser medidas. Um relatório de inspeção em conformidade com o exemplo ilustrado encontra-se na Tabela 12 no Anexo A;
3. Se o número máximo de defeitos críticos, graves ou menores for excedido, o lote deve ser rejeitado. As marcações devem ser removidas de todas as paletes que não estão em conformidade com este *standard*. O número máximo de defeitos permitidos encontra-se na Tabela 5;

Tabela 5 Número máximo de defeitos [20]

Tamanho da amostra	Número máximo de defeitos permitidos		
	Defeitos críticos	Defeitos graves	Defeitos menores
8	0	5	10
13	0	7	14
20	0	10	21
32	0	14	30
50	0	21	44
80	0	30	70

4. Com a aprovação do inspetor, um lote inicialmente rejeitado deve ser submetido novamente após a eliminação das paletes defeituosas e preenchimento com novas paletes;
5. As paletes eliminadas devem ser inspecionadas separadamente após reparação, se possível.

2.6.2 DIN EN 13698-1

Esta norma internacional especifica os defeitos e dano máximo permitido antes de uma paleta de madeira plana ser reparada, e define o critério de reparação mínimo a ser adotado. Esta norma pode ser aplicada a paletes de madeira planas reparadas com componentes à base de madeira.

- **Critérios de defeitos e danos:**

- O critério principal para uma paleta inaceitável é se a sua condição for tal que não possa ser considerada como segura e que o manuseio desta possa ser um perigo para pessoas ou mercadorias;
- A resistência das juntas dos pregos é particularmente importante para o desempenho dos paletes;
- A inspeção de uma paleta, deve ser realizada antes de qualquer manuseamento, tanto carregada como vazia;
- As condições gerais que tornam uma paleta inaceitável são as seguintes:

1. Uma tábua em falta ou partida;
2. Tanto um bloco, escora ou tábua longarina em falta ou partido;
3. Falta de madeira em tábuas ao ponto de que em uma tábua, duas ou mais a haste do prego está visível, ou em mais de duas tábuas, uma ou mais hastes de pregos estão visíveis, ou madeira em falta em mais de um quarto da largura da tábua por um quarto do comprimento. Madeira em falta numa tábua entre os blocos em mais de um quarto da largura da tábua;
4. Rachadelas nas tábuas com mais de metade da largura ou comprimento da tábua, que não podem ser pregadas com segurança;
5. Asas em paletes devem apenas ter madeira em falta nas extremidades internas das tábuas para um máximo de um terço do comprimento da asa projetada;
6. Falta de madeira em blocos, escoras ou tábuas longarinas, se mais do que uma haste do prego está visível em uma junta;
7. Dependendo do uso, terra ou contaminação da paleta. Se alguma dúvida existir na natureza da contaminação, deve ser tido cuidado na sua identificação e consequente disposição;
8. Paletes mais antigas com uma combinação de poucos danos ou juntas soltas e com uma má aparência podem ter uma panóplia de problemas e serem inaceitáveis quando vistas como um todo;
9. Paletes com uma má qualidade de construção. Paletes com materiais ou componentes que foram anteriormente aplicados incorretamente;
10. Componentes afetados por apodrecimento que podem afetar as propriedades mecânicas;
11. Rachadelas da largura total da tábua de qualquer comprimento nos nós da escora.

- **Reparação:**

- Componentes com defeitos ou danos inaceitáveis devem ser removidos e substituídos por componentes novos ou reusados de uma única peça:

- Se blocos de aglomerado forem usados devem estar em conformidade com a norma EN 1087-1. A densidade deve ser maior do que 580 kg por metro cúbico;
 - Se for um requerimento, as tábuas inferiores e os cantos da paleta devem ser chanfrados;
 - As cabeças dos pregos devem ser escareadas para que o topo da cabeça do prego não fique acima da superfície.
- Os componentes usados devem ser de materiais novos ou reusados. Devem ser em concordância com as especificações da paleta e os seus parâmetros de reparação nas normas relevantes. Componentes reusados devem estar em conformidade com todos os requerimentos das novas especificações de componente de paletes. Não é permitida a falta de madeira ou rachadelas nestes componentes reusados. Os pregos usados e a montagem final da paleta devem cumprir os requerimentos das especificações da paleta;
 - Se não existem especificações ou se não são conhecidas, os componentes de substituição devem ter as mesmas dimensões e qualidade como os componentes removidos. Componentes de substituição podem ser de materiais novos ou reusados. Os componentes devem cumprir as dimensões apresentadas na Tabela 6. Demasiados buracos de pregos podem enfraquecer o componente. As tolerâncias gerais máximas permitidas para paletes de especificações desconhecidas apresentam-se na Tabela 7;

Tabela 6 Tolerância máxima dos componentes [21]

Componente	Tolerância máxima
Grossura das tábuas longarinas e tábuas do <i>deck</i>	± 2 mm
Largura as tábuas do <i>deck</i>	± 10 mm
Comprimento das tábuas longarinas e tábuas do <i>deck</i>	-10~5 mm
Altura dos blocos ou escoras	± 2 mm
Comprimento ou largura dos blocos ou escoras	± 5 mm

Tabela 7 Tolerâncias gerais máximas de paletes com especificações desconhecidas [21]

Componente	Tolerância
Comprimento	± 8 mm
Largura	± 8 mm
Altura	± 10 mm
Diferença diagonal	± 10 mm
Nivelamento	Dentro de 10 mm
Rotação do bloco	Sem sobressair
Espaços de cima	Máximo 65 mm
Posição da tábua da borda a partir da borda	-5~0 mm
Posição da tábua central a partir da linha central	$\pm 2,5$ mm
Posição da tábua longarina a partir da linha central	$\pm 2,5$ mm
Posição da escora a partir da linha central	± 5 mm
Juntas de cabeça	Máximo 5 mm
Escareador de pregos da superfície	-5~-1 mm

- Para montagem, os fixadores usados devem ter as características descritas na ISO 15629, Anexo A. As especificações dos pregos devem cumprir os requerimentos da paleta em questão;
- Fixação do conjunto tábua - bloco ou escora: arame quadrado torcido, rosca helicoidal, prego com rosca anular (o comprimento do prego depende da profundidade do conjunto). A penetração do prego deve ser de pelo menos 35 mm no bloco ou na escora;
- Fixação do conjunto tábua do *deck* - tábua longarina: arame quadrado torcido, rosca helicoidal, prego com rosca anular (o comprimento do prego depende da espessura combinada da tábua longarina e do *deck*). Se o prego não estiver preso, este não deve penetrar o lado de baixo da tábua longarina. Se o prego estiver cravado, deve ser cravado 10 mm. Pregos simples também podem ser usados se este estiver cravado;
- Posição e número de pregos usados na montagem: o número de pregos por junta e o correto posicionamento devem repetir o padrão da paleta original. Pregos devem ser posicionados a uma distância superior a 15 mm do fim ou borda da tábua;

- Reparação de escoras com nós: rachadelas de largura total em escoras com nós de paletes parciais de quatro entradas devem ser reparadas usando placas de metal;
- A marcação das paletes reparadas deve ser conforme definido pela autoridade competente e pode ser identificada para por exemplo, por um prego de identificação (ou fixador);
- A inspeção final deve avaliar o tamanho da paleta e as dimensões mínimas das aberturas devem ser cumpridas e todas as juntas devem ser fixadas com o número de pregos relevante. As paletes reparadas necessitam de atender aos requerimentos físicos para o uso pretendido. A inspeção de paletes com especificações conhecidas deve ser realizada pela autoridade competente.

3. SISTEMA ATUAL E REQUISITOS A ATINGIR

Neste capítulo será feita uma descrição do sistema atual para inspeção de paletes e quais os requisitos para o desenvolvimento de um novo sistema.

3.1 SISTEMA ATUAL

A solução desenvolvida pela KSC, Figura 25, apesar de funcional apresenta alguns desafios, visto ser um sistema totalmente mecânico ao fim de pouco tempo de uso é necessário proceder à sua manutenção para manter o sistema a funcionar da forma pretendida, tornando este sistema dispendioso a longo prazo.

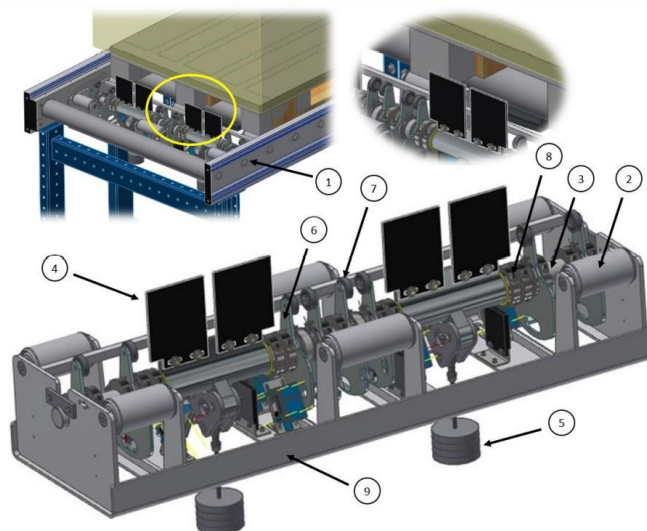


Figura 25 Inspetor de paletes atual

1-Tapete de rolos; 2 - Rolos de roda livre para suporte adicional; 3 - Buchas de ajuste para ajustar a posição dos dedos e das placas; 4 - Placa dobrável para identificar os buracos

(onde os garfos do transportador são inseridos) da paleta (a largura é ajustável); 5 – Contrapeso; 6 - Dedos retráteis para identificar as tábuas inferiores da paleta; 7 – Rolamento de contacto com a tábua; 8 - Anel de mola para dedos retráteis; 9 – Estrutura de montagem.

Na Tabela 8 encontram-se algumas medidas importantes para a escolha dos requisitos necessários para a construção de um novo sistema.

Tabela 8 Medidas do inspetor de paletes atual importantes

Componente	Dimensões
Rolamento dos dedos	Diâmetro – 35 mm Largura – 20 mm
Distância entre os dedos	Direita/Esquerda - 60 mm Meio – 50 mm
Placa dobrável (podem ser ajustadas)	Largura – 180 mm Folga lateral – 20 mm Folga no meio – 20 mm

O sistema atual foi projetado para apenas fazer a análise da parte de baixo das paletes, sendo que funciona da seguinte forma:

- As placas identificadas pelo número 4 verificam se existe alguma irregularidade nos buracos da paleta onde os garfos do transportador são inseridos. Sendo que estas placas não estão fixas, caso haja uma rotação das mesmas devido a alguma irregularidade é enviado um sinal ao PLC que sinaliza que o buraco da direita ou da esquerda estão obstruídos;
- Os dedos retráteis têm como função fazer a verificação das 3 tábuas inferiores da paleta, verificando se as mesmas têm algum tipo de buraco ou se estão partidas. À medida que a paleta passa pelo sistema estes dedos são empurrados para baixo e caso estes em algum momento da inspeção voltem à sua posição inicial devido a alguma falha na tábua, é enviado um sinal ao PLC a indicar qual a tábua com defeito.

Tanto na verificação dos buracos como das tábuas são usadas 6 fotocélulas. A Figura 26 mostra a localização dessas mesmas fotocélulas.

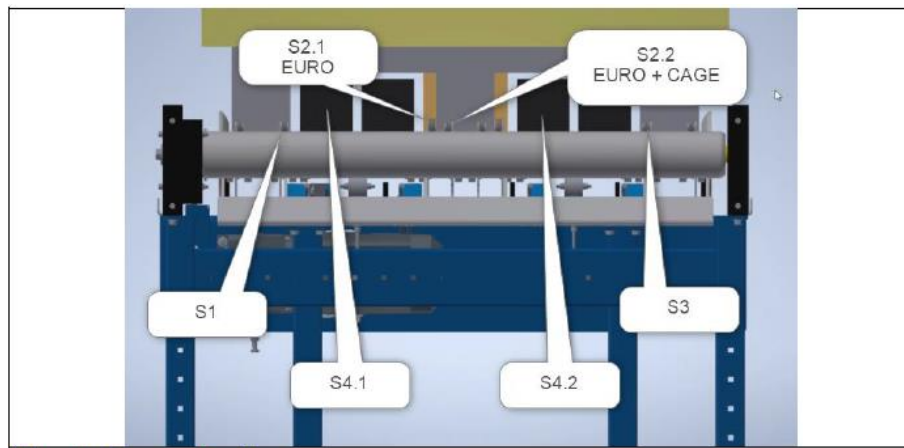


Figura 26 Configuração das fotocélulas

Para identificar o tipo de erro detetado, foi criada uma matriz de estados, visto que este sistema é capaz de fazer a verificação não só de euro paletes como também “Type D/Cage” paletes. A combinação de sinais é diferente conforme o tipo de paleta, como se pode observar na Figura 27.

Board detection		S1	S4.1	S2.1	S2.2	S4.2	S3
Standby position		0	-	0	0	-	0
Board OK	Euro	1	-	1	1	-	1
	Type D/Cage	1	-	0	1	-	1
Board NOK Examples	Euro Left defective	0	-	1	1	-	1
	Euro Middle defective	1	-	0	1	-	1
	Type D/Cage right defective	1	-	0	1	-	0
Hole detection (rev 3.0)		S1	S4.1	S2.1	S2.2	S4.2	S3
Standby position		-	1	-	-	1	-
Hole OK	Euro	-	1	-	-	1	-
	Type D/Cage	-	1	-	-	1	-
Hole NOK Examples	Left defective	-	0	-	-	1	-
	Right defective	-	1	-	-	0	-
	Left & right defective	-	0	-	-	0	-

S2.1 S2.2	S2.1 S2.2	S2.1 S2.2

Figura 27 Matriz de erros para Euro e Type D/Cage paletes

3.2 REQUISITOS DO SISTEMA

Para construir um novo sistema, é necessário definir primeiro o que o sistema atual é capaz de realizar e quais os requisitos necessários para que este novo sistema seja válido para o efeito.

Existem dois elementos distintos na atual inspeção de paletes, a verificação de buracos nas tábuas e o desimpedimento dos túneis.

Na verificação das tábuas, este sistema é capaz de verificar duas faixas de 20 mm em cada tábua exterior (direita e esquerda), em que o diâmetro do rolamento é de 30 mm, sendo apenas capaz de identificar buracos com mais de 20 mm de largura e 30 mm de comprimento, sendo que em condições reais são detetados apenas buracos com mais de 25 mm de largura e 40 mm de comprimento. Entre os dedos retráteis existe um espaço de 60 mm, o que leva a que qualquer buraco que se encontre neste espaçamento não seja detetado pelo sistema.

Na verificação da tábua do meio, existem 4 dedos retráteis o que melhora a eficácia da inspeção, apesar de tudo existe um espaço de aproximadamente 50 mm que não é inspecionado.

Na inspeção dos túneis são usadas 4 placas dobráveis, 2 para cada túnel, com uma largura de 80 mm cada, ocupando um espaço de 180 mm, com uma folga de 30 mm em todo o seu contorno e entre as duas placas uma folga de 20 mm. Com isto esta folga entre as duas placas torna-se um local onde não ocorre a inspeção. Em relação à folga em torno das placas pode ser considerada como uma margem de segurança para a prevenção de erros.

Visto ser um sistema totalmente mecânico, existem muitos elementos que estão em constante contacto com a paleta, e ao fim de algumas centenas de passagens, os componentes começam a ganhar folgas e começam a ocorrer diversos falsos positivos. Para evitar estas folgas é necessária bastante manutenção aos componentes, o que leva a um elevado custo, tanto monetário, como em termos de tempo para a empresa em questão.

Com isto pretende-se que o sistema desenvolvido tenha o mínimo de elementos mecânicos possíveis para eliminar este tipo de erros. As especificações para a construção e aprovação do novo sistema são as seguintes:

- Não ser necessário o uso de uma unidade computacional dedicada, ligando diretamente ao PLC;
- Não ser necessário alterar a estrutura do tapete de rolos para instalar o sistema, visto que para o sistema atual é necessário retirar um rolo do tapete para realizar a instalação do sistema;
- Ter um baixo custo de construção (~2000€);
- Manter uma velocidade de 0,3 metros por segundo durante a passagem pelo sistema;
- Ser tão bom ou melhor que o sistema atual, isto é:
 - Conseguir identificar buracos com 25 mm de largura por 40 mm de comprimento nas tábuas, ou menores;
 - Conseguir verificar se os túneis estão a ser obstruídos por algum objeto que sobressaía mais do que 30 mm da paleta, incluindo plástico transparente, visto ser um dos principais erros encontrados depois de a carga da paleta ser envolvida por filme plástico pelas enroladoras automáticas;
 - Conseguir detetar objetos pequenos, como parafusos, pregos, etc.

4. ARQUITETURA E IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

Neste capítulo será feita uma descrição detalhada do *hardware* e *software* utilizado no desenvolvimento deste projeto.

4.1 ARQUITETURA

Na Figura 28 é representado um diagrama de blocos da arquitetura geral do sistema desenvolvido assim como a comunicação entre os diversos módulos.

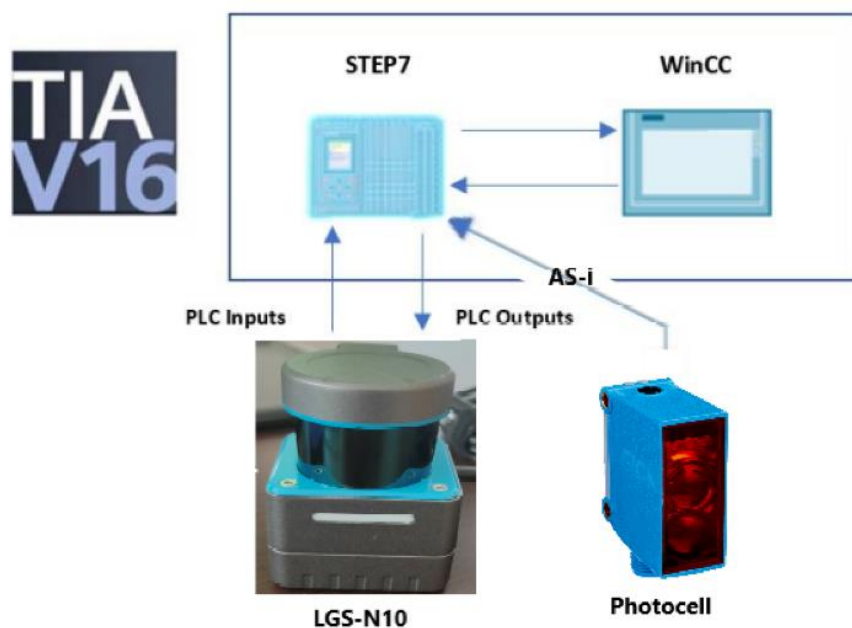


Figura 28 Arquitetura do sistema de inspeção de paletes.

Como unidade central de processamento temos um PLC, que faz todo o processamento dos sinais provenientes do LiDAR através de entradas digitais e envia através de saídas digitais sinais de controlo de volta para o LGS-N10. Através da rede AS-i é recebido o sinal

digital proveniente da fotocélula instalada. Realiza também a comunicação com a consola emulada através do WinCC, enviando e recebendo dados através de TCP/IP.

4.2 TIA PORTAL

O *software* TIA (*Totally Integrated Automation*) Portal é uma plataforma de engenharia desenvolvida pela Siemens que permite através de uma única plataforma fazer a integração de todo o *software* e *hardware* desenvolvido pela mesma, oferecendo ao utilizador uma solução completa de automação, que permite o diagnóstico, comunicação e programação dos diversos equipamentos. Conforme novas versões são disponibilizadas, são adicionados novos equipamentos, novas funções de programação e novas ferramentas.

A integração deste sistema possibilita o aumento de produtividade, redução do tempo utilizado em programação e a facilitação no diagnóstico da aplicação [22].

Esta plataforma é constituída por diversos *softwares* opcionais, que podem ser instalados conforme as necessidades do utilizador. Os *softwares* usados neste programa são:

- **SIMATIC STEP7** – este programa permite a escrita e teste de código PLC;
- **SIMATIC WinCC** – este programa permite a criação de um ambiente gráfico virtual que permitirá o usuário fazer a visualização e controlo de diversas variáveis através de uma HMI (*Human-Machine Interface*);
- **SINAMICS StartDrive** – este programa permite o comissionamento e operação de variadores de velocidade para o controlo de movimento de eixos motorizados.

Na Figura 29 é possível observar a listagem de *softwares* instalados no TIA Portal.

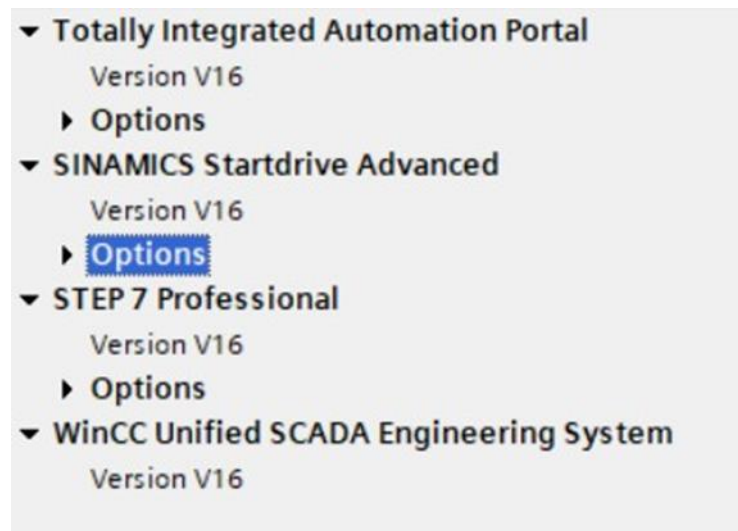


Figura 29 Listagem de *software* instalado no TIA Portal

4.2.1 SIMATIC STEP7

Sendo o SIMATIC STEP7 uma ferramenta básica presente no TIA Portal, este desempenha um papel integrante em qualquer momento de programação de *hardware* Siemens. É o *software* de programação de PLC da Siemens, sendo o TIA Portal um ambiente de desenvolvimento que ajuda na integração, comunicação e interligação de alguns *softwares* críticos para a programação completa de um ambiente de automação.

Para criar uma solução de automação no STEP7 é necessário proceder a uma série de tarefas básicas. É possível configurar o *hardware* e depois proceder à programação dos blocos ou programar primeiro os blocos e proceder por fim à configuração do *hardware*, sendo esta última recomendada para integrar blocos num projeto já existente [23].

Para realizar a programação dos blocos, estão disponíveis quatro linguagens de programação, sendo estas o *Ladder Logic Diagram* (LAD), o *Function Block Diagram* (FBD), o *Statement List* (STL), descritas anteriormente no estado da arte, e o *Structured Control Language* (SCL) uma linguagem específica da Siemens baseada em Texto Estruturado (ST).

4.2.2 SIMATIC WinCC

A ferramenta SIMATIC WinCC é um *software* integrado no TIA Portal, sendo a sua função programar, emular e controlar dispositivos HMI da Siemens. Pode ser usado para programar sistemas SCADA ou sistemas que monitorizam e controlam processos físicos em tempo real, uma vez que comunica com o STEP7. Estes interligam os seus programas trocando variáveis e estados de forma a permitir a constante monitorização e controlo [25].

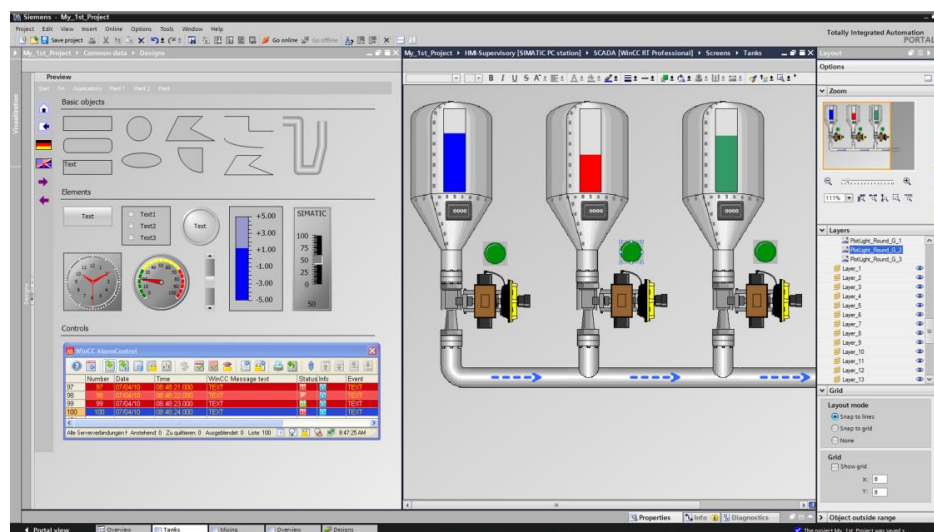


Figura 30 Aplicação desenvolvida em WinCC [25]

Através da Figura 30 é possível observar que o WinCC possui diversas ferramentas incorporadas para a criação do *layout* pretendido e desenvolvimento das diversas funcionalidades pretendidas para o controlo do processo automático.

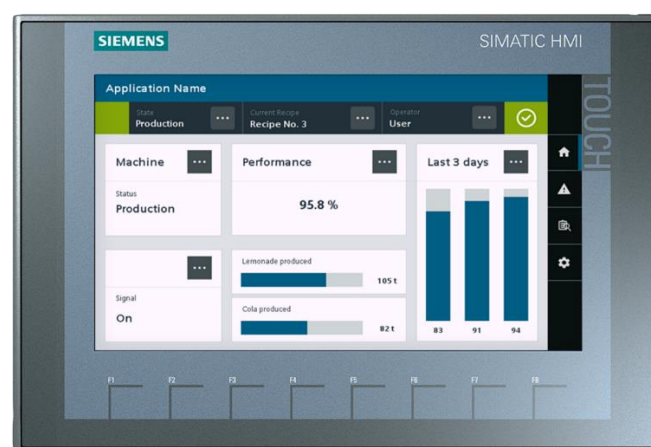


Figura 31 Ecrã de uma HMI [26]

Na Figura 31 é possível observar um exemplo de um ecrã, que vai ser mostrado numa consola para controlo e monitorização de um determinado processo. Neste caso é possível ver que são mostrados diversos índices de *performance* do processo automático.

4.3 ESCOLHA DO SENSOR LIDAR

Devido à existência de mais do que um sensor na empresa, foi necessário realizar uma comparação entre os mesmos, assim como alguns testes para definir qual o melhor LiDAR para proceder com a construção do sistema.

4.3.1 SENSORES DISPONÍVEIS PARA TESTES

Os sensores disponíveis, assim como as suas especificações são apresentados nas figuras abaixo, sendo que na Figura 32 e Figura 33 são ambos da Sick enquanto que na Figura 34 é um sensor de testes ainda em desenvolvimento cedido pela DataLogic.

- Sick TIM 310



Aperture angle	
Horizontal	270°
Scanning frequency	15 Hz
Angular resolution	1°
Working range	0.05 m ... 4 m
Response time	1 scan, typ. 67 ms 2 scans, ≤ 134 ms ¹⁾
Detectable object shape	Almost any
Systematic error	± 40 mm ²⁾
Statistical error	< 30 mm ²⁾
Integrated application	Field evaluation
Number of field sets	16 field triples (48 fields, 1 triple (3 fields) can be configured directly at the scanner)
Simultaneous evaluation cases	1 (3 fields)

Figura 32 Sick TIM 310 e suas especificações [30]

- Sick TIM 351



Aperture angle	
Horizontal	270°
Scanning frequency	
15 Hz	
Angular resolution	
1°	
Working range	
0.05 m ... 10 m	
Response time	1 scan, typ. 67 ms
	2 scans, ≤ 134 ms ¹⁾
Detectable object shape	
Almost any	
Systematic error	
± 60 mm ²⁾	
Statistical error	
< 20 mm ²⁾	
Integrated application	
Field evaluation with flexible fields	
Number of field sets	
16 field triples (48 fields, contour as reference; 1 triple (3 flexible fields) can be configured directly at the scanner)	
Simultaneous evaluation cases	1 (3 fields)
	2 (2 fields for detection and 1 field for contour as reference)

Figura 33 Sick TIM 351 e suas especificações

- DataLogic LGS-N10



Field of view((horizontal)	o	270
Beam divergence	mmrad	longitudinal 5.8 mrad transversal 0.58 mrad
Angle resolution (horizontal)	o	0.225
Scanning frequency	Hz	10~25
Working distance (based on reflectivity)	m	0.2~2m@2% reflectivity 0.2~8m@10% reflectivity 0.2~10m@80%reflectivity 0.2~10m@reflector
Distance resolution	ms	1
Signal strength		0-60000
Accuracy (1)	mm	Absolute Accuracy : <±50mm Repeate accuracy<20mm
Ethernet connection		100Mbps Ethernet
Scanning rate	pts	16K~40K
Connection		12 Cores Cable,2m 4Pin, M8x1, A-code, Female,2m (LAN)
Horizontal error (Horizontal angle)	o	±0.5
Response time	ms	130ms@10Hz
Number of bank fields		16 Bank, 3 levels/bank
Switching inputs	ea	4
Switching outputs	ea	4

Figura 34 DataLogic LGS-N10 e suas especificações [31]

Tabela 9 Comparativo das especificações dos 3 LiDAR

	TIM 310	TIM 351	LGS-N10 (protótipo)
Campo de Visão	270°		
Resolução Angular	1°		0.225°
Frequência de Varredura	15 Hz		10~25 Hz
Distância de Trabalho	0.05 m~4 m	0.05 m~10 m	0.2 m~10 m
Tempo de Resposta	67ms	67ms	130ms
Precisão	Erro Sistemático: +/- 40 mm Erro Estatístico: < 30 mm	Erro Sistemático: +/- 60 mm Erro Estatístico: < 20 mm	Erro Sistemático: < +/- 50 mm Erro Estatístico: < 20 mm
Número de Conjuntos de Campos	16 Conjuntos de 3 campos		
Preço	~300€	~700€	~700/800€

Como se pode observar através da Tabela 9, os 3 sensores têm características bastante similares entre si, principalmente os 2 sensores da Sick, então podemos eliminar o TIM 310, Figura 32, já que é uma versão inferior do TIM 351, Figura 33. Este dentro da configuração das áreas não tem tantas opções e é mais restritivo, embora o erro sistemático seja melhor no 310, isso não se revela um problema, pois o erro estatístico é o fator principal a ter em consideração, visto que o erro sistemático pode ser corrigido alterando a posição do sensor para fazer a compensação deste mesmo, mas o erro estatístico é algo que não pode ser corrigido e impacta no desempenho do sistema, pois o objetivo é que os pontos fiquem na mesma posição em cada varredura quando está a ser varrida a mesma porção da paleta.

Comparando o TIM 351 e o LGS-N10, Figura 34, pode-se ver que o TIM tem melhor tempo de resposta e distância de trabalho, por outro lado o N10 tem melhor resolução angular e a frequência de varredura pode ser mudada.

4.3.2 TESTES REALIZADOS PARA AVALIAR QUAL SENSOR É O MELHOR

Os primeiros testes efetuados com os sensores foram realizados colocando o sensor sob um transportador de rolos com uma euro paleta no topo obtendo alguns resultados para

ajudar a decidir qual o sensor a escolher para a implementação com uma paleta móvel. A Figura 35 mostra o ambiente de teste e a posição do sensor, neste caso o LGS-N10. O sensor deve ser posicionado tão distante do transportador pois quanto mais afastado, melhor o ângulo de visão. O LiDAR não fica perpendicular à paleta, pois está posicionado por debaixo de um rolo para evitar a queda de detritos e proteger o sensor.



Figura 35 Configuração adotada para os testes iniciais

Os testes feitos com esta configuração foram apenas para ver qual era a precisão dos 3 sensores e para verificar se a resolução angular é realmente um ponto importante.

Os testes começaram com o LGS-N10, pois na época os LiDAR da Sick ainda estavam a ser usados num outro projeto. Na Figura 36 podemos ver o formato da paleta formado pelos diversos pontos coletados pelo sensor.

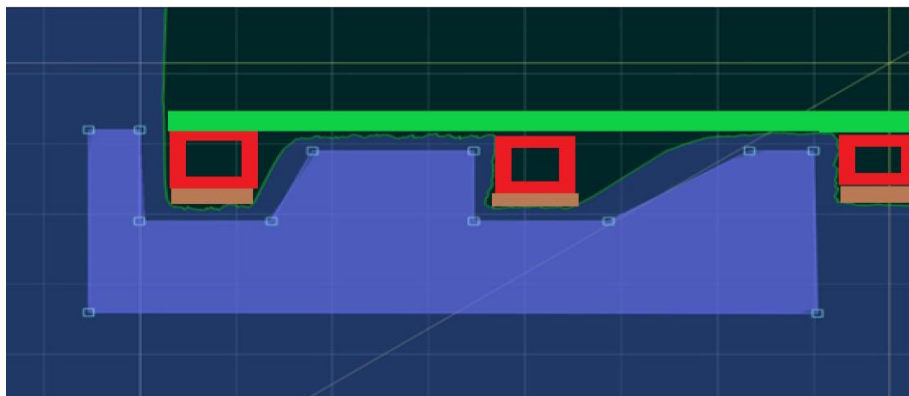


Figura 36 Silhueta da paleta traçada pelo LGS-N10

Podemos ver que o contorno da paleta é claro, a área definida a azul representa o contorno externo da paleta. Para melhor interpretação foram desenhadas algumas formas, como podemos ver temos a castanho as tábuas de baixo da paleta, depois a vermelho os blocos e a verde as tábuas de cima. Por causa da posição do sensor, observamos que quanto mais à direita, maiores as áreas onde a verificação não é possível devido ao campo de visão (zonas cegas). Poderíamos mitigar isso colocando o sensor no meio, mas o objetivo deste projeto seria verificar os blocos da paleta ou pelo menos ver se o bloco externo está girado ou se algo está a sair das laterais da paleta. Sendo que também se poderia colocar o sensor mais longe do topo do transportador, mas tem que se ter em consideração que existem alguns transportadores que têm uma altura máxima de 400 a 500 mm, então temos que testá-lo no pior cenário possível. Outro aspeto que é muito importante é o efeito de *ripple* que podemos ver quando os pontos estão a tocar uma superfície, mesmo com o objeto estático os pontos obtidos nunca refletem exatamente da mesma maneira na superfície e por isso às vezes o sensor pode ler o mesmo ponto a uma distância de 500 mm, noutra passagem a uma distância de 510 mm e outra passagem a 490 mm, então tem que se ter isso em conta e ao desenhar as áreas ter uma margem de pelo menos 20 mm ou mais para não ocorrerem falsos positivos.

Na Figura 37 foi realizado um teste para verificar se a resolução angular do sensor é suficiente para identificar um prego.

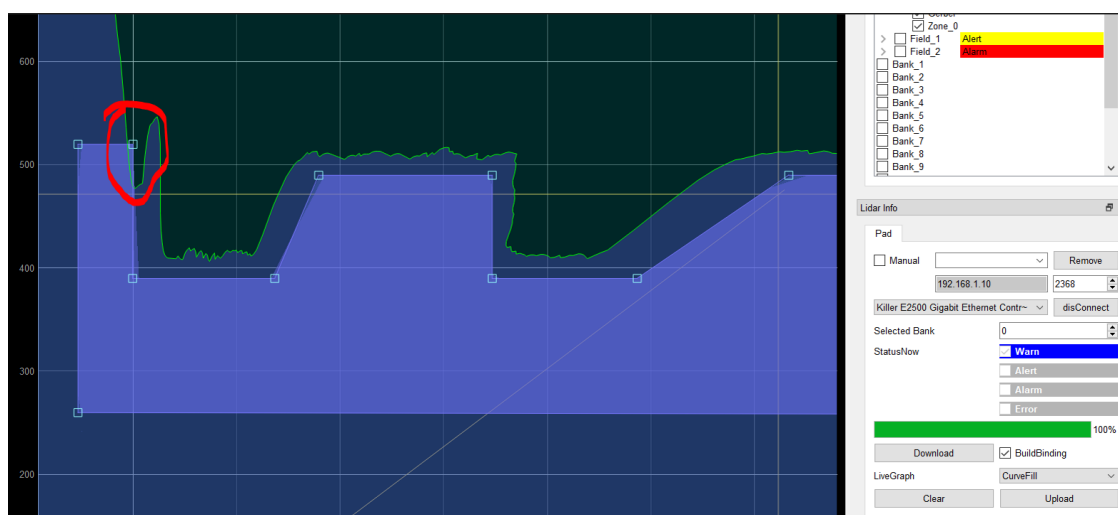


Figura 37 Teste do prego

Rodeado a vermelho, é possível observar que de facto o sensor devido à sua resolução angular, consegue identificar objetos de dimensões reduzidas, neste caso um prego.

Apesar de conseguir fazer um bom contorno da paleta e identificar pequenos objetos, o seu *software* apresenta algumas fragilidades, não é muito intuitivo de utilizar e devido ao *ripple* obriga a criar zonas com margens consideráveis.

Por isso decidiu-se explorar o TIM 351, por ser um produto acabado, o seu *software* tem mais opções e é mais intuitivo. O TIM 310 foi descartado por ser uma versão inferior e não permitir a criação de áreas livres.

Os testes com este sensor foram bastante curtos, pois apesar do *software* ser melhor e ser um produto finalizado, como se pode ver na Figura 38, tem um *ripple* muito maior que o LGS-N10, e mesmo tentando ajustar os filtros disponíveis, o melhor resultado foi o mostrado na figura, tendo um *ripple* de 30 a 40 mm nos pontos mais distantes do sensor. Apesar de tudo a resolução angular deste sensor ainda foi testada e por ser mais de 4 vezes superior à do N10, não conseguiu identificar um prego.

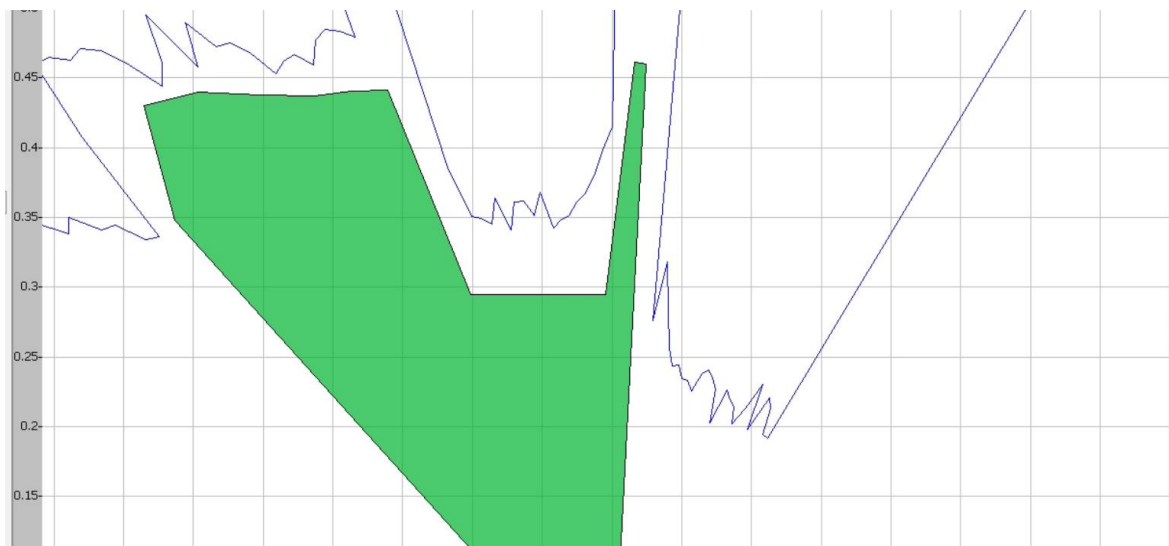


Figura 38 Teste do prego com o TIM 351

Com este teste tornou-se óbvio que o sensor ideal para prosseguir com os testes era o LGS-N10. Também foi realizado um teste final para verificar se esse sensor seria capaz de identificar uma fina camada de plástico praticamente transparente, pois um dos problemas

das paletes é que às vezes a máquina de embalar começa um pouco abaixo do topo do palete e impede que os garfos do empilhador sejam inseridos nos buracos da paleta, causando um erro ou virando a paleta. A Figura 39 mostra os resultados deste teste.

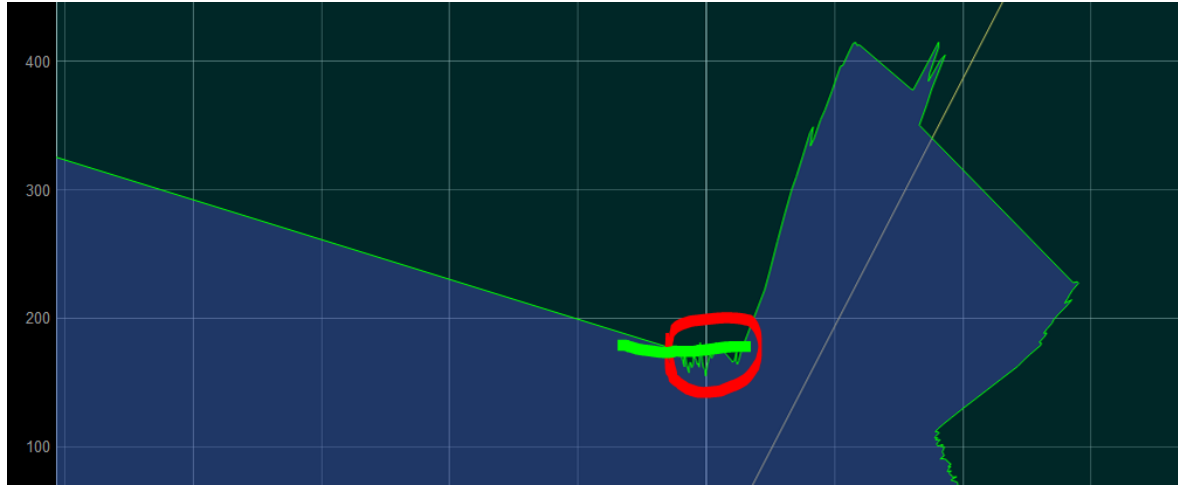


Figura 39 Teste do plástico com o LGS-N10

Uma fina camada de plástico foi colocada à frente do sensor (ilustrado como uma linha verde na figura), o sensor estava logo abaixo do círculo vermelho e como podemos ver, a parte do plástico diretamente à frente do sensor foi identificada corretamente. O efeito *ripple* é ainda mais pronunciado, mas o importante é que consegue identificar e como se vai usar áreas, se um único ponto não passar pelo plástico, ele acionará a área sendo a única coisa necessária para este projeto.

Então, pelo menos durante os testes estáticos, parece que este sensor está apto para identificar buracos, blocos, pregos e até plástico.

4.4 IMPLEMENTAÇÃO DO *HARDWARE*

A Figura 40 mostra a implementação do protótipo final e as medidas necessárias. Todas as medições foram feitas da parte inferior dos rolos até à viseira do sensor. Existem algumas cintas para segurar a haste de apoio, visto que como o peso fica todo concentrado em uma extremidade, ela acaba agindo como um pêndulo, o que faz com que durante a

movimentação das paletes, devido às vibrações, o sensor começa a oscilar muito podendo afetar o desempenho do sistema.

Em um produto finalizado essas vibrações não seriam um problema, pois seria desenvolvido um suporte específico para esta aplicação que poderia ser aparafusado ao chão.

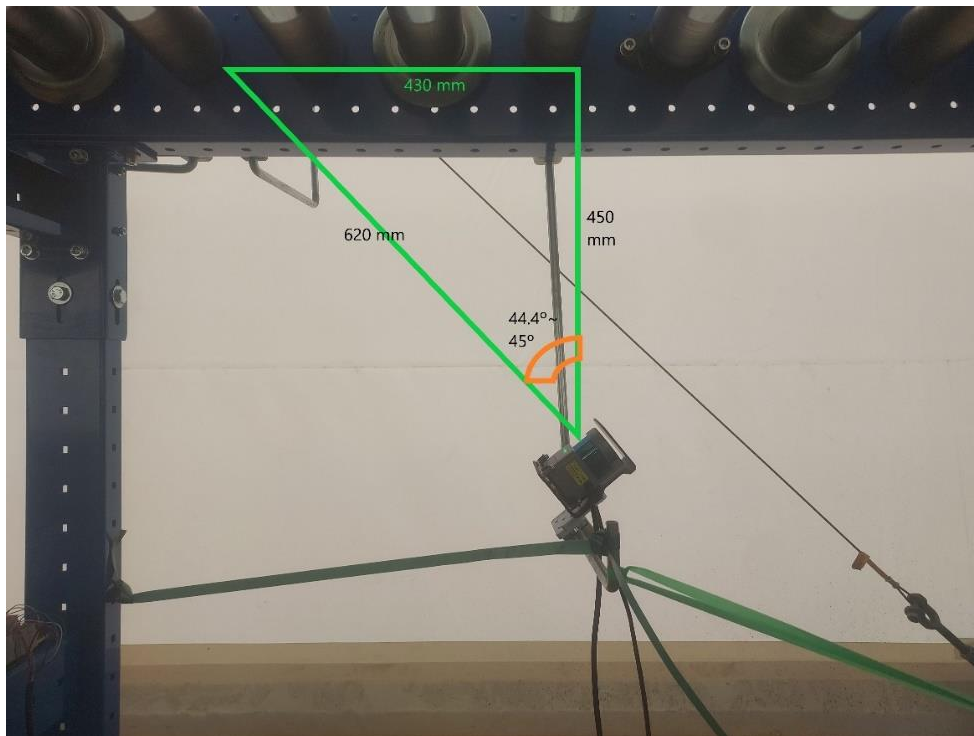


Figura 40 Distâncias de instalação do sensor à parte debaixo dos rolos

A fotocélula, visualizada na Figura 41 (rodeada a vermelho), é utilizada para acionar o programa do PLC, conta os blocos da palete e altera o conjunto de áreas no sensor conforme pretendido. Rodeado por um círculo verde está um bloco de madeira que visa manter as paletes sempre a passar na mesma posição do transportador, esta é uma solução improvisada e para o produto final seria necessário desenvolver uma peça específica para esta função.

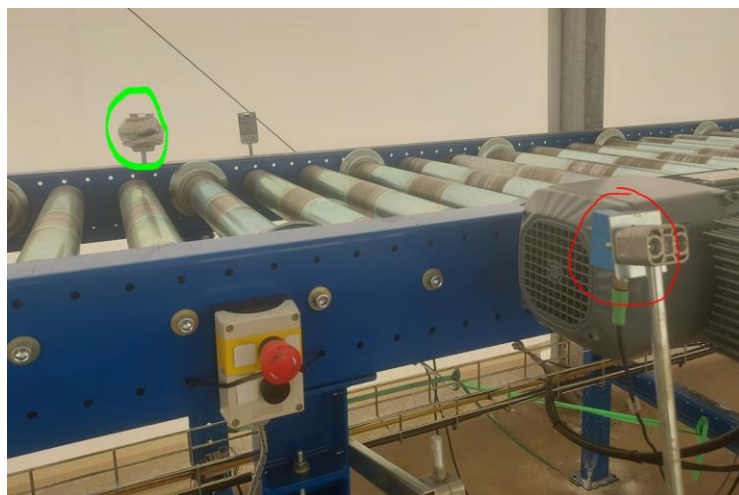


Figura 41 Fotocélula e bloco de madeira

O cérebro que processa os sinais provenientes do LGS-N10 e da fotocélula é um PLC, mais especificamente um SIMATIC ET 200SP com um CPU 1512SP-1 PN, Figura 42. Três cartas de E/S estão conectadas ao PLC, a primeira é um módulo AS-i para todos os dispositivos conectados à rede AS-i (para este projeto é apenas uma fotocélula, mas nesta rede há muito mais fotocélulas e alguns endereços que controlam os motores dos transportadores), o segundo é um módulo de entrada digital e o último é um módulo de saída digital. Ao módulo de entrada são conectadas as 4 saídas que vêm do LiDAR e ao módulo de saída são conectadas apenas duas entradas do LiDAR, pois não precisamos de mais de 4 trocas de conjuntos de áreas, bastando enviar um sinal baixo ou alto para essas entradas do LGS.



Figura 42 PLC, carta AS-i e cartas E/S

Como as entradas do LGS-N10 estão normalmente em um nível alto (+12 V) e o módulo de saída não é do tipo relé, foi necessário adicionar 2 relés externos, Figura 43, para que quando enviarmos um sinal baixo ele vá a 0 V.



Figura 43 Relés

4.5 CONFIGURAÇÃO DO LGS-N10

Primeiramente, é necessário configurar os parâmetros do sensor, para isso é utilizada a página de configuração do LGS, que pode ser acessada quando o LiDAR estiver conectado ao computador através da porta Ethernet. Para acessar a página, basta abrir um navegador e escrever o IP do LiDAR, que por defeito é 192.168.1.100, e só pode ser alterado nessa mesma página.

Nesta página, Figura 44, pode-se alterar a velocidade do motor, desligar ou acender o LED na parte frontal do sensor, ligar ou desligar o uso de áreas configuráveis, se o conjunto de campos é alterado através do I/O ou através desta página (*software*) e alternar entre os 3

modos do LED. Também é possível configurar tudo em relação à rede do sensor e dizer ao sensor quais IP de *Hosts* podem ser conectados ao sensor. No lado direito da página, a temperatura e tensão dos vários componentes do LiDAR e qual o conjunto de áreas está ativa são mostrados em tempo real.

Em relação à configuração para este projeto é exatamente igual à da Figura 44, a única diferença é que a opção GPIO está selecionada na “*Safe bank input*”.

The screenshot displays the LGS-N10 configuration interface, organized into five main sections:

- LiDAR Config:**
 - Motor RPM: 600
 - Led Marquee: ☒ ON, ☐ OFF
 - Safe Area: ☒ ON, ☐ OFF
 - Safe bank input: ☐ GPIO, ☒ Software
 - Led Mode: ☐ Mode1, ☐ Mode2, ☒ Mode3
 - Buttons: Set Configs
- Safe bank config:**
 - Safe bank config: 12
 - Button: Set bank
- Temperature:**
 - CPU core: 41.0 °C
 - Main board: 31.5 °C
 - Motor board: 22.8 °C
 - Recv board: 28.0 °C
- Voltage:**
 - CPU core: 3.31 V
 - Measurement: 5.55 V
 - Motor driver: 10.40 V
- Net Config:**
 - Host1 IP & Port: 192.168.1.10 & 2368
 - DHCP: ☐ ON, ☒ OFF
 - LiDAR IP: 192.168.1.100
 - Net Mask: 255.255.255.0
 - Gateway: 192.168.1.1
 - Button: Set Networks
- SafeArea:**
 - Safe bank: 12[SOFT]

Figura 44 Página de configuração do LGS-N10

Há também outra página que permite a configuração dos filtros, que pode ser acessada escrevendo no navegador 192.168.1.100/advanced.html. Nesta página pode-se configurar a intensidade dos dois filtros disponíveis (pontos fracos e pontos de cauda), informar ao sensor se um ponto acima do alcance máxima deve ser considerado como 0 ou alcance máximo (neste projeto isso não é relevante, pois a distância até à paleta é pequena) e permite reiniciar o LiDAR para eliminar quaisquer erros. Para este projeto, a Figura 45 mostra exatamente a configuração desejada.

LiDAR Advanced Config

Over range as: ☐ Max ☒ 0(ZERO)

Weak points filter: OFF STRONG

Tail points filter: OFF STRONG

Set Configs

Click to restart: LiDAR Restart

Temperature

CPU core: 60.1 °C

Main board: 50.7 °C

Motor board: 36.2 °C

Recv board: 45.9 °C

Voltage

CPU core: 3.31 V

Measurement: 5.57 V

Motor driver: 10.37 V

Figura 45 Página de configuração avançado do LGS-N10

Para desenhar as áreas desejadas e visualizar a nuvem de pontos é utilizado o *software* Oforge, Figura 46.

Visto que este *software* ainda está em desenvolvimento não é muito intuitivo e fácil de usar, falha no aspeto visual, mas não é difícil de conectar ao sensor porque encontra o IP automaticamente, mas se o programa estiver aberto por muito tempo e se tentar fazer *download* algumas alterações, dá um erro que não conseguiu fazer o *download* das modificações. Se não se tiver guardado essa configuração no computador, pode-se perder tudo, pois devido a esse erro todos os conjuntos de áreas anteriormente no LiDAR são apagados.

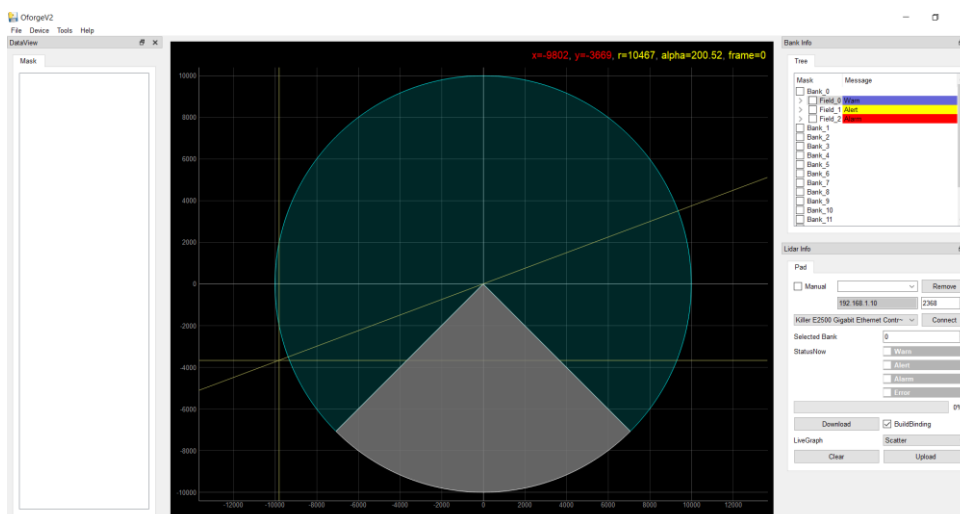


Figura 46 Software OforgeV2

Para este projeto foi necessário projetar 3 conjuntos de áreas, um, Figura 47, para quando o primeiro bloco da paleta ainda não foi detetado. Devido ao ângulo de 45° do sensor, o topo da paleta e os túneis da paleta já começam a ser identificados e devido a este ângulo há um pequeno período de tempo que ao invés de fazer o varrimento às tábuas de baixo, está a varrer a frente dos blocos iniciais. Assim se este primeiro conjunto de áreas tivesse as áreas para verificar os blocos ou as tábuas inferiores, levaria a falsos positivos.

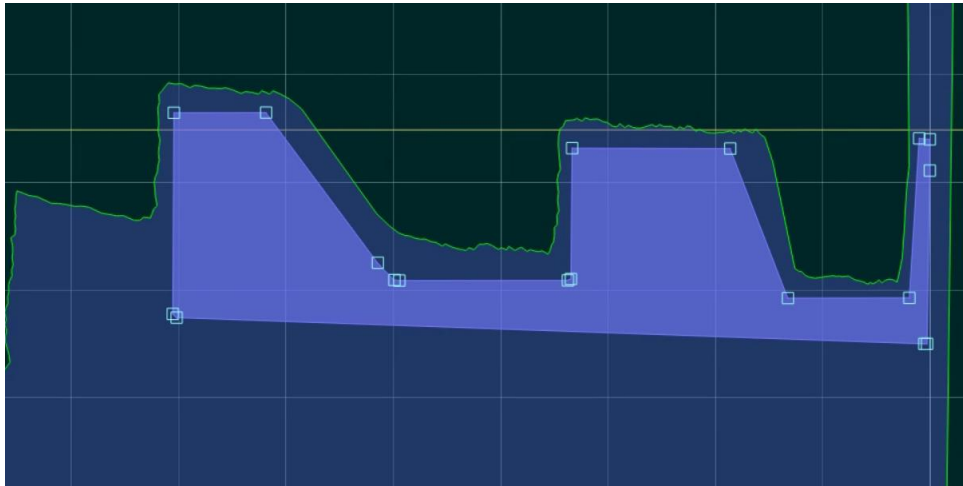


Figura 47 Primeiro conjunto de áreas

Outro conjunto de áreas, Figura 48, para verificar se os blocos do meio (área amarela) e da esquerda (área vermelha) da paleta estão lá ou se não estão partidos ao meio e verificar se os túneis não apresentam obstruções (área azul).

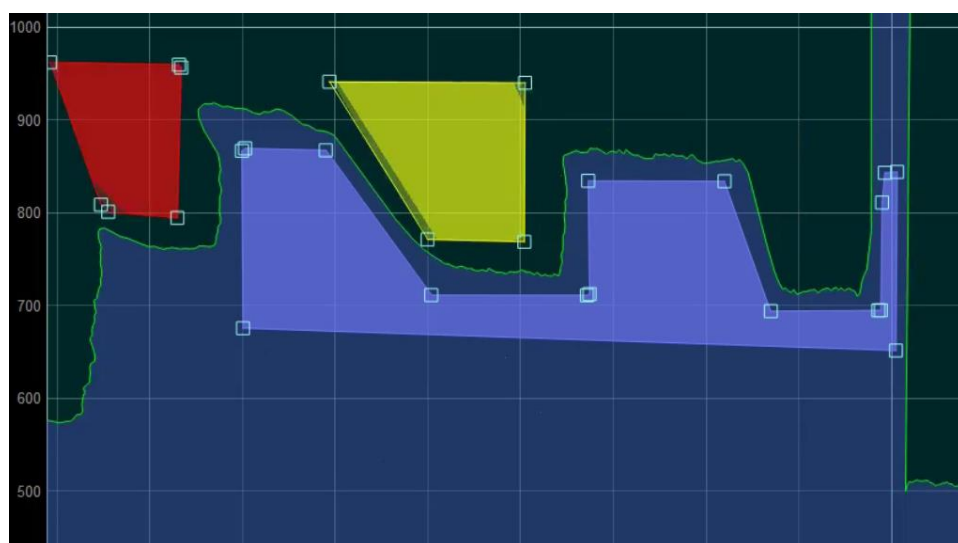


Figura 48 Conjunto de áreas para verificação dos blocos

O último conjunto de campos, **Figura 49**, assim como os dois descritos anteriormente, ainda possui uma área para verificar se há obstruções nos túneis da paletes (área azul). Neste caso as áreas vermelha e amarela verificam se as tábuas da direita e do meio, respetivamente, têm algum tipo de buraco, se estão partidas, etc.

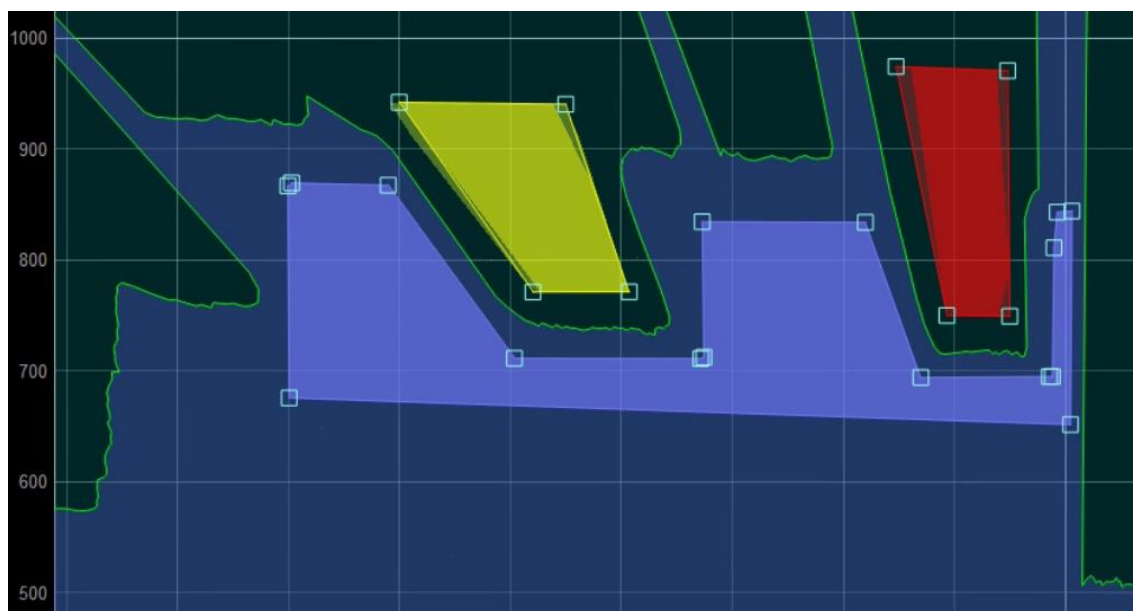


Figura 49 Conjunto de áreas para verificação das tábuas

4.6 PROGRAMAÇÃO PLC

O código desenvolvido para lidar com as entradas e saídas provenientes do sensor é muito simples, e pode ser descrito resumidamente pelo fluxograma apresentado na Figura 50. No Anexo B encontra-se o código completo do programa desenvolvido.

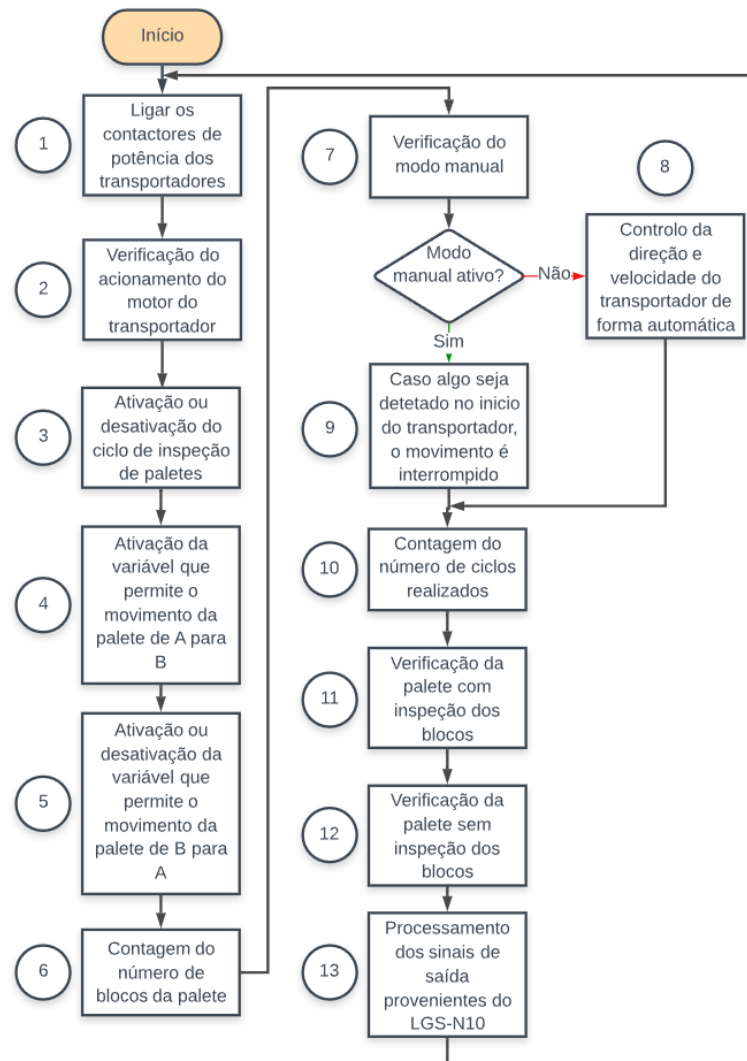


Figura 50 Fluxograma geral do programa PLC desenvolvido

O primeiro bloco visa manter os contactores de potência dos transportadores ligados.

O segundo bloco verifica se o acionamento do motor está pronto.

O bloco número 3 ativa o ciclo de inspeção de paletes se a paleta estiver no início do transportador, se não houver algo a bloquear o final do transportador e se o motor estiver pronto. O ciclo é desligado se o número de ciclos atingir um número específico, neste caso 100 ou se o motor não estiver pronto.

O quarto bloco ativa uma variável que sinaliza que o transportador pode deslocar a paleta de A para B se a paleta está no início do transportador, se não há nada a bloquear o final

do transportador, se o *drive* está pronto, se o ciclo está ligado e se o tempo de espera no início do transportador chegou ao fim. A variável é desativada quando a paleta chega ao final do transportador ou quando a variável de B para A é ativada ou quando o acionamento do motor não está pronto.

O próximo bloco funciona quase da mesma forma que a anterior, mas neste caso é ativada a variável para passar de B para A, caso a paleta tenha chegado ao fim do tapete, caso não haja nada a bloquear o início do transportador e caso o tempo de espera em B tenha terminado. Para desativar esta variável a paleta tem que chegar ao início do transportador ou a variável de A para B estar ativa ou o acionamento do motor não estar pronto.

No bloco 6 se a paleta estiver em movimento de A para B e a fotocélula do sistema de inspeção de paletes for acionada, visto que esta está posicionada ao nível dos blocos da paleta acaba por contar o número de blocos, permitindo a troca do conjunto de áreas. Este valor é reiniciado quando a paleta está se a mover de B para A.

A ativação do modo manual pode ser feita diretamente no banco de dados ou através da HMI, isso irá impedir o fluxo natural do código e saltar diretamente para o bloco manual.

O bloco 8 controla o movimento do transportador, direção e velocidade, de acordo com as variáveis de movimento que estão ativas. Faz o *release* do motor permitindo que este se mova. Estes endereços estão todos na rede AS-i.

Quando o modo manual está ativo o bloco anterior é saltado e por isso o transportador pode ser movimentado livremente. Por segurança, se o sensor no início do transportador detetar algo, o movimento do tapete é interrompido, pois este transportador não possui uma barreira física no início para impedir que a paleta caia ao chão.

Toda a vez que o movimento de A para B começa, o bloco 10 conta um ciclo. Este valor só pode ser reiniciado diretamente no banco de dados.

Os 3 blocos finais são os mais importantes para o funcionamento deste sistema, pois os anteriores são simplesmente para a movimentação do transportador e o ciclo de testes.

Este primeiro bloco, representado pelo fluxograma da Figura 51, é um modo de operação onde são verificados os blocos da paleta.

Se a paleta está se a mover de A para B, se a variável “#MODE” na base de dados é falsa, se o LiDAR está a funcionar sem problemas e se o número de blocos contados ainda é 0 o primeiro conjunto de campos é usado (o primeiro descrito no capítulo LGS-N10, Figura 47).

Se a contagem foi iniciada e o valor é menor ou igual a 3 e a fotocélula está a ser acionada o conjunto de áreas com verificação de bloco é utilizado (Figura 48) e um temporizador é iniciado. Quando o temporizador termina se o valor dos blocos contados for menor que 3 então muda o conjunto de áreas para aquele que se verifica se há buracos nas tábuas (Figura 49). Se o valor dos blocos contados for maior ou igual a 3 então muda para o primeiro conjunto de campos (Figura 47).

O temporizador é utilizado devido ao ângulo em que o laser do LiDAR atinge a paleta, o que causaria erros se a troca de campo fosse feita apenas quando a fotocélula não vê mais o bloco. Para evitar o temporizador seria necessário colocar outra fotocélula.

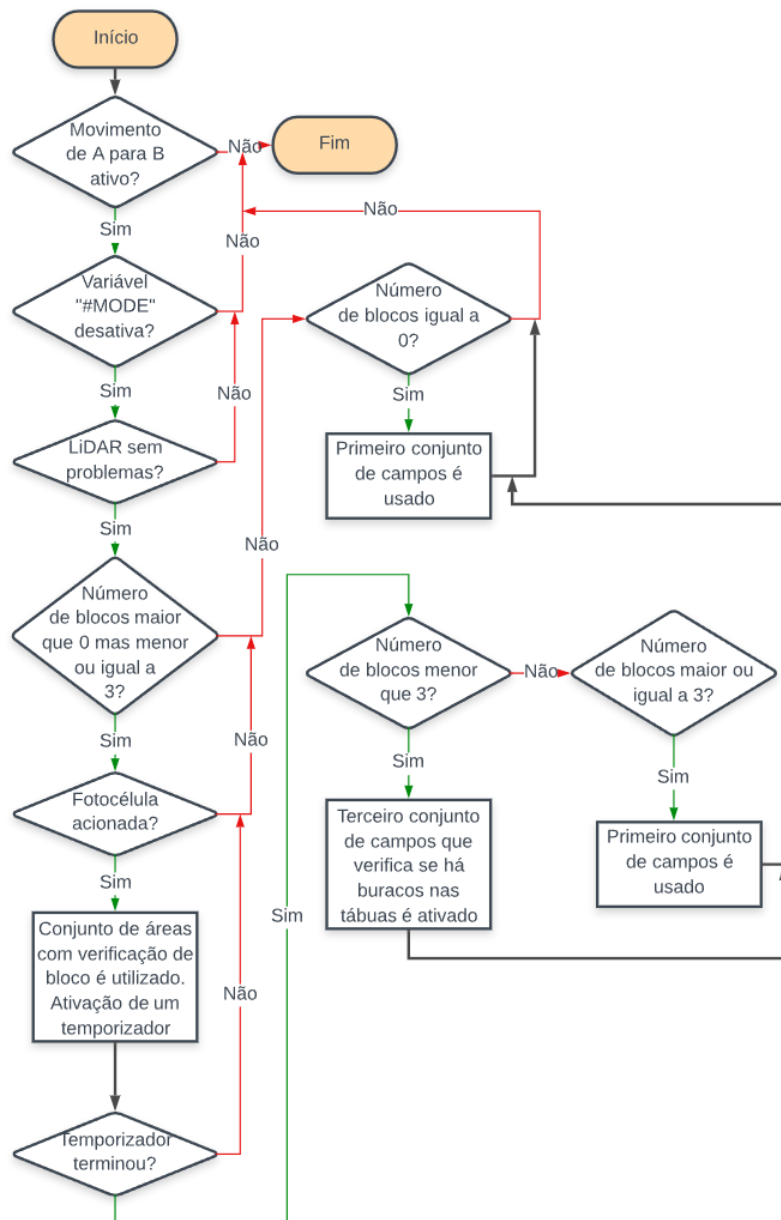


Figura 51 Fluxograma do bloco 11 em detalhe

Este próximo fluxograma, Figura 52, é muito semelhante ao anterior.

Inicialmente está ativo o conjunto de áreas com apenas a verificação dos túneis (Figura 47), neste caso as únicas diferenças são que a variável “#MODE” é verdadeira no banco de dados.

Se a contagem de blocos for maior ou igual a 3 e maior que 0, o conjunto de áreas que está ativo é aquele com a verificação das tábuas (Figura 49), e somente quando a contagem de

blocos for maior ou igual a 3 é quando um temporizador inicia, e quando esse mesmo termina muda para o primeiro conjunto de áreas (Figura 47).

Neste modo não há verificação dos blocos, então usamos apenas 2 conjuntos de campos. O temporizador neste caso é usado quando o terceiro bloco é contado, por causa do ângulo do LiDAR e da forma como o laser varre a paleta, se não usássemos este temporizador o conjunto de áreas seria alterado mais tarde do que deveria.

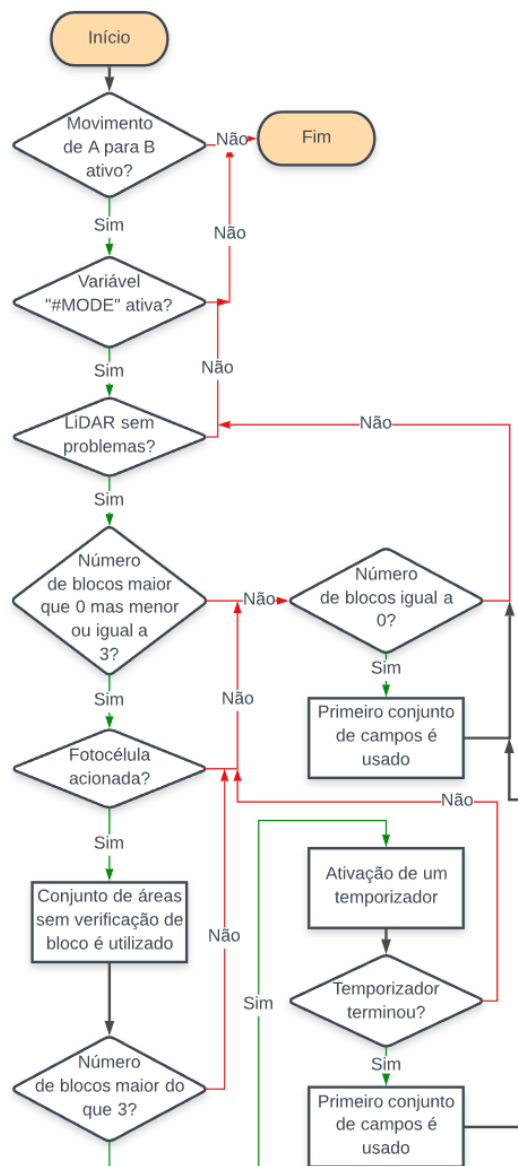


Figura 52 Fluxograma do bloco 12 em detalhe

O último fluxograma, representante do bloco 13, Figura 53, processa as saídas de erro provenientes do LGS-N10, para que seja possível visualizar o tipo de erro ocorrido na HMI e para que o número de erros ocorridos possa ser contabilizado e armazenado no banco de dados.

Se a paleta está se movendo de A para B, se o LiDAR está sem erros e se a terceira área é acionada, ativamos uma variável que significa que o túnel da paleta está obstruído e incrementamos o contador desse erro. Se a contagem de blocos for maior que 0 e menor ou igual a 3, e se a fotocélula não estiver a ver um bloco, então se a primeira área for acionada, ativamos uma variável que sinaliza que a tábua direita está com defeito e incrementamos o contador.

Senão, se a segunda área for acionada, a mesma coisa será feita, mas neste caso para a tábua do meio. Se a fotocélula estiver a ver um bloco e a variável “#MODE” for falsa, se a primeira área for acionada, ativamos uma variável que sinaliza que o bloco esquerdo está com defeito e incrementamos o contador, caso contrário, se a segunda área for acionada é feita exatamente a mesma coisa, mas neste caso para o bloco do meio. Todas as variáveis que estão ativas são desativadas quando a paleta está se a mover de B para A.

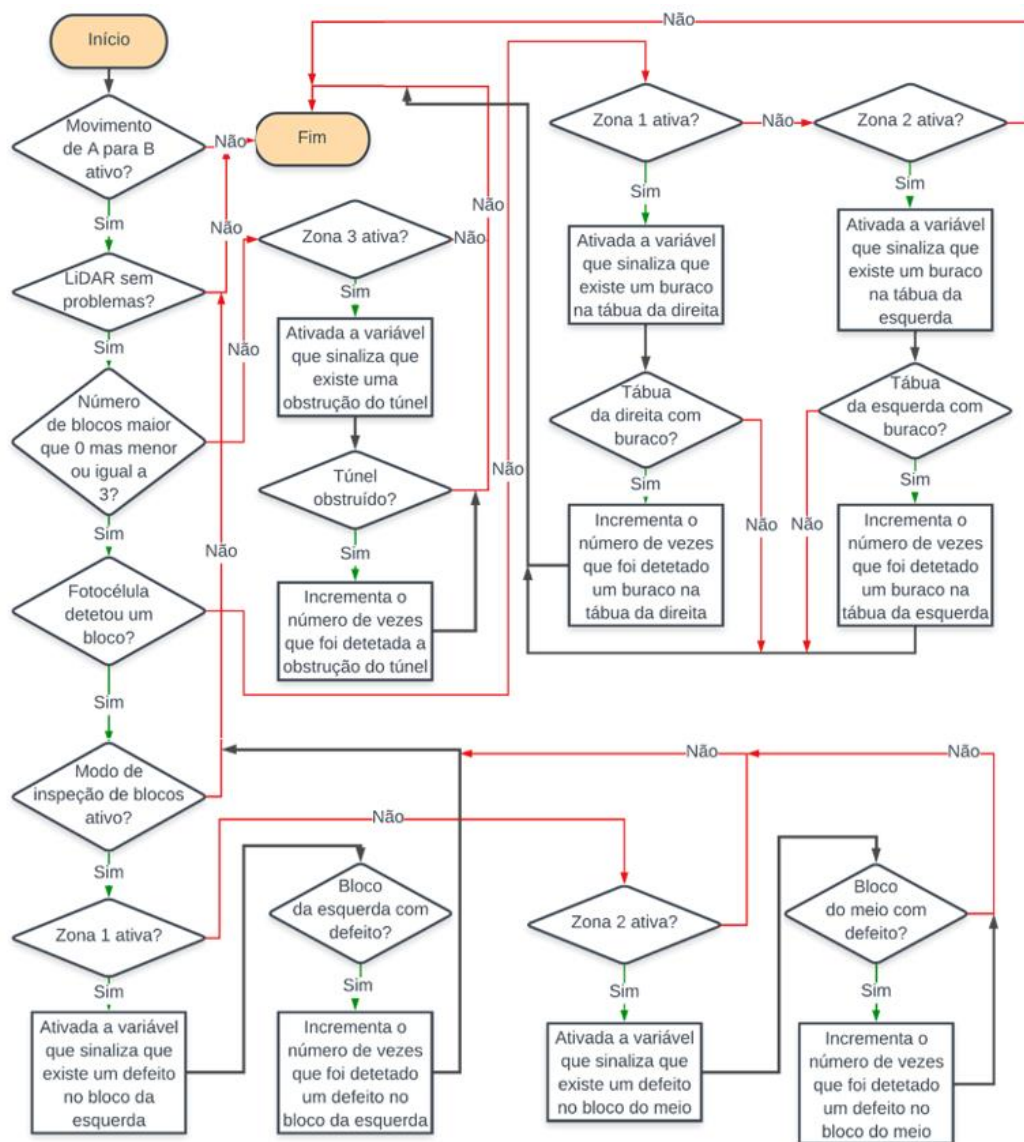


Figura 53 Fluxograma do bloco 13 em detalhe

4.7 PROGRAMAÇÃO HMI

A HMI desenvolvida visa fornecer uma interface visual dos erros detetados pelo sensor e permitir iniciar o ciclo de teste sem a necessidade de modificar diretamente os valores na base de dados.

O ecrã inicial, Figura 54, informa ao usuário se o sistema está pronto e permite que o usuário escolha entre dois modos de operação, automático e manual. Toda a vez que se volta ao ecrã inicial, o transportador para por motivos de segurança.

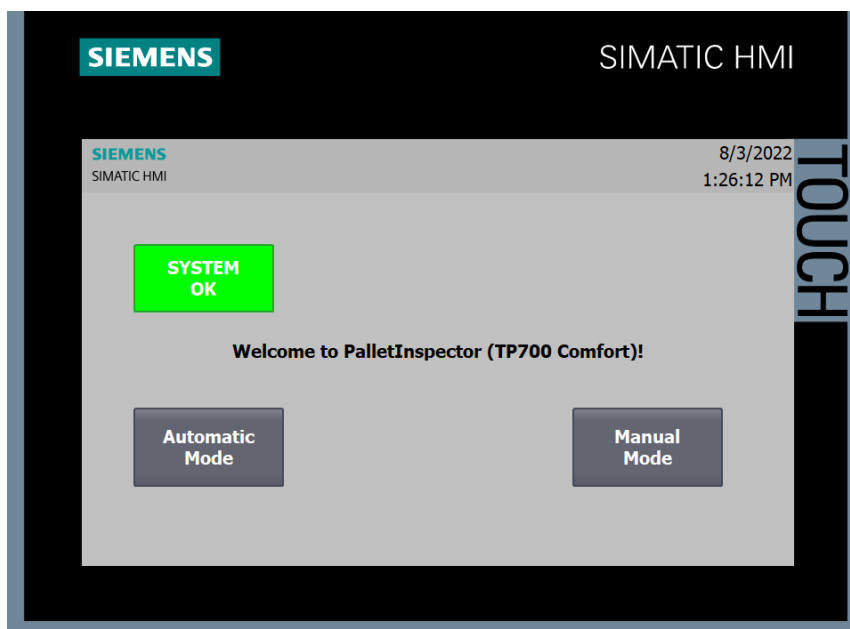


Figura 54 Ecrã inicial

Selecionando o modo manual leva-nos para outro ecrã, Figura 55. Neste ecrã temos a opção de iniciar o *drive* do motor caso este ainda não tenha sido acionado.

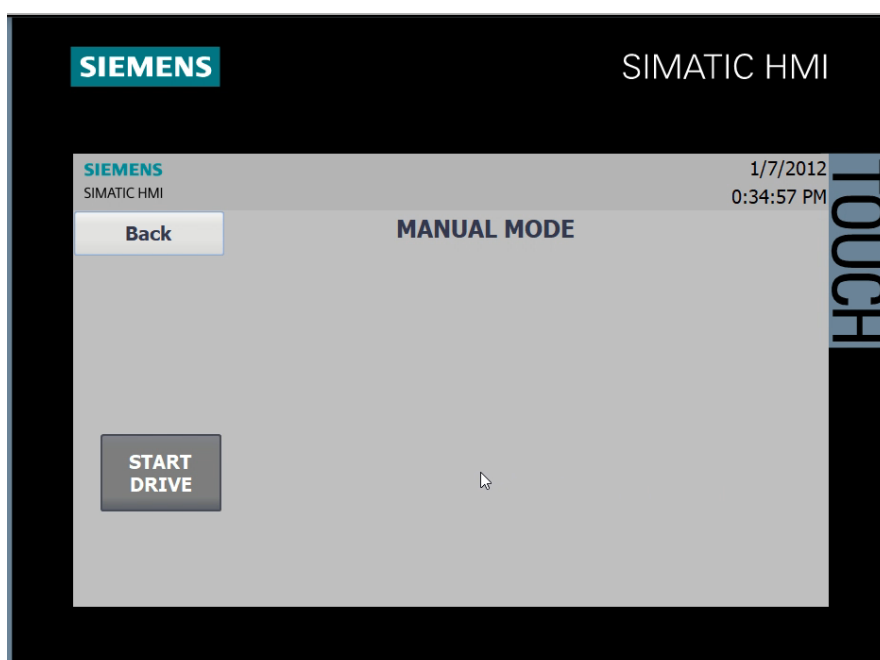


Figura 55 Ecrã manual com o *drive* do motor desativo

Com o *drive* acionado o ecrã modifica o seu aspeto, Figura 56. Podemos agora mover a paleta para a frente usando o botão “MOVE CCW” ou para trás usando o botão “MOVE CW”. O transportador só se move enquanto o botão é pressionado. Por motivos de segurança também existe um botão de emergência que pára o transportador imediatamente.

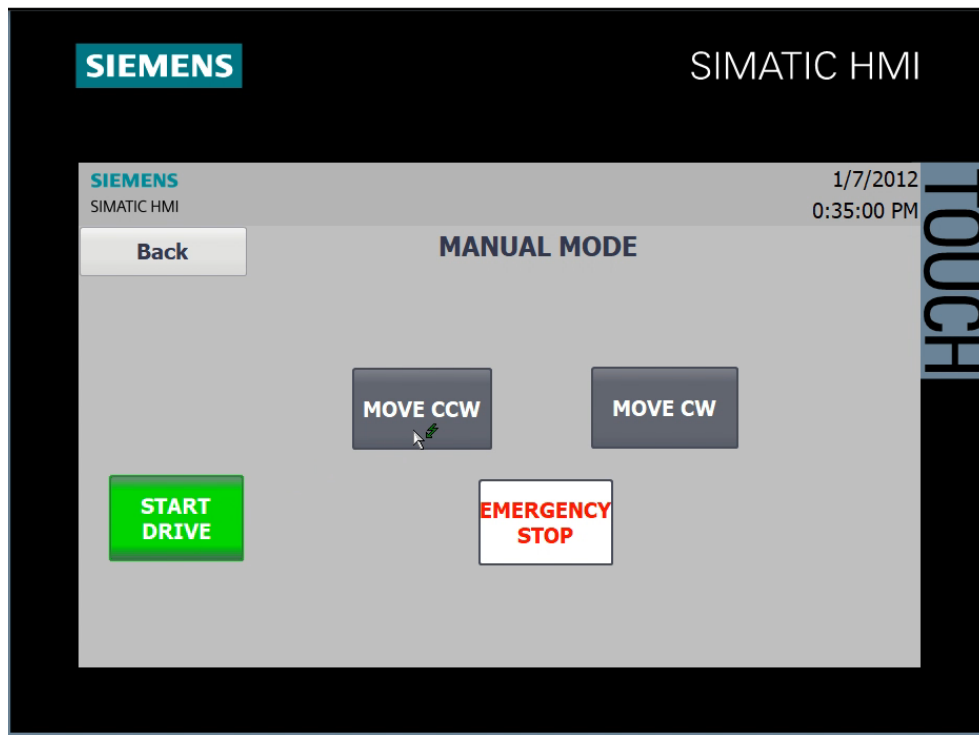


Figura 56 Ecrã manual com o *drive* do motor ativado

Selecionar o modo automático no ecrã inicial leva-nos para outro ecrã, Figura 57. Aqui temos à esquerda as opções para iniciar ou parar o ciclo de teste e no meio temos um esboço de uma paleta por baixo com os diferentes componentes.

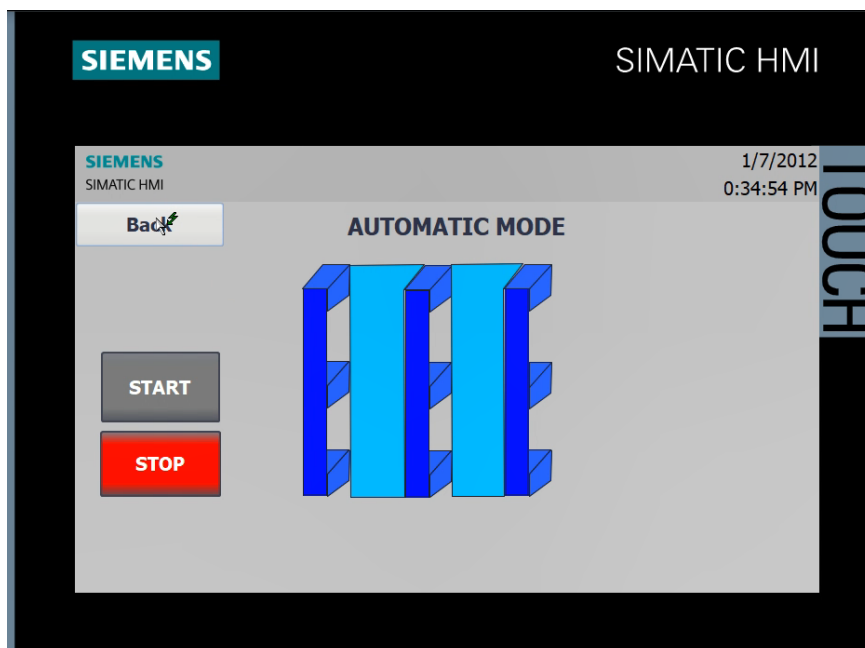


Figura 57 Modo automático desativo

Clicando no botão “START” inicia-se o ciclo de testes. Para melhor visualizar quais defeitos foram encontrados, a área que está sendo considerada pelo sensor como tendo defeito muda para vermelho no *sketch* e é escrita do lado direito para uma compreensão ainda melhor, Figura 58. O botão de “STOP” é como um botão de emergência, pois pára os transportadores assim que é pressionado.

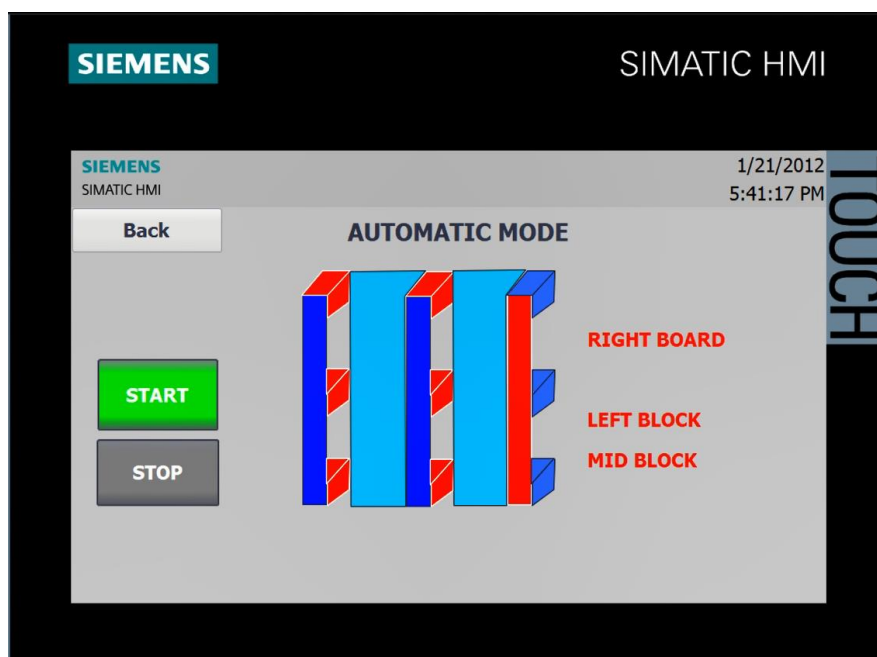


Figura 58 Modo automático ativo

Se o usuário retornar ao ecrã inicial com o transportador andando, por motivos de segurança, o transportador pára.

4.8 CUSTO DO SISTEMA

O sistema testado tem apenas um LGS-N10 devido a este ser um sensor ainda em desenvolvimento e ter sido cedido para testes pela Datalogic. O produto final deverá ter pelo menos 2 sensores para funcionar corretamente. Sendo que para validação do sistema apenas um sensor é suficiente. A Tabela 10 apresenta o preço do sistema finalizado.

Tabela 10 Preço do sistema finalizado

Partes	Preço
2 x LGS-N10	1500€
2 ou 4 Fotocélulas	50~100€
Total	1550~1600€

5. TESTES E RESULTADOS

Neste capítulo foram realizados uma série de testes com paletes com diferentes tipos de danos para tentar perceber que tipo de defeitos é possível ou não detetar com este tipo de sistema. No final do capítulo é feita uma avaliação e comparação dos requisitos a atingir inicialmente e quais os requisitos realmente atingidos com o sistema de inspeção de paletes desenvolvido.

5.1 TESTES

Como este sistema oferece dois modos de operação, um com e outro sem verificação de blocos, os testes foram iniciados com a opção de verificação de blocos, pois o objetivo inicial do sistema era ser tão bom ou melhor que o sistema mecânico atual e se a verificação dos blocos for viável, tornaria o sistema melhor que o atual.

Conforme mencionado no capítulo anterior, apenas um sensor está a ser usado, e um produto final precisaria de 2 sensores, mas para fins de validação do sistema é totalmente possível testar usando apenas um sensor.

Como o sensor leva 130 milissegundos para processar a informação, e como a velocidade normal do transportador é de 0,3 metros por segundo, levaria apenas 4 segundos para a paleta ser varrida, e fazendo alguns cálculos (abaixo), cada varrimento seria de aproximadamente 39 milímetros de distância entre si o que se tornaria uma margem muito grande para esta aplicação. Por este motivo, a velocidade do transportador foi cortada pela metade para 0,15 metros por segundo o que levou a 19,5 milímetros, pudemos reduzir ainda mais a velocidade para obter melhores resultados, mas desacelerar ainda mais o transportador pode levar ao sobreaquecimento do motor porque a frequência é muito baixa e não seria uma velocidade viável.

$$\frac{4000 \text{ ms}}{130 \text{ ms}} \cong 30,769 \text{ scans} \quad \frac{1200 \text{ mm}}{30,769 \text{ scans}} \cong 39 \text{ mm/scan}$$

$$\frac{8000 \text{ ms}}{130 \text{ ms}} \cong 61,538 \text{ scans} \quad \frac{1200 \text{ mm}}{61,538 \text{ scans}} \cong 19,5 \text{ mm/scan}$$

Para cada paleta testada, foram realizados 100 ciclos e não mais do que isso, pois apenas 100 ciclos levam 2 horas a ser concluídos. Foi apenas no primeiro teste que foram realizados cerca de 300 ciclos para verificar se, para um paleta sem danos, as áreas definidas estavam bem ajustadas para não causar falsos positivos. Na Figura 59 podemos ver a paleta que foi utilizada e à direita os resultados do teste. É possível ver que esta paleta possui plástico no canto inferior e neste primeiro teste este plástico não estava presente. Esta imagem está a ser usada apenas porque a fotografia sem o plástico não foi tirada e a paleta não está mais em boas condições para tirar uma foto sem o plástico.



Cycles	300
RIGHT BOARD ERROR	0
MID BOARD ERROR	0
LEFT BLOCK ERROR	0
MID BLOCK ERROR	0
TUNNEL CLEARANCE	0

Figura 59 Paleta boa

Como esperado, não houve falsos positivos, então podemos prosseguir com os testes. O próximo teste foi feito com uma paleta totalmente danificada, conforme a Figura 60, para garantir que as áreas estão a funcionar conforme o esperado.



Cycles	100
RIGHT BOARD ERROR	100
MID BOARD ERROR	0
LEFT BLOCK ERROR	100
MID BLOCK ERROR	100
TUNNEL CLEARANCE	31

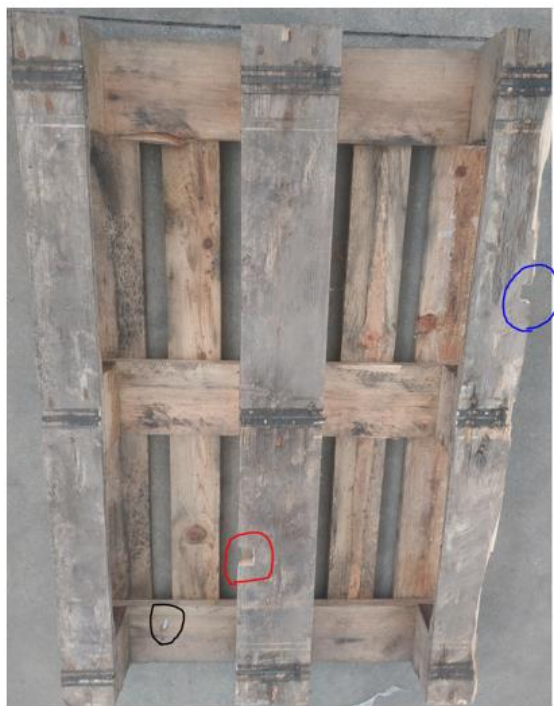
Figura 60 Palete totalmente danificada

Como podemos ver os resultados não foram os esperados, pois esta paleta só apresentava defeitos na tábua direita que estava em falta, e um bloco do meio estava um pouco danificado, esses dois erros foram detetados 100% das vezes, mas também houve 31% das vezes em que o erro de obstrução do túnel foi acionado, provavelmente devido à falta da tábua do lado direito, a paleta estava levemente dobrada para baixo do lado direito, não sendo por isso falha do sensor.

Em relação ao erro do bloco esquerdo ele foi acionado 100% das vezes sendo que os blocos estavam como novos, fizeram-se mais 100 ciclos e até foram ajustadas algumas áreas mas obteve-se os mesmo resultados, provavelmente porque o laser do sensor está a apontar para os blocos num ângulo de 45º, e por causa do tamanho dos blocos o sensor só varre cada bloco 2 ou 3 vezes, e às vezes por causa desse ângulo o laser do sensor pode estar a varrer uma parte do bloco e uma parte que não é o bloco e se isso acontecer vai acionar o erro. Por isso, optou-se por ignorar a verificação dos blocos e inspecionar apenas as tábuas, os túneis e os blocos rotacionados na parte externa da paleta.

A partir de agora os testes serão feitos sem a verificação de blocos, isso simplificará a troca dos conjuntos de áreas e reduzirá o uso de relés para apenas um, pois só precisaremos de dois conjuntos de áreas a partir de agora.

Este próximo teste, Figura 61, foi feito com uma paleta que tinha na tábua direita um buraco de 20x20 mm, rodeado a azul, na tábua do meio um buraco de 40x40 mm, rodeado a vermelho e um parafuso saliente 30 mm no túnel, rodeado a preto.



Cycles	100
RIGHT BOARD ERROR	35
MID BOARD ERROR	100
TUNNEL CLEARANCE	7

Figura 61 Paleta com buraco 20x20 mm e 40x40 mm

Neste teste os resultados foram os esperados pois detetou todas as vezes o buraco maior (40x40) mas não detetou tão bem o menor. Como se disse anteriormente cada *scan* tem 19,5 mm de distância então é normal que um buraco com 20 mm não seja detetado todas as vezes.

Em relação ao parafuso foi realmente impressionante que tenha sido detetado 7 vezes, pois a resolução angular do sensor de 0,225° a uma distância de aproximadamente 800 mm traduz-se em uma distância de 3 mm entre cada ponto do laser, o parafuso tinha 2 mm de diâmetro então era para não ser detetado pelo sensor, mas foi detetado algumas vezes. Deveria ter sido detetado todas as vezes, pois o sistema mecânico poderia detetar algo

assim com facilidade sendo algo que pode bloquear os garfos da empilhadora torcendo a paleta e causando um erro.

Este próximo teste, Figura 62, foi feito usando uma paleta em perfeito estado, mas com uma única camada de plástico 4 cm abaixo da tábua superior para ver se o sensor consegue detetar objetos transparentes em movimento, pois como foi dito anteriormente este plástico pode ser detetado quando a paleta não está em movimento.



Cycles	100
RIGHT BOARD ERROR	0
MID BOARD ERROR	0
TUNNEL CLEARANCE	0

Figura 62 Paleta com uma camada de plástico de 4 cm

Este teste não correu como planeado, pois apesar de ser apenas uma camada de plástico muito fino, não foi detetado nem uma vez.

O mesmo teste foi feito, mas agora em vez de uma camada de plástico era uma camada de cartão, Figura 63, para ver se o problema era por ter apenas 4 cm de plástico e o sensor não conseguir detetá-lo por ser uma altura muito pequena ou por ser um objeto quase transparente.



Cycles	100
RIGHT BOARD ERROR	0
MID BOARD ERROR	0
TUNNEL CLEARANCE	100

Figura 63 Paleta com cartão de 4 cm

Como podemos ver os 4 cm não foram o problema já que o papelão foi detetado 100% das vezes. Isto levou a mais perguntas, se uma camada de plástico 4 cm abaixo não é detetada, será que uma camada que bloqueia completamente o túnel, Figura 64, é detetada?

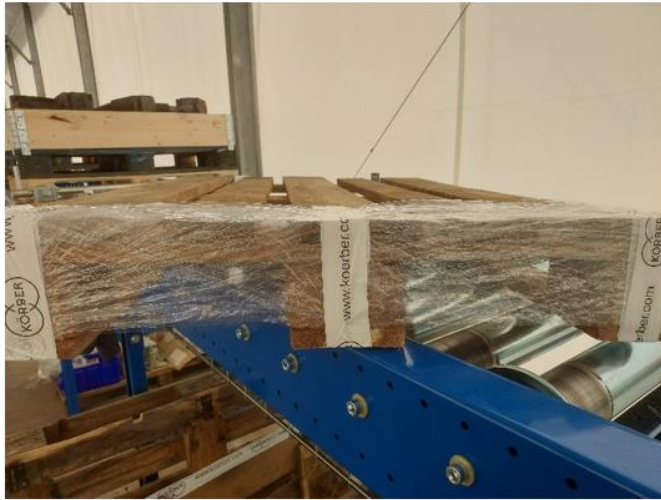


Cycles	100
RIGHT BOARD ERROR	0
MID BOARD ERROR	0
TUNNEL CLEARANCE	2

Figura 64 Paleta com uma camada de plástico a bloquear completamente o túnel

Mesmo com o plástico a bloquear completamente o túnel, o sensor só conseguiu detetá-lo 2 vezes, portanto, também não consegue detetar desta forma.

Os próximos testes agora são com 3 camadas de plástico, Figura 65, e 5 camadas de plástico, Figura 66.



Cycles	100
RIGHT BOARD ERROR	0
MID BOARD ERROR	0
TUNNEL CLEARANCE	46

Figura 65 Paleta com 3 camadas de plástico a bloquear completamente o túnel

Com 3 camadas podemos ver que o plástico começa a ficar um pouco mais opaco o que leva a uma melhoria na detecção, neste caso de 46%.



Cycles	100
RIGHT BOARD ERROR	0
MID BOARD ERROR	0
TUNNEL CLEARANCE	100

Figura 66 Paleta com 5 camadas de plástico a bloquear completamente o túnel

Com 5 camadas de plástico, fica muito opaco o que leva a 100% de detecção. Cinco camadas de plástico podem ser uma possibilidade de um erro real, mas não bloqueando

completamente o túnel, então o mesmo teste foi realizado, mas neste caso com apenas 4 cm de plástico, Figura 67, algo mais plausível de acontecer.



Cycles	100
RIGHT BOARD ERROR	0
MID BOARD ERROR	0
TUNNEL CLEARANCE	0

Figura 67 Palete com 5 camadas de plástico com 4 cm

Como se pode ver os resultados não foram muito promissores, isto foi algo realmente inesperado, pois parecia que com 5 camadas de plástico o material era opaco o suficiente para o sensor detetá-lo.

Já com o cartão (que é um objeto opaco) com 4 cm obtivemos resultados muito bons, era de se esperar que este teste tivesse resultados semelhantes, mas aparentemente o plástico, talvez pela sua refletividade e/ou transparência, afeta muito o desempenho do sensor.

Neste ponto, parecia que o tempo de processamento e a resposta do sensor a objetos transparentes ou refletivos eram os dois fatores principais que tornavam o sistema ineficaz.

Os próximos testes focaram-se em verificar o desempenho do sistema em relação à verificação de buracos nas tábuas.

Este primeiro teste teve como objetivo verificar se era possível identificar a tábua da direita partida, como pode ser visto na Figura 68 rodeada a vermelho, juntamente com um buraco de 40x40 mm na tábua do meio rodeado a preto (já verificado num teste anterior).



Cycles	100
RIGHT BOARD ERROR	100
MID BOARD ERROR	98
TUNNEL CLEARANCE	0

Figura 68 Palete com tábua partida e buraco 40x40 mm

Os resultados foram os esperados, pois detetou 100% das vezes a tábua partida e 98% das vezes o buraco de 40 mm.

Como nos testes anteriores não foi possível detetar um buraco de 20x20 mm todas as vezes por causa do tempo de resposta da varredura.

Neste teste será testado o mesmo buraco em relação à largura (20 mm), mas muito mais comprido (240 mm) para eliminar a fator "tempo de resposta" e verificar apenas a resolução angular e se as áreas estão realmente bem definidas, pois a resolução angular deve ser mais que suficiente para detetar um buraco de 20 mm de largura. E como esta é a mesma paleta do teste anterior, também é possível detetar o buraco na placa do meio, Figura 69.



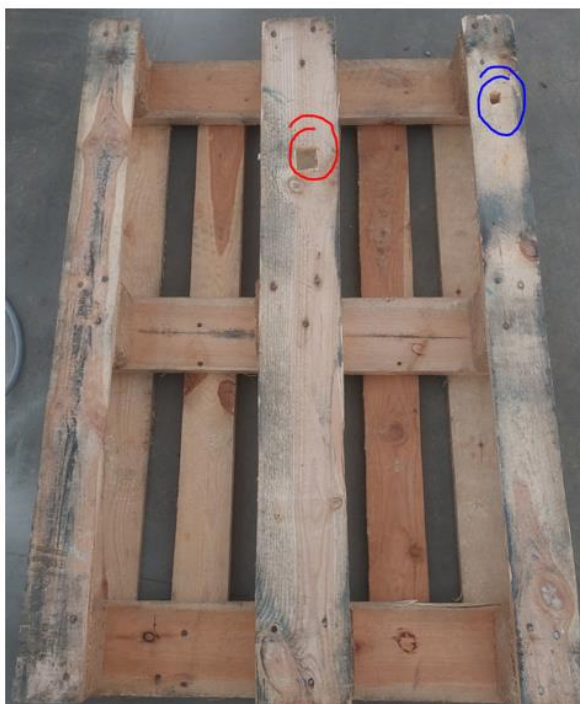
Cycles	100
RIGHT BOARD ERROR	100
MID BOARD ERROR	100
TUNNEL CLEARANCE	0

Figura 69 Palete com buraco 20x240 mm e 40x40 mm

Estes resultados parecem realmente promissores, pois neste caso o sensor consegue detetar os buracos todas as vezes. Assim, em relação aos buracos nas laterais das tábuas, este sistema parece ser bom em detetá-los se tiverem pelo menos 20 mm de largura e mais de 40 mm de comprimento.

Estes próximos testes pretendem verificar se os furos no meio das placas são detetados tão bem como os das laterais.

Este primeiro teste, Figura 70, foi realizado com uma nova paleta com um buraco de 20x20 mm na tábua direita, rodeado a azul, e um buraco de 40x40 mm na tábua do meio, cercado de vermelho.



Cycles	100
RIGHT BOARD ERROR	8
MID BOARD ERROR	18
TUNNEL CLEARANCE	0

Figura 70 Palete com buraco 20x20 mm e 40x40 mm no meio das tábuas

Estes resultados foram muito inesperados, pois os buracos são do mesmo tamanho dos testes realizados anteriormente, eles estão apenas posicionados no meio das tábuas. Como isto poderia ter algo a ver com o tempo de resposta do sensor, neste próximo teste a velocidade do transportador foi alterada para 0,09 metros por segundo, Tabela 11.

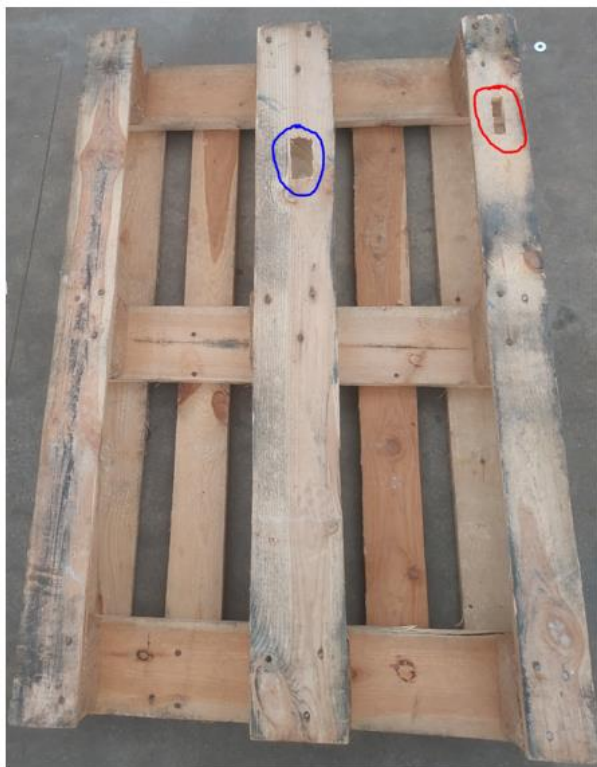
Tabela 11 Palete com buraco 20x20 mm e 40x40 mm no meio das tábuas a uma velocidade de 0,09 metros por segundo

Ciclos	100
RIGHT BOARD ERROR	11
MID BOARD ERROR	38
TUNNEL CLEARANCE	0

Os resultados foram um pouco melhores, mas se compararmos com testes anteriores com buracos do mesmo tamanho, o erro da tábua do meio deveria ter sido acionado todas as vezes.

O buraco da tábua da direita é um pouco incerto, pois é muito pequeno, mas o do meio deveria ter um desempenho muito melhor. Mesmo ajustando as áreas os resultados não melhoram, pois se as áreas tiverem uma margem muito pequena, vários falsos positivos começam a ocorrer, e não se pretende que as paletes sem qualquer tipo de defeito sejam classificadas como defeituosas.

No teste seguinte, Figura 71, o comprimento dos buracos foi aumentado para 80 mm para ver se o problema poderia ser o tempo de resposta (os 19,5 mm entre cada varredura) do sensor.



Cycles	100
RIGHT BOARD ERROR	100
MID BOARD ERROR	70
TUNNEL CLEARANCE	0

Figura 71 Pallet com buraco 20x80 mm e 40x80 mm no meio das tábuas

Como pode se observa pelos resultados, o aumento do comprimento dos buracos levou a uma melhora considerável nos resultados obtidos.

O buraco da direita foi detetado todas as vezes enquanto que o buraco na tábua do meio foi detetado apenas 70% das vezes, algo inexplicável, pois em todos os testes realizados anteriormente, o buraco de 40 mm foi quase sempre detetado mesmo tendo metade do comprimento deste teste (entre 98% e 100%).

Isto leva a crer que como o laser atinge este buraco com um ângulo muito inclinado, provavelmente a filtragem do sinal pelo sensor está a afetar a precisão do sistema. Isto porque nos testes anteriores não era um buraco "fechado" por estar na lateral da placa enquanto que nestes testes, como é um buraco "fechado", pois é no meio da tábua, o sensor faz a filtragem daqueles poucos pontos que detetam o buraco, embora o filtro de "pontos fracos" esteja no mínimo. Esta é a única razão plausível para que isto aconteça.

5.2 CONCLUSÕES

Fazendo uma comparação dos requisitos descritos no capítulo 3.2 com os testes efetuados e os resultados obtidos podemos tirar algumas conclusões em relação ao sistema desenvolvido.

- Requisitos atingidos:
 - Não ser necessário o uso de uma unidade computacional dedicada, ligando diretamente ao PLC;
 - Não ser necessário alterar a estrutura do tapete de rolas para instalar o sistema;
 - Ter um baixo custo de construção (1550~1600€);
 - Consegue detetar buracos com 20 mm de largura por 40 mm de comprimento nas tábuas, caso os buracos estejam na lateral da tábua, ou seja, acaba por ser tão bom como o sistema atual, visto que o sistema atual

não consegue detetar buracos no meio das tábuas devido à distância entre os dedos;

- Consegue detetar objetos opacos que sobressaíam mais do que 40 mm. Não sendo bem os 30 mm desejados, mas com algum ajuste nas áreas e uma velocidade mais reduzida do transportador talvez se conseguisse atingir os 30 mm.
- Requisitos não atingidos:
 - Detetar plástico transparente consistentemente, visto que o único teste em que o plástico foi detetado 100% das vezes foi quando o mesmo ocupava todo o túnel e com 5 camadas o que tornava o plástico mais opaco;
 - Manter uma velocidade de 0,3 metros por segundo. A velocidade teve que ser reduzida para metade devido à velocidade de processamento do LiDAR, e mesmo assim para se obter melhores resultados teria que ser reduzida ainda mais, o que não é o pretendido para este sistema;
 - Não consegue detetar objetos muito pequenos, como parafusos, pregos, etc.

6. CONCLUSÃO E MELHORIAS FUTURAS

O objetivo inicial deste projeto era desenvolver um sistema capaz de substituir o atual sistema de inspeção mecânica, infelizmente esse objetivo não foi cumprido. Apesar de cumprir grande parte dos requisitos necessários, não cumpriu um dos principais tópicos que era a verificação de obstrução dos túneis por plástico transparente, visto ser um dos principais erros que ocorrem quando uma paleta é envolvida por plástico transparente para fazer o condicionamento da carga.

De qualquer forma, foi possível obter muitas informações sobre o uso de sistemas LiDAR para a inspeção de paletes. Inicialmente, pensava-se que os únicos pontos essenciais na escolha de um sensor LiDAR eram a resolução angular e a redução do efeito de *ripple*, enquanto os testes estáticos estavam a ser realizados, de facto esses eram os pontos essenciais, mas ao passar para os testes em movimento, viu-se que esses pontos eram essenciais mas que faltava um ponto ainda mais importante, o tempo de resposta. Este ponto revelou-se crucial neste projeto, pois foi necessário reduzir a velocidade dos transportadores para metade da sua velocidade normal para obter um varrimento razoável da paleta, algo que mesmo com esta redução continuou a ser de aproximadamente 20 mm. Isto conduziu a que a maioria dos testes que inicialmente seriam “fáceis” para este sensor, acabaram não trazendo os resultados pretendidos.

Este sistema mostrou-se relativamente bom para deteção de buracos nas tábuas das paletes, principalmente se for na tábua que está diretamente acima do sensor, com isto, devido ao tempo de resposta, o buraco tem que ter um comprimento superior a 20 mm.

Relativamente à verificação dos blocos, foi algo que se decidiu não prosseguir com a ideia após a realização dos primeiros testes, pois devido ao elevado tempo de resposta do sensor e ao ângulo de instalação do mesmo, levou a muitos falsos positivos. Para verificar os túneis

da paleta, concluiu-se que embora nos testes estáticos o sensor tenha conseguido identificar o plástico, nos testes em movimento só conseguiu identificar o mesmo plástico se este tivesse várias camadas e começasse a ficar bastante opaco.

Em suma, um sistema baseado na tecnologia LiDAR pode funcionar se escolhermos uma gama superior de sensores, como o LMS1000 da Sick que tem um tempo de resposta de apenas 7 ms, ou ainda melhor o LMS4000 que tem um tempo de resposta de 4,8 ms, uma resolução angular de 0,0833° e uma precisão de 1,5 mm, que seria a melhor hipótese para construir um sistema de inspeção baseado na tecnologia LiDAR. Já que o último sensor citado não permite a definição de áreas seria necessário ter um computador para processar a nuvem de pontos, tornando o sistema muito mais caro.

Mesmo assim, acredito que o melhor sistema de verificação de paletes passaria por uma solução baseada em câmaras 2D e 3D, pois poderia detetar tudo o que desejássemos. Precisaria sempre de uma unidade computacional para processar as imagens e muito tempo para desenvolver um *software* capaz de fazer todo o processamento dessas imagens. Tornava-se assim uma solução ainda mais cara devido ao seu tempo de desenvolvimento, mas a longo prazo revelar-se-ia a solução perfeita para este tipo de aplicação devido à elevada flexibilidade que um sistema deste estilo proporcionaria, podendo sempre ser ajustado conforme os requisitos pretendidos pelo cliente.

Referências Documentais

- [1] IVISYS, “PALLETINSPECTOR.” Disponível em [HTTPS://IVISYS.COM/PRODUCT/PALLETINSPECTOR/](https://ivisys.com/product/palletinspector/). (Última vez acessado a 09/02/2022).
- [2] KÖHL, “INNOVATIVE EMPTY PALLET CHECKING SYSTEM (LPK).” Disponível em [HTTPS://WWW.KOEHL-MB.EU/FILEADMIN/USER_UPLOAD/06-MEDIATHEK/PDF/LPK_SCREEN_EN.PDF](https://www.koehl-mb.eu/fileadmin/user_upload/06-MEDIATHEK/PDF/LPK_SCREEN_EN.PDF). (Última vez acessado a 09/02/2022).
- [3] TORDIVEL AS, “SCORPION 3D STRINGER FOR PALLET SORTING.” Disponível em [HTTPS://TORDIVELBLOG.FILES.WORDPRESS.COM/2020/06/FS-0049-A-SCORPION-3D-STINGER-FOR-PALLETSORTING.PDF](https://tordivelblog.files.wordpress.com/2020/06/FS-0049-A-SCORPION-3D-STINGER-FOR-PALLETSORTING.PDF). (Última vez acessado a 10/02/2022).
- [4] Tordivel AS, “Scorpion 3D Stinger™ Camera.” Disponível em <http://www.tordivel.no/scorpion/pdf/scorpion%208/PD-2011-0002%20Scorpion%203D%20Stinger%20Camera.pdf>. (Última vez acessado a 11/02/2022).
- [5] Tordivel AS, “Scorpion 2D Stinger™ Camera.” Disponível em <http://www.tordivel.no/scorpion/pdf/Scorpion%20X/PD-2013-0009%20Scorpion%202D%20Stinger%20Camera.pdf>. (Última vez acessado a 12/02/2022).
- [6] Tordivel AS, “Scorpion Vision Software® version X Product Overview.” Disponível em <http://www.tordivel.no/scorpion/pdf/Scorpion%20X/PD-2012-0005%20Scorpion%20Product%20Overview.pdf>. (Última vez acessado a 14/02/2022).
- [7] Daniel L. Schmoldt, Michael Morrone, John C. Duke Jr., “ULTRASONIC INSPECTION OF WOODEN PALLET PARTS FOR GRADING AND SORTING.” Disponível em https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/ja_schmoldt012.pdf, 1994. (Última vez acessado a 29/03/2022).
- [8] M.A. Patricio, D. Maravall, “A novel generalization of the gray-scale histogram and its application to the automated visual measurement and inspection of wooden Pallets.” Disponível em <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0262885606002010?token=995C0E148D71B077CB7EF2B55B026D58C38A129CD310AB0B9A452F7773B5D750D781228456E463E5034originRegion=eu-west-1&originCreation=20220331114219>, May 2006. (Última vez acessado a 30/03/2022).
- [9] Carlota V., “Laser Scanner vs Structured Light Scanner: which should you choose?” Disponível em <https://www.3dnatives.com/en/laser-3d-scanner-vs-structured-light-3d-scanner-08082019/#!>, Aug. 2019. (Última vez acessado a 17/02/2022).
- [10] ClearView Imaging, “Stereo Vision for 3D Machine Vision Applications.” Disponível em <https://www.clearview-imaging.com/en/blog/stereo-vision-for-3d-machine-vision-applications>. (Última vez acessado a 18/02/2022).

- [11] Jackson O’Connell, “Time-of-Flight (ToF) Sensors: What Are They How Do They Work?.” Disponível em <https://all3dp.com/2/tof-sensors-time-of-flight/>, May 2021. (Última vez acedido a 17/02/2022).
- [12] Jessica Shea Choksey, “What is LiDAR, and How Does it Work?.” Disponível em <https://www.jdpower.com/cars/shopping-guides/what-is-lidar-and-how-does-it-work>, Aug. 2021. (Última vez acedido a 18/02/2022).
- [13] Jessica Shea Choksey, “What is LiDAR technology?.” Disponível em <https://www.generationrobots.com/blog/en/what-is-lidar-technology/>. (Última vez acedido a 21/02/2022).
- [14] Terrasolid Ltd, “TerraScan USER GUIDE.” Disponível em <https://terrasolid.com/guides/tscan.pdf>, July 2021. (Última vez acedido a 04/03/2022).
- [15] Terrasolid Ltd, “TerraModeler USER GUIDE.” Disponível em <https://terrasolid.com/guides/tmodel.pdf>, July 2021. (Última vez acedido a 07/03/2022).
- [16] Terrasolid Ltd, “TerraMatch USER GUIDE.” Disponível em <https://terrasolid.com/guides/tmatch.pdf>, July 2021. (Última vez acedido a 09/03/2022).
- [17] Terrasolid Ltd, “TerraPhoto USER GUIDE.” Disponível em <https://terrasolid.com/guides/tphoto.pdf>, July 2021. (Última vez acedido a 10/03/2022).
- [18] Elsevier Ltd., “Programmable Logic Controllers.” Disponível em https://books.google.pt/books?id=sDqnBQAAQBAJ&pg=PA1&hl=pt-PT&source=gbv_toc_r&cad=3#v=onepage&q&f=false, 2015. (Última vez acedido a 15/03/2022).
- [19] International Electrotechnical Commission, “IEC 61131-3: a norma para programação.” Disponível em https://plcopen.org/sites/default/files/downloads/intro_iec_march04_portuguese.pdf, 1993. (Última vez acedido a 15/03/2022).
- [20] DIN Deutsches Institut für Normung e.V, “DIN EN 13698-1.” Disponível em <https://nrsea.ru/wp-content/uploads/2017/09/EN-pallety.pdf>, Jan. 2004. (Última vez acedido a 24/02/2022).
- [21] International Standard Organization, “ISO 18613 - Pallets for materials handling - Repair of flat wooden pallets.” Disponível em <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/62562/f3ce6ea141e64e07abf9cfc557f1951e/ISO-18613-2014.pdf>, Nov. 2014. (Última vez acedido a 03/03/2022).
- [22] SIEMENS, “PORTAL DE AUTOMAÇÃO TOTALMENTE INTEGRADO”. Disponível em https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:4779a39a-b230-4880-ba7e-ec4868d96d5a/tia-portal-jun21-net.pdf?ste_sid=21b31816874992c37d44f870a38d863c. (Última vez acedido a 4/05/2022)

- [23] SIEMENS, “Programming with STEP 7”. Disponível em https://cache.industry.siemens.com/dl/files/825/109751825/att_933142/v1/STEP_7_-_Programming_with_STEP_7.pdf. (Última vez acedido a 10/05/2022).
- [24] PETER, “Function Block Diagram (FBD) PLC Programming Tutorial for Beginners.” Disponível em <https://www.plcademy.com/function-block-diagram-programming/>. (Última vez acedido a 17/06/2022).
- [25] SIEMENS, “SIMATIC WinCC V7”. Disponível em https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:eac06c86-f121-48f8-874f-30355aa6b111/difa-i10159-00-7600-simatic-winncc-v7.pdf?ste_sid=1ffc8dfd19e6e86b898e9788e391080. (Última vez acedido a 1/07/2022)
- [26] SIEMENS, “HMI Template Suite “. Disponível em <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal/software/simatic-wincc-tia-portal.html>. (Última vez acedido a 1/07/2022)
- [27] Sujit, “PLC Ladder Logic Examples – Example 2”. Disponível em <https://www.enggarena.net/plc-ladder-logic-examples-2/>. (Última vez acedido a 12/10/2022)
- [28] MILES BUDIMIR, “What are Instruction Lists (ILs) for PLC programming?”. Disponível em <https://www.motioncontroltips.com/instruction-lists-ils-plc-programming/>. (Última vez acedido a 13/9/2022)
- [29] EUGENIU B., “PLC Programming Languages – Short Overview”. Disponível em https://isd-soft.com/tech_blog/plc-programming-languages-short-overview/. (Última vez acedido a 14/9/2022)
- [30] SICK, “2D LiDAR sensors TIM”. Disponível em <https://www.sick.com/in/en/detection-and-ranging-solutions/2d-lidar-sensors/tim/tim310-1030000/p/p244048>. (Última vez acedido a 15/7/2022)
- [31] SICK, “TIM351-2134001”, Disponível em https://cdn.sick.com/media/pdf/8/68/368/dataSheet_TIM351-2134001_1067299_en.pdf. (Última vez acedido a 15/7/2022)

Anexo A. Controlo de qualidade na montagem de paletes

Tabela 12 Exemplo de um relatório típico de inspeção.

Defeito	Número da amostra
Defeitos críticos:	
- Comprimento da paleta excedendo 1200_{-5}^8 mm	
- Largura da paleta excedendo 800_{-5}^8 mm	
- Espessura da tábuia longarina excedendo 22_0^3 mm	
- Tipo de madeira inaceitável, nós na tábuia longarina	
- Fixadores inaceitáveis	
Número total de defeitos críticos	
Defeitos graves:	
- Comprimento da paleta excedendo 1200 ± 3 mm	
- Largura da paleta excedendo 800 ± 3 mm	
- Altura da entrada excedendo 100_0^3 mm	
- Largura da tábuia longarina excedendo 145_{-3}^5 mm	
- Espessura da tábuia excedendo 22_0^3 mm	
- Dano de insetos, apodrecimento, bolso de casca	
- Humidade superior a 26 %	
- Nós inaceitáveis	
- Rachaduras de montagem	
- Chanfradura	
- Fixadores em falta ou dobrados	
- Distância entre fixadores inaceitável	
- Marcação incompleta	
Número total de defeitos graves	
Defeitos menores:	
- Comprimento da tábuia central/borda/intermédia excedendo 1200 ± 3 mm	
- Comprimento da tábuia longarina excedendo 800 ± 3 mm	
- Largura da tábuia excedendo 145_{-3}^5 (exceptuando a tábuia longarina) mm	
- Largura da tábuia excedendo 100 ± 3 mm	
- Comprimento do bloco excedendo 145_{-3}^5 mm	
- Largura do bloco central excedendo 145_{-3}^5 mm	
- Largura do bloco exterior excedendo 100 ± 3 mm	
- Altura do bloco excedendo 78_0^1 mm	
- Humidade entre 22 % e 26 %	
- Wanes maiores que 15 mm	
- Nós inaceitáveis	
- Deterioração biológica	
- Bolsos de resina maiores que 50 mm	
- Inclinação do grão excedendo 5 %	
- Buracos negros	
- Fixadores saídos	
Número total de defeitos menores	

Anexo B. Programa do PLC

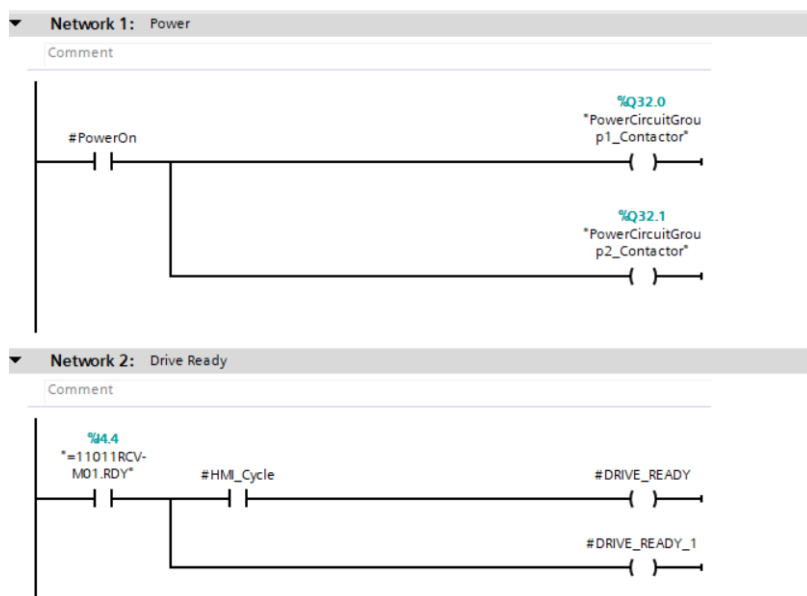


Figura 72 Rede 1 e 2

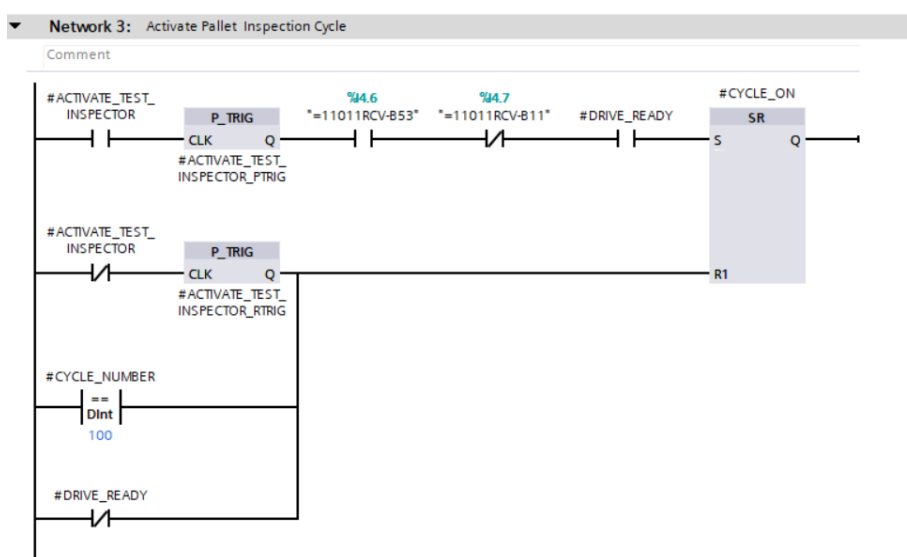


Figura 73 Rede 3

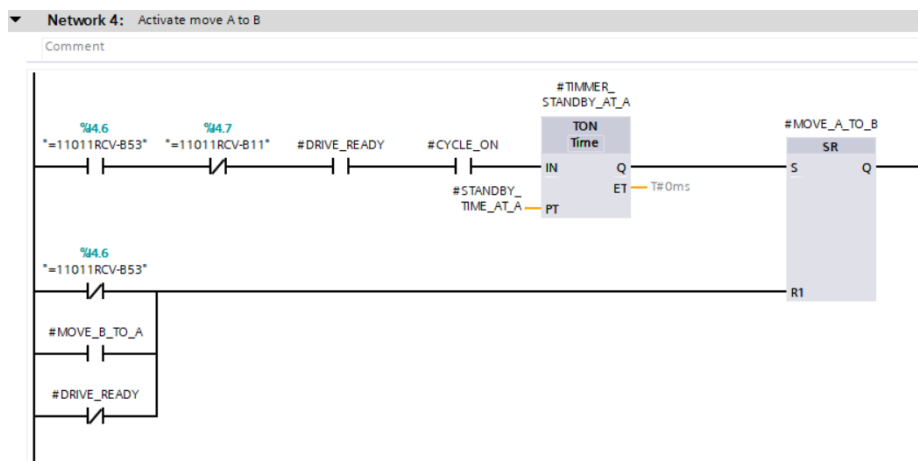


Figura 74 Rede 4

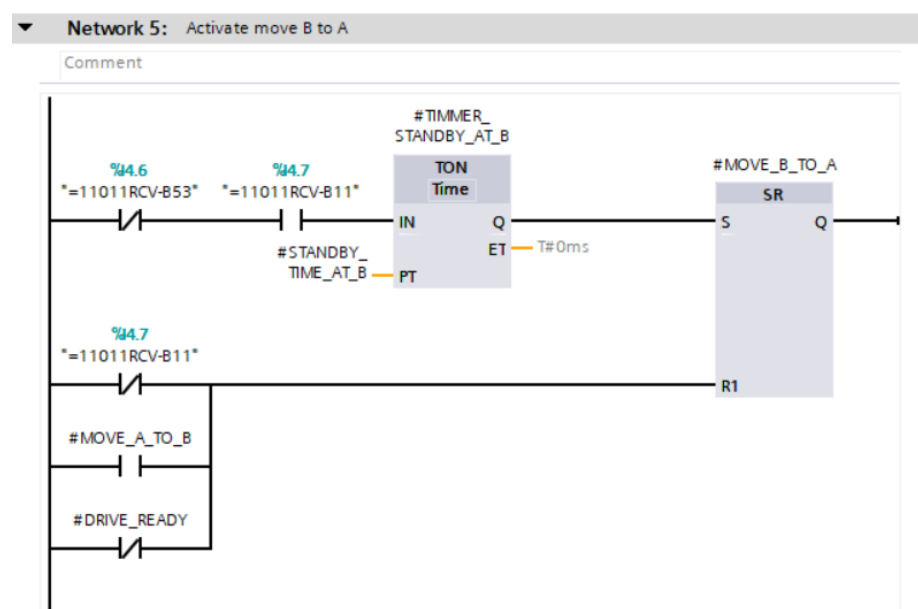


Figura 75 Rede 5

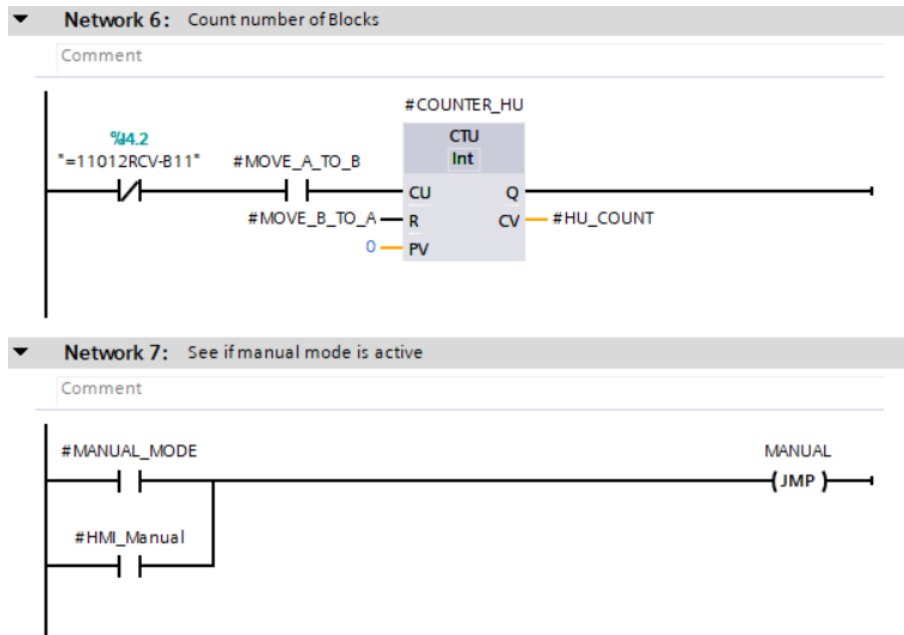


Figura 76 Rede 6 e 7

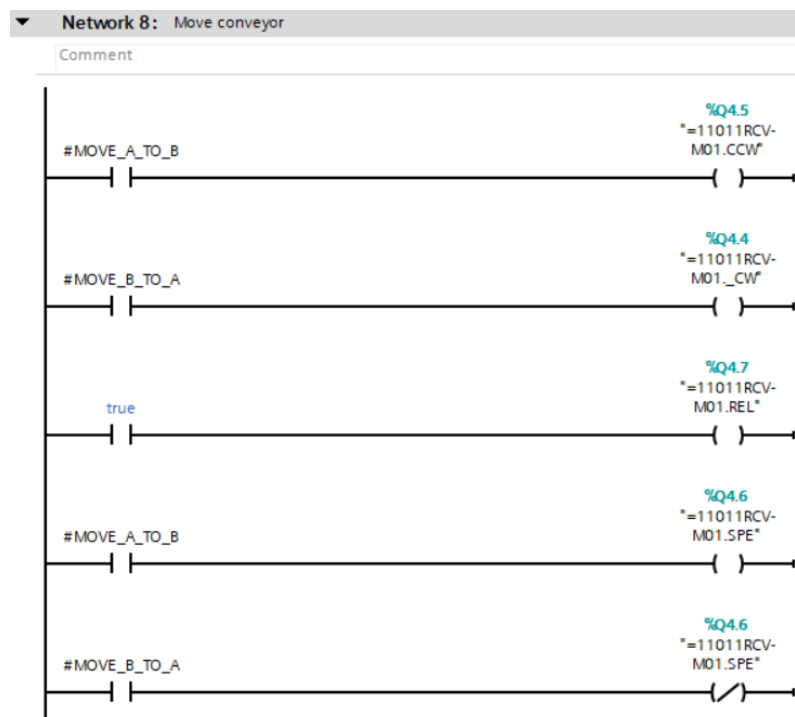


Figura 77 Rede 8

