

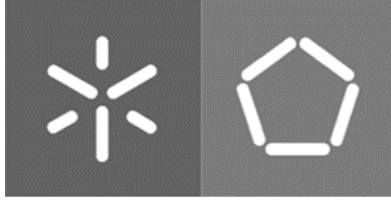


Universidade do Minho

Escola de Engenharia

António Guilherme Gonçalves

**Análise e melhoria do desempenho de uma
estação de transporte robotizado numa
linha de produção industrial**



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

António Guilherme Gonçalves

**Análise e melhoria do desempenho de uma
estação de transporte robotizado numa
linha de produção industrial**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do

Professor Doutor José Mendes Machado

Professor Mestre Filipe Alexandre Pereira

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição

CC BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

AGRADECIMENTOS

A todos os que contribuíram, de forma direta ou indireta, expresso os mais sinceros agradecimentos, pois sem a sua influência esta dissertação não seria a mesma.

Ao Professor Doutor José Machado, como orientador académico do projeto, pela oportunidade, pelo seu apoio competente e pelas suas críticas construtivas ao longo do projeto.

Ao Professor Doutor Filipe Pereira, como orientador académico do projeto, pela imensa orientação nas fundações do trabalho, pela competência científica, partilha de conhecimento e disponibilidade demonstradas.

À empresa Stow Ovar e todos os colaboradores no geral pela oportunidade e pelo interesse na participação no projeto.

Ao Engenheiro Fernando Aires, como orientador profissional, pela oportunidade, pelo acompanhamento ao longo do projeto e esclarecimento das dúvidas surgidas, bem como o tratamento de dados envolvido.

Ao Engenheiro Valter Pinho pela disponibilidade e partilha de opiniões, bem como a figura orientadora que demonstrou e a referência que foi durante o trabalho.

Ao Engenheiro Gonçalo Marques pela companhia, energia e partilha de conhecimentos que prestou sem interrupções.

Aos meus amigos e colegas, pela companhia, parceria e amizade durante não só na produção deste trabalho como na experiência académica.

À minha querida família, falecidos avôs, avós, tios, padrinhos e primos pela educação, amor, união, alegria e guias que me trouxeram a esta oportunidade. Ao meu primo Francisco, pela parceria, presença, interesse e ajuda. Ao meu pai, José António, pela inexplicável curiosidade e prazer em engenhar e criar, à minha mãe, Nélia, pelo desejo de perfeccionismo até nas coisas não essenciais, à minha irmã, Madalena, pelo exemplo de persistência e objetivo inabalável e aos três pelo admirável exemplo de coragem de enfrentar os maiores obstáculos.

À Andreia, minha flor, pela companhia, pelo carinho, pela amizade, pelo grande apoio e incansável presença crítica desde o momento em que foi pedido. Tornaste todos os “problemas” em experiências positivas.

Agradeço profundamente a todos.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

Esta dissertação, redigida com acompanhamento da empresa Stow Ovar, é um caso de estudo sobre uma estação de transporte robotizada de uma linha de produção que apresenta falhas na sua tarefa. O objetivo da dissertação é instituir uma proposta de melhoria que reduza este défice de produtividade.

Aliada ao fundamento teórico essencial para compreender os equipamentos em estudo, esta dissertação apresenta a aplicação de metodologias teóricas e práticas para analisar a estação robotizada. Um dos elementos estudados é um transportador aéreo e a sua secção de alívio de tensões, o esticador, que se movimenta, alterando o perímetro total do transportador. Através de um diagrama de *Ishikawa* e uma Análise de Modo e Efeito de Falha este componente é colocado em causa devido às inclinações do transportador aéreo e às tensões que essas inclinações provocam.

Experimentalmente, é projetado um dispositivo de monitorização, que, com recurso a um *PLC*, conectado a um *encoder* e a um sensor indutivo, simula a informação recebida pelo robot. O *PLC* efetua uma contagem de impulsos do *encoder*. A contagem inicia quando o sensor de presença assinala a presença de um objeto e termina quando se recebe o sinal de presença do objeto seguinte. Esta análise experimental origina uma distribuição normal.

As condições das análises efetuadas permitem colocar a localização da montagem dos sensores em evidência e concluir que o esticador influencia significativamente o desvio padrão dos dados obtidos, cuja correlação com as tentativas não cumpridas observadas é direta.

A dissertação apresenta a importância da intervenção na montagem dos sensores e propõe uma solução que reduz a influência do esticador nos dados enviados ao robot.

PALAVRAS-CHAVE

Análise de Modo e Efeito de Falha; Estação de transporte robotizada; Diagrama de *Ishikawa*; Dispositivo de monitorização; Proposta de melhoria

ABSTRACT

This thesis, accompanied by Stow Ovar, is a case study on a production line's robotic transport station that showed unsuccessful tasks. The thesis's objective is to institute an improvement proposition to reduce this productivity deficit.

Allied to the essential theoretical fundament to understand the equipment in study, this thesis presents the theoretical and practical methodologies to analyse the robotic station. One of the studied elements is an overhead conveyor and its tension relieving section, the extender, that moves, changing the total perimeter of the conveyor. Through an Ishikawa Diagram and a Failure Mode and Effect Analysis this component is put in cause due to the inclines of the overhead conveyor and the tensions those inclines generate.

Experimentally, a monitoring device is developed that, with resource to a PLC, connected to an encoder and an inductive sensor, simulates the information received by the robot. The PLC counts the encoder's impulses. The counting starts from the moment the presence sensor signals the presence of an object and ends when it's received the presence signal of the following object. This experimental analysis originates a normal distribution.

The conditions of the executed analysis allow placing the sensors placement in evidence and conclude that the extender significantly influences the standard deviation of the obtained data, which correlation to the observed failed attempts is direct.

The thesis presents the importance of the intervention on the placement of the sensors and proposes a solution that reduces the extenders influence on the data sent to the robot.

KEYWORDS

Failure Mode and Effect Analysis; Robotic transport station; Ishikawa Diagram; Monitoring device; Improvement proposition.

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Índice de Figuras.....	x
Índice de Tabelas	xvi
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	xvii
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento e Contexto	2
1.1.1 Empresa Stow Ovar	2
1.1.2 Linha de produção.....	3
1.1.3 Estação de Carga (Transporte).....	5
1.2 Motivação	11
1.3 Objetivos.....	12
1.4 Estrutura da Dissertação	13
A reter do Capítulo.....	14
2. Revisão da Literatura e Estado da Arte	15
2.1 Linhas de produção.....	16
2.2 Transportadores.....	17
2.2.1 Transportador de Mesa.....	19
2.2.2 Transportador Aéreo	21
2.3 <i>Robots</i>	23
2.3.1 Controlador do <i>robot</i>	26
2.3.2 IRB 6700 - Folha de dados (<i>Data Sheet</i>).....	27
2.3.3 IRB 6700 - Especificação do produto	28
2.4 Sensores.....	31
2.4.1 Codificador/ <i>Encoder</i>	34

2.4.2	Sensores Óticos.....	35
2.4.3	Sensores Indutivos	36
2.5	Controlador Lógico Programável ou <i>PLC</i>	37
2.6	Metodologia	39
2.6.1	Diagrama de Causa-Efeito.....	39
2.6.2	AMFE	40
	A reter do Capítulo.....	41
3.	Implementação da Metodologia.....	42
3.1	Diagrama de Causa-Efeito	43
3.2	AMFE.....	49
3.3	Projeto prático.....	51
	A reter do Capítulo.....	52
4.	Instalação Experimental	53
4.1	Seleção dos equipamentos.....	54
4.1.1	<i>PLC</i>	54
4.1.2	<i>Encoder</i>	58
4.1.3	Sensor.....	60
4.2	Interpretação e conversão do sinal do <i>encoder</i>	61
4.3	Dispositivo de análise	63
4.3.1	Resultado analítico.....	66
4.3.2	Resultado experimental.....	67
	A reter do Capítulo.....	70
5.	Análise dos resultados e Proposta de melhoria	71
5.1	Registos do dispositivo	72
5.1.1	Testes	73
5.1.2	Análises 1 e 2	74
5.1.3	Comparação.....	76
5.2	Proposta de melhoria	77
	A reter do Capítulo.....	78

6. Conclusão e Trabalhos Futuros	79
Referências	80
Apêndice 1	85
Apêndice 2	86
Apêndice 3	87
Apêndice 4	88
Apêndice 5	89
Apêndice 6	93
Apêndice 7	95
Apêndice 8	105
Apêndice 9	112
Apêndice 10	117
Apêndice 11	118
Apêndice 12	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Estruturas em mezanino (Stow-Group, 2022)	2
Figura 1.2 - Estruturas em cantiléver (Stow-Group, 2022).....	2
Figura 1.3 - Estruturas metálicas (Stow-Group, 2022).....	2
Figura 1.4 - Esquema das estruturas metálicas (Stow-Group, 2022)	3
Figura 1.5 - Detalhe - Viga horizontal (Stow-Group, 2022)	3
Figura 1.6 - Frente da viga	3
Figura 1.7 - Traseira da viga	3
Figura 1.8 - Processos produtivos da linha de produção	3
Figura 1.9 - Conformação	4
Figura 1.10 - Corte	4
Figura 1.11 - Soldadura	4
Figura 1.12 - Transporte	4
Figura 1.13 - Pintura	4
Figura 1.14 - Peça finalizada.....	4
Figura 1.15 - Robot da linha	5
Figura 1.16 - Transportador aéreo (TA)	5
Figura 1.17 - Transportador de mesa (TM).....	5
Figura 1.18 - Robot pega na peça	5
Figura 1.19 - Robot solta a peça	5
Figura 1.20 - Esquema de comunicação do robot.....	6
Figura 1.21 - Corrente do TA	6
Figura 1.22 - Gancho do TA.....	6
Figura 1.23a), 1.23b) e 1.23c) - Sequência de acoplamento	7
Figura 1.24a) e 1.24b) - Sensor e sequência de funcionamento do TM.....	7
Figura 1.25 - Encoder do TA	8
Figura 1.26 - Sensor ótico do TA.....	8
Figura 1.27 - Encoder instalado na linha	9
Figura 1.28 - Medição do sinal do encoder instalado na linha	9
Figura 1.29 - Folha de dados do encoder da linha (Emeta, 2016).....	9
Figura 1.30 - Sinal do encoder (Emeta, 2016).....	9

Figura 1.31 - Especificação de referência (Emeta, 2016).....	9
Figura 1.32 - Sensor ótico - componente emissor (Ifm, 2022)	10
Figura 1.33 - Sensor ótico - componente recetor (Ifm, 2022).....	10
Figura 2.1 - Diagrama de blocos do sistema automatizado - Adaptado de (Canadas N., 2013)	16
Figura 2.2 - Armazenamento de segurança (Monk, 2021)	17
Figura 2.3 - Separação de produto (Monk, 2021)	17
Figura 2.4 - Transportador em tubo (Seidel, 2022).....	18
Figura 2.5 - Transportador de tapete rolante (Monk, 2021).....	18
Figura 2.6 - Transportador aéreo (Railtechnik, 2022).....	18
Figura 2.7 - Transportador de rolos (Móvel) (Monk, 2021)	18
Figura 2.8 - Tapete de transportador de corrente de mesa (Rexnord, 2022).....	19
Figura 2.9 - Transportador aéreo com mergulho em produto (Pacline, 2022).....	21
Figura 2.10 - Esquema de um transportador aéreo (Railtechnik, 2022).....	22
Figura 2.11 - Garra de dois dedos (Carrara, 2015).....	23
Figura 2.12 - Garra articulada (Carrara, 2015)	23
Figura 2.13 - Esquema de controlo do robot.....	26
Figura 2.14 - Capa da Folha de dados do IRB 6700 (ABB, 2021)	27
Figura 2.15 - Capa da Especificação do produto do IRB 6700 (ABB, 2021)	28
Figura 2.16 - Esquema de funcionamento de um encoder incremental (AKM, 2022)	34
Figura 2.17 - Sensor de cor (DJP, 2022).....	35
Figura 2.18 - Sensor de contraste (DJP, 2022).....	35
Figura 2.19 - Sensor de distância (DJP, 2022)	35
Figura 2.20 - Esquema eletrónico do sensor indutivo (Citisystems, 2022)	36
Figura 2.21 - Sensor indutivo (Omron, 2022)	36
Figura 2.22 - Conversão de Diagrama de blocos (a) para Ladder (b) (Alphonsus e Abdullah, 2016)....	37
Figura 2.23 - PLC CP1E (Omron, 2022).....	37
Figura 2.24 - Esquema de ligações ao PLC de um sistema controlado (Alphonsus e Abdullah, 2016). 38	
Figura 2.25 - Diagrama de Ishikawa numa falha de um sistema informático (Botezatu et al., 2019) ...	39
Figura 3.1 - Elementos da estação de carga.....	43
Figura 3.2 - Diagrama Causa-Efeito da falha de carga.....	43
Figura 3.3 - Influência de “Grampo Defeituoso”	44
Figura 3.4 - Influência de “Posicionamento humano”	44

Figura 3.5 - Influência de “Sensor Defeituoso”	44
Figura 3.6 - Influência de “Viga Empurrada”	45
Figura 3.7 - Influência de “Sistema de Visão”	45
Figura 3.8 - Influência de “Ganchos Empurrados”	46
Figura 3.9 - Influência de “Encoder Defeituoso”	46
Figura 3.10 - Influência de “Sensor Ótico Defeituoso”	47
Figura 3.11 - Influência de “Tinta Acumulada”	47
Figura 3.12 - Influência de “Corrente Defeituosa”	48
Figura 3.13 - Desvio por avanço dos ganchos.....	48
Figura 3.14 - Desvio por recuo dos ganchos.....	48
Figura 3.15 - Influência de “Cargas no Transportador”	48
Figura 3.16 - Ciclo de enchimento e esvaziamento do TA	50
Figura 3.17 - Sensores, robot e esticador do TA	51
Figura 4.1 - PLC utilizado no dispositivo	54
Figura 4.2 - Habilitação do Contador de Alta Velocidade 0	54
Figura 4.3 - Reset da posição do encoder.....	55
Figura 4.4 - Programação da Função PRV	56
Figura 4.5 - Função WSFT para D0-D7999.....	57
Figura 4.6 - Monitorização da memória D do PLC.....	57
Figura 4.7 - Esquema elétrico do Protótipo 1.....	58
Figura 4.8 - Protótipo 1.....	58
Figura 4.9 - Sinal luminoso de entrada no PLC.....	58
Figura 4.10 - Leitura com multímetro da saída do encoder	58
Figura 4.11 - Leitura com osciloscópio de uma saída do encoder	58
Figura 4.12 - Encoder utilizado no dispositivo.....	59
Figura 4.13 - Sensor indutivo utilizado no dispositivo (Omron, 2022)	60
Figura 4.14 - Esquema de linhas de sinal do sensor	60
Figura 4.15 - Valores obtidos do PRV	61
Figura 4.16 - Leitura de velocidade do TA no visor.....	62
Figura 4.17 - Conversão da velocidade em m/min no Software	62
Figura 4.18 - Esquema elétrico do Protótipo 3.....	63
Figura 4.19 - Protótipo 3.....	63

Figura 4.20 - Esquema elétrico do Protótipo 4.....	63
Figura 4.21 - Instalação do sensor indutivo no TA	63
Figura 4.22 - Esquema elétrico detalhado do dispositivo.....	64
Figura 4.23 - Histograma de amostra de 100.....	64
Figura 4.24 - Histograma de amostra de 1500.....	64
Figura 4.25 - Distribuição normal representante do histograma	64
Figura 4.26 - Sensor instalado depois do esticador	64
Figura 4.27 - Sensor instalado perto do encoder	65
Figura 4.28 - Sensor instalado perto do robot.....	65
Figura 4.29 - Representação de P e Zc na distribuição normal (Centro de Informática - UFPE, 2022) .	66
Figura 4.30 - Distribuição normal analítica esperada	66
Figura 4.31 – Versões do programa Ladder	67
Figura 4.32 - Testes efetuados no desenvolvimento do Dispositivo.....	67
Figura 4.33 - Teste 0.1.3	68
Figura 4.34 - Teste 0.3.1	69
Figura 5.1 - Distribuição de A1.1.....	74
Figura 5.2 - Distribuição de A1.2.....	74
Figura 5.3 - Distribuição de A1.3.....	74
Figura 5.4 - Distribuição de A2.1.....	75
Figura 5.5 - Distribuição de A2.2.....	75
Figura 5.6 - Distribuição de A2.3.....	75
Figura 5.7 - Distribuição de A2.4.....	75
Figura 5.8 - Distribuição de A2.5.....	75
Figura 5.9 - Sobreposição das distribuições Analítica, A1 e A2.....	76
Figura 5.10 - Disposição atual dos sensores.....	77
Figura 5.11 - Proposta de nova disposição de sensores.....	77
Figura 1 - Presença da Stow no mundo (Stow-Group, 2022)	85
Figura 2 - Localização de organizações empresariais da Stow (Stow-Group, 2021).....	85
Figura 3 - Estrutura de armazenamento de paletes (Stow-Group, 2021).....	86
Figura 4 - Estrutura de armazenamento industrial (Stow-Group, 2021)	86
Figura 5 - Perfil da viga -	87
Figura 6 - Vigas na estrutura metálica (Stow-Group, 2021)	87

Figura 7 - Estrutura metálica de armazenamento (Stow-Group, 2021)	87
Figura 8 - Bobine de chapa de aço (SoloStocks, 2021)	88
Figura 9 - Data Sheet do robot - Página 1 (ABB, 2021)	89
Figura 10 - Data Sheet do robot - Página 2 (ABB, 2021)	90
Figura 11 - Data Sheet do robot - Página 3 (ABB, 2021)	91
Figura 12 - Data Sheet do robot - Página 4 (ABB, 2021)	92
Figura 14 - Data Sheet do encoder - Página 1 (Emeta, 2016)	93
Figura 15 - Data Sheet do encoder - Página 2 (Emeta, 2016)	94
Figura 16 - Eixos do robot (ABB, 2021)	95
Figura 17 - Capacidade de carga e alcance dos robots (ABB, 2021)	95
Figura 18 - Peso de cada versão do robot (ABB, 2021)	95
Figura 19 - Consumo de cada versão do robot em carga máxima (ABB, 2021)	96
Figura 20 - Dimensões principais do robot (ABB, 2021)	96
Figura 21 - Dimensões de cada versão do robot (ABB, 2021)	96
Figura 22 - Tabela de normas requeridas da ISO 10218-1 (ABB, 2021).....	97
Figura 23 - Orientação de cargas ao local de montagem do robot (ABB, 2021).....	97
Figura 24 - Cargas aplicadas ao local de montagem do robot (ABB, 2021)	97
Figura 25 - Valores esperados de calibração (ABB, 2021)	98
Figura 26 - Diagrama de carga do robot (ABB, 2021)	99
Figura 27 - Torque máximo admissível para eixos 4, 5 e 6 do robot (ABB, 2021).....	99
Figura 28 - Acelerações máximas dos robots (ABB, 2021).....	100
Figura 29 - Instalação de contrapeso para a estrutura (ABB, 2021)	100
Figura 30 - Instalação de contrapeso para braço superior (ABB, 2021).....	100
Figura 31 - Tipo de movimento dos eixos dos robots (ABB, 2021)	101
Figura 32 - Compensação de colisões dos eixos 2 e 3 (ABB, 2021).....	101
Figura 33 - Alcance de movimento do robot (ABB, 2021)	102
Figura 34 - Nomenclatura das variáveis em testes de precisão (ABB, 2021)	102
Figura 35 - Resultados do teste ISO 9283 em 4 versões do robot (ABB, 2021)	103
Figura 36 - Velocidade máxima de rotação dos eixos, individualmente (ABB, 2021)	103
Figura 37 - Atuador estacionário (ABB, 2021)	104
Figura 38 - Atuador robótico (ABB, 2021)	104
Figura 39 - Atuador robótico e track motion (ABB, 2021).....	104

Figura 40 - Track motion (ABB, 2021).....	104
Figura 41 - Esquema de opções de proteção com tabela de descrição (ABB, 2021).....	105
Figura 42 - Principais classes dos DP (ABB, 2021).....	105
Figura 43 - Limitações dos eixos com o DP 780-4 (ABB, 2021)	106
Figura 44 - DP em aplicações de MH e SW (ABB, 2021)	106
Figura 45 - Via interna e externa de cablagem do braço inferior (ABB, 2021)	107
Figura 46 - Localização da montagem do DP (ABB, 2021).....	107
Figura 47 - Interface do DP na Base (ABB, 2021).....	108
Figura 48 - Interface do DP no Eixo 3 (ABB, 2021).....	108
Figura 49 - Dimensão do DP 780-3 (3-6) (ABB, 2021).....	108
Figura 50 - Dimensão do DP 778-2 + 798-3 (1-3) + 780-4 (3-6) (ABB, 2021)	109
Figura 51 - Dimensão do DP 778-1 + 798-3 (1-3) + 780-4 (3-6) (ABB, 2021)	109
Figura 52 - Esquema de aplicação da variante “H” / “HSe” (ABB, 2021)	109
Figura 53 - Esquema de aplicação da variante “Se” (ABB, 2021)	110
Figura 54 - Kit de conexão (ABB, 2021)	111
Figura 55 - Opção para cada variante do robot (ABB, 2021).....	112
Figura 56 - Opções das cores do robot (ABB, 2021).....	112
Figura 57 - Opções da proteção do robot (ABB, 2021)	112
Figura 58 - Capa do braço superior (ABB, 2021).....	113
Figura 59 - Limitadores mecânicos do eixo 1 (ABB, 2021).....	113
Figura 60 - Etiqueta de sincronização (ABB, 2021).....	114
Figura 61 - Comprimentos disponíveis da cablagem do robot (ABB, 2021)	114
Figura 62 - Comprimentos disponíveis do DP da cablagem do robot (ABB, 2021)	115
Figura 63 - DP dos braços inferior e superior (ABB, 2021)	115
Figura 64 - Opções de kits de conexão (ABB, 2021)	116
Figura 65 - Opções de pistola servo e cablagem associada (ABB, 2021).....	116

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Contagem de impulsos dos encoders.....	34
Tabela 2 - Passos da AMFE (Department Of Defense, 2005)	40
Tabela 3 - AMFE	49
Tabela 4 - Análises gerais dos testes do dispositivo de monitorização	72
Tabela 5 - Média de impulsos dos Testes 0.1	73
Tabela 6 - Amostra do Teste 0.2	73
Tabela 7 - Amostras dos Testes 0.3	73
Tabela 8 - Amostra do Teste 0.4	73
Tabela 9 - Dados das amostras da Análise 1	74
Tabela 10 - Dados das amostras da Análise 2	75
Tabela 11 - Comparação de desvios padrão entre A1 e A2	76
Tabela 12 - Formulário contínuo da AMFE (Carlson, 2012).....	117
Tabela 13 - Tabela de Severidade da AMFE - Adaptado de (Carlson, 2012).....	118
Tabela 14 - Tabela de Ocorrência da AMFE - Adaptado de (Carlson, 2012).....	118
Tabela 15 - Tabela de Detecção da AMFE - Adaptado de (Carlson, 2012).....	118
Tabela 16 - Tabela de distribuição normal (Centro de Informática - UFPE, 2022).....	119

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

A1 – Análise 1;

A2 – Análise 2;

ABB – *Asea Brown Boveri*;

AC – Alternated Current (Corrente Alternada)

cm – centímetro;

σ /Desv. P. – Desvio padrão;

DP – *DressPack* (Pacote de Proteção);

FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis* (Análise de Modo e Efeito de Falha);

Hex – Hexadecimal;

IA – Inteligência Artificial;

imp – impulso;

LED – *Light-Emitting Diode* (Díodo Luminoso);

m – metro;

min – minuto;

MH – *Material Handling* (Manipulação de peça);

MTRF – *Mean Time to Robot Failure*

mm – milímetro;

P – Probabilidade;

P_c – Probabilidade corrente;

PC – *Personal Computer* (Computador);

PLC/PLCs – *Programmable Logic Controllers* (Controladores Lógicos Programáveis);

PPR – *Pulserate* (Taxa de impulsos);

rot – rotação;

s – segundo;

SW – *Spot-Welding* (Soldadura);

TA – Transportador Aéreo;

TM – Transportador de Mesa;

VDC – *Volts in Direct Current* (Volts em corrente contínua);

X – Valor corrente;

$(X - \mu)$ – Desalinhamento;

Z – Coeficiente de desvio padrão;

Z_c – Coeficiente de desvio padrão corrente;

μ – Média.

1. INTRODUÇÃO

Desenvolvida em Ovar, com o acompanhamento e orientação da empresa Stow Ovar (Stow-Group, 2021), esta dissertação consiste numa análise detalhada de uma linha de produção, mais especificamente debruçada no desempenho de uma estação de transporte robotizada, que revela ocorrências de insucessos na tarefa atribuída.

A análise à linha de produção é efetuada com uma metodologia especializada: Feita uma esquematização do sistema, segue-se uma pesquisa de situações que aparentem ser a causa do insucesso e a subsequente análise prática do fator que se revele mais decisivo.

Este capítulo apresenta o enquadramento do tema começando pela empresa, o produto e o seu fabrico. A motivação da dissertação encontra-se após o enquadramento, e o capítulo termina com a descrição dos objetivos e a estrutura desta dissertação.

1.1 Enquadramento e Contexto

1.1.1 Empresa Stow Ovar

A empresa data de 1935, quando é fundada a empresa Francisco Ramada, dedicada à transformação de aços para fabrico de serras e outras ferramentas. Envereda o seu comércio na produção de sistemas de armazéns industriais sob a licença da *Dexion* em 1958.

Com o envolvimento de outras empresas surge o grupo *Storax*, que exporta soluções de armazenamento para todos os continentes. A *Storax* revigora a sua influência na Europa com a aquisição de especialistas em armazenamento refrigerado *B.P.S. Equipments, S.A.* na França em 2001, e *Stow Racking Systems, Ltd* no Reino Unido em 2002. Em 2003 a atividade é autonomizada pela empresa distinta F. Ramada Estruturas, S.A. Em 2005 são construídas novas instalações na Bélgica para desenvolvimento de soluções originais e na Espanha, em 2015 para aumentar a produção.

Em 2018 o grupo *Averys* adquire a empresa relacionada com a Ramada Stow e altera a denominação para *StoraxInter, S.A.* Em 2019 faz-se a fusão de todas as marcas numa só empresa como Stow. Fortalece-se assim a posição de líder global em soluções de armazenamento, com 9 instalações industriais, 13 escritórios comerciais e uma rede extensa de distribuidores (Stow-Group, 2021).

A antiga fábrica do F. Ramada é adaptada em 2020 para uma linha de produção de produtos Stow e faz-se uma separação de duas empresas em Portugal: A *Stow Ovar Manufacturing* e a *Stow Portugal Warehouse Equipment* no mesmo local.

A Stow tem presença em todos os continentes (Apêndice 1) e é atualmente líder mundial na inovação de sistemas de armazenamento de alta densidade, ou seja, em estruturas de armazenamento de produtos com grande aproveitamento do espaço existente (Apêndice 2). Os produtos desta empresa são estruturas de escritórios ou prateleiras em mezanino (Figura 1.1), estruturas de cantiléver, para produtos de grandes dimensões (Figura 1.2) e, os mais genéricos, estruturas metálicas de armazenamento (Figura 1.3) (Stow-Group, 2021).



Figura 1.1 - Estruturas em mezanino (Stow-Group, 2022)

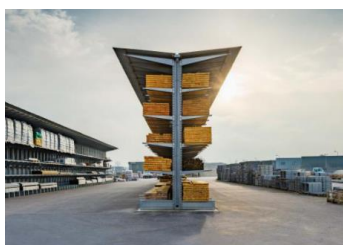


Figura 1.2 - Estruturas em cantiléver (Stow-Group, 2022)



Figura 1.3 - Estruturas metálicas (Stow-Group, 2022)

1.1.2 Linha de produção

Os produtos da empresa são, como referido anteriormente, sistemas de armazenamento industriais. A dissertação dedica-se à linha de produção que fabrica as vigas horizontais, ilustradas nas figuras abaixo:

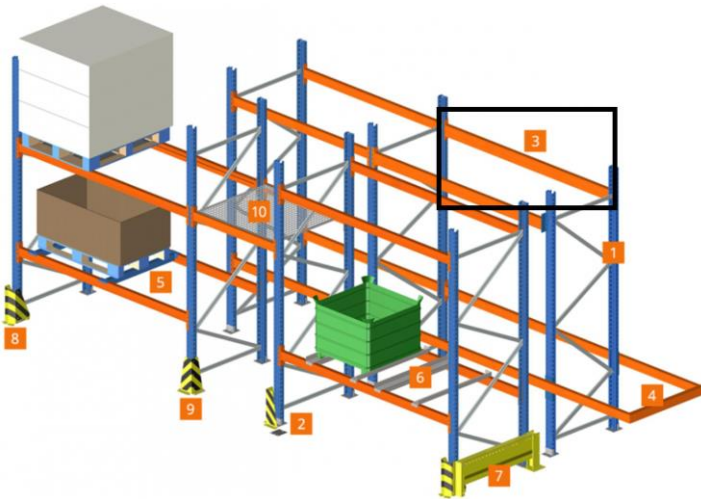


Figura 1.5 - Detalhe - Viga horizontal (Stow-Group, 2022)

Figura 1.4 - Esquema das estruturas metálicas (Stow-Group, 2022)

A Figura 1.6 e Figura 1.7 são modeladas com o software *Autodesk Fusion 360* (Autodesk, 2022). Estão disponíveis ilustrações complementares no Apêndice 3. As vigas podem medir até 4,5 m de comprimento e pesar até 40 kg.



Figura 1.6 - Frente da viga

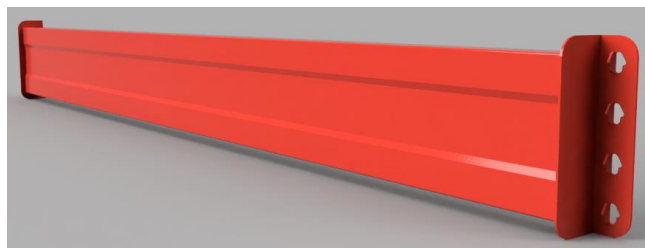


Figura 1.7 - Traseira da viga

Para fabricar a viga, a linha de produção da empresa conta com 6 etapas. Abaixo, na Figura 1.8, “Transporte” refere-se à estação de transporte robótico em que a dissertação especifica o seu estudo.

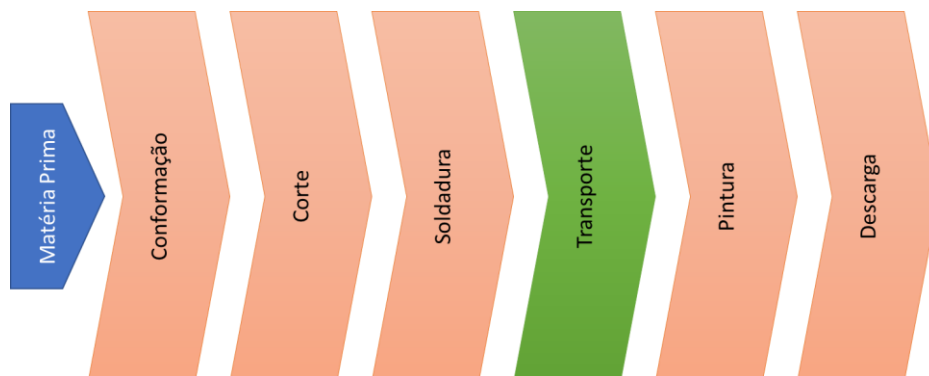


Figura 1.8 - Processos produtivos da linha de produção

A matéria-prima é uma bobine de chapa de aço (Apêndice 4). O seu fabrico começa com um processo de conformação (Figura 1.9), onde é definida a geometria do perfil da viga. A conformação é seguida de um corte transversal (Figura 1.10), que define o seu comprimento. A viga prossegue para um processo de soldadura nas extremidades da peça para fixar os grampos (Figura 1.11). Um *robot* coloca-a num transportador aéreo (Figura 1.12) na chamada “Estação de carga”. Posteriormente, o transportador transporta as vigas através de uma estação de pintura eletrostática (Figura 1.13) e a produção termina após a descarga do transportador (Figura 1.14) onde o produto é arrumado em lotes por um *robot*.

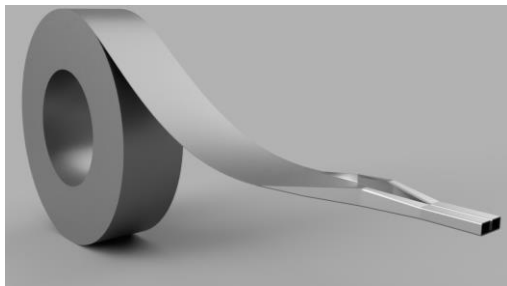


Figura 1.9 - Conformação



Figura 1.10 - Corte

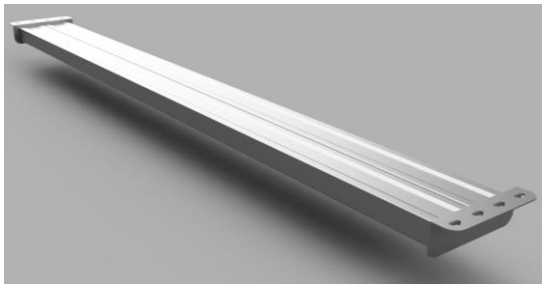


Figura 1.11 - Soldadura

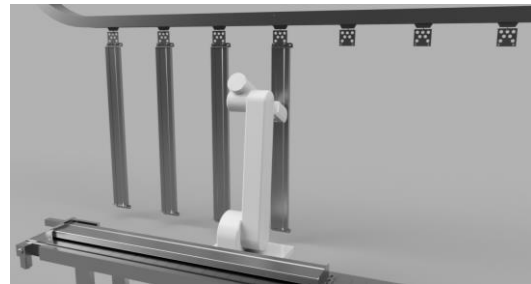


Figura 1.12 - Transporte

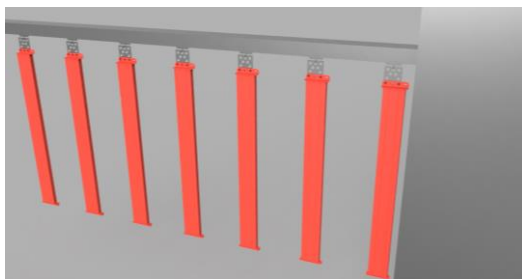


Figura 1.13 - Pintura

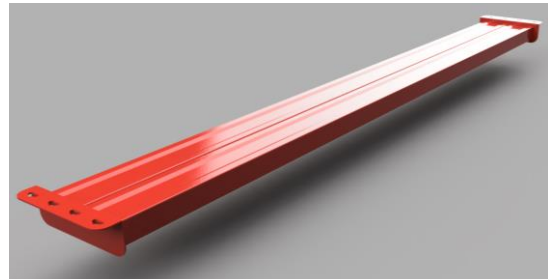


Figura 1.14 - Peça finalizada

1.1.3 Estação de Carga (Transporte)

O abastecimento do transportador aéreo é executado na “Estação de carga”. É constituída por um *robot* industrial e dois transportadores, um Transportador de Mesa (Figura 1.17) e um Transportador Aéreo (Figura 1.16).

O *robot* trata-se de um *robot* industrial da *Asea Brown Boveri* (ou ABB) (ABB, 2021), o IRB 6700 (ABB, 2021) (Apêndice 5), composto por um controlador e um manipulador de 6 eixos (Figura 1.15). Está equipado com um órgão terminal característico, capaz de manipular devidamente as vigas que não é ilustrado nas imagens.

O TM desloca as vigas da estação de soldadura para o *robot*, de um ponto A para B. O TA desloca ganchos num circuito fechado, de forma que todos eles recolhem as vigas na estação de carga, passam na pintura e na descarga continuamente.



Figura 1.15 - Robot da linha

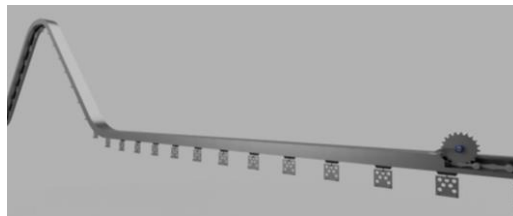


Figura 1.16 - Transportador aéreo (TA)

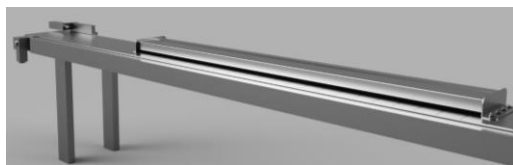


Figura 1.17 - Transportador de mesa (TM)

O TM aproxima as vigas do *robot* (Figura 1.18), que por sua vez é responsável por carregar as vigas no TA (Figura 1.19). No TA, que não interrompe o movimento, circulam ganchos que recebem as vigas. A este processo chama-se de “Acoplamento da viga”.

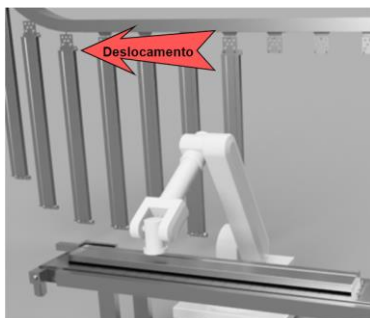


Figura 1.18 - Robot pega na peça

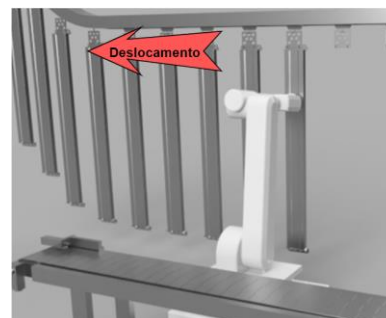


Figura 1.19 - Robot solta a peça

O *robot* é composto pelo manipulador, que compreende a estrutura e os motores do *robot*, e pelo controlador, o elemento comando que define como o manipulador se movimenta. O controlador é um IRC5 (ABB, 2021), é um equipamento relativamente espaçoso, recebe a informação dos sensores, interpreta esses dados, através de um programa algorítmico gravado no seu sistema, e envia ordens aos componentes atuadores do *robot*, criando os movimentos do manipulador. Este controlador possui uma consola comando, onde é possível monitorizar, controlar ou programar os movimentos do *robot* no local.

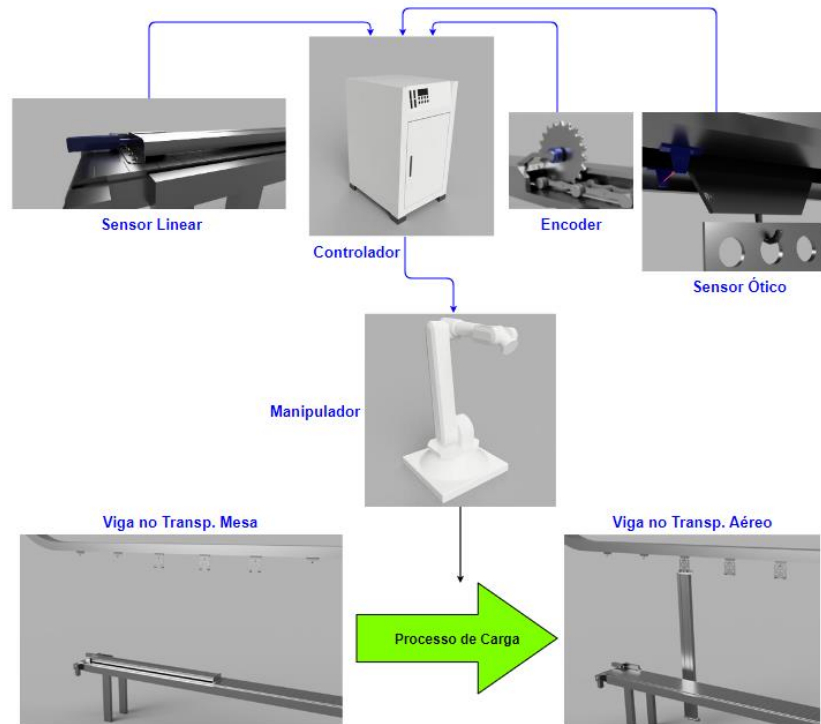


Figura 1.20 - Esquema de comunicação do robot

Os ganchos estão conectados por uma corrente (Figura 1.21) e toda ela circula no TA. Cada gancho possui duas saliências (pinos) que se destinam ao acoplamento (Figura 1.22).

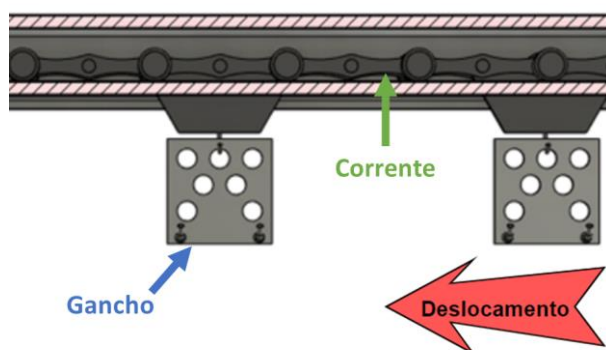


Figura 1.21 - Corrente do TA

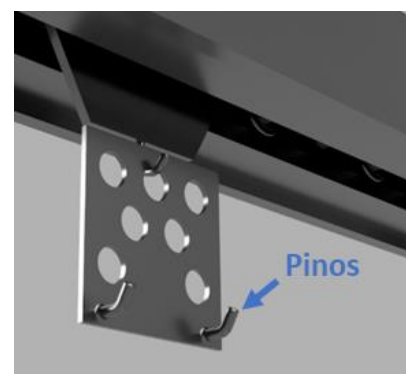


Figura 1.22 - Gancho do TA

O acoplamento é um processo muito rigoroso. O alinhamento entre os orifícios da viga e os pinos dos ganchos determina se a tarefa é ou não executada. Na eventualidade de o *robot* não executar a tarefa, ele recorre a mais tentativas de acoplamento. Estas tentativas repetidas representam o défice de produtividade que se pretende eliminar.

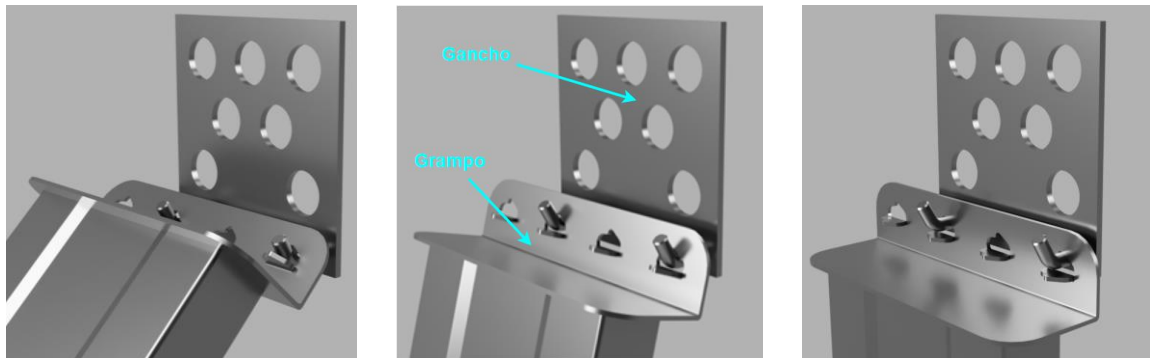


Figura 1.23a), 1.23b) e 1.23c) - Sequência de acoplamento

O *robot* não possui nenhum sistema de visão, por isso é compreendido como um *robot* “cego”. No entanto, a estação tem sensores nos transportadores que permitem que o *robot* interprete onde é que os componentes se encontram. Antes de pegar na viga, o *robot* necessita de conhecer a posição da viga quando ela está ainda no TM, e depois de a segurar no seu órgão terminal, deve calcular onde estará o gancho que a irá recolher.

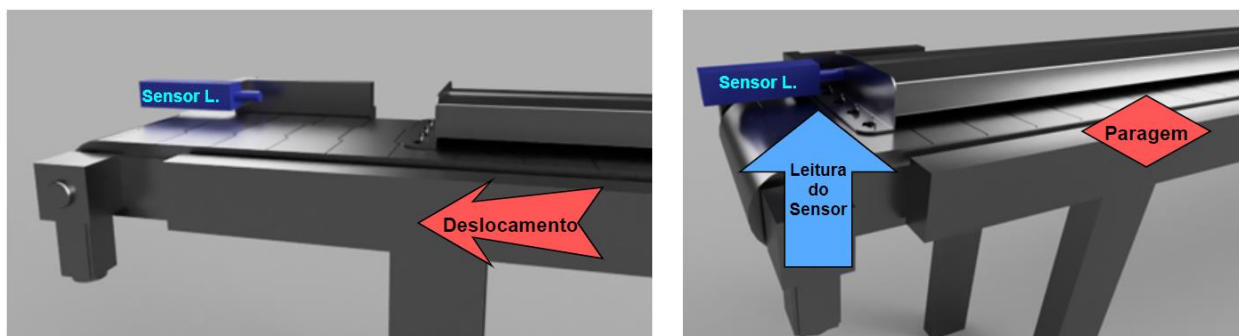


Figura 1.24a) e 1.24b) - Sensor e sequência de funcionamento do TM

A posição de descanso da peça no TM é interpretada no sensor linear (Figura 1.24), o *robot* calcula a posição pretendida o manipulador vai ao encontro da peça, para segurá-la corretamente.

Após pegar na peça, um codificador, ou *encoder*, movido pelo TA, indica a velocidade a que os ganchos se deslocam (Figura 1.25) e um sensor ótico, por feixe de luz interrompido, indica em que posição um deles se encontra (Figura 1.26). Estes sensores fornecem informação suficiente para efetuar uma previsão da posição do gancho para acoplar a peça.

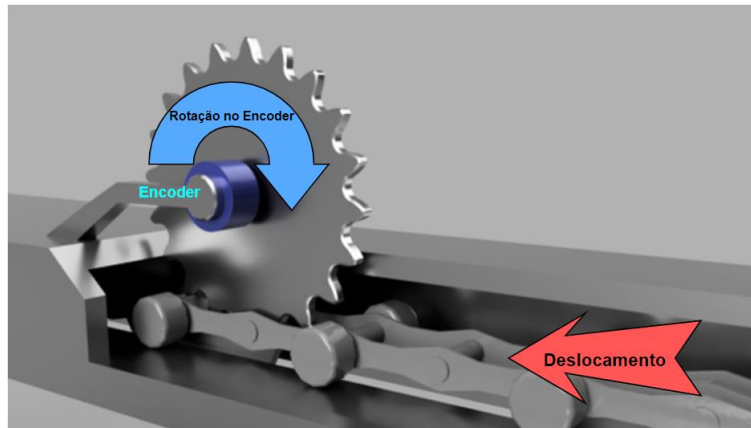


Figura 1.25 - Encoder do TA

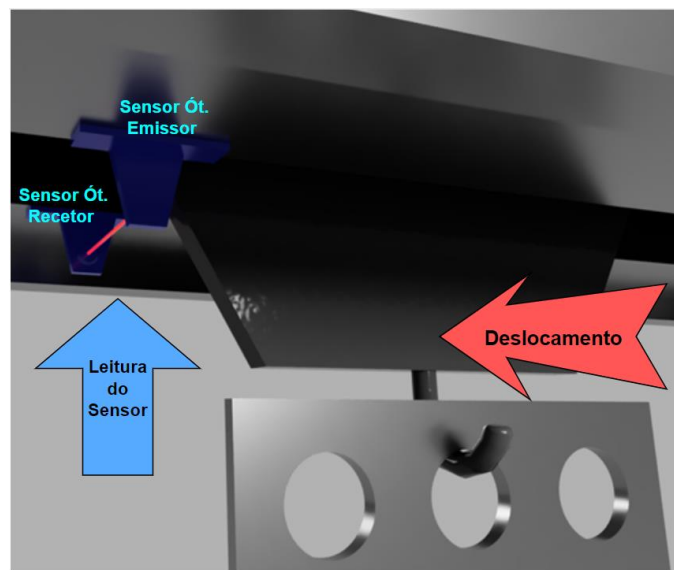


Figura 1.26 - Sensor ótico do TA

O encoder utilizado na linha (Figura 1.27) é um encoder incremental Emeta MA240 (Emeta, 2016) (Figura 1.29Figura 1.27). Deve ser alimentado a 24 VDC e os seus sinais são impulsos de 24 VDC (Figura 1.28). Neste encoder chamam-se aos seus sinais 1, 2, 0, $\bar{1}$, $\bar{2}$ e $\bar{0}$ (Figura 1.30) e tem *pulserate* (PPR) de 150 impulsos (Figura 1.31) (Apêndice 6).



Figura 1.27 - Encoder instalado na linha

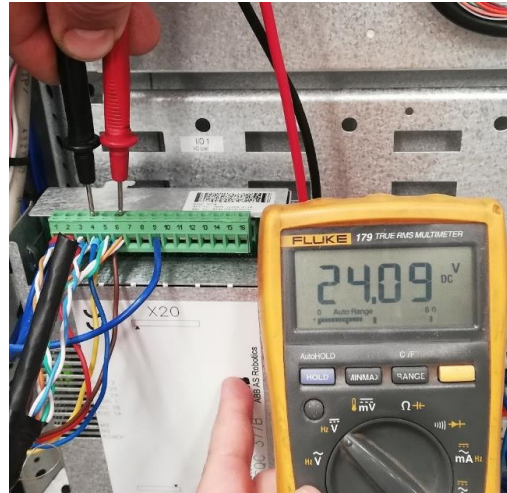


Figura 1.28 - Medição do sinal do encoder instalado na linha



Figura 1.29 - Folha de dados do encoder da linha (Emeta, 2016)

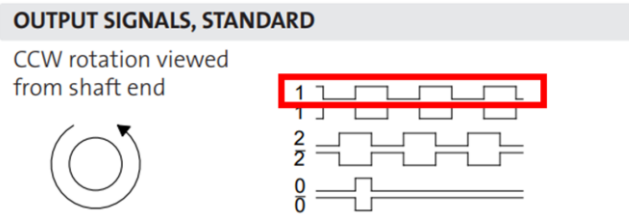


Figura 1.30 - Sinal do encoder (Emeta, 2016)

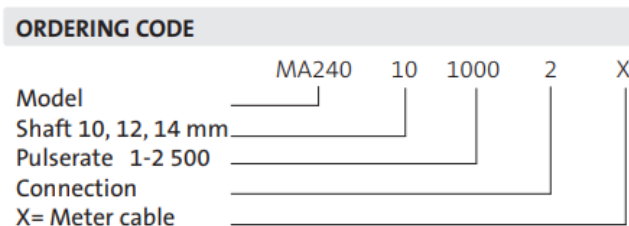


Figura 1.31 - Especificação de referência (Emeta, 2016)

Os sensores óticos utilizados na linha são sensores da *ifm electronic* (Ifm, 2022), o emissor O8S202 (Figura 1.32) e o recetor O8E204 (Figura 1.33). Detetam a presença do gancho quando ele interceta o seu feixe de luz.



Figura 1.32 - Sensor ótico - componente emissor
(Ifm, 2022)



Figura 1.33 - Sensor ótico - componente recetor
(Ifm, 2022)

Os sensores apresentam um formato especialmente pequeno para a aplicação em condições de instalação estreitas. O emissor emite uma luz vermelha visível, permitindo um alinhamento manual facilitado e trata-se de uma mancha estreita para melhor deteção de objetos pequenos. O recetor apresenta um alcance de deteção até 3m, sendo este facilmente ajustável, e deteta com exatidão componentes especialmente pequenos, muito planos ou de alta reflexão (Ifm, 2022).

De acordo com o projeto da linha de produção, o *encoder* deve ser instalado num local próximo do *robot*. A temperatura deste local, relativamente alta, condiciona a durabilidade do *encoder*, por isso, é relativamente frequente encontrar avarias nesse equipamento. Para evitar a manutenção e reparação frequentes ao *encoder*, a empresa utiliza um *encoder* noutra secção do TA, significativamente mais distante do *robot*.

1.2 Motivação

A competitividade do mercado impõe às empresas produtivas a maximização da produção: Produzir de forma cada vez mais rápida e eficiente. Naturalmente, para tal, as linhas de produção funcionam na sua capacidade máxima durante a maior parte do tempo.

A conceção típica da “linha de produção em massa” é feita normalmente numa linha em fluxo constante, composta por estações ao longo dela que entregam o produto à estação seguinte. Se existir alguma falha, mesmo que pouco relevante, com uma frequência moderada numa linha de produção, ela pode ser causa de consequências graves quando a produção prossegue diretamente a entrega (método *JIT* – *Just In Time*), portanto, só ao conhecer e avaliar todas as etapas do processo de produção é que se podem ponderar implementar melhorias.

É fundamental incorporar na organização uma cultura de conhecimento da estrutura e de todos os seus elementos e implementar métodos ou ferramentas de medição, avaliação, diagnóstico e otimização. Se não se consegue medir não se consegue avaliar, não se consegue estudar e não se consegue melhorar. Eventos ocorrentes na estação de transporte robótico dão origem a uma análise estatística que evidencia um défice de produtividade na linha de produção da empresa, o que a incita a realizar um estudo desta estação para comprovar se é oportuno implementar nela uma alteração. A complexidade da linha de produção é relativamente alta o que oferece potencial à dedicação de uma Dissertação relativa a este projeto.

A área de especialização em Sistemas Mecatrónicos atribui competências para trabalhar com sistemas automatizados ou robóticos em linhas de produção. Além disso, pessoalmente, trata-se de uma área de interesse.

1.3 Objetivos

Esta dissertação tem como objetivos encontrar a causa das falhas do *robot*, analisar a sua influência e propor uma melhoria.

Para encontrar esta causa faz-se a esquematização do sistema, a enumeração das causas que influenciam a tarefa do *robot* e a determinação da causa mais relevante e a sua importância.

A performance da estação de carga é analisada experimentalmente com um método que se mostre inovador para a empresa que associe a causa em questão com o sucesso da tarefa do *robot*.

A dissertação propõe uma intervenção para minimizar o efeito da causa. Uma proposta para intervir numa linha de produção requer um fundamento sólido e, para isso, esta é apoiada com uma análise experimental e um estudo estatístico que melhor quantificam a necessidade desta intervenção.

Pretende-se também demonstrar o raciocínio para a abordagem à situação e mostrar os resultados que se obtêm. Uma vez que a Stow Ovar é uma empresa que compete no mercado mundial no seu setor, certos assuntos específicos são confidenciais.

1.4 Estrutura da Dissertação

A dissertação aprofunda os conceitos à medida que evolui. Dada a complexidade da linha de produção em estudo, a introdução enquadra apenas a empresa, o produto da linha de produção e o seu fabrico. No fim deste capítulo, compreende-se o que a linha produz, em que zona da linha de produção está aplicado o estudo e conhecer a estação de carga do transportador aéreo (TA).

O segundo capítulo refere-se ao funcionamento dos componentes existentes na linha, dos componentes utilizados para criar o dispositivo experimental e ao método utilizado para estudar a linha. Inicia-se com a descrição das linhas de produção, aprofunda os conceitos sobre os transportadores, os *robots*, os sensores, os controladores e termina com a descrição da metodologia implementada.

O capítulo seguinte implementa a metodologia teórica. Esclarece e enumera as várias causas que levam à falha em estudo no Diagrama de Ishikawa e analisa a importância de cada causa com a aplicação da Análise de Modo e Efeito de Falha. Este capítulo termina após apresentar o projeto do dispositivo a utilizar para recolher os dados pretendidos experimentalmente.

O quarto capítulo apresenta a instalação experimental do dispositivo, conta com a seleção do equipamento, a programação, a confirmação de compatibilidade de alimentação e comunicação, a interpretação dos dados, os testes efetuados para melhorar o dispositivo, o cálculo do resultado analítico e com a apresentação do aspeto geral dos resultados experimentais. Depois, no capítulo seguinte, compara-se o cálculo analítico com os resultados experimentais e analisam-se os resultados obtidos.

O sexto capítulo dá a proposta de melhoria e comenta o rumo de trabalho a seguir para a implementar no ambiente real.

A reter do Capítulo

A dissertação é elaborada com acompanhamento da empresa Stow em Portugal com a Stow Ovar (Stow-Group, 2021). Esta é uma empresa que trabalha no ramo produtivo relacionado com aços desde 1935 e tornou-se a empresa líder mundial na inovação de sistemas de armazenamento de grande escala.

Em Ovar são produzidas vigas do sistema de armazenamento da Stow. A sua linha de produção produz vigas que podem pesar até 40 kg e são penduradas por um processo robótico num transportador aéreo (TA) que as faz passar numa cabine de pintura antes de serem retiradas e arrumadas em lotes.

A estação robótica, identificada como estação de carga do TA, é o objeto de estudo da dissertação. Por se identificar um défice de produtividade da estação de carga, a empresa procura estudar esta estação para comprovar se é conveniente implementar alguma alteração.

O objetivo da dissertação é propor uma intervenção à estação que solucione o défice identificado.

2. REVISÃO DA LITERATURA E ESTADO DA ARTE

Este capítulo destina-se à fundamentação teórica dos conceitos presentes na dissertação.

Começa-se com a noção de uma linha de produção. Este subcapítulo serve para explicar porque é que uma linha de produção funciona, nomeadamente de que componentes esse funcionamento depende e qual o papel de cada um deles.

De seguida encontram-se os transportadores. Este subcapítulo evidencia a utilidade dos transportadores nas linhas de produção. Depois de exemplificar alguns transportadores, aprofunda nos conhecimentos dos transportadores aéreos e dos transportadores de mesa. Com esta informação dão-se a conhecer os componentes mais importantes para o funcionamento dos transportadores e os cuidados necessários para minimizar o aparecimento de falhas nestes sistemas.

O subcapítulo 2.3 é sobre *robots*. O propósito dos *robots* é explicado de forma breve e prossegue-se para a explanação do seu funcionamento. Fala-se dos controladores dos *robots*, explica-se o que é que fazem e o subcapítulo termina com a descrição das capacidades do robot instalado na linha de produção. Posteriormente inserem-se os sensores. Com a mesma organização do subcapítulo anterior, começa-se por explicar o propósito e o funcionamento destes dispositivos antes de descrever as capacidades dos elementos utilizados na linha de produção. Neste subcapítulo fala-se sobre *encoders*, sensores óticos e sensores indutivos e como estes podem ser semelhantes aos sensores óticos de presença.

O subcapítulo 2.5 dedica-se aos Controladores Lógicos Programáveis (*PLCs*). Aqui descreve-se o propósito, o funcionamento e as capacidades atuais dos *PLCs* e que cuidados se devem implementar para mantê-los em bom estado.

No fim do capítulo fala-se das metodologias de análise de efeitos. As metodologias são utilizadas para procura, identificação e avaliação das causas que se creem provocar o efeito. Terminado este subcapítulo, deve se entender a utilidade das metodologias apresentadas no ambiente industrial.

2.1 Linhas de produção

Uma linha de produção é um sistema capaz de fabricar um produto de forma automatizada. Ela recebe matéria-prima, energia e uma ordem (ou pedido) e entrega o produto pedido. O desempenho da linha de produção é tanto maior quanto mais produzir e menos energia e tempo consumir. Naturalmente, a linha deve comunicar com o utilizador e deve controlar os processos automaticamente, com este princípio, é considerada, muito rudimentarmente, um sistema automatizado.

Um sistema automatizado é constituído por três blocos para cumprir a sua função:

1. Interface Homem-Máquina (*HMI* do inglês: *Human-Machine Interface*) – É o painel da máquina que fornece e recebe informação através de ecrã, botões, luzes, colunas, etc. É através dele que a máquina comunica com o utilizador.
2. Controlador – Considerado o cérebro do sistema, pode ser composto por lógica cablada, por um *PLC*, computador (PC) ou microcontrolador. A sua função é compreender a ordem do utilizador e, mediante a condição da parte operativa (entradas), emitir ordens de comando (saídas).
3. Parte Operativa – É o sistema físico da máquina responsável pelo processo produtivo. Nela estão inseridos os atuadores e os transdutores associados ao controlador. Os atuadores recebem diretamente a ordem de ação proveniente do controlador (saídas) e são responsáveis por gerar o movimento e realizar a operação. Os transdutores (sensores) interpretam um parâmetro ou condição e emitem um sinal para o controlador (entradas) para que ele possa diagnosticar o estado da parte operativa.

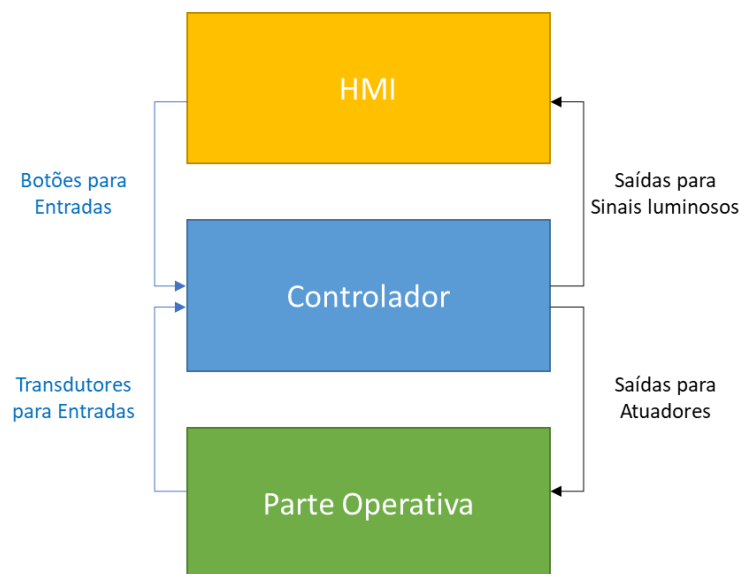


Figura 2.1 - Diagrama de blocos do sistema automatizado - Adaptado de (Canadas N., 2013)

2.2 Transportadores

Os transportadores são uma forma mais rápida e mais segura de transportar produtos em grande quantidade. São utilizados em inúmeras aplicações como elementos essenciais à produtividade das indústrias. Raramente se encontra um centro de produção bem desenvolvido sem um sistema de transportador incorporado (Semcor, 2022). Há também outras funções como o armazenamento de segurança (Figura 2.2), entre processos ou no fim da produção, ou a separação de produtos em conjuntos (Figura 2.3) (Monk, 2021; Seidel, 2022).



Figura 2.2 - Armazenamento de segurança (Monk, 2021)



Figura 2.3 - Separação de produto (Monk, 2021)

Existem muitos géneros de transportadores. Diferem principalmente devido aos produtos que transportam. São mais eficientes que o trabalho humano pois efetuam operações contínuas, reduzem o risco de acidentes, aumentam a eficiência e podem aumentar o fluxo da produção (Seidel, 2022; Semcor, 2022). Geralmente são motorizados com motores de corrente alternada (AC) (Semcor, 2022).

Podem ser transportadores de tapete rolante (Figura 2.5), de rolos por gravidade (Figura 2.7), de corrente, de mesa, aéreos (Figura 2.6), de carrinho em viga, em tubo (Figura 2.4), pneumáticos, entre outros, alterando significativamente os componentes necessários, flexibilidade do transporte, valor de investimento inicial, etc. As suas indústrias de aplicação são, por exemplo, empacotamento, automóvel, alimentar, farmacêutica, química, de computadores, aeroespacial, mineradora, armazenagem, e outras inúmeras indústrias. Dentro de todas elas a capacidade destes sistemas varia conforme a dimensão do próprio sistema e a dimensão dos motores utilizados (Seidel, 2022; Semcor, 2022).

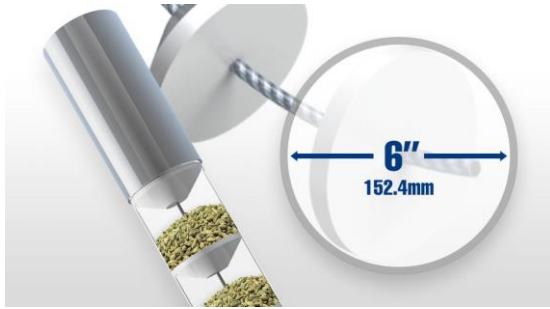


Figura 2.4 - Transportador em tubo (Seidel, 2022)



Figura 2.5 - Transportador de tapete rolante (Monk, 2021)

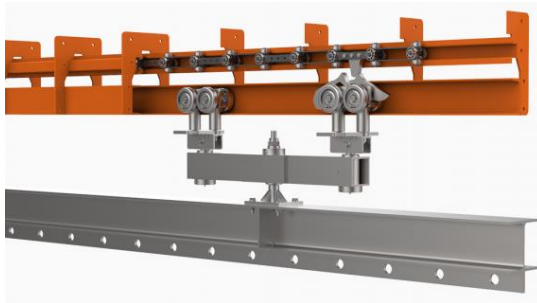


Figura 2.6 - Transportador aéreo (Railtechnik, 2022)



Figura 2.7 - Transportador de rolos (Móvel) (Monk, 2021)

Existem também transportadores que permitem a ação de operadores ou outros fatores produtivos durante o movimento. Esta é uma solução que implica um movimento mais lento, mas todas as peças continuam em movimento nesse processo. A aplicação é muito comum na indústria automóvel. Nos casos mais bem desenvolvidos encontram-se sistemas produtivos completamente autónomos e automatizados, não implicam trabalho manual pois os transportes são entre transportadores realizados por *robots* (Seidel, 2022).

A manutenção é um fator muito importante numa indústria e alguns transportadores apresentam vantagens devido à simplicidade e frequência reduzida de manutenção. Existem transportadores que podem ser mantidos sem a desmontagem do sistema e há deles, como os transportadores com correntes, que dificultam a limpeza ou que possuem peças difíceis de obter para efetuar manutenções ou reparações rápidas (Seidel, 2022).

2.2.1 Transportador de Mesa

Os transportadores de mesa são muito semelhantes aos transportadores de tapete rolante. Os tapetes rolantes são um dos equipamentos mais utilizados no setor da produção. “Quando se imagina uma fábrica, visualizam-se trabalhos em progresso, ao longo de um tapete rolante através de uma linha de montagem” (Semcor, 2022).

Aplicações

Os tapetes rolantes podem ser encontrados no dia-a-dia nos mercados, segurança e bagagem nos aeroportos, no ginásio e também nas fábricas, e tornaram-se tão presentes nestes ambientes devido à sua eficiência, versatilidade e durabilidade. Espera-se que acompanhem o desenvolvimento da inteligência artificial (IA) para melhorar o desempenho e trazer novos benefícios para os setores em que estão inseridos (Semcor, 2022).

Características

O desenvolvimento da automação em geral automatiza as capacidades dos tapetes rolantes. Tornaram-se mais eficientes e inteligentes. Empregam controlo de consumo de energia no funcionamento, encerramentos ou arranques, deteção de anomalias, registo de acontecimentos para prever falhas do sistema e efetuam análises estatísticas de outros dados que se queiram obter (Semcor, 2022).

Os transportadores de mesa são fortes e duráveis, fazendo-os ideais para quase todas as indústrias – especialmente indústrias que lidam com os produtos em si (não protegidos), como serviço alimentar ou bens não empacotados. Para além da sua durabilidade, estes tapetes são lisos e fáceis utilizar como mesa de trabalho, já que são rígidos. No entanto, por serem difíceis de deformar, os trajetos dos tapetes são também limitados à sua flexibilidade. Normalmente são feitos de alumínio, aço ao carbono ou aço e é possível ver na Figura 2.8 uma representação do tapete (Rexnord, 2022; Semcor, 2022).

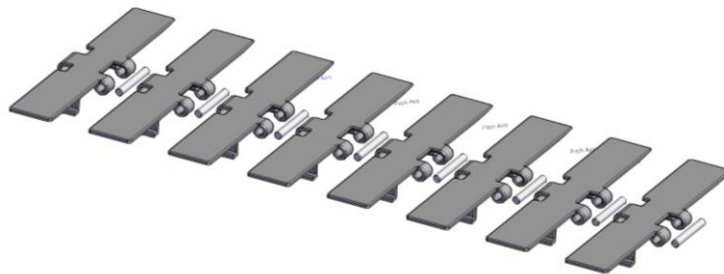


Figura 2.8 - Tapete de transportador de corrente de mesa (Rexnord, 2022)

Um transportador de mesa carrega e transporta sistematicamente materiais de um ponto A para um ponto B tipicamente num ambiente controlado de uma indústria. Variam em velocidade, direção,

curvatura e tamanho, mas funcionam geralmente com a utilização de duas polias motorizadas e uma superfície de material durável entre elas. Ao motorizar as polias à mesma velocidade e na mesma direção, a superfície move-se. Os transportadores deste género incluem três componentes principais – a estrutura, a unidade motora e a unidade do extremo. A estrutura é normalmente composta por perfis de alumínio, pela cadeia da mesa e pelos rolos ou rodas de suporte. A unidade motora consiste num motor, conexões elétricas e rolamentos. A unidade do extremo tipicamente inclui polias e grampos de tensão para tensionar a mesa. Adicionalmente podem ser incluídas peças específicas para mais funções, normalmente, para rigidez acrescida, guias laterais etc. (Semcor, 2022).

Falhas e soluções

As falhas de desempenho de transportadores resultam normalmente em défices de produtividade e quando é necessária uma intervenção ou paragem esta consequência é mais acentuada. Por esse motivo é necessária uma monitorização frequente destes elementos para garantir que não surgem problemas que comprometam a linha industrial em que estes estão inseridos, pois, independentemente da resistência dos transportadores, sempre existe desgaste e fadiga dos materiais e é crucial, não só agir corretamente em resposta a um problema, como agir em prevenção do problema e conhecer os problemas mais comuns destes componentes. Os problemas mais comuns podem ser enumerados em descarrilamentos, escorregamentos de tapete, bloqueios de rolos, engarrafamentos ou transbordos de material e há formas de preveni-los, através de medidas de segurança e manutenção (Semcor, 2022).

Para prevenir problemas com transportadores de mesa é recomendada a monitorização constante e cuidadosa destes equipamentos para evitar amontoamento de material, limpar o sistema regularmente, nivelar as estruturas e polias, verificar as bordas das superfícies móveis, manter os rolos lubrificados e substituir as peças desgastadas pois estes “sintomas” podem acumular e dar origem a problemas que prejudiquem a produção, ou que, num pior cenário, se traduzam numa perda de investimento. Também é recomendada existir uma preparação para reparações de emergência: manter em inventário as peças necessárias para reparações rápidas que não compliquem o funcionamento geral ou ter um plano secundário de sistema de produção enquanto o transportador estiver a ser reparado. Para prever os momentos de falha e definir se a peça está ou não a receber a manutenção correta deve-se ter noção da vida útil das peças presentes no sistema, manter documentada toda a alteração ou reparação das peças para dados estatísticos e adicionais previsões de falha e por fim, calendarizar a manutenção dos componentes (Semcor, 2022).

2.2.2 Transportador Aéreo

Os transportadores aéreos são um dos transportadores que se podem utilizar de forma a aproveitar o espaço inutilizado de um espaço industrial sem interferir com as zonas de passagem, otimizando assim o método de transporte de produtos de forma mais eficiente (Dematic, 2022; Pacline, 2022).

Aplicações

Os transportadores aéreos são muito utilizados na produção de peças, devido à capacidade de suspender peças de forma que seja possível aplicar tintas, tratamentos ou mesmo até para serem submersas em tanques (Figura 2.9). A sua função, para além do transporte do produto do ponto A para o ponto B é também garantir o armazenamento dos produtos, que, nos sistemas mais atuais de comércio eletrónico, nomeadamente da indústria têxtil, são capazes de registar a posição de um certo produto para se deslocar até uma posição pré-determinada de forma que o levantamento ou entrega de produto sejam feitos numa estação de carga/descarga a esse sistema (Dematic, 2022; Pacline, 2022).



Figura 2.9 - Transportador aéreo com mergulho em produto (Pacline, 2022)

Características

Estes equipamentos são compostos essencialmente por 4 componentes: as guias, a corrente, o motor e a estrutura. As guias definem o trajeto da corrente, normalmente são tubulares para a corrente se deslocar no seu interior e proteger a lubrificação, mas também podem ser feitas de vigas abertas e a corrente correr em cima da viga. A corrente é o componente móvel do transportador e o que interage com os produtos (Figura 2.10), ao transportar ou armazená-los, e define o distanciamento entre pontos de suporte às peças para que estas fiquem suspensas no sistema. O motor é, como esperado, o componente que fornece energia ao sistema para ser feito o deslocamento da corrente. A estrutura, que normalmente se trata de um conjunto de pilares estruturais ou é estruturalmente apoiada ao teto do armazém, suporta o peso das guias, corrente, motor e, inclusive, o das peças (Dematic, 2022; Pacline, 2022; Railtechnik, 2022).

A utilização destes sistemas, naturalmente apresenta efeitos de desgaste, principalmente visível na corrente, pois o constante tensionamento resulta numa deformação inevitável nos seus elos e provoca um aumento de distância total do perímetro da corrente, e por este motivo, em todos os sistemas de transportadores aéreos utiliza-se uma secção de “correção” nas guias, o esticador, para evitar congestionamentos de tensões nelas (Dematic, 2022; Pacline, 2022; Railtechnik, 2022).

É também natural se deparar com sistemas que lidam com peças de pesos consideráveis e recorre-se à utilização de mais de uma unidade motorizada para a alimentação de energia ao sistema e dessa forma distribuir melhor a carga de tensão à corrente. Os transportadores aéreos podem transportar produtos a velocidades de 30 cm/min até 1800 cm/min, dependendo das condições desejadas (Dematic, 2022; Pacline, 2022; Railtechnik, 2022).

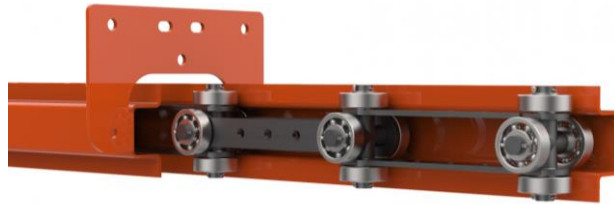


Figura 2.10 - Esquema de um transportador aéreo (Railtechnik, 2022)

Falhas e soluções

Quando estes sistemas representam um possível déficit de desempenho são vistos como um prejuízo significativo pois podem causar consequências que resultem num dano económico superior ao seu investimento. As guias são relativamente mais importantes neste aspeto devido ao esticador, que tem o objetivo de corrigir o comprimento total do trajeto do transportador e requer uma manutenção especializada, principalmente exigente nos primeiros meses de utilização do sistema. A corrente também é um componente que pode influenciar muito a eficiência do sistema devido à sua lubrificação, normalmente efetuada entre cada 2 semanas. Os motores podem demonstrar falhas, mas normalmente serão problemas relacionados com o equipamento, então a manutenção necessária a estes componentes é a recomendada pelo fabricante. É importante assegurar que este está inserido nas condições que o fabricante propõe (Pacline, 2022).

Para evitar os problemas mais comuns destes sistemas é aconselhada uma monitorização dos componentes, nomeadamente da secção de correção das guias, da lubrificação da corrente, dos motores e da estrutura (Pacline, 2022).

2.3 Robots

Robot é aquilo a que referimos quando se imagina um dispositivo mecânico avançado, autónomo, capaz de realizar certas tarefas como locomoção ou transporte de objetos (Gurgul, 2018). Um *robot* pode ser chamado de manipulador programável automático (Pandrea, 2017).

Aplicações

Os *robots* foram desenvolvidos para ajudar a concluir as necessidades dos seus utilizadores., isto é, ao atribuir uma tarefa, como instrução do utilizador, os *robots* realizam-na de acordo como essa tarefa em particular estiver programada. Os *robots* eram criados especificamente para realizar uma determinada tarefa, mas evoluíram a sua inteligência para fazer várias tarefas de forma mais eficiente. Atualmente encontramos *robots* em áreas muito vastas devido à flexibilidade que eles apresentam: militar, industrial, colaborativa, construção, agricultura, medicina, cozinha, doméstica, limpeza tóxica, nanotecnologia, *drones* autónomos, desporto, etc. (Kawasaki, 2022; Kuka, 2022; Palvadi, Dixit e Dutt, 2021).

Características

Os *robots* industriais são compostos pelo sistema mecânico, que é a estrutura e os elementos que ligam os eixos entre si, numa cadeia cinemática, pelo sistema atuador que transforma energia hidráulica, pneumática ou elétrica em movimento, normalmente consistem em atuadores rotativos ou lineares, e por último, pelo sistema de controlo, que dá início às operações, define a duração do movimento da cadeia cinemática e a velocidade de execução, contém também dispositivos para iniciar programas, gravar, reproduzir e transmiti-lo para o sistema atuador (Palvadi, Dixit e Dutt, 2021).

A interação dos *robots* com o seu meio é normalmente sustentada por um componente especial, o seu “órgão terminal”. O órgão terminal é a mão ou ferramenta que está conectada ao pulso do *robot* (Figura 2.11), seja ela uma pistola de solda, uma garra, pistolas de tinta, etc. Este componente é responsável por realizar a manipulação do objeto, então é normalmente muito específico devido a determinados detalhes da manipulação como o exemplo da Figura 2.12 (Carrara, 2015).



Figura 2.11 - Garra de dois dedos (Carrara, 2015)

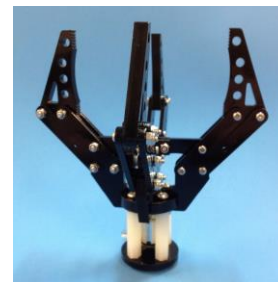


Figura 2.12 - Garra articulada (Carrara, 2015)

Dependendo da complexidade das funções envolvidas, um *robot* pode ser um manipulador simples, quando trabalha com sequências, limitados a operações sucessivas com secção simples de controlo do sistema, pode ser um *Robot Industrial*, quando tem a capacidade de efetuar rotinas ou programas internamente gravados para fazer certas funções ou movimentos, ou pode também ser um *Robot Industrial Inteligente*, com sensores de natureza mais específicas como sensores tátil, de força, de proximidade, de forma, ou presença e com sistemas de controlo capazes de ativamente corrigir ou tomar decisões com o fim de cumprir um certo objetivo (Pandrea, 2017).

Falhas e soluções

Os *robots* podem muito bem ser o equipamento mais flexível que encontramos em utilização, como já foi visto pelas aplicações em que podem ser inseridos. Como qualquer equipamento, deve ser seguro e fiável. A segurança e fiabilidade de um *robot* é certificada após uma verificação e uma análise, estudadas durante várias décadas para evitar falhas de desempenho ou acidentes no ambiente industrial (Dhillon, 1991).

Entre 1978 e 1983 foram registados 5 acidentes fatais com *robots*, 4 deles no Japão e 1 nos EUA e, apenas na suíça, 36 acidentes que causaram lesões humanas. No Japão, 8% das pessoas que trabalham com *robots* indicam que sofreram lesões e 36% experienciaram acidentes. As causas identificadas que originaram estas situações são:

- Acesso súbito na área do *robot* por humanos;
- *Robot* age incorretamente em operação normal;
- *Robot* age incorretamente em operação manual;
- Movimento incorreto do equipamento periférico enquanto se ensina ou testa o *robot*;
- Movimento incorreto do equipamento periférico enquanto o *robot* opera em modo normal;
- Ação incorreta durante reparação, ajuste e verificação;
- *Robot* age erraticamente enquanto se ensina ou testa o *robot* (Dhillon, 1991).

Identificam-se seis fontes principais de perigos associados com *robots*:

- Falhas devido a equipamento hidráulico, elétrico e pneumático;
- Erros de controlo devido a interferência elétrica e problemas de sistema de controlo ou software;
- Fatores externos (radiação, poeira e fumo);
- Acesso de pessoal não autorizado no espaço do *robot*;
- Fatores mecânicos (corrosão, sobrecarga, fadiga e perigos de peças do *robot*);
- Erros humanos (Dhillon, 1991).

Para melhorar a segurança do *robot*:

- Design adequado para falhas seguras;
- Design adequado para controlo de paragens de emergência;
- Eliminação da necessidade de humanos na zona de perigo durante o modo de operação automática;
- Menor velocidade de movimento do *robot* enquanto se ensina, testa, define e afins;
- Cooperação próxima entre o fabricante e o utilizador (Dhillon, 1991).

Um *robot* pouco fiável pode se tornar a causa de condições inseguras, altos custos de manutenção, inconvenientes, etc. Os *robots* usam peças elétricas, mecânicas, pneumáticas, eletrônicas e hidráulicas, logo tem muitas fontes diferentes de falhas. O melhor tempo médio entre falhas (MTBF) em 1987 era de apenas 2500 horas. Os problemas dos *robots* que podem contribuir para tempo parado:

- Colisões dentro da jaula;
- Falha na fonte de alimentação;
- Sincronização; Braço de *Robot* rígido;
- Falha de partes do braço do *robot*; Sobreaquecimento de equipamento hidráulico;
- *Robot* imóvel;
- Fusível queimado;
- Problema de ferramenta;
- Falha na cablagem (Dhillon, 1991).

Na teoria da fiabilidade existem vários métodos desenvolvidos para efetuar análises de fiabilidade. Essencialmente existem dois métodos de análise de fiabilidade de sistemas de engenharia utilizados vastamente, são conhecidos como a *FMEA*. O tempo médio de avaria do *robot* (*MTRF*) pode ser calculado a partir da seguinte equação:

$$MTRF = \frac{Trp - Tdrf}{Fr} \quad (2.1)$$

Sendo "*Trp*" o tempo de produção, "*Tdrf*" o tempo de paragem de produção devido a avaria do *robot* e "*Fr*" o número de avarias." (Dhillon, 1991).

2.3.1 Controlador do *robot*

Um *robot* é, de certo modo, um sistema automatizado, como se classificou a linha de produção. Com uma função mais particularizada, é responsável por realizar uma determinada tarefa ao movimentar um “corpo” (manipulador) de forma a manipular ou interagir com outros componentes. Como mencionado anteriormente, o controlador de um sistema automatizado é o cérebro do sistema. Assim, o controlador de um *robot* deve ser capaz de receber informação sobre qual a tarefa pretendida e a posição do manipulador e então comandar o manipulador a se movimentar (Figura 2.13).

Os controladores dos *robots*, tal e qual um controlador de um sistema automatizado, podem ser compostos por um *PLC*, *PC* ou microcontrolador. Necessitam de um componente de memória para guardar o procedimento de prognóstico de entradas para expedir as saídas quando for pretendido (programa algorítmico), uma componente de processamento para processar o procedimento programado e uma interface de entradas e saídas para alterar os valores conforme a situação presente. Normalmente, numa linha de produção, as ordens do utilizador são dadas a um *PLC* mestre que gere um conjunto de sistemas, então, os *robots* industriais recebem as ordens de tarefas desses *PLCs* e, após concluída a tarefa, informam que o pedido foi realizado.

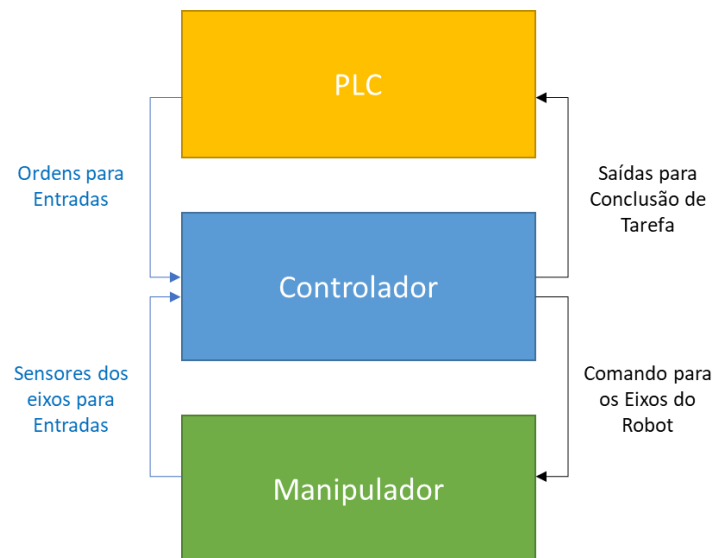


Figura 2.13 - Esquema de controlo do robot

2.3.2 IRB 6700 - Folha de dados (*Data Sheet*)

A ABB disponibiliza uma *Data Sheet* referente ao *robot* da empresa (Figura 2.14) (ABB, 2021). Este documento evidencia a família dos *robots* da ABB, nomeadamente os IRB 6700 e compara o seu design com os produtos anteriores a esta versão e está apresentado no Apêndice 5.



Figura 2.14 - Capa da Folha de dados do IRB 6700 (ABB, 2021)

As características e benefícios deste *robot* são essencialmente:

- Aumento de intervalos de serviço e menores tempos de reparação;
- Melhor horário útil – Tempo médio entre falhas de 400,000 horas;
- Disponível com o “*LeanID*” para melhoria de custo em função da vida útil da proteção;
- Mais robusto com uma estrutura rígida e uma nova geração de motores e caixas de engrenagens compactas;
- Aumento de velocidade e tempos de ciclo menores – em média 5% mais rápido;
- Melhor precisão e cargas superiores;
- Opera nos ambientes mais agressivos – disponível com o pacote “*Foundry Plus 2*”;
- Eficiência energética 15% inferior à anterior (ABB, 2021).

2.3.3 IRB 6700 - Especificação do produto

Sendo um produto da ABB, o *robot* possui uma ficha técnica do fabricante, a Especificação do produto IRB 6700 (Figura 2.15), que contém toda a informação que um comprador do produto necessita para poder selecionar, melhorar ou adaptar o *robot* às aplicações desejadas (ABB, 2021). A versão estudada foi a revisão T.

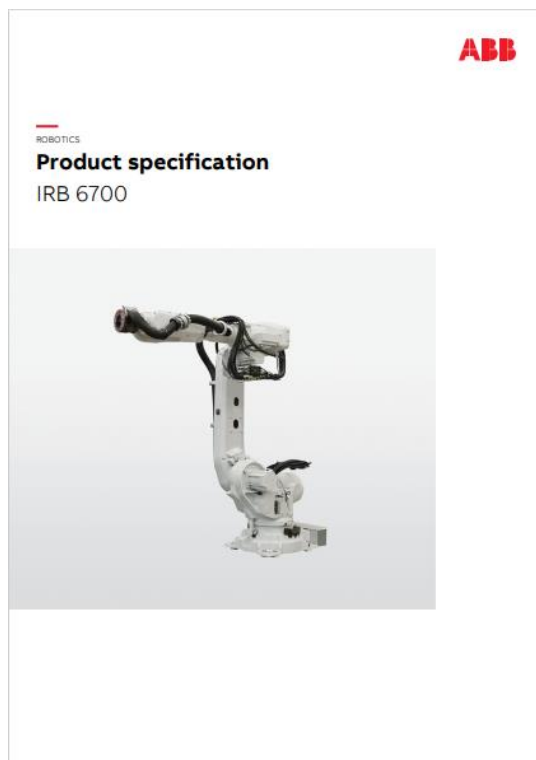


Figura 2.15 - Capa da Especificação do produto do IRB 6700 (ABB, 2021)

Descrição

A descrição do produto é uma secção esquematizada do documento para descrever o *robot* em si e as características que apresenta para estar apto para as aplicações a que se destina. Esta informação pode ser revista no Apêndice 7 (ABB, 2021).

Essencialmente este capítulo da Especificação do produto IRB 6700 contém informação sobre:

- A Estrutura do *robot*, com tabelas de classificação e nomenclatura de várias variantes do *robot*, consumo de energia e dimensões de braços;
- As Normas obtidas pelo produto através da confirmação de sucesso nos testes especificamente criados para normalizar a qualidade destes *robots*;
- A Instalação do *robot* em ambiente industrial, nomeadamente as temperaturas e humidades apresentadas ao *robot* e as cargas aplicadas ao solo, uma vez o produto instalado;
- A Calibração e Referências do *robot* e como se podem realizar, bem como os resultados esperados dessas calibrações;
- Os Diagramas de Carga da capacidade do *robot* para a aplicação de Material Handling (MH), referindo não só a carga admissível como o torque nos eixos do manipulador;
- A Montagem de Equipamentos no *robot* e a alteração das capacidades do *robot* com estas alterações;
- A Manutenção do *robot*;
- Os Movimentos do *robot* com a descrição do alcance angular dos diferentes eixos e as condicionantes de dimensão do *robot* para evitar colisões com o próprio manipulador, com esquemas da precisão dos movimentos e posições do *robot* e velocidades admissíveis aos eixos para o bom funcionamento do equipamento;
- O Arrefecimento para o Eixo 1,
- A Pistola Servo, com a descrição esquemática das várias opções de utilização do *robot* na instalação (ABB, 2021).

Pacote de Proteção (DressPack)

O *DressPack* (DP) do produto é uma secção esquematizada do documento para descrever o pacote de proteção do *robot* desenvolvido pela ABB para melhor adaptação ao ambiente industrial e melhor desempenho no geral por parte do *robot*. Esta informação pode também ser revista no Apêndice 8 (ABB, 2021).

Essencialmente este capítulo da Especificação do produto IRB 6700 contém informação sobre:

- A Introdução ao DP do *robot*, com a descrição dos tipos de proteção utilizados para que áreas do *robot* é que se destinam, bem como as diferentes opções de DP de mais protetor a mais livre e possíveis limitações mecânicas aos eixos do *robot*;
- O Pacote de Proteção (*DressPack*), essencialmente uma opção de utilização de um conjunto de proteções selecionadas para as versões mais ágeis nas aplicações de MH ou Spot-Welding (SW), com opções de cablagem contida no *robot* ou externa ao corpo

do manipulador e as suas interfaces de ligações com os DP, bem como a alteração dimensional provocada no manipulador;

- O Tipo “H”/”HSE”, variantes recomendadas de aplicação deste *robot* para MH, descrevendo as opções de DP mais indicadas para tal;
- O Tipo “SE”, variante recomendada para portar Pistolas Servo, descrevendo também o DP ideal para esta aplicação;
- E por último, os Kits de Conexão (ABB, 2021).

Especificação de variantes e opções

A especificação de variantes e opções do produto é uma secção esquematizada do documento para descrever as várias possibilidades de como o manipulador pode ser inserido num meio industrial para melhor adaptação e melhor desempenho no geral por parte do *robot*. Esta informação está presente no Apêndice (ABB, 2021).

Essencialmente este capítulo da Especificação do Produto IRB 6700 contém informação sobre:

- A Introdução a Variantes e Opções do *robot*, simplesmente evidenciando a referência de opções aplicáveis ao manipulador ou ao seu controlador, pela Especificação do Produto de cada um dos equipamentos
- O Manipulador, e como as várias versões são nomeadas devido às suas características, o esquema de cores adaptável e possível peças extra para complemento de características do *robot*;
- O Equipamento, evidenciando os sistemas de arrefecimento disponíveis para o *robot* ou etiquetas de sincronização;
- A Cablagem de Chão e as suas características;
- O Processo de Pacote de Proteção, e o equipamento fornecido à priori para a instalação do *robot*;
- O Pacote de Proteção de Cablagem de Chão e as suas características;
- O Pacote de Proteção dos Braços Inferior e Superior e as suas configurações, de acordo com os eixos protegidos;
- Os Kits de Conexão e as características das diferentes opções fornecidas;
- A Pistola Servo e cablagem do atuador, seja ela estacionária ou robótica;
- E por fim, a Documentação do Utilizador, documento este fornecido após a obtenção do produto para informações adicionais sobre o *robot* (ABB, 2021).

Acessórios

Os acessórios recomendados para o *robot* são exclusivos da ABB e especialmente desenvolvidos para o manipulador. Em termos de software, a Especificação do produto IRC5 e a Especificação do produto Software IRC5 serão mais indicados para recolher informação (ABB, 2021).

2.4 Sensores

Os sensores surgiram no ano 1950 e são os elementos do sistema que relacionam a realidade física à digital dos sistemas industriais sendo este afetado por um fenómeno, corpo ou substância (Engerey, 2022; Teixeira, 2017).

“Um sensor é definido como um “dispositivo que recebe e responde a um sinal ou estímulo”. Esta definição é vaga, na verdade, é tão vaga que cobre tudo desde um olho humano ao gatilho de uma arma.” Os sensores que são utilizados nos sistemas artificiais devem comunicar com os dispositivos inseridos para então ser possível conectar um sensor a um sistema eletrónico através de cabos elétricos (Fraden, 2010).

O estímulo é a quantidade, propriedade ou condição que é recebida. O propósito de um sensor é converter um certo tipo de propriedade física de entrada (estímulo) num sinal elétrico que seja compatível com as propriedades elétricas de saída (Fraden, 2010).

Aplicações atuais

Os sensores acompanham constantemente os sistemas automatizados, que nos dias correntes se espalham por todas as áreas comerciais. São aplicados em inúmeras áreas incluindo médica, industrial, agropecuária, robótica, etc. (Engerey, 2022).

Naturalmente existem inúmeros tipos de sensores, podendo eles ser classificados de acordo com o tipo de energia que os estimulam: Óticos, sonoros, de temperatura, de radiação, de tensão, corrente, resistência ou potência elétrica, magnéticos, de pressão, de fluxo de fluídos, de nível de fluídos, químicos, cinéticos, de orientação, etc. (Aguirre, 2013).

Nos sensores óticos, muitos estímulos não podem ser diretamente convertidos em eletricidade, portanto seriam necessárias várias etapas de conversão. Mas se, por exemplo, é pretendido detetar o movimento de um objeto opaco, um sensor de fibra ótica pode ser implementado. Uma luz piloto gerada por um díodo luminoso (LED) é transmitida via fibra ótica até ao objeto e é refletida pela sua superfície. O fluxo de fotões refletidos entra na fibra ótica recetora e propaga-se até um foto-díodo onde é produzida uma corrente elétrica representando a distância entre a extremidade da fibra ótica e o objeto (Fraden, 2010).

Em 1831, Michael Faraday em Inglaterra e Joseph Henry nos Estados Unidos descobriram um dos efeitos fundamentais do eletromagnetismo: A capacidade de um campo magnético variável induzir corrente elétrica num fio. A voltagem induzida depende do movimento do campo magnético, da variação de corrente na bobine que produz o campo eletromagnético, da mudança de orientação da fonte magnética em relação ao circuito secundário e da mudança de geometria do circuito secundário, seja a esticá-lo ou contraí-lo ou a alterar o número de espiras da sua bobine. Se nenhum material magnético

for introduzido nas proximidades do indutor, a indutância dependerá apenas da geometria do dispositivo. É então possível determinar a presença de material magnético com um sistema deste género e classificamo-lo como um sensor indutivo (Fraden, 2010).

Características atuais

Existem duas categorias de sensores: diretos e complexos. Um sensor direto converte um estímulo num sinal elétrico ou modifica um sinal elétrico ao utilizar um efeito físico apropriado, ao contrário de um sensor complexo necessita de transformações de energia antes de um sensor direto ser instalado para gerar a saída elétrica. Um sensor faz sempre parte de um sistema do género de aquisição de dados. Ainda assim, este sistema pode fazer parte de um sistema de controlo maior que inclua vários mecanismos de feedback (Fraden, 2010).

Todos os sensores podem ser passivos ou ativos. Um sensor passivo não necessita de nenhuma fonte adicional de energia e gera diretamente um sinal elétrico em resposta ao estímulo externo. Os sensores ativos por vezes são chamados de paramétricos porque as suas próprias propriedades mudam em resposta a um efeito externo e estas propriedades podem ser subsequentemente convertidas em sinais elétricos (Fraden, 2010).

Dependendo da referência, os sensores podem ser absolutos ou relativos. Um sensor absoluto deteta um estímulo em referência a uma escala física que é independente de condições de medição, no caso de um sensor relativo, este produz um sinal que se referencia num caso especial (Fraden, 2010).

Outra forma de caracterizar um sensor é considerar algumas das suas propriedades que possam ser de um interesse específico:

- Especificações do sensor (sensibilidade, gama, estabilidade, resolução);
- Material do sensor (inorgânico/orgânico, condutor, isolador, semiconductor, líquido, gás ou plasma);
- Meio de deteção (biológico, químico, elétrico, eletromagnético, calor ou temperatura, mecânico ou cinético);
- Fenómeno de conversão (físico, termoelétrico, fotoelétrico, fotomagnético, químico);
- Área de aplicação (agricultura, automóvel, engenharia civil, ambiente/meteorologia, energética, medicina, militar, doméstica);
- Estímulo (acústico, biológico, químico, elétrico, magnético, ótico, mecânico, radiação, térmico) (Fraden, 2010).

Já que a maioria dos estímulos não são elétricos, de uma entrada para uma saída, um sensor pode ter várias etapas de conversões de energia antes de produzir o sinal elétrico de saída.

Hoje em dia podemos encontrar sensores fotoelétricos, capazes de emitir uma fonte luminosa e interpretar, estudando a reflexão provocada por um objeto, vários parâmetros como cor, dimensão ou proximidade, sensores laser, com o mesmo princípio dos óticos, mas com resolução e sensibilidade para detetar corpos de muito menores dimensões, sensores magnéticos, capazes de detetar campos eletromagnéticos, sensores de pressão, capazes de detetar pressões de circuitos de fluídos, mesmo que sejam corrosivos, sensores indutivos, capazes de detetar a presença de materiais metálicos, sensores capacitivos, capazes de detetar qualquer tipo de massa, seja esta metálica, plástica sólida ou líquida, sensores ultrassónicos, capazes de detetar corpos não diretamente visíveis, como camadas de material consecutivas, etc. (Engerey, 2022).

Falhas e Soluções

Os sistemas de controlo utilizam sensores para conhecer o estado do processo que comandam. Um sensor pode comprometer a fiabilidade, qualidade, funcionamento ou mesmo a segurança dos sistemas nos quais estão inseridos.

Devido ao grande avanço da tecnologia da automação os sensores foram dispositivos melhorados de forma exponencial desde as suas primeiras aplicações. Para dispositivos eletrónicos este valor pode ser calculado à base dos seus componentes, normalmente especificada em anos. Um sensor de 3 anos até 6000 anos. Os métodos de manutenção dos sensores dependem das suas características, aplicações, instalações e meio onde se encontram. Essencialmente a melhor forma de manter os sensores é uma limpeza e inspeção frequente e examinar ocasionalmente os seus sinais de saída (Festo, 2022).

2.4.1 Codificador/Encoder

Um *encoder* é um dispositivo eletromecânico que converte o comportamento angular do seu eixo num sinal digital. Existem *encoders* incrementais e absolutos. *Encoders* absolutos enviam um sinal diferente para cada posição axial e os incrementais enviam sinais relativamente ao movimento axial (Figura 2.16) (AKM, 2022). Na linha de produção da empresa são utilizados *encoders* incrementais que indicam a velocidade e o sentido de rotação, respetivamente, nas linhas de sinal A e B:

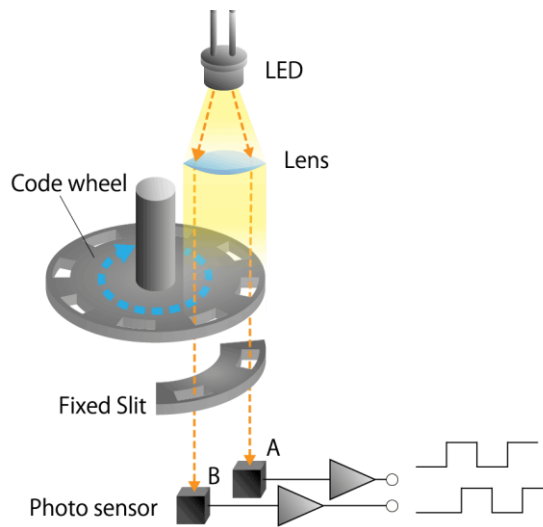


Figura 2.16 - Esquema de funcionamento de um encoder incremental (AKM, 2022)

Estes *encoders* de duas linhas têm mais resolução quanto mais aberturas se encontram no disco rotativo (AKM, 2022). O seu *pulserate* (PPR), definida pelo número de aberturas, permite calcular o número exato de pulsos emitidos por rotação do *encoder* (Bertoni e Andre, 2020):

Tabela 1 - Contagem de impulsos dos encoders

Sentido positivo	Sinal			
A	0	1	1	0
B	0	0	1	1
Pulso	1	2	3	4

Logo, ao entrar e sair de cada abertura, são emitidos 4 pulsos, pelo que o número de pulsos por rotação será 4 vezes superior ao número de aberturas no disco:

$$N_{impulsos} = PPR \times 4 \quad (2.2)$$

2.4.2 Sensores Óticos

O sensor ótico é um equipamento essencial na indústria moderna. Funciona a partir da emissão e recepção de um feixe de luz. Cada objeto comporta-se de maneira única quando reflete luz, o sensor ótico utiliza essa característica para detetar substâncias e materiais, ou seja, emite-se uma luz e, dependendo do índice de reflexão e difração, consegue-se interpretar o reflexo para determinar o formato (Figura 2.18), cor (Figura 2.17), espessura ou tamanho do objeto e, ainda, a distância existente entre o objeto e o sensor (Figura 2.19).

Sensores óticos podem funcionar a partir de diversos tipos de luz: laser, vermelha ou infravermelha. O tipo mais adequado depende da função a ser desempenhada, por exemplo, detecção de objetos por formato, cor, distância ou espessura (Ifm, 2022).



Figura 2.17 - Sensor de cor (DJP, 2022)



Figura 2.18 - Sensor de contraste (DJP, 2022)



Figura 2.19 - Sensor de distância (DJP, 2022)

Para cada aplicação existe um tipo de sensor indicado, principalmente pela emissão de um tipo de luz. Nesse sentido, a luz vermelha é indicada para objetos maiores, como caixas e objetos não-metálicos. O laser é mais preciso e pontual, portanto é indicado para corpos de menores dimensões. Por fim, a luz infravermelha é utilizada em fábricas de embalagens, devido a sua eficiência com objetos transparentes, como vidros e garrafas. Além disso é importante mencionar os diversos formatos construtivos e especificidades que amplificam a gama de funcionalidades agregadas aos sensores óticos. Entre os tipos de sensores óticos disponíveis, podemos destacar sensores óticos: difusos, difusos com supressão de fundo, sensores retro reflexivos, sensores de barreira, sensores de forquilha, óticos angulares em “I”, tipo janela, BGL – sensores óticos tipo grade de luz, BLA – barreiras óticas multifuncionais, sensores de cor, sensores de contraste, sensores de luminescência, amplificadores para fibra ótica, fibras óticas e sensores de distância (DJP, 2022; Festo, 2022).

2.4.3 Sensores Indutivos

Os sensores indutivos são sensores que funcionam sem contacto físico. Têm sido implementados nas indústrias com mais frequência por essa característica. Sem entrar em contacto direto para responder à presença de um objeto metálico ou galvânico, tem vantagens como:

- Sem desgaste mecânico, resultando numa vida útil mais longa;
- Sem tempos de inatividade por contactos sujos;
- Sem folga de contacto, logo, sem erros de comutação;
- Altas frequências de comutação;
- Resistente à vibração;
- Alto grau de proteção;
- Posição de montagem versátil.

O sensor indutivo é composto por um núcleo de ferrite envolto por uma bobine, um circuito oscilador e, por fim, um circuito gatilho em conjunto com um amplificador (Gatilho de Schmitt) (Figura 2.20 e Figura 2.21) (Festo, 2022).

Estes sensores estimulam-se através de uma variação no campo eletromagnético na extremidade do dispositivo. Quando um material metálico penetra este campo, são induzidas pequenas correntes parasitas. Com a indução no metal, ocorre uma diminuição na energia do campo e, conseqüentemente na amplitude do sinal proveniente do oscilador. Quando este sinal se torna muito baixo, o circuito de disparo percebe a mudança e altera a tensão de saída. Fornecendo uma resposta lógica, de nível alto ou baixo, permite-se a utilização deste sinal num esquema de controlo (Citisystems, 2022).

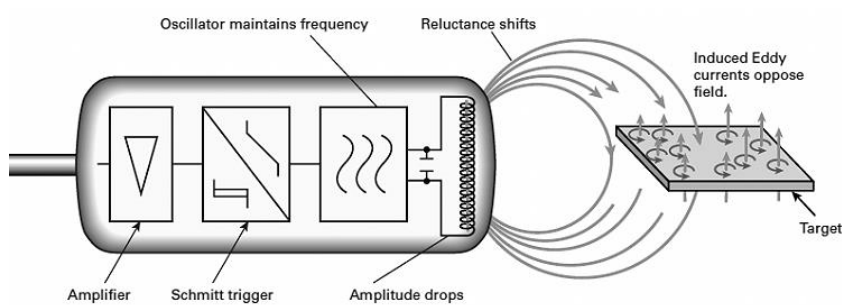


Figura 2.20 - Esquema eletrónico do sensor indutivo (Citisystems, 2022)



Figura 2.21 - Sensor indutivo (Omron, 2022)

2.5 Controlador Lógico Programável ou PLC

Controladores Lógicos Programáveis (do inglês: *Programmable Logic Controllers - PLC*) ou autômatos industriais, são dispositivos eletrônicos com processador, especializados em controlo. São capazes de controlar sistemas completamente automatizados. Os PLCs são projetados para serem programados com diagramas *Ladder* em vez de linguagens de computador comuns (Alphonsus e Abdullah, 2016; Bolton, 2006).

Aplicações atuais

Os PLCs normalmente fazem parte de sistemas automáticos nas indústrias. São muito eficientes e fiáveis em aplicações que envolvam controlo sequencial e nas indústrias de processamento. Além de possuírem vantagens tecnológicas, usar PLCs diminui também o preço nos sistemas de controlo de elevado nível de complexidade (Figura 2.23). Atualmente, a maioria dos elementos de controlo utilizados na lógica dos sistemas foi substituída por PLCs (Alphonsus e Abdullah, 2016).

Os dispositivos de entrada (como interruptores), e os dispositivos de saída (como motores), que são controlados são conectados ao PLC. O controlador monitoriza as entradas e envia saídas conforme o processo programado (Alphonsus e Abdullah, 2016).

Os PLCs foram usados pela primeira vez na indústria automóvel no fim dos anos 1960, o seu equipamento era controlado por circuitos inflexíveis discretos. A *General Motors* desenvolveu as especificações para um controlador lógico programável para substituir as relés comuns. A ideia mais radical foi a implementação de uma linguagem programável baseada num esquema de entradas (interruptores, botoneiras, etc.) representadas por contactos e saídas (solenoides, motores, lâmpadas, etc.) representadas por bobines (Figura 2.22) (Alphonsus e Abdullah, 2016).

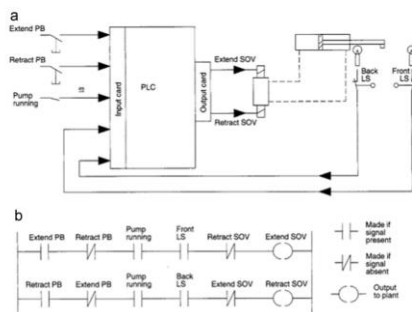


Figura 2.22 - Conversão de Diagrama de blocos (a) para Ladder (b)

(Alphonsus e Abdullah, 2016)



Figura 2.23 - PLC CP1E (Omron, 2022)

Características atuais

Dick Morley concebeu o primeiro controlador lógico programável em 1 de janeiro de 1968. Quando a sua empresa *Gould Modicon Company* desenvolveu o primeiro PLC, o 084 PLC, foi instalado na

Oldsmobile da *General Motors* na Pensilvânia. O primeiro *PLC* era grande e caro. Era apenas capaz de controlar lógica *ON OFF*, que limitava a sua aplicabilidade. As inovações na tecnologia dos microprocessadores e técnicas de programação em software adicionaram capacidades aos *PLCs* que permitiram efetuar processos de controlo mais complexos e com maior rapidez tanto que, atualmente, existem várias dezenas de fabricantes de *PLCs* (Alphonsus e Abdullah, 2016).

Um *PLC* moderno é um dispositivo semelhante a um computador projetado para controlar um determinado processo. Recebe informações de sensores que monitorizam o estado do sistema, e altera o estado de determinados atuadores (Alphonsus e Abdullah, 2016).

Geralmente, os *PLCs* não possuem elemento de armazenamento removível ou fixa, como disquetes e unidades de disco rígido, mas possuem memória de estado sólido para armazenar programas. Os *PLCs* podem equipar uma tela de *HMI*, é usada para mostrar o estado do processo ou da máquina de produção ou mesmo para programar os *PLCs*. Vêm também equipados com terminais para dispositivos de campo de entrada e saída, bem como conectores de comunicação. Os *PLCs* executam apenas uma tarefa de forma ordenada e sequencial, da primeira à última instrução, de acordo com o programado (Figura 2.24) (Alphonsus e Abdullah, 2016; Rullán, 1997).

Falhas e Soluções

Os dispositivos eletrônicos de uso industrial são capazes de suportar temperaturas e humidades extremas, picos e quedas de tensão nas linhas de energia, atmosferas que geralmente contêm vapores corrosivos, óleos e poeiras e resistir a choques e vibrações. Os sistemas de controlo em *PLC* foram projetados para cumprirem esses requisitos, serem facilmente instalados e mantidos. Os módulos de entrada/saída para conectar dispositivos de campo são facilmente conectados e substituídos. O uso de indicadores de falha e mensagens exibidas na tela do programador simplifica a resolução de problemas (Alphonsus e Abdullah, 2016).

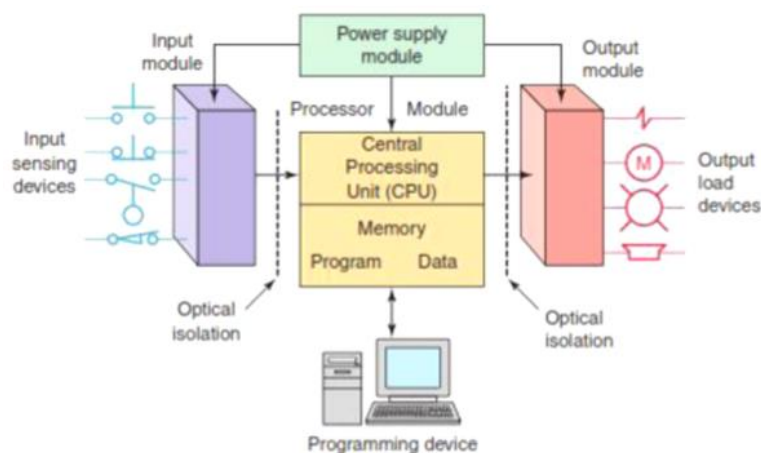


Figura 2.24 - Esquema de ligações ao PLC de um sistema controlado (Alphonsus e Abdullah, 2016)

2.6 Metodologia

Uma metodologia foi sugerida pela equipa orientadora da empresa, baseada numa análise particular. O processo começa por especular os fatores que estão ligados à ocorrência estudada, identificar a sua existência e analisar os mais relevantes.

2.6.1 Diagrama de Causa-Efeito

A análise Causa-Efeito é um método analítico de pesquisa teórica. Proposto pelo Prof. Kaoru Ishikawa no Japão nos anos 1960, o diagrama de Ishikawa é uma representação gráfica da conexão entre um resultado e os fatores que o influenciam, com uma configuração icónica que a faz ser conhecida também como diagrama de espinha de peixe. Assim, o diagrama demonstra uma imagem geral acerca das causas que provocam um determinado efeito (Figura 2.25) (Botezatu *et al.*, 2019).

A elaboração do diagrama é composta por 4 etapas: 1 – a definição do problema, onde é descrita toda a informação necessária para conhecer intrinsecamente o efeito em análise; 2 – Representação gráfica, que consiste na elaboração do diagrama; 3 – Análise da informação, com revisão das causas e uma avaliação ponderada sobre quais as mais prioritárias; 4 – Plano de ação, para procurar e planear uma solução que possa corrigir a causa (Botezatu *et al.*, 2019).

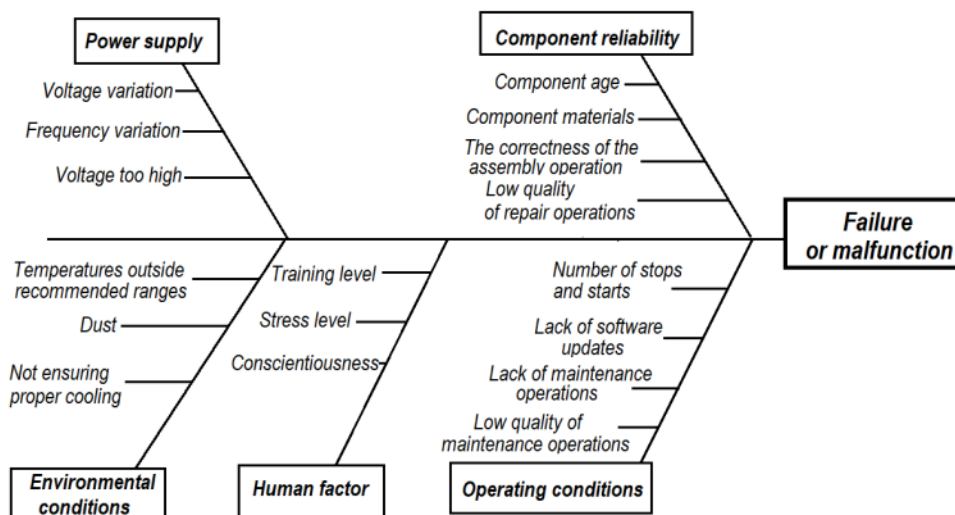


Figura 2.25 - Diagrama de Ishikawa numa falha de um sistema informático (Botezatu *et al.*, 2019)

2.6.2 AMFE

A Análise de Modo e Efeito de Falha (AMFE) (do inglês *Failure Mode and Effect Analysis*) é uma ferramenta que estuda os efeitos de falha de um sistema, avalia e classifica as falhas consoante a sua importância. O objetivo é diminuir a probabilidade das falhas do produto ou processo e assim aumentar a sua fiabilidade. Esta metodologia começou a ser utilizada no início dos anos 1950 em sistemas de controlo de voo da Marinha dos EUA (Carlson, 2012). A metodologia AMFE pode ser aplicada em processos já em operação para aumentar a sua fiabilidade, por meio da análise das ocorrências identificadas, aplicada num formulário continuamente revisto e alterado (Apêndice) (Carlson, 2012).

A AMFE proporciona à organização um catálogo sistemático de informação sobre as falhas, uma mais fácil compreensão dos problemas, uma listagem de melhorias para o processo e uma atitude de prevenção de falhas a uma equipa dentro da organização (Carlson, 2012).

De acordo com esta metodologia começa-se por identificar as funções, os tipos de falha, os efeitos e as possíveis causas. Seguidamente são avaliados os riscos de cada falha e quantificados por meio de índices e, por fim, são tomadas ações para diminuir esses riscos de acordo com a prioridade ordenada pelos índices (Carlson, 2012).

Tabela 2 - Passos da AMFE (Department Of Defense, 2005)

Passos	Descrição
1º	Definir fronteiras do sistema e especificações em detalhe
2º	Listar todos os sistemas e subsistemas em detalhe
3º	Listar todos os modos de falha possíveis, a identificação e a descrição do componente em questão
4º	Listar o efeito de cada modo de falha no subsistema
5º	Atribuir uma taxa de falha ao modo de falha de cada componente
6º	Incluir observações para todos os modos de falha
7º	Rever todos os modos de falha e executar as medidas apropriadas para evitar falhas funcionais

Os Índices da AMFE (R) provêm da análise às falhas de acordo com a Severidade (S), a Ocorrência (O) e a Detetabilidade (D). São calculados através da multiplicação destes fatores, como demonstra a equação (Carlson, 2012):

$$R = S \times O \times D \quad (2.3)$$

A reter do Capítulo

Uma linha de produção é um sistema de equipamentos otimizado que processa uma ordem e executa uma série de tarefas que produzem o produto. É composta por vários componentes como transportadores, *robots*, sensores e normalmente é controlada por um *PLC*.

Nas linhas de produção mais automatizadas encontram-se múltiplos transportadores. Estes componentes facilitam o transporte de peças entre postos de trabalho ou “estações”. Na linha de produção da Stow Ovar existe um transportador de mesa e um transportador aéreo. Os transportadores são equipamentos que normalmente implicam um grande número de componentes. Uma das secções dos transportadores aéreos destina-se ao esticador. O esticador movimenta-se alterando o perímetro total do transportador para aliviar tensões da corrente que transporta o produto, é uma secção essencial para a durabilidade do sistema e implica uma manutenção frequente nos primeiros meses de utilização. A precaução genérica para prevenir as falhas destes equipamentos é claramente a manutenção e monitorização frequente.

Os *robots* são muito utilizados nas linhas de produção. São equipamentos altamente versáteis, fortes e precisos e com estas propriedades são ideais para manipular peças pesadas ou realizar movimentos complexos repetitivos. Estes equipamentos funcionam de uma forma semelhante às linhas de produção, no sentido de possuir um elemento de controlo (controlador do robot) que processa a informação sobre o meio e atribui uma ação ao manipulador robótico. O robot utilizado na linha de produção é um IRB 6700 da ABB, um robot industrial indicado para tarefas de manipulação de peças e processos de soldadura.

Os sensores são dispositivos que reagem a um estímulo. Na linha de produção é utilizado um codificador (*encoder*) incremental com dois sinais de saída para determinar a velocidade de deslocação do TA, cujo PPR representa $\frac{1}{4}$ do número total de impulsos por rotação. É também utilizado um sensor ótico para detetar a presença dos ganchos, mas, para o mesmo fim, uma vez que o objeto identificado é metálico, poderiam ser utilizados sensores indutivos.

O *PLC* é o elemento de controlo da linha de produção. À semelhança de um controlador de robot, ele pode interpretar a informação dos sensores do TA.

As metodologias utilizadas para cumprir os objetivos da dissertação são um diagrama de Ishikawa, que lista 12 possíveis causas para a má performance do robot, e a Análise de Modo e Efeito de Falha (AMFE), que organiza por risco cada falha dada a sua severidade, ocorrência e detetabilidade.

3. IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA

Neste capítulo é aplicada a metodologia apresentada no capítulo anterior, no subcapítulo 2.6. Começando pela esquematização da linha de produção, como representado na Figura 3.1, é criado o diagrama de causa-efeito e explicado o motivo pelo qual cada fator é colocado em causa. Segue-se a aplicação da AMFE para determinar as causas mais importantes e conclui-se com a descrição do projeto de um dispositivo que permita analisar experimentalmente a causa mais relevante.

3.1 Diagrama de Causa-Efeito

Devido à complexidade da linha de produção é útil esquematizar a estação de carga. Separaram-se os componentes presentes e desta forma obtém-se o diagrama da Figura 3.1:

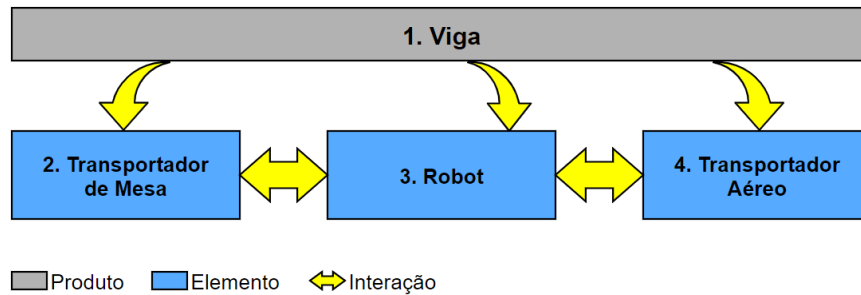


Figura 3.1 - Elementos da estação de carga

O Diagrama de Ishikawa (ou Causa-Efeito) (Figura 3.2) é criado de acordo com o diagrama anterior, preenchido com a cooperação de alguns colaboradores da empresa. Através de discussão, considerou-se as possíveis causas para o efeito em estudo:

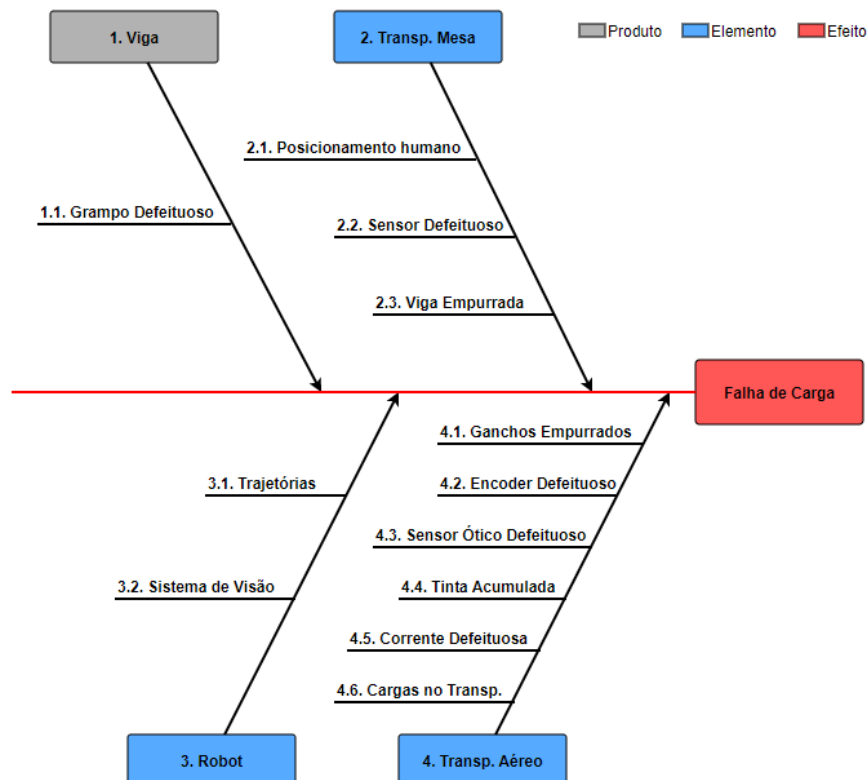


Figura 3.2 - Diagrama Causa-Efeito da falha de carga

Possíveis causas:

1. Na Viga:

- 1.1. “Grampo Defeituoso” (Figura 3.3). A qualidade das vigas tem efeito em todos os processos do seu fabrico e estar defeituosa vai influenciar em todo o processo e pode impedir o acoplamento. Há várias secções da linha que são supervisionadas para monitorizar a qualidade do produto.

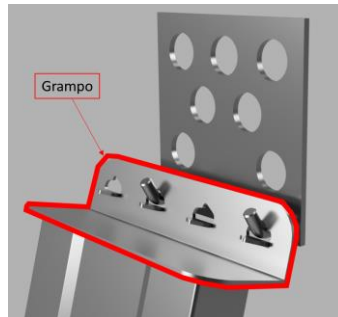


Figura 3.3 - Influência de “Grampo Defeituoso”

2. No Transportador de Mesa:

- 2.1. “Posicionamento humano” (Figura 3.4). O Transportador de Mesa atua após a soldadura robotizada dos grampos na viga. Pontualmente, esta soldadura origina imperfeições que necessitam de supervisão e intervenção de operários. Após intervir, os operários colocam a viga no TM manualmente, o que pode ser uma causa de desalinhamento.

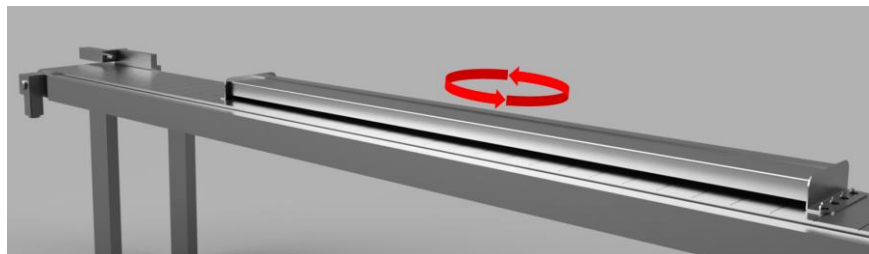


Figura 3.4 - Influência de “Posicionamento humano”

- 2.2. “Sensor Defeituoso” (Figura 3.5). A viga encontra-se no TM quando o *robot* a agarra. Para localizar a viga com precisão, ele utiliza a informação do sensor linear do transportador. Caso o sensor esteja defeituoso poderá provocar uma pega incorreta.

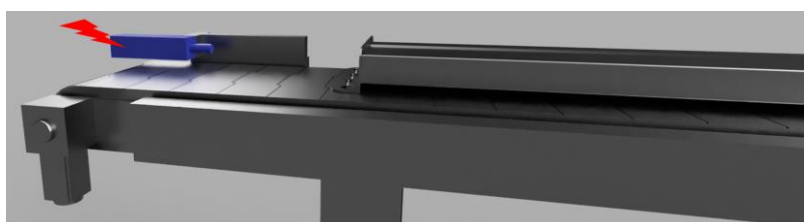


Figura 3.5 - Influência de “Sensor Defeituoso”

2.3. “Viga Empurrada” (Figura 3.6). O *robot* está preparado para lidar com cargas significativamente mais altas do que o peso normal das vigas. Caso o *robot* entre em contacto físico com a viga estando ela um pouco desalinhada, poderá desalinhá-la ainda mais da posição pretendida e causar danos permanentes na linha.

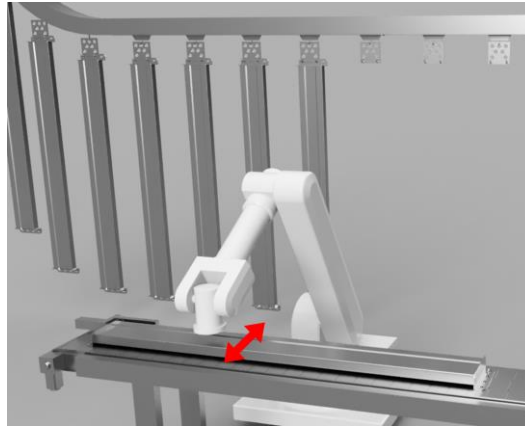


Figura 3.6 - Influência de “Viga Empurrada”

3. No Robot:

3.1. “Trajetórias”. O *robot*, naturalmente, tem movimentos “robóticos”, ou seja, efetua movimentos pouco naturais e difíceis de prever. Uma grande vantagem é este elemento ser programável e possível aperfeiçoá-lo de muitas formas sem grandes investimentos materiais. As suas trajetórias podem provocar colisões e danos na linha.

3.2. “Sistema de Visão” (Figura 3.7). O órgão terminal do *robot* é bastante complexo, possui vários atuadores e sensores, mas não é capaz de fazer correções antes de ocorrer a falha. Se o *robot* puder fazer uma verificação visual da posição dos pinos dos ganchos antes de realizar o acoplamento, a taxa de sucesso poderia ser de 100%. No entanto só seria significativa para as ocasiões que o sistema falha, por isso, sugere um elevado investimento para pouco rendimento.

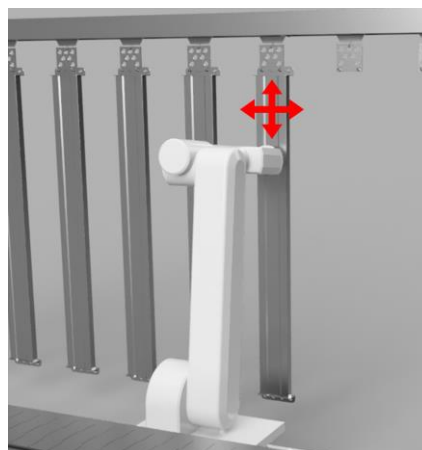


Figura 3.7 - Influência de “Sistema de Visão”

4. No Transportador Aéreo:

4.1. “Ganchos Empurrados” (Figura 3.8). Para realizar o acoplamento o *robot* aproxima a viga do gancho. O movimento de acoplamento é tão rigoroso que o órgão terminal, mesmo com mecanismos eficientes de alinhamento, pode colidir com o gancho e desviá-lo da posição pretendida. Esta hipótese provocará uma inevitável falha de acoplamento devido ao desalinhamento.

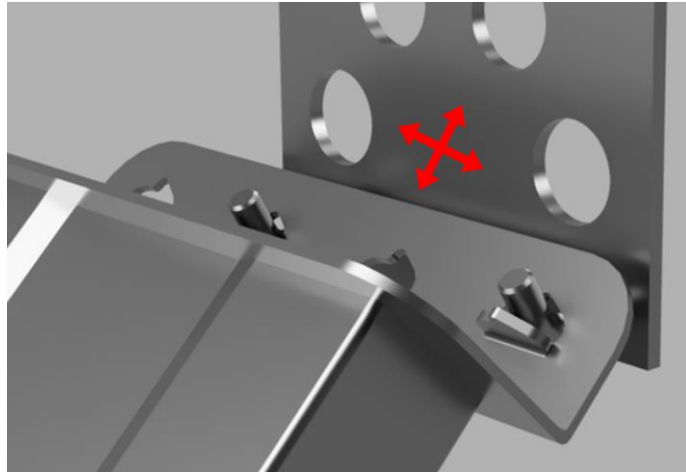


Figura 3.8 - Influência de “Ganchos Empurrados”

4.2. “Encoder Defeituoso” (Figura 3.9). O movimento horizontal do TA é lido pela velocidade que, neste caso, é interpretado pelo *encoder*. Uma vez que o gancho está em movimento no TA, o *robot* tem de acompanhar essa velocidade para realizar o acoplamento. Se o *encoder* apresenta algum déficit de desempenho a velocidade do gancho não será interpretada corretamente e provocará a falha.

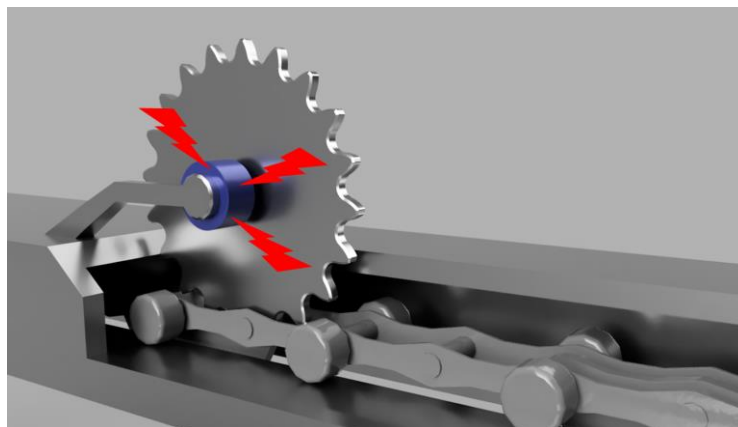


Figura 3.9 - Influência de “Encoder Defeituoso”

4.3. “Sensor Ótico Defeituoso” (Figura 3.10). O Sensor Ótico está numa determinada posição do TA e é estimulado pela presença de ganchos. Só depois de saber em que posição se encontra um gancho é que o *robot* pode interpretar e calcular a posição do gancho designado para acoplar a viga. Um defeito no sensor irá provocar uma escassez de informação e impedir o processo de carga.

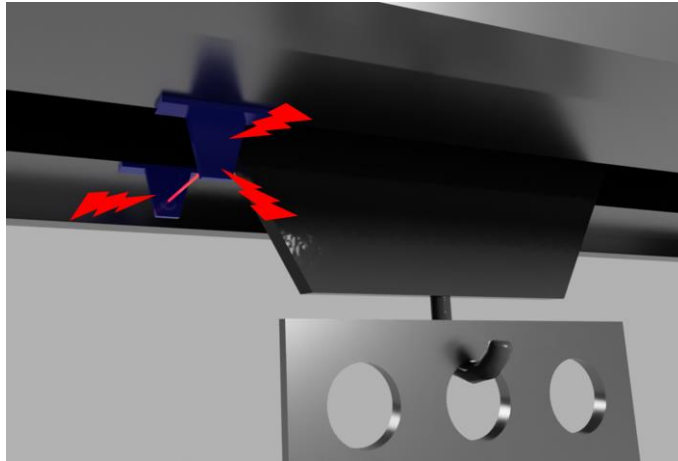


Figura 3.10 - Influência de “Sensor Ótico Defeituoso”

4.4. “Tinta Acumulada” (Figura 3.11). O TA tem o ciclo repetitivo de atravessar a estação de pintura. A deposição de partículas de tinta nos ganchos, nomeadamente, nos pinos que suportam as vigas é inevitável. O diâmetro dos pinos aumenta devido à espessura da tinta e torna-se impossível realizar o acoplamento.

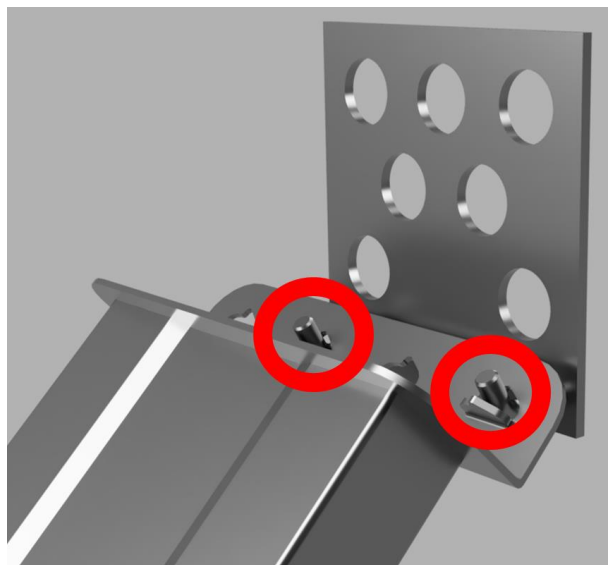


Figura 3.11 - Influência de “Tinta Acumulada”

4.5. “Corrente Defeituosa” (Figura 3.12). O TA contém várias inclinações ao longo do seu percurso que provocam tensões extremamente altas na corrente devido ao acumular de peso das vigas. Portanto a corrente dos ganchos admite grandes tensões. A resistência dos materiais pode diminuir devido

ao desgaste, neste caso, as correntes podem deformar com a presença de cargas mais extremas. Esta situação leva à alteração da distância entre ganchos e ao desalinhamento geral entre eles.

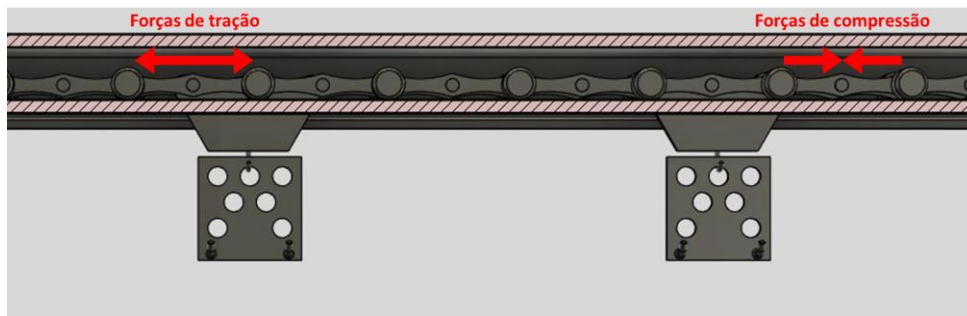


Figura 3.12 - Influência de "Corrente Defeituosa"

4.6. "Cargas no Transportador" (Figura 3.13, Figura 3.14 e Figura 3.15). As inclinações do TA provocam tensões que são transmitidas para o esticador do TA. O esticador é um mecanismo que se movimenta para aliviar as tensões à corrente de ganchos. Por isso, sem necessariamente alterar a velocidade do *encoder*, este movimento provoca desvios na posição dos ganchos em frente ao *robot*.



Figura 3.13 - Desvio por avanço dos ganchos

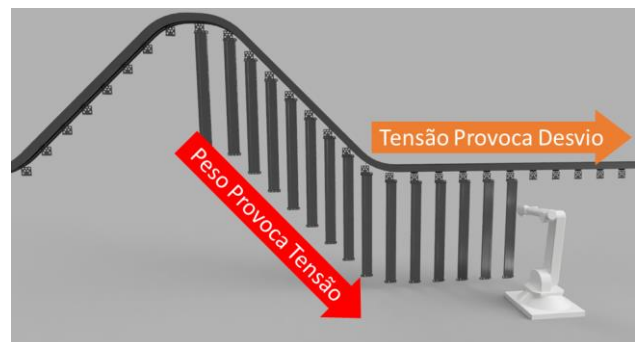


Figura 3.14 - Desvio por recuo dos ganchos

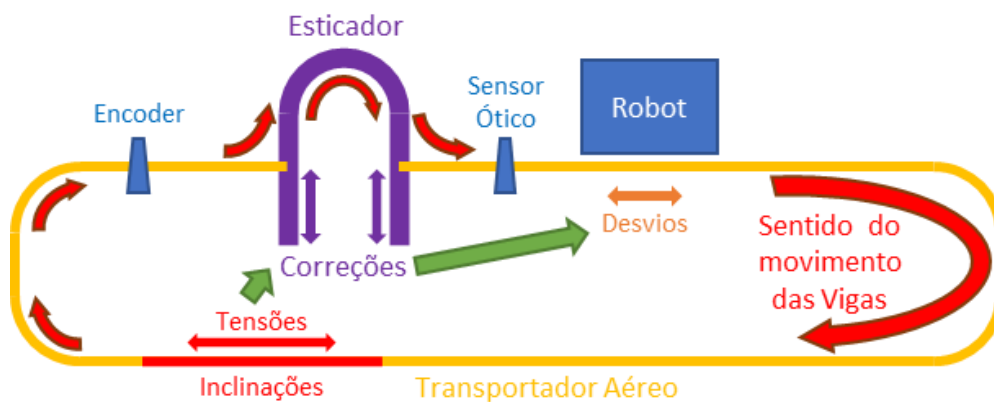


Figura 3.15 - Influência de "Cargas no Transportador"

3.2 AMFE

As possíveis causas do Diagrama de Ishikawa são alvo de uma Análise de Modo e Efeito de Falha. Esta análise permite quantificar a Severidade (S), Ocorrência (O) e Detetabilidade (D) de cada causa em estudo (Apêndice 11), priorizar as causas e, desta forma, localizar as que apresentam maior Risco (R).

Tabela 3 - AMFE

AMFE										
Componente	Função do Componente	Índex de Causa	Modo de Falha (Hipotético)	Efeito	Causa	Controlo Atual	Índices			
							S	O	D	R
1. Viga	Apresentar medidas precisas	1.1.	Impossibilidade de acoplamento	Falha consecutiva	Grampos Defeituosos	Qualidade	7	2	1	14
2. TM	Transportar a viga até ao robot	2.1.	Desalinhamento	Transportador tem de alinhar	Posicionamento Humano	Alinhamento Robotizado	1	6	1	6
		2.2.	Falha de informação	Robot não pega a viga	Sensor Defeituoso	Manutenção	6	2	3	36
		2.3	Colisão	Danos na linha	Viga Empurrada	Calibração	8	1	1	8
3. Robot	Transportar a viga do TM para o TA e efetuar acoplamento	3.1	Colisão	Danos na linha	Trajetórias	Calibração	8	1	3	24
		3.2	Desalinhamento	Falha de Acoplamento	Sistema de Visão	Sensores da estação de Carga	6	6	1	36
4. TA	Transportar os ganchos a uma velocidade constante e a viga pela pintura até à descarga	4.1	Desalinhamento	Falha de Acoplamento	Ganchos Empurrados	Manutenção	6	3	1	18
		4.2	Falha de informação	Falha consecutiva	Encoder Defeituoso	Manutenção	7	3	3	63
		4.3	Falha de informação	Falha consecutiva	Sensor Ótico Defeituoso	Manutenção	7	2	2	28
		4.4	Impossibilidade de acoplamento	Falha consecutiva	Tinta Acumulada	Manutenção	7	3	1	21
		4.5	Desalinhamento	Falha consecutiva	Corrente Defeituosa	-	7	1	8	56
		4.6	Desalinhamento	Falha de Acoplamento	Cargas no TA	-	6	5	10	300

A maior prioridade possível dos índices da AMFE (R_{max}) é a simultaneidade da Severidade máxima (S_{max}) e Ocorrência máxima (O_{max}) e Detecção mínima (D_{max}), que se traduz na seguinte equação:

$$R_{max} = S_{max} \times O_{max} \times D_{max} \quad (3.1)$$

$$R_{max} = 10 \times 10 \times 10 \quad (3.2)$$

$$R_{max} = 1000 \quad (3.3)$$

Tendo em conta que o maior valor do Índice da AMFE exibe 300/1000, conclui-se que a causa não apresenta um risco crítico, mas demonstra uma melhoria oportuna na fiabilidade do sistema. Estabelece-se então a prioridade das causas a estudar, sendo a prioridade mais alta a distribuição de cargas no TA com um índice de 300 seguida do seu *encoder* com um índice de 63.

A distribuição de cargas no TA apresenta o risco mais elevado devido à evidente inexistência de método de controlo da falha. Esta situação não pode ser evitada pois o transportador passa de cheio para vazio e vice-versa durante os ciclos de produção (Figura 3.16).

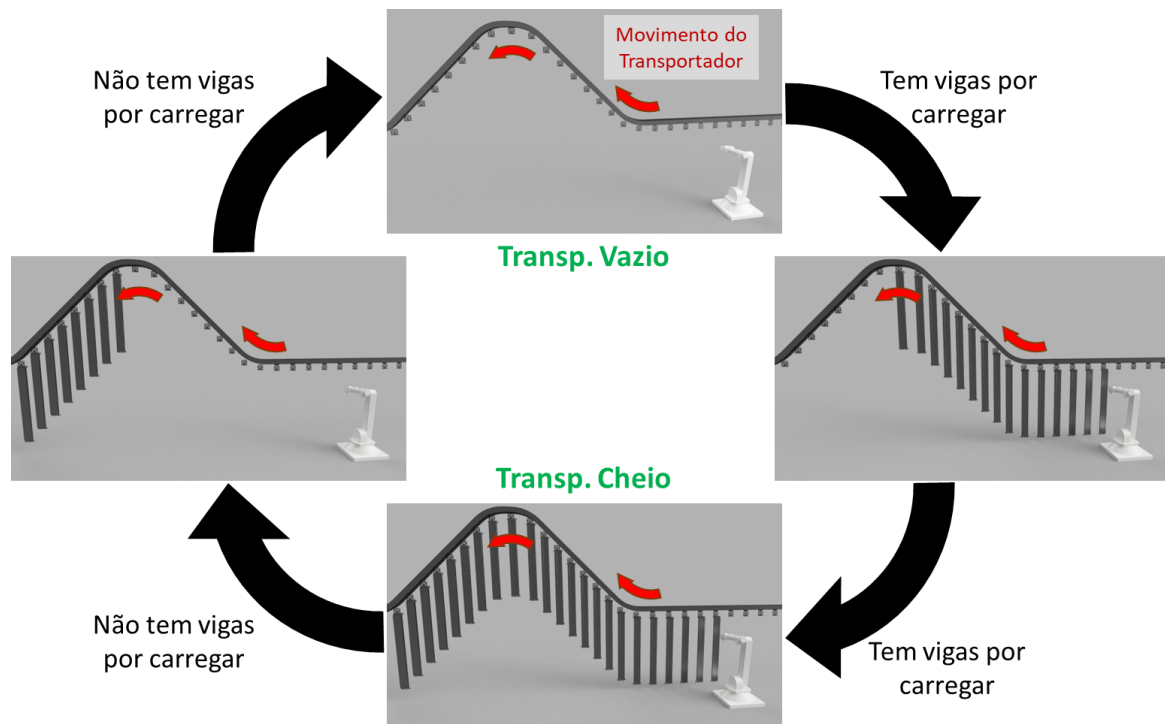


Figura 3.16 - Ciclo de enchimento e esvaziamento do TA

As inclinações, como demonstrado anteriormente no Diagrama de Ishikawa, dão origem às cargas, que, por não serem uniformes provocam variações nas posições dos ganchos.

3.3 Projeto prático

Estabelecida a prioridade de estudar o TA devido à distribuição das cargas, decide-se conceber um dispositivo que permita monitorizar os sensores do TA e comparar as leituras dos sensores com o comportamento real em frente ao *robot*.

Dadas as semelhanças entre o controlador do *robot* e um *PLC* opta-se por analisar os sensores com recurso a um *PLC* da empresa. O objetivo é encontrar uma relação entre as cargas mal distribuídas e o desvio dos ganchos em frente ao *robot* e assim desmitificar a teoria.

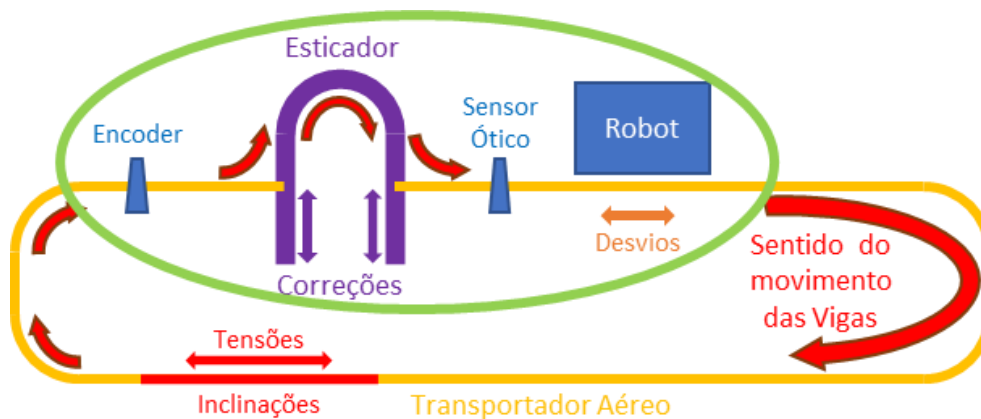


Figura 3.17 - Sensores, robot e esticador do TA

Com a presença de cargas, “Tensões” a vermelho, na Figura 3.17, é visível que as correções do Esticador provocam alterações na posição dos ganchos em frente ao *robot*. Por exemplo, sempre que o esticador sobe, em frente ao *robot*, os ganchos desviam-se para a esquerda, retardando a sua posição. Sempre que o esticador desce, os ganchos desviam-se para a direita, avançando a sua posição.

Não é conhecida, ainda assim, a magnitude da influência desse fator. Para quantificar os desvios provocados pelas correções do esticador podem-se contar os impulsos do *encoder* entre a passagem de ganchos e verificar se existe alguma variação relevante.

Para não interferir diretamente na linha de produção pretende-se instalar novos sensores com propriedades semelhantes aos do TA.

A empresa possui em inventário 4 *encoders* incrementais, 3 deles já haviam sido utilizados anteriormente para outras aplicações e alguns aparentam conter falhas de desempenho. Além dos *encoders*, em inventário há também vários sensores de presença, no entanto, nenhum destes são sensores óticos. Os sensores de presença disponíveis são sensores indutivos que detetam a presença de metal no seu alcance e são adequados para a deteção da presença dos ganchos dado estes são, de facto, metálicos.

A reter do Capítulo

O diagrama de causa efeito permite visualizar as possíveis causas do evento. Parte das causas são situações que já são frequentemente emendadas, o que, com o auxílio da AMFE, se pode verificar que não apresentam o mesmo prenúncio de risco.

Feitas as análises teóricas conclui-se que o maior risco é o desalinhamento dos ganchos devido ao peso acumulado nas inclinações do TA. Para apoiar a teoria, projeta-se um sistema de contagem para monitorizar os sensores do TA e comparar a informação com o comportamento real em frente ao *robot*, pois se a teoria estiver correta, o problema existe na interpretação do *robot* devido a dados pouco precisos.

Dadas as semelhanças entre o controlador do *robot* e um *PLC* opta-se por analisar os sensores com recurso a um *PLC* da empresa e para não interferir diretamente na linha de produção pretende-se instalar novos sensores com propriedades semelhantes aos do TA.

4. INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL

Neste capítulo é descrita a abordagem prática realizada. Para analisar o sistema projeta-se um dispositivo específico para tal. O dispositivo é criado com equipamento não essencial da empresa.

Neste capítulo é exposta a seleção de equipamento, a montagem e o funcionamento, o cálculo do resultado esperado e é explicado o método de recolha de dados. Dentro da matéria do funcionamento é apresentada a interpretação da informação lida em tempo real.

4.1 Seleção dos equipamentos

O dispositivo de monitorização requer um *PLC*, um *encoder* e um sensor de presença. É concebido com equipamentos disponíveis da empresa que foram utilizados em outras ocasiões. Há necessidade de verificar o funcionamento do equipamento para confirmar se são semelhantes aos sensores do TA, compatíveis e se apresentam bom desempenho.

4.1.1 PLC

O *PLC* disponível é um CP1E-N20 da OMRON (Figura 4.1). É um *PLC* com 12 terminais de entrada e 8 de saída sem compatibilidade com extensões, apropriado para a leitura de sinais de *encoders* com a funcionalidade de contador de alta velocidade. É programado com o software *CX-Programmer* em linguagem *Ladder* e tem capacidade para aproximadamente 200 instruções.



Figura 4.1 - PLC utilizado no dispositivo

A tensão de alimentação deste *PLC* é de 24 Volt em corrente contínua (*VDC - Volts in Direct Current*) e pode consumir até 13 Watt.

Para interpretar *encoders*, o *PLC* é predefinido no software para habilitar um Contador de Alta Velocidade (*Use high speed counter 0*) (Figura 4.2).

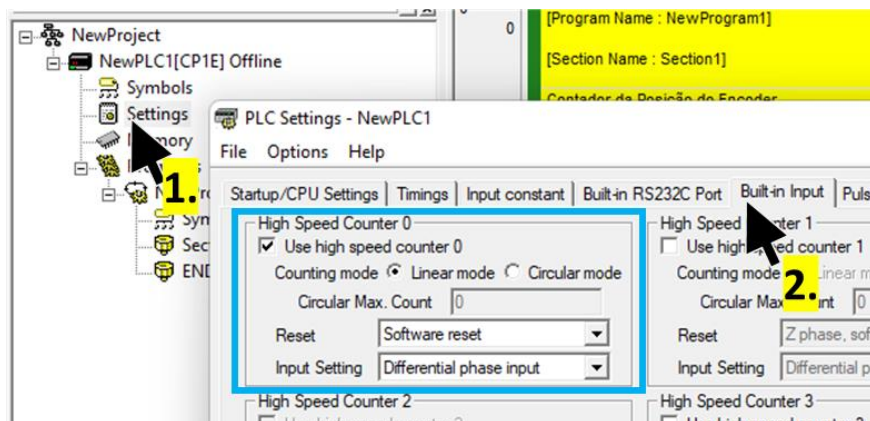


Figura 4.2 - Habilitação do Contador de Alta Velocidade 0

O modo de contagem pode ser linear ou circular, isto é, linear quando se pretende a contagem num eixo unidimensional comum, circular quando se quer que haja um valor máximo de contagem, e que, assim que é atingido a contagem começa do zero, e quando decresce abaixo de zero automaticamente toma o valor máximo e desconta a partir desse valor. Nesta aplicação é usado o modo linear (Figura 4.2).

A opção *Reset* define como é apagado o valor corrente, pode ser programado ou efetuado a cada rotação completa do *encoder*. *Software reset* permite que essa ação seja feita apenas pelo programa, feito através da ativação do bit A531.00 (Figura 4.3).

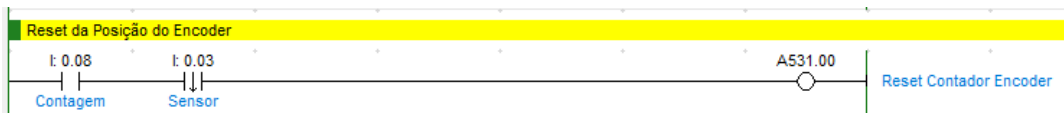


Figura 4.3 - Reset da posição do encoder

O *Input Setting* define o regime de contagem: Incremental (aumenta a contagem a cada impulso de apenas uma linha); Pulso e direção (aumenta ou diminui a cada impulso dependendo de um outro sinal que indica a direção); Cima/Baixo (lê uma linha de impulsos positivos e uma de impulsos negativos); Diferencial (identifica a direção, aumenta num sentido e diminui no inverso). Neste caso, é utilizado um *encoder* de 2 fases, que é compatível naturalmente com a definição diferencial (Figura 4.2). As conexões de entrada têm uma ligação predefinida para o modo diferencial: Sinal A na entrada 0.00, B na 0.01 e Z na 0.04 (Figura 4.22).

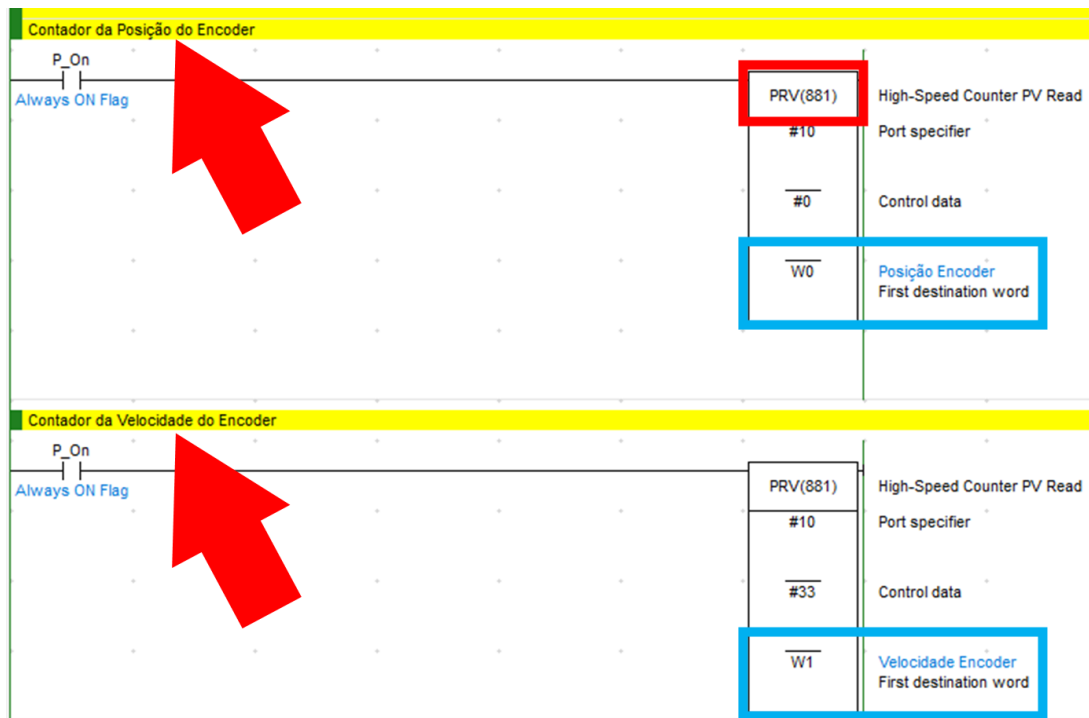


Figura 4.4 - Programação da Função PRV

Especificamente para o Contador de Alta Velocidade 0, deve ser utilizada a função “PRV” com #10 em “Port specifier”. A “Control data” define o tipo de informação que a função irá considerar, sendo #0 a posição angular do *encoder* e #33 a velocidade calculada com amostras de 1 segundo. Posteriormente é definida a memória do *PLC* a utilizar na função para guardar a informação (neste caso foi utilizada a memória de trabalho W0 para a posição angular e W1 para a velocidade (Figura 4.4)).



Figura 4.5 - Função WSFT para D0-D7999

Para registar os valores, é utilizada a função “WSFT”. Desta forma seleciona-se a informação que se pretende guardar e a localização na memória do PLC a que se destina. Na Figura 4.5 encontra-se a instrução de registo de W0 (Posição angular) na memória D, de D0 a D7999, totalizando 8000 registos. Para aceder a esta informação é possível abrir e monitorizar a memória do PLC em tabela (Figura 4.6). A tabela demonstrada pode ser selecionada, copiada e colada numa folha *Excel*.

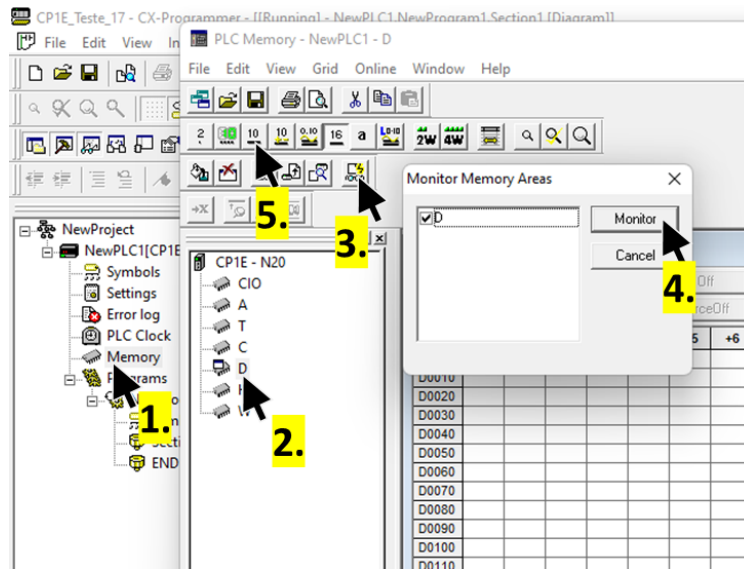


Figura 4.6 - Monitorização da memória D do PLC

4.1.2 Encoder

Como mencionado, o *PLC* é indicado para a leitura de sinais de *encoder*. Projeta-se o esquema elétrico do protótipo 1 na Figura 4.7, composto por uma fonte de alimentação, um interruptor e um *encoder*, que, conectado ao *PLC*, pode ser monitorizado no software (Figura 4.8):

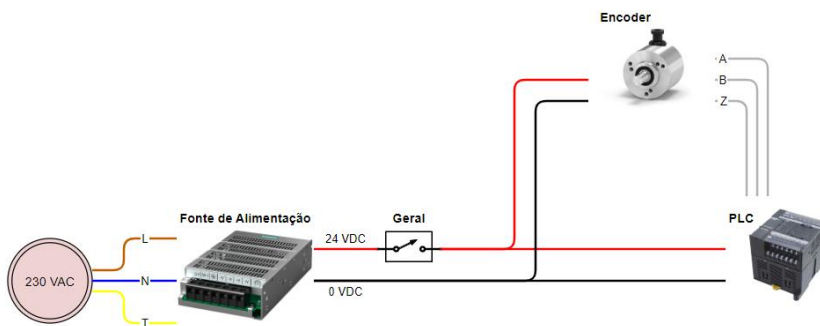


Figura 4.7 - Esquema elétrico do Protótipo 1

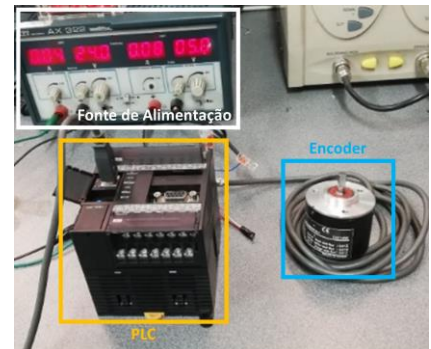


Figura 4.8 - Protótipo 1

Este protótipo permite confirmar a compatibilidade dos equipamentos, pelos sinais luminosos do *PLC* (Figura 4.9), ler o sinal emitido pelos *encoders* disponíveis e analisar o seu funcionamento.



Figura 4.9 - Sinal luminoso de entrada no PLC

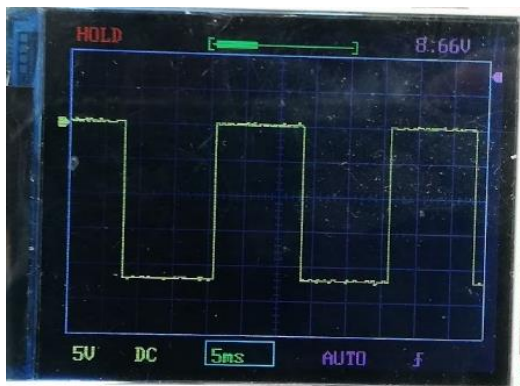


Figura 4.11 - Leitura com osciloscópio de uma saída do encoder

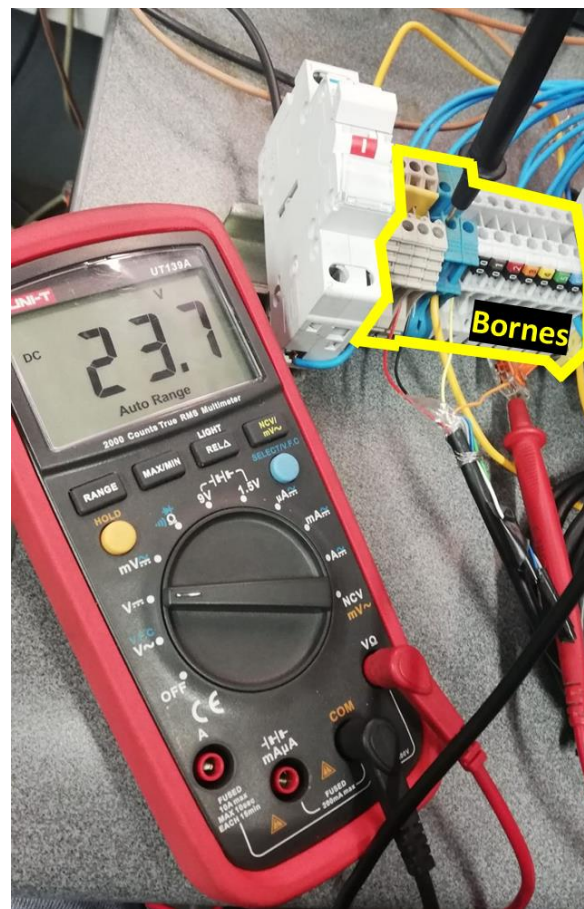


Figura 4.10 - Leitura com multímetro da saída do encoder

No protótipo seguinte equipa-se uma régua de bornes de ligação para analisar o *encoder* com multímetro (Figura 4.10) e osciloscópio (Figura 4.11) e procurar características semelhantes ao *encoder* do TA. Dos 4 *encoders* em inventário são identificados 2 defeituosos e 1 que não se assemelha ao *encoder* instalado na linha. O *encoder* selecionado é um I41-H-100ZCU46L2 da *Lika* (Figura 4.12). É um *encoder* incremental com características elétricas semelhantes ao do TA, com PPR de 100, 6 linhas de sinal, e alimentado com 5 VDC a 30 VDC.



Figura 4.12 - Encoder utilizado no dispositivo

A Figura 4.10 e a Figura 4.11 mostram as leituras do *encoder* selecionado. Demonstram que as saídas do *encoder* em questão são impulsos de 23,7 VDC, quando alimentado a 24 VDC e apresenta no osciloscópio uma onda quadrada, como esperado. Conclui-se que este *encoder* funciona corretamente e que, por se acender o sinal luminoso de entrada no PLC, excita a entrada do PLC. Dado que este *encoder* tem um PPR de 100, segundo a equação 2.2, na página 34, verifica-se que este *encoder* emite 400 impulsos por rotação:

$$N_{impulsos} = 100 \times 4 = 400 \quad (4.1)$$

4.1.3 Sensor

Estabelecidas as condições de comunicação entre o *PLC* e o *encoder*, seleciona-se um sensor com alimentação e sinais semelhantes para simplificar o esquema elétrico do equipamento.

Em inventário está disponível um sensor indutivo E2Q5-N20F3-M1 da OMRON (Figura 4.13). O componente pode ser alimentado a 24 VDC e emitir o seu sinal em 24 VDC quando deteta um objeto metálico no seu alcance. Tem uma linha de sinal normalmente fechada e uma normalmente aberta (Figura 4.14). Então, porque apresenta as mesmas necessidades de alimentação que o *encoder* e o *PLC*, é compatível com as entradas do *PLC* e simplifica o esquema elétrico do dispositivo como pretendido.



Figura 4.13 - Sensor indutivo utilizado no dispositivo (Omron, 2022)

O sensor em questão é um sensor de proximidade indutivo, de instalação em superfícies planas e indicado para detetar objetos metálicos de grandes dimensões, ideal para aplicações como indústria automóvel. O alcance de deteção do sensor é de 20 mm (Figura 4.14).



Figura 4.14 - Esquema de linhas de sinal do sensor

4.2 Interpretação e conversão do sinal do *encoder*

Uma vez completa a instalação do dispositivo no TA, o *PLC* recebe os sinais do *encoder* e apresenta-os num valor hexadecimal. Depois de os refinar é possível monitorizar os dados recolhidos. A Figura 4.15 representa uma captura de imagem poucos segundos depois de iniciar o movimento do TA.

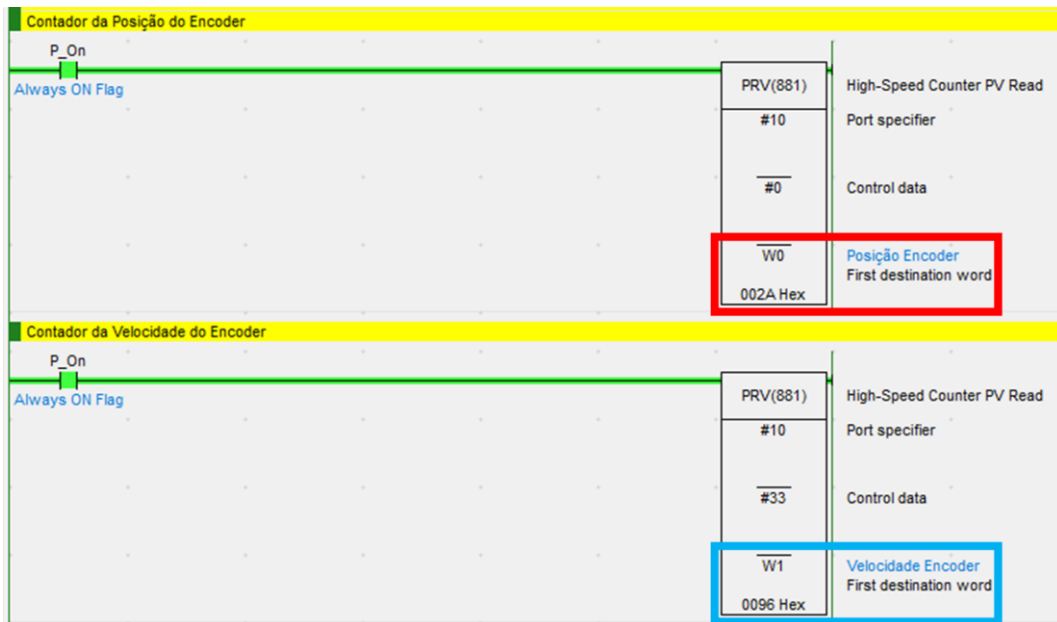


Figura 4.15 - Valores obtidos do PRV

A primeira instrução do programa é referente à posição axial do *encoder*, indicada a vermelho, e a segunda é referente à velocidade do eixo do *encoder*, a azul, ambas apresentadas em unidades hexadecimais (Hex). Neste instante o *encoder* encontra-se na posição 2A Hexadecimais e está a emitir 96 Hexadecimais impulsos por segundo. Estes valores, quando convertidos para decimais, equivalem à posição 42 e velocidade de 150 impulsos por segundo:

$$2A_{(16)} = (2 \times 16^1) + (10 \times 16^0) = 32 + 10 = 42_{(10)} \quad (4.2)$$

$$96_{(16)} = (9 \times 16^1) + (6 \times 16^0) = 144 + 6 = 150_{(10)} \quad (4.3)$$

$$2A \equiv 42 \quad (4.4)$$

$$96 \equiv 150 \quad (4.5)$$

A leitura supracitada de 150 impulsos por segundo pode ser convertida para uma unidade de velocidade perceptível. Dado que existe um local onde se pode ler a velocidade de deslocação do TA em metros por minuto, essa é a unidade pretendida. 96 Hexadecimais, ou 150 Decimais, são o número de impulsos recebidos pelo *PLC* e a resolução do *encoder* são 400 impulsos por rotação, então pode-se concluir que:

$$\frac{150 \text{ imp/s}}{400 \text{ imp/rot}} = 0,375 \text{ rot/s} \quad (4.6)$$

Para relacionar a velocidade de rotação do *encoder* à velocidade do TA é necessário conhecer a relação de transmissão implementada no sistema. A transmissão do *encoder* ao TA é feita de forma que cada rotação do *encoder* representa um deslocamento de 76 mm do TA, logo:

$$0,375 \text{ rot/s} \times 76 \text{ mm} = 28,500 \text{ mm/s} \quad (4.7)$$

$$28,500 \text{ mm/s} \times \frac{60}{1000} = 1,710 \text{ m/min} \quad (4.8)$$

A leitura no visor do TA em m/min (Figura 4.16) verifica e confirma a velocidade esperada:

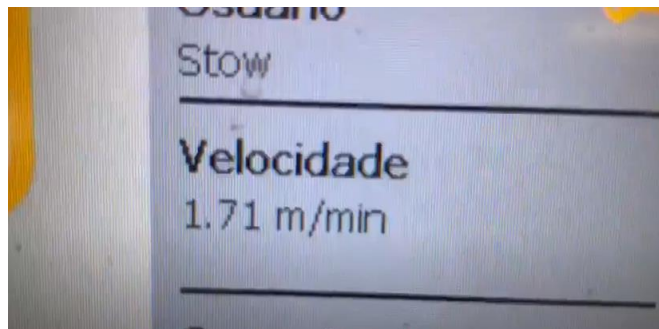


Figura 4.16 - Leitura de velocidade do TA no visor

Então, pelas equações anteriores:

$$150 \text{ imp/s} \times \left(\frac{76 \times 60}{400 \times 1000} \right) = 1,710 \text{ m/min} \quad (4.9)$$

$$150 \text{ imp/s} \times 0,0114 \text{ m/imp} = 1,710 \text{ m/min} \quad (4.10)$$

Conclui-se assim que para converter a velocidade do *encoder* da medida em impulsos por segundo para m/min deve-se multiplicar por um fator de 0,0114. O PLC consegue multiplicar números inteiro através da função “* (SBMultiply)”. Depois de multiplicar a velocidade por 114 (72 Hex) é lida a velocidade do TA sem ponto decimal no software (Figura 4.17).

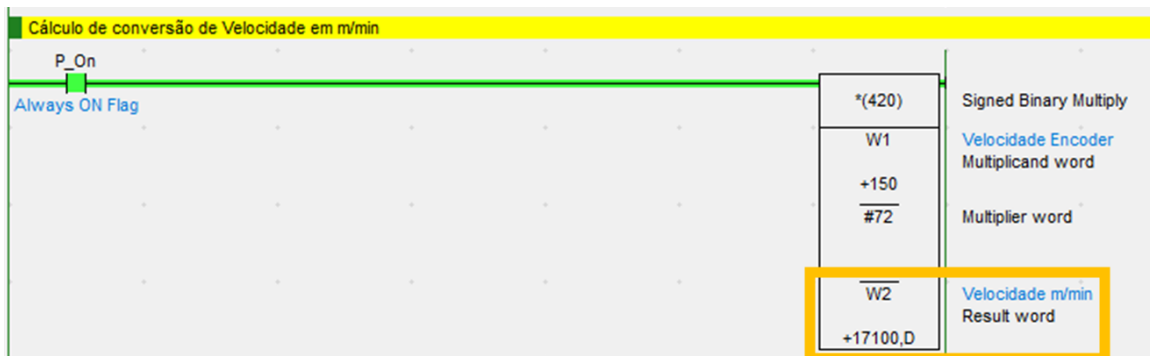


Figura 4.17 - Conversão da velocidade em m/min no Software

4.3 Dispositivo de análise

Para dar versatilidade ao dispositivo, instala-se um interruptor (normalmente aberto) para habilitar a leitura do *encoder*, no sentido de introduzir uma “Ativação da Contagem” sem cortar a alimentação do *encoder*. Este interruptor fica conectado a uma linha de entrada do *PLC* e a sua função pode ser definida no programa do *PLC* (Figura 4.18).

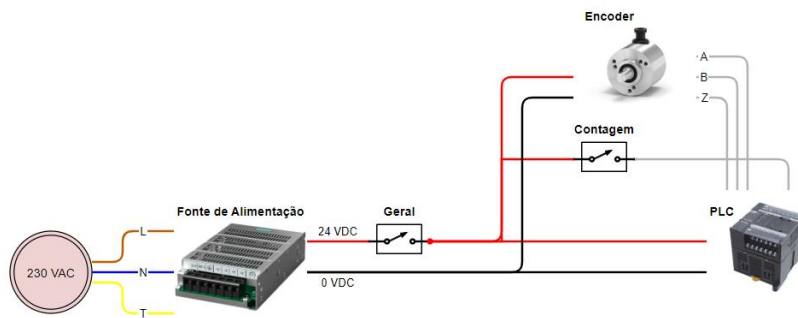


Figura 4.18 - Esquema elétrico do Protótipo 3

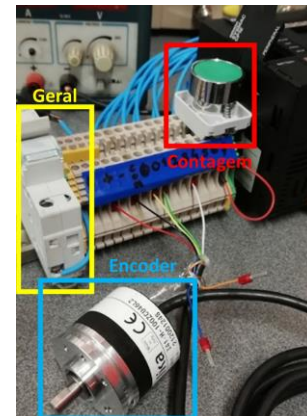


Figura 4.19 - Protótipo 3

O *PLC* dedica-se a contar os impulsos do *encoder*. Faz-se um apoio e instala-se o sensor indutivo no TA de forma que seja acionado pela presença dos ganchos (Figura 4.21). Com a conexão do sensor ao *PLC* a contagem pode ser realizada entre a passagem dos ganchos. Esta contagem permite verificar se são encontradas irregularidades práticas e evidentes.

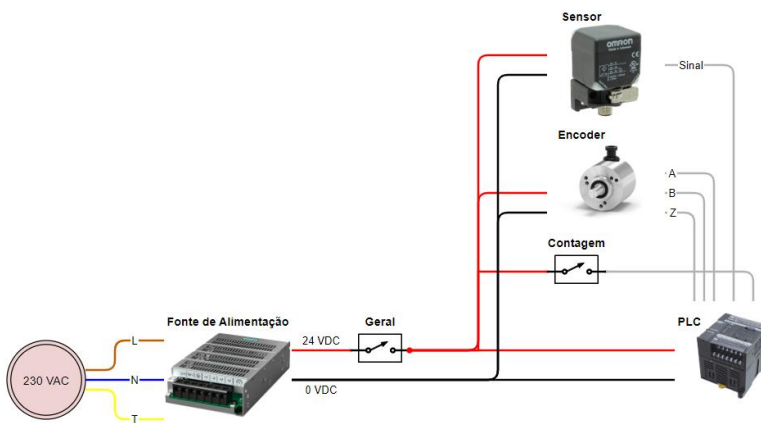


Figura 4.20 - Esquema elétrico do Protótipo 4



Figura 4.21 - Instalação do sensor indutivo no TA

Decide-se instalar um alarme sonoro para soar quando o registo exceder um valor regulável dentro da programação. O esquema elétrico detalhado das conexões está representado na Figura 4.22 abaixo:

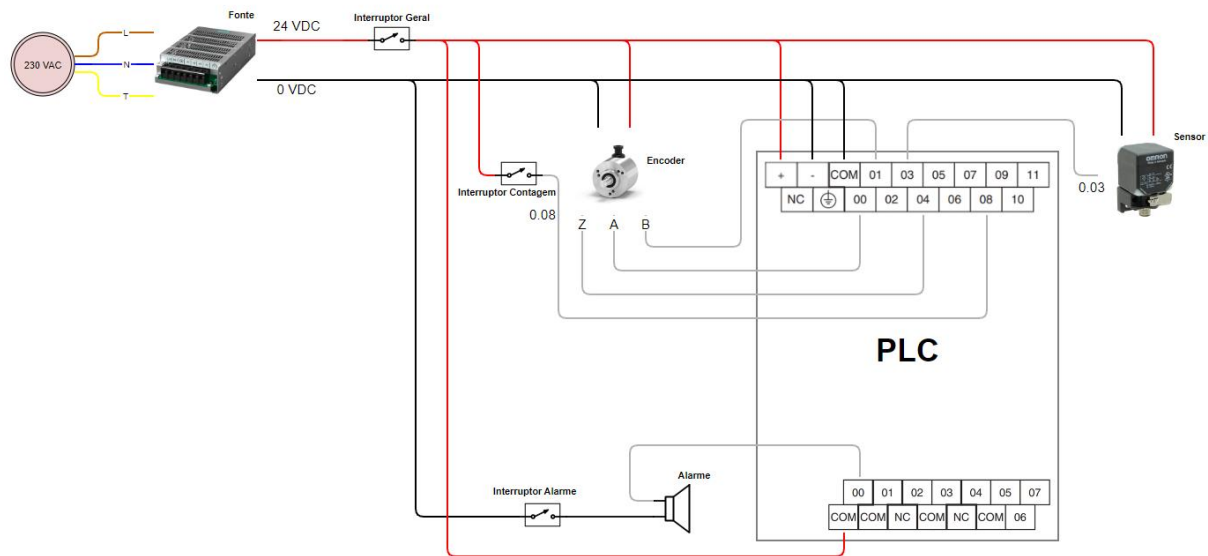


Figura 4.22 - Esquema elétrico detalhado do dispositivo

As contagens são ilustradas num histograma, ou seja, num gráfico de frequência de valores. Desta forma é possível identificar desvios padrão e anomalias. Quanto maior a amostra, mais semelhante o histograma é a uma distribuição normal (Figura 4.25).

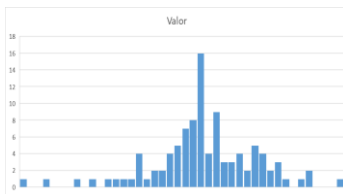


Figura 4.23 - Histograma de amostra de 100

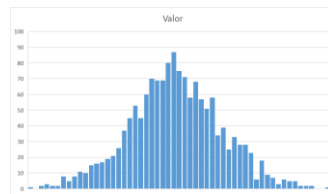


Figura 4.24 - Histograma de amostra de 1500

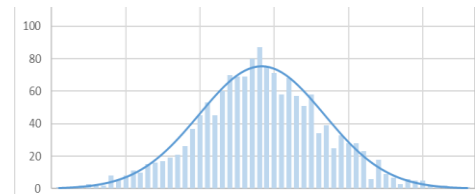


Figura 4.25 - Distribuição normal representante do histograma

Utilizar um sensor de presença adicional permite a sua montagem em locais diferentes do TA para evidenciar o movimento do esticador. As Figura 4.26, Figura 4.27 e Figura 4.28 demonstram os cenários estudados.

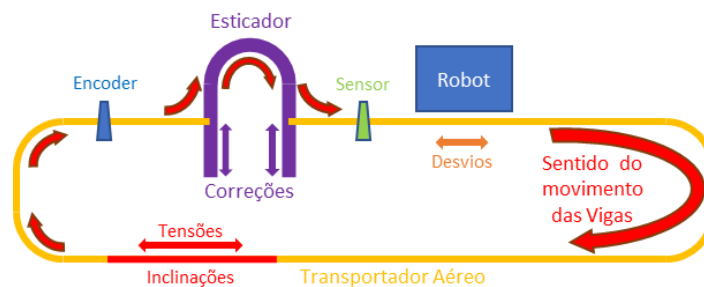


Figura 4.26 - Sensor instalado depois do esticador

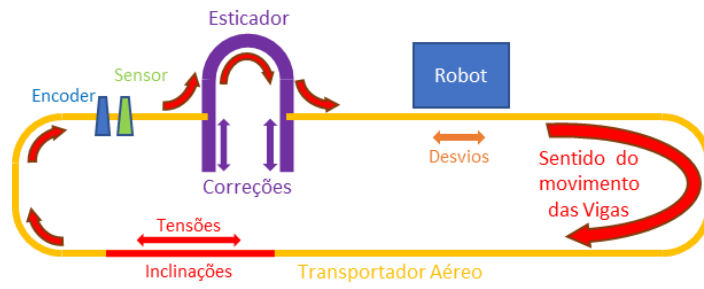


Figura 4.27 - Sensor instalado perto do encoder

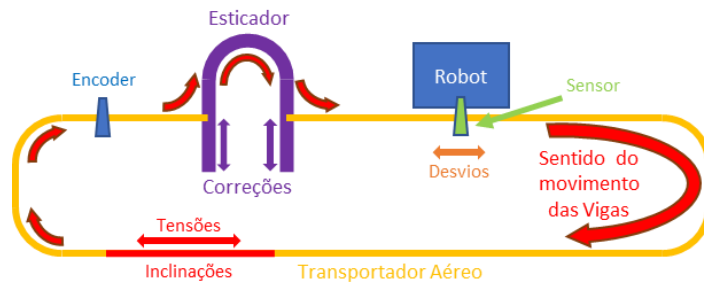


Figura 4.28 - Sensor instalado perto do robot

4.3.1 Resultado analítico

Dada a natureza do procedimento espera-se uma distribuição normal. Sabe-se que um deslocamento de 76 mm do TA corresponde a uma rotação do *encoder* e que os ganchos distam entre si 450 mm. Os resultados esperados são uma distribuição normal com média (μ) de 2370 impulsos:

$$\mu = \frac{450 \text{ mm}}{76 \text{ mm}} \times 400 \text{ imp} \approx 2370 \text{ imp} \quad (4.11)$$

Uma distribuição normal admite um desvio padrão (σ). O desvio padrão é quantificado de modo que num ciclo completo o TA não provoca falhas por desalinhamento. A partir de um desalinhamento de 3,5 mm ou 18 impulsos) existe desalinhamento. Então quer-se que exista um desvio de 18 impulsos em menos de 0,1838% (P_{total}) das ocorrências. Para a tabela de distribuição normal utilizada (Apêndice 12), P_c toma o valor de $\frac{P_{total}}{2}$ igual a $9,191 \times 10^{-4}$.

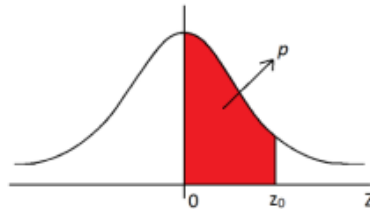


Figura 4.29 - Representação de P e Zc na distribuição normal (Centro de Informática - UFPE, 2022)

$$P = 0,5 - P_c = 0,5 - 9,191 \times 10^{-4} \quad (4.12)$$

$$P = 0,499 = 49,9\% \quad (4.13)$$

Para $P=0,499$ a tabela de distribuição normal informa que $Z=3,10$ (Apêndice 12). Com um desalinhamento ($X - \mu$) de 18 e $Z=3,10$ calcula-se o desvio padrão esperado da distribuição.

$$Z = \frac{(X - \mu)}{\sigma} = \sigma = \frac{(X - \mu)}{Z} = \sigma = \frac{18}{3,10} \quad (4.14)$$

$$\sigma = 5,8 \text{ imp} \quad (4.15)$$



Figura 4.30 - Distribuição normal analítica esperada

4.3.2 Resultado experimental

Os primeiros testes aos protótipos servem para procurar falhas, implementar melhorias, melhorar a compactação e simplificar o circuito do dispositivo, e, além disso, para criar um método fácil de registrar os dados. O protótipo efetua 13 testes e passa por 15 versões do programa antes de chegar à final:

17/3 às 17:40	225				73		
Teste_1 18/3 às 11:55	225				150	-79	
Teste_2 18/3 às 15:10	275	Adaptação de conversão	2 casas decimais			10350	103,5
						9660	96,6
						11040	110,4
Teste_3 18/3 às 17:00		Adaptação de conversão	3 casas decimais			Leituras prontas para os EMETA	
Teste_4 18/3 às 17:15		Segurança Reset					
Teste_5 21/03 às 17:00		Registo Sinal	3 registos				
		Removi Segurança Reset	Botão serve para parar leitura				
Teste_6 24/3 às 11:30		WordShift para D100-D200	Primeira análise na linha		D100	38936	D100
		Sensor ótico debaixo do motor 1	Monovia VAZIA até Pintura		D101	12337	D101
					D102	41986	D102
					D103	10	D103
					D104	16370	D104
					D196	27681	D196
					D197	16	D197
					D198	288	D198
					D199	1025	D199
					D200	128	D200
Teste_7 23/3 às 16:22		Chave Contagem					
		Sensor Indutivo debaixo do motor 1					
Teste_8 28/3 às 12:00		Contagem a 486 Ganchos					
Teste_9 28/mar		Contagem a 1000 Ganchos	Calculou-se 544 Ganchos				
Teste_10 29/3 às 14:30		Contagem de Ganchos com Chave					
Teste_11 30/3 às 16:20		Análise de 12h de trabalho	Alarme com o Sensor debaixo do Motor				
		WordShift para D100-D2999	D160 à frente do sensor do Robot				
		Arranque às 17:05	Paragem às 10:30				
Teste_12		Contador de Voltas	Contador de Ganchos (544)		Memória wtf	D1857	277
						D1858	0
						D1859	2118
						D2146	2282
						D2147	88
						D2360	1058
Teste_13 5/04 às 11:30		Conversão para m/min com encoder LIKA				Retificação da posição do Sensor	
Teste_14							
Teste_15		Comentários Programação	Limpeza de memória				
Teste_16		Conversão para m/min com encoder LIKA	Contagem só na Memória				

Figura 4.31 - Versões do programa Ladder

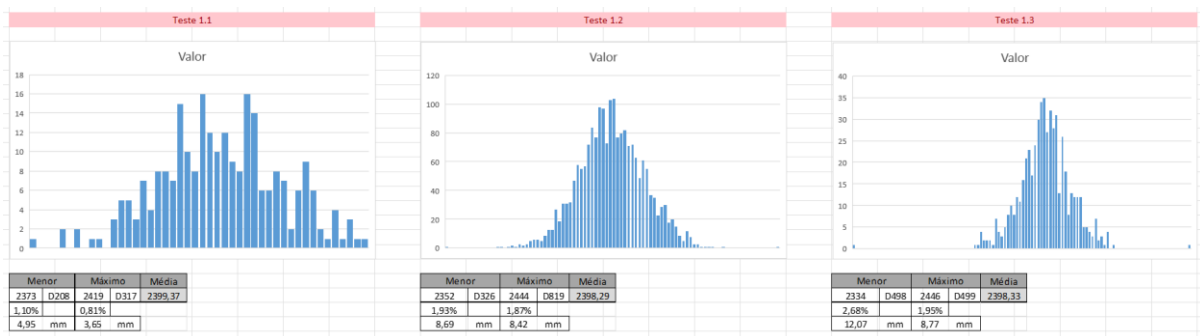


Figura 4.32 - Testes efetuados no desenvolvimento do Dispositivo

Nas Figura 4.33 e Figura 4.34, ilustra-se o método de registo final. Os dados são copiados da memória do PLC e inseridos na tabela (Figura 4.33). Este ficheiro toma os valores e cria um gráfico de linhas e um histograma a representar a distribuição da amostra recolhida (Figura 4.34).

INPUT										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D100	2421	2379	2410	2397	2391	2398	2399	2419	2388	2393
D110	2397	2401	2397	2397	2391	2415	2379	2397	2409	2387
D120	2402	2380	2416	2404	2392	2400	2398	2402	2400	2383
D130	2415	2400	2397	2404	2393	2404	2393	2402	2406	2391
D140	2393	2397	2413	2390	2400	2404	2402	2391	2397	2395
D150	2409	2394	2397	2399	2395	2409	2389	2385	2419	2382
D160	2397	2391	2417	2398	2401	2394	2398	2400	2411	2390
D170	2392	2398	2392	2408	2398	2402	2387	2392	2401	2403
D180	2389	2414	2382	2401	2404	2407	2388	2393	2408	2392
D190	2398	2395	2407	2388	2403	2398	2394	2407	2400	2387
D200	2397	2412	2402	2405	2400	2396	2399	2416	2383	2390
D210	2409	2399	2397	2402	2392	2402	2396	2404	2389	2392
D220	2410	2398	2404	2387	2399	2399	2397	2393	2403	2396
D230	2392	2400	2390	2403	2407	2384	2399	2396	2410	2409
D240	2400	2375	2395	2405	2405	2403	2390	2402	2404	2382
D250	2396	2394	2396	2395	2402	2405	2386	2398	2407	2398
D260	2404	2382	2400	2401	2406	2407	2387	2402	2398	2399
D270	2395	2398	2396	2401	2394	2400	2398	2398	2402	2394
D280	2396	2405	2396	2396	2394	2414	2386	2400	2399	2400
D290	2397	2395	2397	2406	2404	2380	2400	2401	2398	2411
D300	2392	2399	2394	2399	2398	2397	2396	2402	2391	2409
D310	2404	2389	2393	2406	2399	2389	2405	2393	2401	2387
D320	2400	2413	2396	2402	2401	2397	2396	2404	2395	2396
D330	2400	2391	2397	2389	2404	2400	2398	2395	2411	2405
D340	2392	2382	2412	2399	2410	2386	2398	2398	2394	2401
D350	2401	2385	2417	2386	2393	2415	2395	2393	2378	2408
D360	2404	2396	2410	2396	2397	2398	2409	2395	2387	2402
D370	2397	2398	2407	2383	2403	2402	2388	2407	2400	2400
D380	2396	2402	2396	2391	2410	2398	2401	2385	2405	2392
D390	2404	2392	2397	2395	2402	2396	2402	2405	2398	2394
D400	2395	2404	2377	2406	2412	2394	2402	2400	2390	2411
D410	2394	2391	2403	2405	2386	2408	2397	2392	2399	2398
D420	2399	2402	2393	2402	2410	2390	2402	2399	2395	2397
D430	2396	2393	2402	2387	2404	2399	2412	2395	2399	2378
D440	2415	2400	2387	2392	2401	2390	2419	2400	2391	2395
D450	2409	2381	2408	2390	2405	2394	2401	2408	2398	2388
D460	2396	2408	2391	2411	2389	2406	2391	2393	2400	2402
D470	2389	2401	2407	2395	2400	2399	2393	2403	2396	2400
D480	2404	2400	2398	2391	2404	2392	2408	2391	2396	2397
D490	2397	2405	2397	2408	2399	2393	2393	2412	2334	2446
D500	2407	2397	2395	2415	2403	2392	2392	2394	2399	2391
D510	2408	2399	2386	2404	2397	2401	2400	2398	2397	2396
D520	2401	2393	2404	2398	2402	2387	2398	2399	2402	2396
D530	2400	2404	2398	2395	2401	2393	2397	2407	2390	2406
D540	2392	2401	2396	2401	2404	2396	2400	2402	2383	2407
D550	2403	2382	2409	2394	2392	2405	2409	2395	2399	2396
D560	2393	2382	2417	2385	2395	2408	2406	2394	2393	2413
D570	2390	2389	2404	2399	2410	2377	2414	2401	2393	2396
D580	2396	2397	2402	2401	2389	2405	2419	2384	2391	2409
D590	2388	2393	2405	2410	2384	2398	2401	2397	2400	2398
D600	2399	2395	2398	2386	2415	2392	2393	2408	2403	2395

Figura 4.33 - Teste 0.1.3

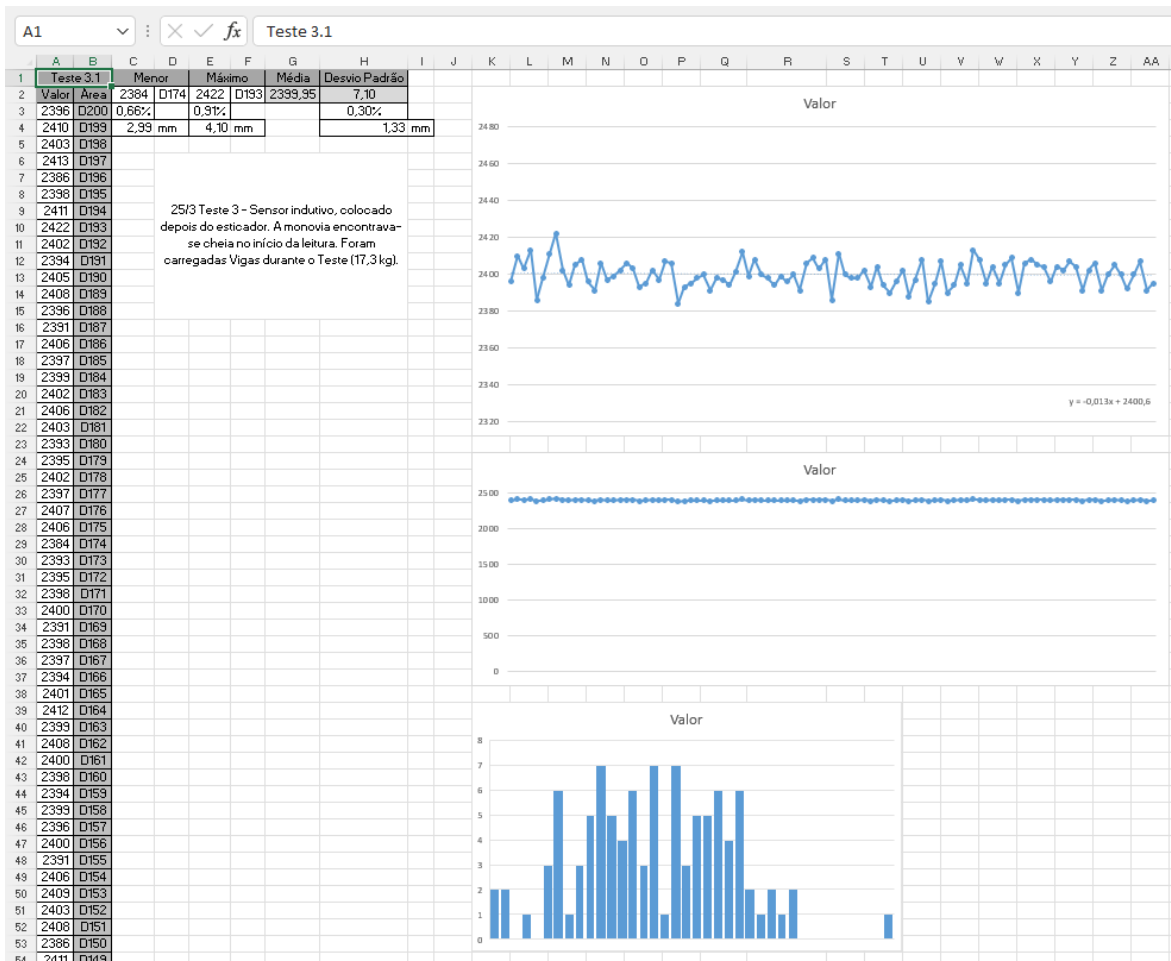


Figura 4.34 - Teste 0.3.1

A reter do Capítulo

Ao alimentar e conectar um sensor e um *PLC* é possível diagnosticar a performance do sensor. Desta forma, os *encoders* em inventário são diagnosticados para a seleção do mais conveniente a utilizar no dispositivo.

Quando um *encoder* é conectado a um *PLC*, a informação é apresentada numa forma pouco perceptível, em unidades hexadecimais. Para encarar o problema, o valor da velocidade de rotação do *encoder*, ou da velocidade de deslocação do Transportador Aéreo, é convertida de “pulsos por segundo” para “metros por minuto”.

A análise que o *PLC* está destinado a efetuar é uma contagem de impulsos do *encoder*. A contagem inicia quando o sensor de presença assinala a passagem de um gancho e termina quando se recebe o sinal de presença do gancho seguinte. Em suma, o *PLC* regista o número de impulsos do *encoder* nos espaços entre ganchos.

Este tipo de análise deverá dar origem a uma distribuição normal, pois o valor médio irá repetir e as variações darão origem ao desvio padrão. O resultado analítico prevê uma distribuição normal de média 2370 e um desvio padrão de 5,8.

Experimentalmente, os dados do *PLC* são recolhidos no fim da análise e são inseridos num formulário em *Excel* para gerar gráficos de distribuição.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS E PROPOSTA DE MELHORIA

Este capítulo representa a fase seguinte à implementação experimental e à recolha de dados do dispositivo. Apresentam-se os conjuntos de registos efetuados com o dispositivo de monitorização: são efetuados 4 Testes durante a sua conceção, uma análise (A1), com uma determinada disposição dos sensores, e uma segunda análise (A2), com uma disposição dos sensores diferente.

De seguida estudam-se os 3 registos da primeira análise. É feita uma comparação com os testes anteriores e são traçadas sobre a distribuição analítica as curvas de distribuição desta análise.

A segunda análise, com a montagem dos sensores em locais próximos aos dos sensores originais da linha, é comparada aos Testes e a A1. As 5 distribuições desta análise são também traçadas sobre a distribuição analítica para que seja possível identificar inconformidades.

O capítulo prossegue com a comparação dos resultados das análises em tabela para evidenciar variações dos parâmetros. Faz também um traçado simultâneo das duas análises e da distribuição analítica, como anteriormente com cada análise individual.

O capítulo é rematado com a proposta de melhoria suportado pelas análises efetuadas.

5.1 Registos do dispositivo

O dispositivo realiza vários registos desde a sua fase de protótipo. O conjunto “Testes” é referente às leituras efetuadas na fase de protótipo, para deteção de erros e para implementar melhorias. Os conjuntos seguintes, “Análise 1” e “Análise 2”, são as análises efetuadas com o sensor indutivo instalado em locais diferentes (Figura 4.27 e Figura 4.28) para evidenciar a influência do esticador. A Tabela 4, abaixo, descreve os registos efetuados:

Tabela 4 - Análises gerais dos testes do dispositivo de monitorização

Análises Gerais								Amostra Total	Tempo Total	
Testes 0	Testes 0.1	Sensor no local do <i>encoder</i>						9533	42,37 h	
	Amostras	100	250	3100	550	2590	515			514
	Testes 0.2	Sensor depois do esticador. TA vazio.								
	Amostras	100								
	Testes 0.3	Sensor depois do esticador. TA cheio.								
	Amostras	100	100	100	514					
	Testes 0.4	Sensor depois do esticador. TA quase vazio.								
	Amostras	1000								
Análise 1	Sensor no local do <i>encoder</i>						6540	29,07 h		
	Amostras	1495	2045	3000						
Análise 2	Sensor perto do robot						7945	35,31 h		
	Amostras	3000	703	748	835	2659				

O conjunto laranja é referentes aos “Testes”. Neste conjunto são registadas 9 533 contagens que representam 42 horas e 22 minutos de contagens.

No conjunto azul encontram-se 3 registos, referentes à Análise 1. As amostras totalizam 6 540 contagens que se traduzem em 29 horas e 4 minutos.

Por fim, a vermelho está o conjunto de registos da Análise 2. Desta vez, com o sensor num local próximo ao robot, investem-se 35 horas e 18 minutos para medir 7 945 espaços entre ganchos.

Acumulados, estes registos equivalem a 106 horas e 45 minutos de registo, ou sejam, 24 018 espaços entre ganchos medidos.

5.1.1 Testes

São realizados 4 testes com 13 amostras: o primeiro, do Teste 0.1.1 até ao Teste 0.1.7 (Tabela 5) para procurar erros e criar um método ágil para registar e interpretar a informação. O Teste 0.2 (Tabela 6) é feito para otimizar a capacidade de memória do programa, o terceiro, do Teste 0.3.1 ao Teste 0.3.4 (Tabela 7) para corrigir um problema de montagem do sensor e o Teste 0.4 (Tabela 8) para testar dois ciclos do TA. Os testes mostram distribuições semelhantes às distribuições normais e convertem velocidade do *encoder* corretamente para metros/minuto.

Tabela 5 - Média de impulsos dos Testes 0.1

Teste 0.1.1	Média
	2399,24
Teste 0.1.2	Média
	2399,37
Teste 0.1.3	Média
	2398,29
Teste 0.1.4	Média
	2398,33
Teste 0.1.5	Média
	2398,34
Teste 0.1.6	Média
	2398,31
Teste 0.1.7	Média
	2398,48
GERAL TESTES 0.1	Média
	2398,62

Tabela 6 - Amostra do Teste 0.2

Teste 0.2				
Parâmetro	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Impulsos	2375	2434	2399,99	9,89
mm	4,69 mm	6,29 mm		1,85 mm

Tabela 7 - Amostras dos Testes 0.3

Teste 0.3.1	Parâmetro	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
	Impulsos	2384	2422	2399,95	7,10
	mm	2,99 mm	4,10 mm		1,33 mm
Teste 0.3.2	Parâmetro	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
	Impulsos	2384	2422	2399,97	7,24
	mm	2,99 mm	4,09 mm		1,36 mm
Teste 0.3.3	Parâmetro	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
	Impulsos	2338	2448	2399,96	10,16
	mm	11,62 mm	8,83 mm		1,90 mm
Teste 0.3.4	Parâmetro	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
	Impulsos	2335	2439	2399,38	9,35
	mm	12,07 mm	7,43 mm		1,75 mm

Tabela 8 - Amostra do Teste 0.4

Teste 0.4				
Parâmetro	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Impulsos	2328	2458	2399,41	7,73
mm	13,39 mm	10,99 mm		1,45 mm

Dos registos retirados chega-se à conclusão de que a média, a verde, entre 2398 e 2400, não coincide com os 2370 impulsos calculados analiticamente com um erro de 1,2%. Dada a reduzida importância deste erro considera-se como não relevante para análises futuras.

O desvio padrão médio, em violeta, é de 8,6. Comparado ao valor estimado de 5,8, este valor apresenta um erro de 48,3%. Este erro revela-se importante e aparenta agravar-se quando são efetuadas mudanças mais drásticas de peso deslocado no TA.

5.1.2 Análises 1 e 2

Na Análise 1 (A1) são efetuadas 3 leituras de longa duração com a montagem do sensor no mesmo local que o *encoder* (Figura 4.27). Esta análise permite confirmar se, a longo prazo, a amostra tem o comportamento de uma distribuição normal próxima do estimado.

Tabela 9 - Dados das amostras da Análise 1

Análise 1.1	Parâmetro	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
	Impulsos	2371	2426	2398,29	8,42
	mm	4,45 mm	4,55 mm		1,58 mm
Análise 1.2	Parâmetro	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
	Impulsos	2359	2435	2398,26	8,87
	mm	4,43 mm	4,57 mm		1,66 mm
Análise 1.3	Parâmetro	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
	Impulsos	2366	2428	2398,20	8,16
	mm	4,44 mm	4,56 mm		1,53 mm

Na Tabela 9, verificam-se valores muito concordantes, notavelmente com valores mínimos e máximos registados a variar apenas +/- 0,01 mm em cerca de 6 500 contagens (Tabela 4). A média e o desvio padrão revelam-se também homogêneos, apesar de diferentes do calculado. Para a construção da distribuição analítica considera-se a média experimental (2398, da Tabela 8) e o desvio padrão analítico (5,8, da equação 4.15, na página 66) como os valores pretendidos.

Nas figuras abaixo, a azul estão as distribuições registadas e a preto a distribuição analítica:

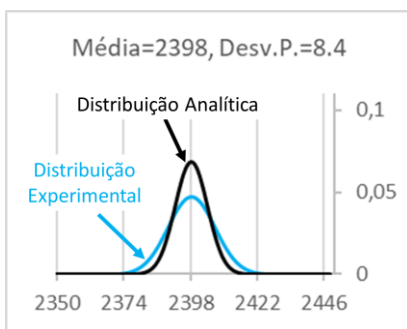


Figura 5.1 - Distribuição de A1.1

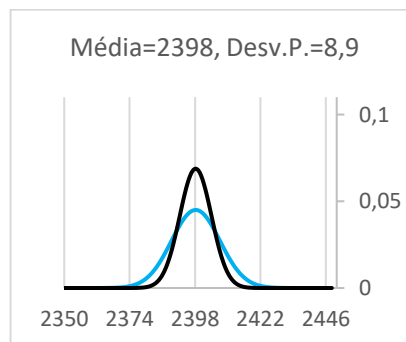


Figura 5.2 - Distribuição de A1.2

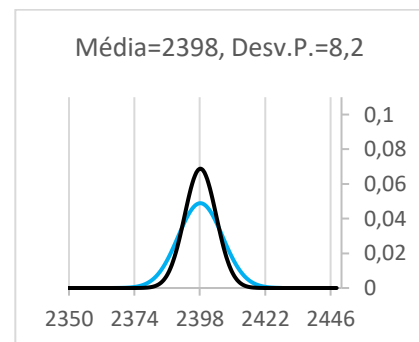


Figura 5.3 - Distribuição de A1.3

Todas as distribuições estão centradas com a média da distribuição analítica, no entanto, devido ao desvio padrão, identificam-se distribuições experimentais mais “abertas” que simbolizam mais dados afastados da média, ou seja, menos precisos.

Na Análise 2 (A2) são feitas 5 leituras com a montagem do sensor perto do robot (Figura 4.28). Além de permitir novamente a confirmação se a longo prazo a amostra tende para a distribuição normal esperada, é possível compará-la a A1 para determinar se a posição do sensor é relevante.

Tabela 10 - Dados das amostras da Análise 2

Análise 2.1	Parâmetro	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
	Impulsos	2347	2476	2398,20	10,42
mm	4,40 mm	4,65 mm	1,96 mm		
Análise 2.2	Parâmetro	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
	Impulsos	2338	2456	2398,39	12,80
mm	4,39 mm	4,61 mm	2,40 mm		
Análise 2.3	Parâmetro	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
	Impulsos	2304	2464	2398,00	12,40
mm	4,32 mm	4,62 mm	2,33 mm		
Análise 2.4	Parâmetro	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
	Impulsos	2255	2480	2398,20	15,76
mm	4,23 mm	4,65 mm	2,96 mm		
Análise 2.5	Parâmetro	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
	Impulsos	2307	2543	2398,19	10,92
mm	4,33 mm	4,77 mm	2,05 mm		

Nesta análise, a tabela demonstra valores mínimos e máximos bastante homogêneos, tal como os de A1, mas com uma variação de +/- 0,08 mm em vez de +/- 0,01 mm em cerca de 8 000 contagens. Apesar de não parecer um valor importante, esta variação aumenta 700% para um aumento de 23% do tamanho da amostra. A média não revela discrepâncias, no entanto, o desvio padrão evidencia as suspeitas de que a posição do sensor influencia significativamente a previsão das posições dos ganchos. Nas figuras estão representadas as distribuições registadas a vermelho e a distribuição analítica a preto.

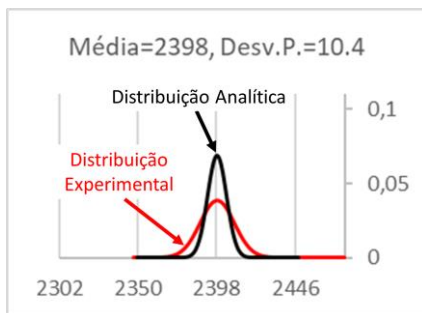


Figura 5.4 - Distribuição de A2.1

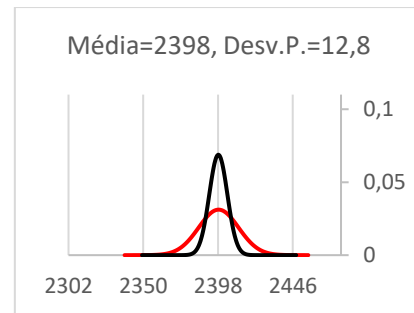


Figura 5.5 - Distribuição de A2.2

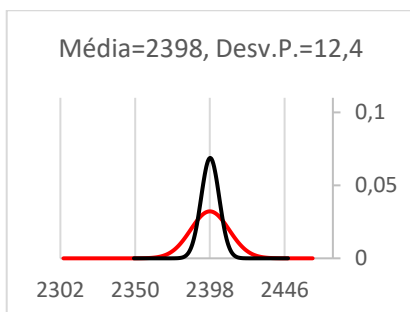


Figura 5.6 - Distribuição de A2.3

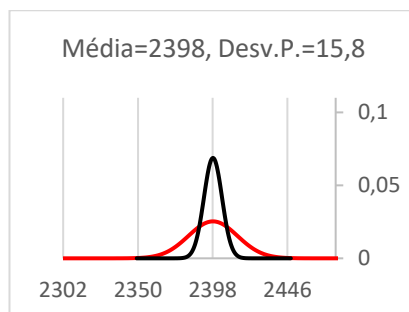


Figura 5.7 - Distribuição de A2.4

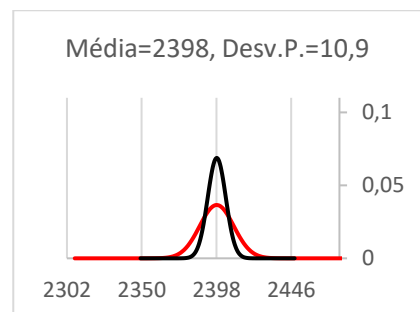


Figura 5.8 - Distribuição de A2.5

5.1.3 Comparação

Pelos dados das análises A1 e A2, identifica-se que A1 tem um desvio padrão claramente inferior a A2 (Tabela 11). A média dos desvios padrão de A2 é um aumento de 46,8% em relação à média dos desvios padrão de A1, com o valor de 12,46 impulsos, ou seja, uma relação de 2,15 vezes mais do que o calculado analiticamente.

Tabela 11 - Comparação de desvios padrão entre A1 e A2

		A1			A2					Analítico
		A1.1	A1.2	A1.3	A2.1	A2.2	A2.3	A2.4	A2.5	
Amostras	Desv. P.	8,42	8,87	8,16	10,42	12,80	12,40	15,76	10,92	
Média	Desv. P.	8,48			12,46					5,8

O desvio padrão, graficamente, é entendido como a “abertura da curva da distribuição”. Quanto maior o desvio padrão, mais “aberta” é a distribuição e menos frequente são os valores próximos da média. Assim, na distribuição analítica a média ocorre em quase 7% das ocorrências, mas em A2, na amostra com maior desvio padrão, a média não chega a 3% das ocorrências (Figura 5.9).

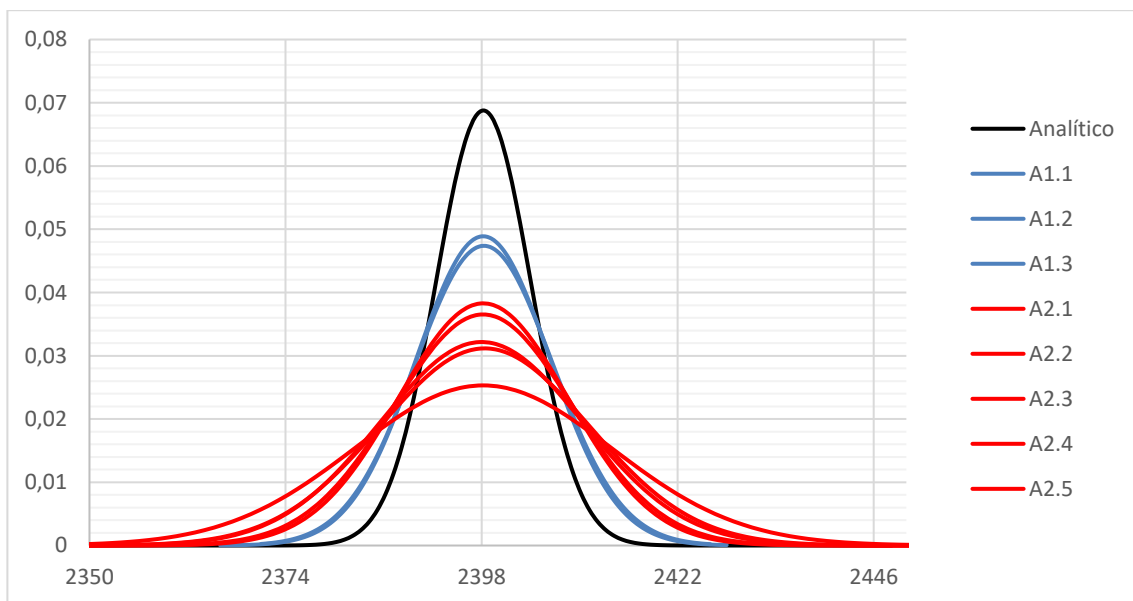


Figura 5.9 - Sobreposição das distribuições Analítica, A1 e A2

Assim comprova-se que a tarefa de previsão efetuada pelo robot será mais eficiente se o sensor estiver montado no mesmo local que o *encoder*, sem o esticador a variar a posição dos ganchos entre os sensores.

Os dados permitem retirar que em A1 a probabilidade de surgir o desvio mínimo para ocorrer desalinhamento de 3,5 mm num ciclo do TA é de 3,4% e a mesma situação tem a probabilidade de 14,98% de acontecer em A2.

5.2 Proposta de melhoria

A comparação efetuada anteriormente evidencia a influência da localização dos sensores. A situação advém da presença do esticador entre os sensores. Logo, para reformar esta situação podem-se alterar ambos os locais de montagem dos sensores (Figura 5.10) para depois do esticador (Figura 5.11).

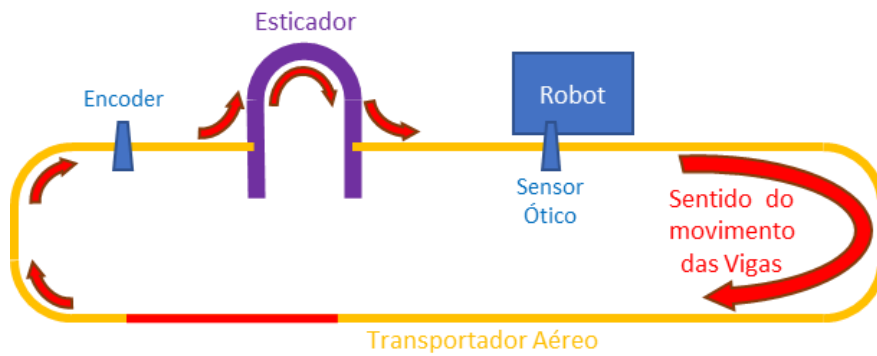


Figura 5.10 - Disposição atual dos sensores

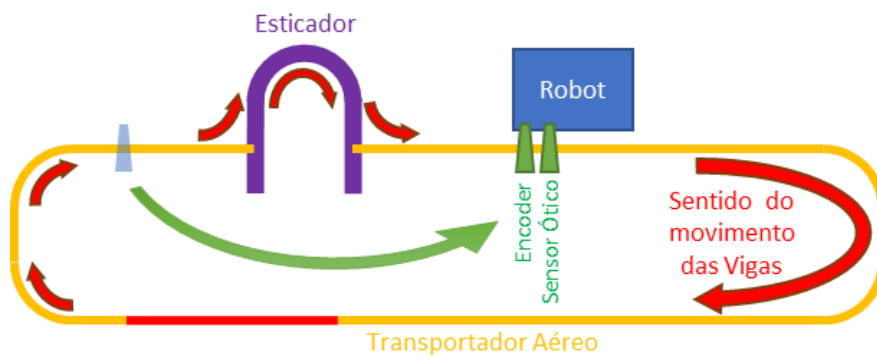


Figura 5.11 - Proposta de nova disposição de sensores

Dito isto, se o *encoder* e o sensor ótico estiverem instalados depois do esticador, mais próximos do robô, as previsões do robô serão efetuadas com dados semelhantes a A1 e não a A2, assim, a ocorrência de um desalinhamento de 3,5 mm passará de 1 em cada 7 ganchos para 1 em cada 29. Por outras palavras, espera-se um aumento de carregamentos de 11,58% do robô.

A reter do Capítulo

O dispositivo criado permite efetuar testes que corrigem a distribuição calculada analiticamente: A média esperada torna-se 2398 e o desvio padrão experimental excede o calculado analiticamente por 48,3%. O desvio padrão experimental acentuado evidencia um déficit de homogeneidade nos dados utilizados para controlar o robot.

Além dos testes, são efetuadas duas análises com a montagem do sensor de presença em locais diferentes. As amostras utilizadas para analisar a informação dos sensores totalizam 6500 e 8000 contagens. Devido à dimensão das amostras considera-se que representam o funcionamento normal da linha de produção.

A primeira análise (A1) regista valores que se aliam aos resultados dos testes, com uma média e desvio padrão muito semelhantes. São traçadas sobre a distribuição analítica as distribuições destas análises e evidencia-se o sinal de “abertura da curva” devido ao desvio padrão superior.

A segunda análise (A2), com a disposição dos sensores semelhante à disposição atual dos sensores da linha, demonstra a mesma média dos registos anteriores, mas um desvio padrão significativamente superior. As distribuições desta análise são também traçadas sobre a distribuição analítica onde é mais visível que anteriormente a “abertura da curva” devido ao aumento do desvio padrão.

A comparação dos resultados das análises em tabela, evidencia a discrepância do valor do desvio padrão, sendo o de A2 um aumento de 115% em relação ao analítico (Tabela 11). Faz-se também um traçado simultâneo das duas análises e da distribuição analítica, onde se identifica que o desvio padrão está significativamente relacionado com a disposição do sensor de presença e fundamenta-se com o gráfico que a tarefa de previsão efetuada pelo robot será mais eficiente se o sensor estiver montado no mesmo local que o *encoder*.

Como as análises efetuadas suportam, o distanciamento dos sensores prejudica as previsões do robot. A proposta de melhoria é uma alteração da disposição dos sensores da linha. Com o *encoder* e o sensor ótico instalados depois do esticador, mais próximos do robot, as previsões do robot serão efetuadas com dados semelhantes a A1 e não a A2. A ocorrência de um desalinhamento de 3,5 mm passará de 1 em cada 7 ganchos para 1 em cada 29, representando assim um aumento de carregamentos de 11,58%.

6. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Durante o período na empresa aparecem variáveis relativas ao desempenho do robot que não são clarificadas na dissertação pois daria informação específica da empresa que não se pretende incluir no projeto.

Ainda assim, este projeto, além de fazer diagnósticos de desempenho a 4 *encoders* da empresa, cumpre os objetivos da dissertação: são enumerados 12 fatores que podem influenciar negativamente a tarefa do robot através do diagrama de Ishikawa; são avaliadas as variáveis e é evidenciada a mais relevante através da AMFE; é criado e aperfeiçoado um dispositivo de registo automático com um *PLC*, com 15 versões do programa, analisadas 106 horas e 45 minutos de funcionamento, ou seja, uma amostra de 24 018 registos da variável e, com o apoio de análises estatísticas, é proposta uma intervenção para minimizar o efeito identificado.

Chega-se à conclusão de que, devido a existirem zonas inclinadas no circuito do TA, a presença de vigas nessas secções provoca movimento no esticador, que por sua vez movimentam todos os ganchos e aumenta o desvio padrão dos dados recebidos e piora as previsões do robot. A proposta consiste em eliminar a influência do movimento do esticador no desempenho do robot.

Futuramente, dada a conclusão da análise efetuada nesta dissertação, é prudente realizar um projeto de melhoria. Deverá ser feito um estudo de custo-benefício da melhoria acompanhado de um projeto e orçamento para justificar a sua implementação.

REFERÊNCIAS

ABB - **ABB Home Page** [Em linha], atual. 2021. [Consult. 8 fev. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://global.abb/group/en>.

ABB - **Robot IRB 6700** [Em linha], atual. 2021. [Consult. 2 jun. 2021]. Disponível em WWW:<URL:https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-6700>.

ABB - **IRC5 Data Sheet** [Em linha] [Consult. 20 fev. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://new.abb.com/products/robotics/controllers/irc5-overview>.

ABB - **IRB 6700 Data Sheet** [Em linha] [Consult. 14 jun. 2021]. Disponível em WWW:<URL:https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=ROB0252EN_B&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>.

ABB - **IRB 6700 Product Specification** [Em linha] [Consult. 7 dez. 2021]. Disponível em WWW:<URL:https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC044265-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>.

AGUIRRE, Luis Antonio - **Fundamentos de Instrumentação**. 1. ed. São Paulo : Pearson, 2013. ISBN 978-8581431833.

AKM - **AKM Optical Encoders** [Em linha], atual. 2022. [Consult. 10 mai. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.akm.com/eu/en/products/rotation-angle-sensor/tutorial/optical-encoder/>.

ALPHONSUS, Ephrem Ryan; ABDULLAH, Mohammad Omar - A review on the applications of programmable logic controllers (PLCs). Em **Renewable and Sustainable Energy Reviews** [Em linha]. [S.l.] : Elsevier Ltd, 2016 Disponível em WWW:<URL:https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032116000551>.v. 60. p. 1185–1205.

AUTODESK - **Autodesk Fusion 360 Home Page** [Em linha], atual. 2022. [Consult. 2 fev. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.asidek.es/pt-pt/autodesk-fusion-360/>.

BERTONI, Renaud; ANDRE, Hugo - Comparison of Incremental Encoders in Order to Improve IAS Based Diagnosis. Em **2020 Prognostics and Health Management Conference (PHM-Besançon)** [Em linha]. [S.l.] : IEEE, Mai. 2020 Disponível em WWW:<URL:https://ieeexplore.ieee.org/document/9115500/>. ISBN 978-1-7281-5675-0

BOLTON, William - **Programmable Logic Controllers** [Em linha]. 4. ed. Oxford : Elsevier, 2006 Disponível em

WWW:<URL:https://www.etf.ues.rs.ba/~slubura/Procesni%20racunari/Programmable%20Logic%20Co
ntrollers%204th%20Edition%20(W%20Bolton).pdf>. ISBN 978-0-7506-8112-4.

BOTEZATU, C. *et al.* - Use of the Ishikawa diagram in the investigation of some industrial processes. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. . ISSN 1757-8981. 682:1 (2019) 1–7. doi: 10.1088/1757-899X/682/1/012012.

CANADAS N. - **Modelação da parte física de sistemas mecatrónicos e estudo da sua influência em simulação MiL (Model-in-the-loop)**. Guimarães : Universidade do Minho, Dez. 2013
Dissertação.

CARLSON, Carl S. - Understanding the Fundamental Definitions and Concepts of FMEAs. Em **Effective FMEAs: Achieving Safe, Reliable, and Economical Products and Processes Using Failure Mode and Effects Analysis** [Em linha]. Hoboken, NJ, USA : John Wiley & Sons, Inc., 2012 Disponível em WWW:<URL:https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781118312575.ch3>. ISBN 9781118007433. p. 21–55.

CARRARA, Valdemir - **Introdução à Robótica Industrial** [Em linha]. São Paulo : [s.n.] Disponível em WWW:<URL:http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3K5JPL8>.

CENTRO DE INFORMÁTICA - UFPE - **Tabela da Distribuição Normal Padrão Unicaudal** [Em linha], atual. 2022. [Consult. 24 jun. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://cin.ufpe.br/~et586cc/download/Normal.pdf>.

CITISYSTEMS - **Citisystems Home Page** [Em linha], atual. 2022. [Consult. 20 mai. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.citisystems.com.br/>.

DEMATIC - **Dematic Home Page** [Em linha], atual. 2022. [Consult. 23 fev. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.dematic.com/pt-pt/>.

DEPARTMENT OF DEFENSE - **GUIDE FOR ACHIEVING RELIABILITY, AVAILABILITY, AND MAINTAINABILITY «Systems Engineering for Mission Success»** [Em linha] [Consult. 6 jun. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.acqnotes.com/Attachments/DoD%20Reliability%20Availability%20and%20Maintainability%20(RAM)%20Guide.pdf>.

DHILLON, B. S. - **Robot Reliability and Safety** [Em linha]. New York, NY : Springer New York, 1991 Disponível em WWW:<URL:http://link.springer.com/10.1007/978-1-4612-3148-6>. ISBN 978-1-4612-7814-6.

DJP - **Sensores Óticos** [Em linha], atual. 2022. [Consult. 30 mai. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://djpaotomacao.com/sensores-opticos/>.

EMETA - **MA240 Data Sheet** [Em linha] [Consult. 3 jun. 2022]. Disponível em WWW:<URL:www.emetaencoders.com>.

ENGEREY - **Engerey Home Page** [Em linha], atual. 2022. [Consult. 29 mai. 2022]. Disponível em WWW:<URL:http://www.engerey.com.br/>.

FESTO - **Product Service Life at Festo** [Em linha], atual. 2022. [Consult. 29 mai. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/293239/Product_Service_Life_at_Festo_135502_EN_09_2013.pdf>.

FESTO - **Festo Home Page** [Em linha], atual. 2022. [Consult. 29 mai. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.festo.com/pt/pt/>.

FRADEN, Jacob - **Handbook of Modern Sensors** [Em linha]. 4. ed. New York, NY : Springer New York, 2010 Disponível em WWW:<URL:http://link.springer.com/10.1007/978-1-4419-6466-3>. ISBN 978-1-4419-6465-6.

GURGUL, Michael - **Industrial robots and cobots: Everything you need to know about your future co-worker**. ISBN 978-83-952513-1-3.

IFM - **Ifm Home Page** [Em linha], atual. 2022. [Consult. 13 mai. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.ifm.com/pt/pt>.

IFM - **Sensor O8S202** [Em linha], atual. 2022. [Consult. 13 jun. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.ifm.com/pt/pt/product/O8S202>.

IFM - **Sensor O8S204** [Em linha], atual. 2022. [Consult. 13 jun. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.ifm.com/nz/en/product/O8T204>.

KAWASAKI - **Kawasaki History** [Em linha], atual. 2022. [Consult. 10 fev. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://answers.khi.co.jp/en/archive/history/>.

KUKA - **Kuka History** [Em linha], atual. 2022. [Consult. 14 set. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.kuka.com/pt-pt/empresa/sobre-a-kuka/hist%c3%b3ria>.

MONK - **Conveyor Belt's Sorting** [Em linha], atual. 2021. [Consult. 16 fev. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.monk-conveyors.com/industries/ch_atom>.

MONK - **Conveyor Belt's Buffering** [Em linha], atual. 2021. [Consult. 16 fev. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.monk-conveyors.com/industries/#automotive>.

MONK - **Monk Home Page** [Em linha], atual. 2021. [Consult. 16 jun. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.monk-conveyors.com/>.

OMRON - **Omron Home Page** [Em linha], atual. 2022. [Consult. 5 jun. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://industrial.omron.pt/pt/home>.

PACLIN - **Pacline Home Page** [Em linha], atual. 2022. [Consult. 18 fev. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.pacline.com/>.

PACLIN - **Overhead Conveyor FAQ** [Em linha], atual. 2022. [Consult. 18 fev. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.pacline.com/company-profile/overhead-conveyor-faq/>.

PALVADI, Srinivas Kumar; DIXIT, Pooja; DUTT, Vishal - Introduction to Robotics. Em **AI and IoT-Based Intelligent Automation in Robotics** [Em linha]. [S.l.] : Wiley, 2021 Disponível em WWW:<URL:https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781119711230.ch1>. p. 1–14.

PANDREA, Nicolae; Popa, Dinel; Stănescu, Nicolae-Doru - Industrial Robots. Em **Classical and Modern Approaches in the Theory of Mechanisms** [Em linha]. Hoboken, NJ, USA : John Wiley & Sons, Inc., 2017 Disponível em WWW:<URL:https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781119221777.ch9>. p. 369–390.

RAILTECHNIEK - **Railtechnik Home Page** [Em linha], atual. 2022. [Consult. 20 fev. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://railtechnik.com/>.

REXNORD - **Rexnord Home Page** [Em linha], atual. 2022. [Consult. 25 fev. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.rexnord.com/home.aspx>.

REXNORD - **TTC 815 Drawings** [Em linha], atual. 2022. [Consult. 25 fev. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://contentmanager.3dpublisher.net/3dproductpage/Qsvalidlogin.asp?GUID=1158875265901&name=815%20with%20Tab%20Transfer&isCate=false>.

RULLÁN, Agustin - Programmable logic controllers versus personal computers for process control. **Computers & Industrial Engineering**. . ISSN 03608352. 33:1–2 (1997) 421–424. doi: 10.1016/S0360-8352(97)00127-7.

SEIDEL, Karl - **Cablevey Conveyor Systems** [Em linha], atual. 2022. [Consult. 25 jun. 2021]. Disponível em WWW:<URL:https://cablevey.com/what-are-industrial-conveyor-systems-used-for>.

SEMCOR - **Conveyor Belt's Working** [Em linha], atual. 2022. [Consult. 14 fev. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.semcor.net/blog/how-do-conveyor-belts-work>.

SEMCOR - **Conveyor Belt's Materials** [Em linha], atual. 2022. [Consult. 14 fev. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.semcor.net/blog/conveyor-belt-material>.

SEMCOR - **Conveyor Belt's History** [Em linha], atual. 2022. [Consult. 14 fev. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.semcor.net/blog/history-of-conveyor-belts>.

SEMCOR - **Conveyor Belt's Problems** [Em linha], atual. 2022. [Consult. 14 fev. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.semcor.net/blog/common-conveyor-belt-problems>.

SOLOSTOCKS - **Bobina de aço inox, tiras, chapas, placas** [Em linha], atual. 2021. [Consult. 7 nov. 2021]. Disponível em WWW:<URL:https://www.solostocks.pt/venda-produtos/outros-produtos-minerais-metalurgia/bobina-de-aco-inox-tiras-chapas-placas-530410>.

STOW-GROUP - **Stow-Group Home Page** [Em linha], atual. 2021. [Consult. 6 out. 2021]. Disponível em WWW:<URL:https://www.stow-group.com/en>.

STOW-GROUP - **Mezzanine Platforms** [Em linha], atual. 2022. [Consult. 6 fev. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.stow-group.com/en/products/mezzanine-platforms>.

STOW-GROUP - **Cantilever Racking** [Em linha], atual. 2022. [Consult. 6 fev. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.stow-group.com/en/products/cantilever-racking>.

STOW-GROUP - **Pallet Racking** [Em linha], atual. 2022. [Consult. 6 fev. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.stow-group.com/en/products/pallet-racking>.

TEIXEIRA, Hugo Tanzarella - **Instrumentação Eletroeletrônica** [Em linha]. Londrina : Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017 [Consult. 23 mai. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.academia.edu/36515456/Instrumenta%C3%A7%C3%A3o_Eletroeletr%C3%B4nica_LIVRO_U03/05/2022>. ISBN 978-85-522-0187-8.

APÊNDICE 1

Presença da Stow no mundo



Figura 1 - Presença da Stow no mundo (Stow-Group, 2022)

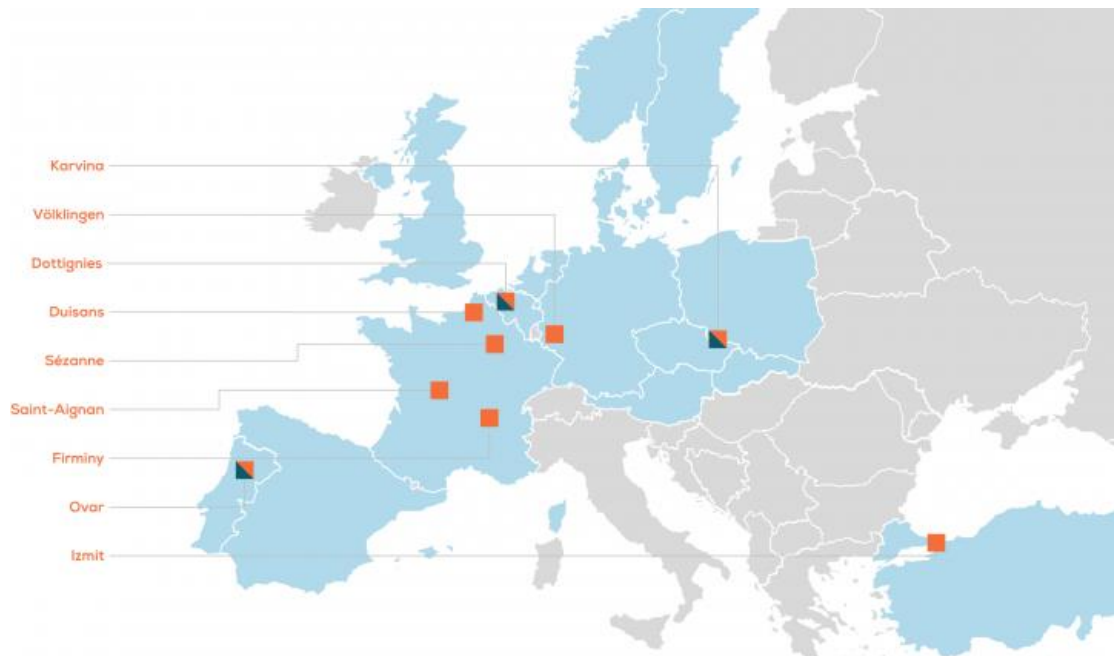


Figura 2 - Localização de organizações empresariais da Stow (Stow-Group, 2021)

APÊNDICE 2

Armazéns de grande escala



Figura 3 - Estrutura de armazenamento de paletes (Stow-Group, 2021)



Figura 4 - Estrutura de armazenamento industrial (Stow-Group, 2021)

APÊNDICE 3

Perspetivas da viga

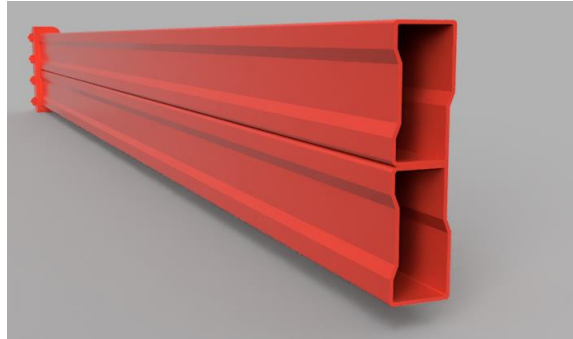


Figura 5 - Perfil da viga -



Figura 6 - Vigas na estrutura metálica (Stow-Group, 2021)



Figura 7 - Estrutura metálica de armazenamento (Stow-Group, 2021)

APÊNDICE 4

Bobine de chapa de aço



Figura 8 - Bobine de chapa de aço (SoloStocks, 2021)

Data Sheet IRB 6700



ROBOTICS

IRB 6700

The 7th generation of large industrial robots



The IRB 6700 family of robots is a natural evolution following 40 years of large robot heritage at ABB. This 7th generation of large ABB robots features a multitude of next generation improvements derived from intimate customer relationships and exhaustive engineering studies.

The IRB 6700 family is the highest performance robots in the 150-300 kilogram class, now with a 20 percent reduction in total cost of ownership achieved through more robust design, longer service intervals, increased efficiency and simplified maintenance versus the previous generation.

Multiple variants

These robots enhances ABB's portfolio by combining greater uptime, higher payloads and longer reach for use in Spot Welding, Material Handling and Machine Tending applications at the automotive and the general industries. This array of robot variants has payloads from 150 to 300 kg, reaches 2.6 to 3.2 meters, and are available as floor mounted and inverted versions.

Robust and reliable

The entire robot structure has been strengthened with higher rigidity, resulting in increased accuracy, shorter cycle time and better protection. It has been built to withstand the harshest working environments and is available with ABB's ultimate Foundry Plus 2 protection system. The IRB 6700 has also been validated and tested with more robot prototypes than ever before to ensure that the predictions for reliability were accurate in the real world.

Simplified maintenance

In designing the robot, easier serviceability was identified as a critical aspect for improving its total cost of ownership. Therefor service and repair time has been reduced by 15 percent.

Access to motors has also been improved and technical documentation for maintenance has become easier to read and understand through the use of improved graphics and 3D simulations called "Simstructions."

Built around LeanID

Every robot in the 6700 family has been designed to accommodate LeanID - a new Integrated Dressing (ID) solution meant to achieve a balance between cost and durability by integrating the most exposed parts of the dress pack into the robot. Equipping an IRB 6700 with LeanID makes it easier to program and simulate with predictable cable movements, creates a more compact footprint, and lengthens service intervals due to lessened wear and tear.

Features and benefits

- Increased service intervals and decreased service times
- Longer uptime - mean time between failures 400,000 hours
- Available with LeanID for cost effectively increasing dress pack lifetimes
- More robust with a rigid structure and a new generation of motors and compact gearboxes
- Increased speed and shorter cycle times - on average 5 percent faster
- Improved accuracy and higher payloads
- Built to operate in the harshest environments - available with Foundry Plus 2 package
- 15 percent lower energy consumption

Figura 9 - Data Sheet do robot - Página 1 (ABB, 2021)

Specification

Robot version	Reach (m)	Handling capacity (kg)*	Center of gravity (kg)	Wrist torque (Nm)
Without LeanID				
IRB 6700-200/2.60	2.60	200	300	981
IRB 6700-155/2.85	2.85	155	300	927
IRB 6700-235/2.65	2.65	235	300	1324
IRB 6700-205/2.80	2.80	205	300	1263
IRB 6700-175/3.05	3.05	175	300	1179
IRB 6700-150/3.20	3.20	150	300	1135
IRB 6700-300/2.70	2.70	300	300	1825
IRB 6700-245/3.00	3.00	245	300	1693
IRB 6700Inv-300/2.60	2.60	300	300	1825
IRB 6700Inv-245/2.90	2.90	245	300	1645
With LeanID				
IRB 6700-200/2.60	2.60	175	300	981
IRB 6700-155/2.85	2.85	140	300	927
IRB 6700-235/2.65	2.65	220	300	1324
IRB 6700-205/2.80	2.80	200	300	1263
IRB 6700-175/3.05	3.05	155	300	1179
IRB 6700-150/3.20	3.20	145	300	1135
IRB 6700-300/2.70	2.70	270	300	1825
IRB 6700-245/3.00	3.00	220	300	1693
IRB 6700Inv-300/2.60	2.60	270	300	1825
IRB 6700Inv-245/2.90	2.90	210	300	1645
Number of axes	6			
Protection	Std: IP67. Option: Foundry Plus 2			
Mounting	Floor, inverted			
Controller	IRC5 Single Cabinet/ IRC5 PMC Panel Mounted Controller			

* Extra loads can be mounted on all variants. 50 kg on upper arm and 250 kg on frame of axis 1.

Performance (according to ISO 9283)

	Position repeatability	Path repeatability
IRB 6700-200/2.60	0.05 mm	0.11 mm
IRB 6700-155/2.85	0.08 mm	0.09 mm
IRB 6700-235/2.65	0.05 mm	0.08 mm
IRB 6700-205/2.80	0.05 mm	0.08 mm
IRB 6700-175/3.05	0.05 mm	0.12 mm
IRB 6700-150/3.20	0.06 mm	0.14 mm
IRB 6700-300/2.70	0.06 mm	0.07 mm
IRB 6700-245/3.00	0.05 mm	0.12 mm
IRB 6700Inv-300/2.60	0.05 mm	0.1 mm
IRB 6700Inv-245/2.90	0.06 mm	0.22 mm

Actual values are equal or below the given values.

Technical Information

Electrical Connections	
Supply voltage	200-600 V,50/60 Hz
Energy consumption	2.8kW
Physical	
Robot base	1004 x 720 mm
Robot weight (without DressPack)	
IRB 6700-200/2.60	1250 kg
IRB 6700-155/2.85	1260 kg
IRB 6700-235/2.65	1205 kg
IRB 6700-205/2.80	1270 kg
IRB 6700-175/3.05	1220 kg
IRB 6700-150/3.20	1280 kg
IRB 6700-300/2.70	1525 kg
IRB 6700-245/3.00	1540 kg
IRB 6700 Inv-300/2.60	1690 kg
IRB 6700 Inv-245/2.90	1705 kg
Environment	
Ambient temperature for mechanical unit	
During operation	+5°C (41°F) to +50°C (122°F)
During transportation and storage	-25°C (13°F) to +55°C (131°F)
During for short periods (max. 24h)	up to +70°C (158°F)
Relative humidity	Max. 95 %
Noise level	Max. 71 dB
Safety	Double circuits with supervision, emergency stops and safety functions, 3-position enable device
Extended safety	SafeMove2
Emission	EMC/EMI-shielded
Options	Foundry Plus 2 LeanID

Data and dimensions may be changed without notice.

Movement

Axis movement	Working range
Axis 1 rotation	Default: ±170° Option: ±220°
Axis 2 arm	-65°/+85° ¹
Axis 3 arm	-180°/+70°
Axis 4 wrist	Default: ±300°
Axis 5 bend	±130° ²
Axis 6 turn	Default: ±360° ³ Max. rev: ±93.7

¹ Working range for variants IRB 6700 - 300/2.70 and - 245/3.00: +85° to -65° when axis 3 is within +70° to -45°, +85° to -58° when axis 3 is within +70° to -180°
² Working range +120° to -120° for robots with LeanID.
³ Working range +220° to -220° for robots with LeanID.

Axis max. speed

	Axis 1 (°/s)	Axis 2 (°/s)	Axis 3 (°/s)	Axis 4 (°/s)	Axis 5 (°/s)	Axis 6 (°/s)
IRB 6700-200/2.60	110	110	110	190	150	210
IRB 6700-155/2.85	110	110	110	190	150	210
IRB 6700-235/2.65	100	90	90	170	120	190
IRB 6700-205/2.80	100	90	90	170	120	190
IRB 6700-175/3.05	100	90	90	170	120	190
IRB 6700-150/3.20	100	90	90	170	120	190
IRB 6700-300/2.70	100	88	90	140	110	180
IRB 6700-245/3.00	100	88	90	140	110	180
IRB 6700Inv-300/2.60	100	88	90	140	110	180
IRB 6700Inv-245/2.90	100	88	90	140	110	180

Figura 10 - Data Sheet do robot - Página 2 (ABB, 2021)

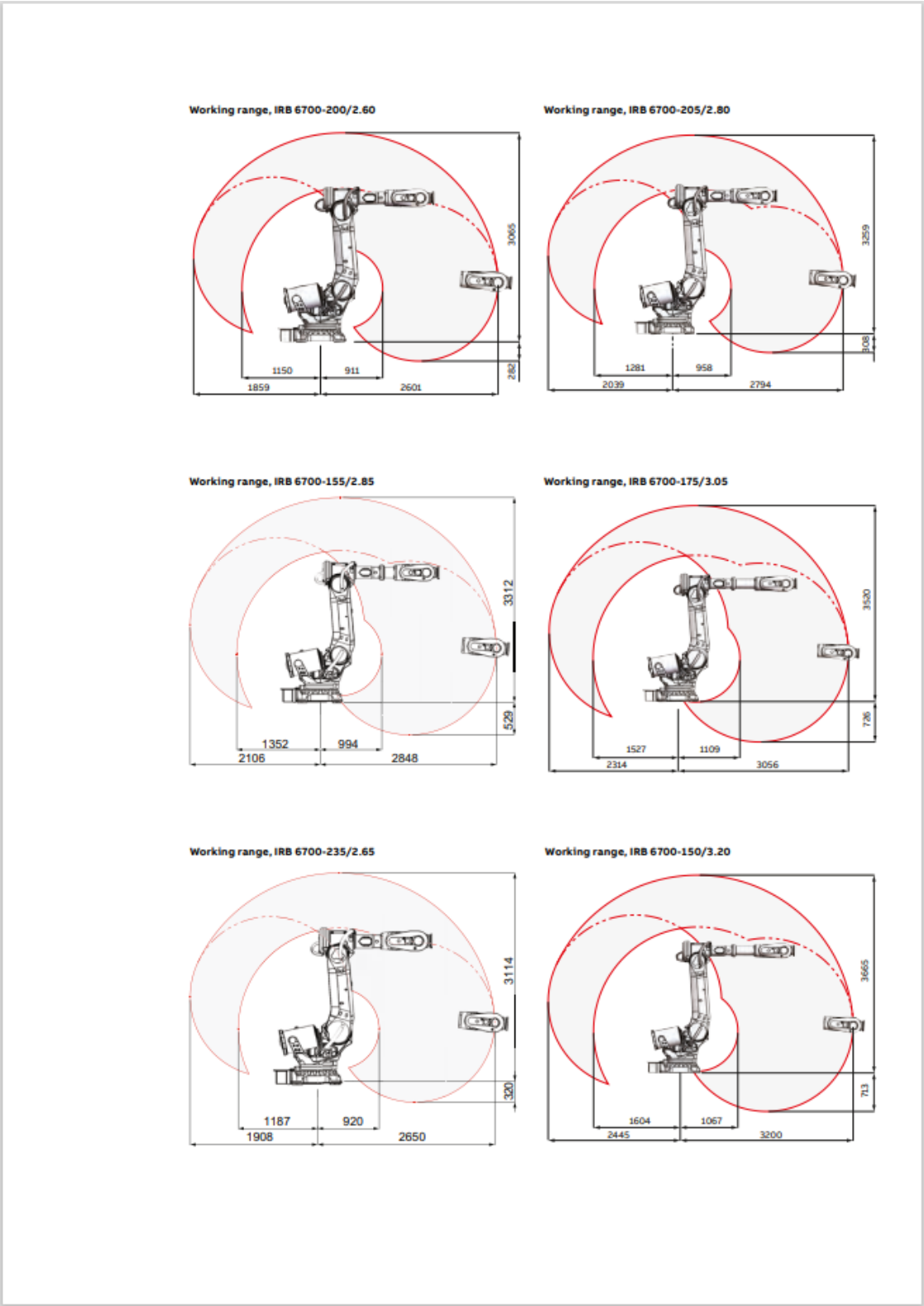
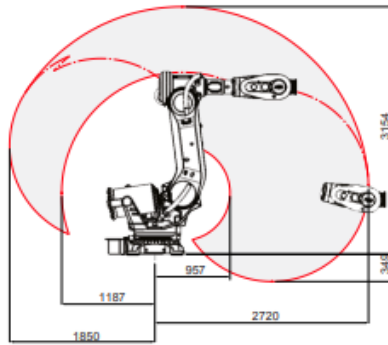
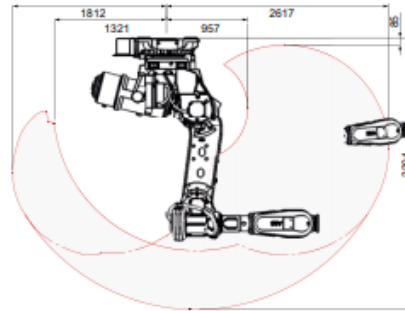


Figura 11 - Data Sheet do robot - Página 3 (ABB, 2021)

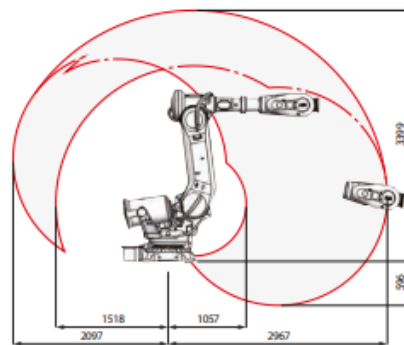
Working range, IRB 6700-300/2.70



Working range, IRB 6700Inv-300/2.60



Working range, IRB 6700-245/3.00



Working range, IRB 6700Inv-245/2.90

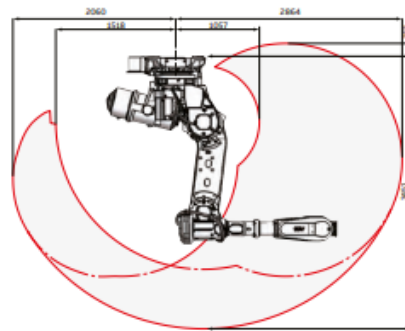


abb.com/robotics

We reserve the right to make technical changes or modify the contents of this document without prior notice. With regard to purchase orders, the agreed particulars shall prevail. ABB does not accept any responsibility whatsoever for potential errors or possible lack of information in this document.

We reserve all rights in this document and in the subject matter and illustrations contained therein. Any reproduction, disclosure to third parties or utilization of its contents – in whole or in parts – is forbidden without prior written consent of ABB. Copyright © ABB. All rights reserved.

ROBOTSZEN Rev K, 2021

Figura 12 - Data Sheet do robot - Página 4 (ABB, 2021)

Data Sheet MA240

www.emetaencoders.com

MA240 - SERIES



**HEAVY DUTY INCREMENTAL ENCODER
Ø 58 MM**

Encoder with synchro flange, rotation stop, 3 mounting holes M4

- Ø 58 mm
- 10, 12 or 14 mm full through shaft
- Enlarged sturdy bearings
- Short circuit and reversed polarity proof
- Dust and splash proof IP65
- Standard
 - 5-30V Power Supply, 300kHz
 - 2 Square Wave Signals
 - Marker Pulse, Inverted Signals and Sense
- Option
 - Customization upon request



*Flexible and durable
encoder for demanding
applications*

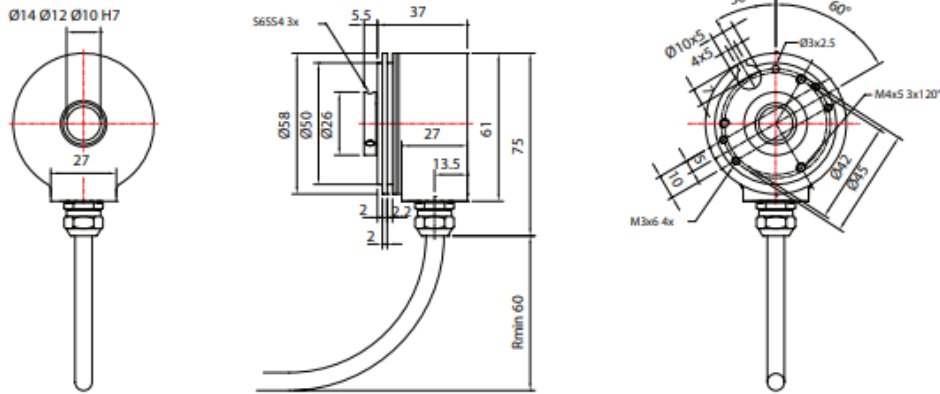
 File: E942441

 Conforms to european EMC directive 89/336/EEC standards:
EN61000-6-4 emission in industrial environments,
EN61000-6-2 immunity in industrial environ-

Figura 13 - Data Sheet do encoder - Página 1 (Emeta, 2016)

INCREMENTAL ENCODER MODEL

MA240

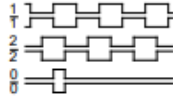


ELECTRICAL SPECIFICATION, STANDARD

Supply voltage	Vcc 5–30 V
Current consumption	Max 40 mA without load
Output circuit	Linedriver RS422A compatible
Low level output volt.	Max <0,5 V at 20 mA load and 20°C
High level output volt.	Min >Vcc-1V at 20mA load and 20°C
Short circuit protected	Yes
Polarity protected	Yes
Transient protected	Yes
Max load	70 mA

OUTPUT SIGNALS, STANDARD

CCW rotation viewed from shaft end



SIGNAL ACCURACY

Dividing error max	± 50 el*
Channel separation	90 ± 25 el*
Max frequency	300 kHz
Operating temperature	-40° to +80°C

MECHANICAL SPECIFICATION

Housing	Aluminum, electrically conductive for increased interference protection
Sealing	IP65 dust and splash proof
Bearings	Permanently greased
Bearing load at 1 000 rpm:	
Radial	110 N Gives 50 000 hrs
Axial	70 N bearing life
Max rpm	6 000 (12 000)
Vibration	20g 20-2000 Hz
Shock	200g at 11 ms
Weight	approx. 240 g. (without cable)

CONNECTION

- 20. Radial cable, 1 m 10x0,25TPUR with screen
- 40. Radial 12-pin male connector CON-FM12P
- 80. Radial cable 1 m with male connector CON-CF12P
- 48. Radial 8-pin male M12 connector

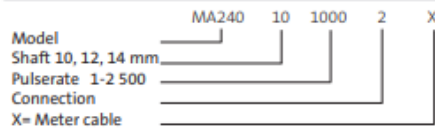
FUNCTION

	Cable 2X	40	80	48
1	Brown	5	5	4-Yellow
2	Grey	8	8	3-Green
0	Red	3	3	2-Brown
1 inv.	Green	6	6	5-Grey
2 inv.	Yellow	1	1	1-White
0 inv.	Black	4	4	6-Pink
+V	Brown/Green	12	12	8-Red
0 V	White/Green	10	10	7-Blue
+V sense	Blue	2	2	-
0V sense	White	11	11	-
Gnd	Screen	Chassi	9	Chassi

MATING CONNECTORS

- For 40, CON-CF12S female mating connector
- For 80, CON-CM12S female mating connector
- For 48, 8-pin female M12 mating connector

ORDERING CODE



Skogsvägen 1, SE-645 34 Strängnäs, Sweden
 Tel: +46 152 33 11 90. Fax: +46 152 33 11 91
 E-mail: info@emeta.se
 www.emetaencoders.com

Rev. 2.02.6.10.21. Spec/updates in this data sheet is subject to change without prior notice.

Figura 14 - Data Sheet do encoder - Página 2 (Emeta, 2016)

APÊNDICE 7

Robot IRB 6700 – Descrição

Estrutura

De acordo com as especificações do produto da ABB, este *robot* está equipado com o IRC5 *Controller* (IRC5) e software de controlo de *robot*, *RobotWare*. Este software está devidamente preparado para lidar com todos os aspetos do sistema do *robot*, no entanto pode também ser utilizado com outro software opcional para suporte na aplicação como soldaduras, aplicação de colas ou capacidades comunicativas ou para tarefas mais complexas como *multitasking*, controlo de sensores, etc. É um *robot* de 6 eixos, nomeados de A a F e 1 a 6 de acordo com a figura abaixo e tem uma capacidade de carga entre 150 kg a 3,20 m de alcance e 300 kg a 2,70 m de alcance.

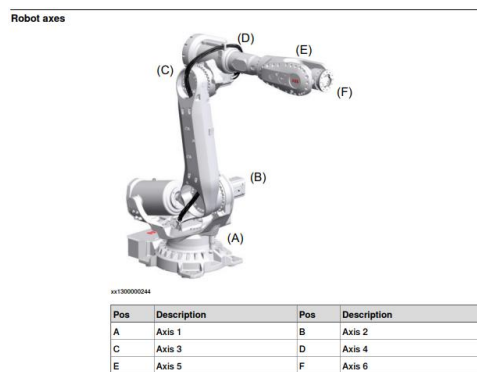


Figura 15 - Eixos do robot (ABB, 2021)

Existem 10 versões do *robot*, incluindo 2 versões invertidas. Cada versão é denominada pelo seu nome seguido da capacidade de carga em kg e do seu alcance em metros. O *robot* utilizado é o IRB 6700-205/2.80. Tendo em conta a nomenclatura dos *robots*, demonstra-se o peso de cada um e o consumo de energia de cada versão em cargas máximas.

Robot types

The following standard robot versions are available.

Robot type	Handling capacity (kg)	Handling capacity for LeanID (kg)	Reach (m)
IRB 6700	235 kg	220 kg	2.65 m
IRB 6700	205 kg	200 kg	2.80 m
IRB 6700	200 kg	175 kg	2.60 m
IRB 6700	175 kg	155 kg	3.05 m
IRB 6700	155 kg	140 kg	2.85 m
IRB 6700	150 kg	145 kg	3.20 m
IRB 6700	300 kg	270 kg	2.70 m
IRB 6700	245 kg	220 kg	3.00 m
IRB 6700Inv	300 kg	270 kg	2.60 m
IRB 6700Inv	245 kg	210 kg	2.90 m

Figura 16 - Capacidade de carga e alcance dos robots (ABB, 2021)

Manipulator weight

Robot type	Weight ¹
IRB 6700-235/2.65	1250 kg
IRB 6700-205/2.80	1260 kg
IRB 6700-200/2.60	1205 kg
IRB 6700-175/3.05	1270 kg
IRB 6700-155/2.85	1220 kg
IRB 6700-150/3.20	1280 kg
IRB 6700-300/2.70	1525 kg
IRB 6700-245/3.00	1540 kg
IRB 6700INV-300/2.60	1690 kg
IRB 6700INV-245/2.90	1705 kg

Figura 17 - Peso de cada versão do robot (ABB, 2021)

Power consumption at max load

Type of movement	235/2.65	205/2.80	200/2.60	175/3.05	155/2.85	150/3.20	300/2.70	245/3.00	INV 300/2.60	INV 245/2.90
ISO Cube Max. velocity (kW)	2.9	2.6	2.6	2.8	2.7	2.7	3.4	3.2	3.4	3.3
Robot in calibration position	235/2.65	205/2.80	200/2.60	175/3.05	155/2.85	150/3.20	300/2.70	245/3.00	INV 300/2.60	INV 245/2.90
Brakes engaged (kW)	0.16	0.17	0.15	0.16	0.15	0.16	0.15	0.15	0.17	0.17
Brakes disengaged (kW)	0.71	0.84	0.62	0.82	0.69	0.77	0.79	0.75	1.06	0.99

Figura 18 - Consumo de cada versão do robot em carga máxima (ABB, 2021)

Além das capacidades de carga, pesos e consumos, a própria geometria do *robot* também se altera, nomeadamente os braços entre cada eixo e as espessuras alteram algumas dimensões. A Especificação do Produto IRB 6700 demonstra 9 medidas variáveis entre os *robots*.

Main dimensions of IRB 6700

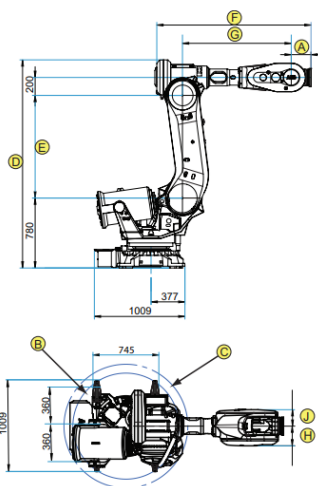


Figura 19 - Dimensões principais do robot (ABB, 2021)

Pos	Description
A	200 mm (all standard variants); except 300/2.70 and 245/3.00 =220 mm 350 mm (all LeanID variants, option 780-4); except IRB 300/2.70 and 245/3.00 = 380 mm
B	Radius ax1, front = 532 mm (IRB 6700-235/2.65, -205/2.80, -175/3.05, -150/3.20, -200/2.60 and -155/2.85) Radius ax1, front = 600 mm (IRB 6700-300/2.70 and -245/3.00)
C	Radius ax1, back = 633 mm (IRB 6700-235/2.65, -220/2.65 LID, -205/2.80, -200/2.80 LID, -175/3.05, -155/3.05 LID, -150/3.20, -145/3.20 LID, -200/2.60, -175/2.60 LID, -155/2.85 and 140/2.85 LID)

Robot variant	D	E	F	G	H	J
IRB 6700 - 235/2.65	2300	1135	1670	1182.5	209	186
IRB 6700 - 205/2.80	2445	1280	1670	1182.5	186	209
IRB 6700 - 200/2.60	2276	1125	1623	1,142.5	197.5	193
IRB 6700 - 175/3.05	2300	1135	2080	1,592.5	209	186
IRB 6700 - 150/3.20	2445	1280	2080	1592.5	209	186
IRB 6700 - 155/2.85	2276	1125	1873	1,392.5	197.5	193
IRB 6700 - 300/2.70	2321	1145	1718.5	1212.5	222.5	187
IRB 6700 - 245/3.00	2321	1145	1968.5	1462.5	222.5	186

Figura 20 - Dimensões de cada versão do robot (ABB, 2021)

Normas

Em termos de normalização de produto, este *robot* foi desenvolvido de acordo com a “ISO 10218-1:2011, *robots for industrial environments - Safety requirements - Part 1*”. O *robot* cumpre com as normas ISO 9283:1998 sobre critérios de desempenho e métodos de teste relacionados, ISO 10218-2, ISO 12100, ISO 13849-1:2006, ISO 13850, IEC 60204-1:2005 e IEC 62061:2005 sobre normas de segurança, entre outras sobre aplicação robótica a ambientes industriais. Outras normas específicas regionais de segurança em ambientes industriais como ANSI/RIA R15.06, ANSI/UL 1740 e CAN/CSA Z 434-14.

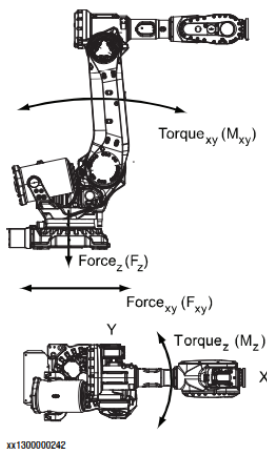
Normative standards as referred to from ISO 10218-1

Standard	Description
ISO 9283:1998	Manipulating industrial robots - Performance criteria and related test methods
ISO 10218-2	Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots - Part 2: Robot systems and integration
ISO 12100	Safety of machinery - General principles for design - Risk assessment and risk reduction
ISO 13849-1:2006	Safety of machinery - Safety related parts of control systems - Part 1: General principles for design
ISO 13850	Safety of machinery - Emergency stop - Principles for design
IEC 60204-1:2005	Safety of machinery - Electrical equipment of machines - Part 1: General requirements
IEC 62061:2005	Safety of machinery - Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems

Figura 21 - Tabela de normas requeridas da ISO 10218-1 (ABB, 2021)

Instalação

O ambiente do *robot* deve cumprir também como local não explosivo, encontrar-se em temperaturas entre os 5°C e 50°C e humidades inferiores a 95% em temperatura constante. O local de montagem do *robot* conta com cargas perpendiculares à superfície de montagem de até 35,4kN e 45,3kNm.



xx1300000242

Figura 22 - Orientação de cargas ao local de montagem do *robot* (ABB, 2021)

Maximum load

Maximum load in relation to the base coordinate system.

Floor mounted

Force	Endurance load (in operation)	Max. load (emergency stop)
Force xy	$\pm 7.4 \text{ kN}^i / \pm 8.7 \text{ kN}^{ii}$	$\pm 19.8 \text{ kN}^i / \pm 21.8 \text{ kN}^{ii}$
Force z	$14.6 \pm 4.5 \text{ kN}^i / 18.0 \pm 5.4 \text{ kN}^{ii}$	$14.6 \pm 15.7 \text{ kN}^i / 18.0 \pm 17.4 \text{ kN}^{ii}$
Torque xy	$\pm 21.0 \text{ kNm}^i / \pm 24.9 \text{ kNm}^{ii}$	$\pm 37.1 \text{ kNm}^i / \pm 45.3 \text{ kNm}^{ii}$
Torque z	$\pm 5.0 \text{ kNm}^i / \pm 6.5 \text{ kNm}^{ii}$	$\pm 11.4 \text{ kNm}^i / \pm 15.5 \text{ kNm}^{ii}$

ⁱ Valid for IRB 6700-235, -205, -175, -150, -200, -155.

ⁱⁱ Valid for IRB 6700-300, -245.

Figura 23 - Cargas aplicadas ao local de montagem do *robot* (ABB, 2021)

Calibração e Referências

Os métodos de calibração do *robot* têm essencialmente duas metodologias: Calibração normalizada e Calibração de precisão absoluta. A primeira consiste numa calibração por eixo individual, é uma técnica que dá um valor ao *robot* e é comparado com a medição que o próprio *robot* efetua durante o movimento. A Calibração de precisão absoluta é baseada na calibração normalizada, mas compensa por tolerâncias mecânicas da estrutura do *robot* e deflexões devido às cargas, este método utiliza o *CalibWare* para concluir esta calibração. A opção de Calibração de precisão absoluta está integrada nos algoritmos do IRC5, logo, não requer equipamento excepcional. Os valores esperados da calibração estão indicados.

Production data

Typical production data regarding calibration are:

Robot	Positioning accuracy (mm)		
	Average	Max	% Within 1 mm
IRB 6700 (all variants except LeanID)	0.35	0.75	100
IRB 6700 LeanID (all variants)	0.40	0.85	100

Figura 24 - Valores esperados de calibração (ABB, 2021)

Diagramas de Carga

A capacidade de carga do *robot* depende obviamente da geometria da peça com que o *robot* interage. Também na Especificação do Produto IRB 6700 podemos identificar as capacidades de atuação do eixo E (ou eixo 5), tanto em direção concordante ao eixo, como perpendicular ao eixo através de diagramas de carga. Está representado um dos diagramas de carga, onde as linhas representam o centro de massa do corpo e a massa total que ele pode ter para que o *robot* possa atuar dentro do seu desempenho normal. Estes diagramas não compensam pelo peso do órgão terminal utilizado, logo, é necessário calcular o peso e a localização do centro de massa da carga do conjunto para aplicar estes diagramas.

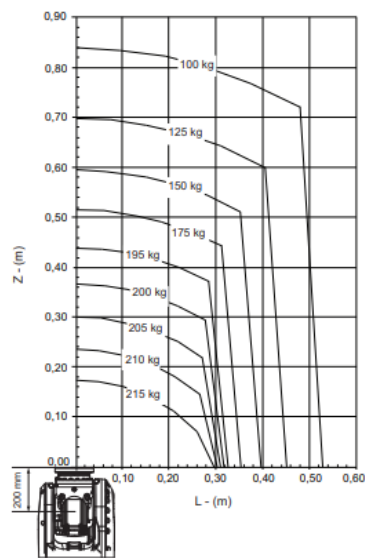


Figura 25 - Diagrama de carga do robot (ABB, 2021)

Também sobre a capacidade de carga do *robot*, está tabelado o torque máximo admissível aos pulsos do *robot*.

Torque

The table below shows the maximum permissible torque due to payload.

Robot type	Max wrist torque axis 4 and 5	Max wrist torque axis 6	Max torque valid at load
IRB 6700 - 235/2.65	1,324 Nm	650 Nm	225 kg
IRB 6700 - 205/2.80	1,263 Nm	625 Nm	192 kg
IRB 6700 - 200/2.60	981 Nm	429 Nm	175 kg
IRB 6700 - 175/3.05	1,179 Nm	589 Nm	154 kg
IRB 6700 - 155/2.85	927 Nm	410 Nm	144 kg
IRB 6700 - 150/3.20	1,135 Nm	570 Nm	137 kg
IRB 6700 - 300/2.70	1,825 Nm	865 Nm	280 kg
IRB 6700 - 245/3.00	1,693 Nm	815 Nm	214 kg
IRB 6700INV - 300/2.60	1,825 Nm	865 Nm	280 kg
IRB6700I - 245/2.90	1,645 Nm	796 Nm	194 kg

Figura 26 - Torque máximo admissível para eixos 4, 5 e 6 do robot (ABB, 2021)

As acelerações do *robot* são cruciais nos arranques e paragens dos atuadores em cada eixo do *robot*. Para tornar o movimento mais suave e previsível como operador, os movimentos robóticos evoluíram para movimentos suaves e graduais. Também está discriminada a aceleração máxima de cada versão do *robot* em produção e a sua aceleração em paragem de emergência. As distâncias e tempos de paragem do *robot* obedecem a “EN ISO 10218-1 Annex B, robot stopping distances”.

Maximum Cartesian design acceleration for nominal loads

Robot type	E-stop Max acceleration at nominal load COG [m/s ²]	Controlled Motion Max acceleration at nominal load COG [m/s ²]
IRB 6700 - 235/2.65	41	22
IRB 6700 - 205/2.8	45	24
IRB 6700 - 175/3.05	42	25
IRB 6700 - 150/3.2	47	24
IRB 6700 - 200/2.6	51	23
IRB 6700 - 155/2.85	47	29
IRB 6700 - 300/2.7	39	21
IRB 6700 - 245/3.0	44	27

Figura 27 - Acelerações máximas dos robots (ABB, 2021)

Montagem de Equipamentos no *robot*

O *robot* pode ser adaptado para carregar cargas superiores às nominais, por via de instalação de contrapesos. Na Especificação do Produto IRB 6700 está também evidenciado a disponibilidade de montagem destes equipamentos nas várias versões do *robot*.

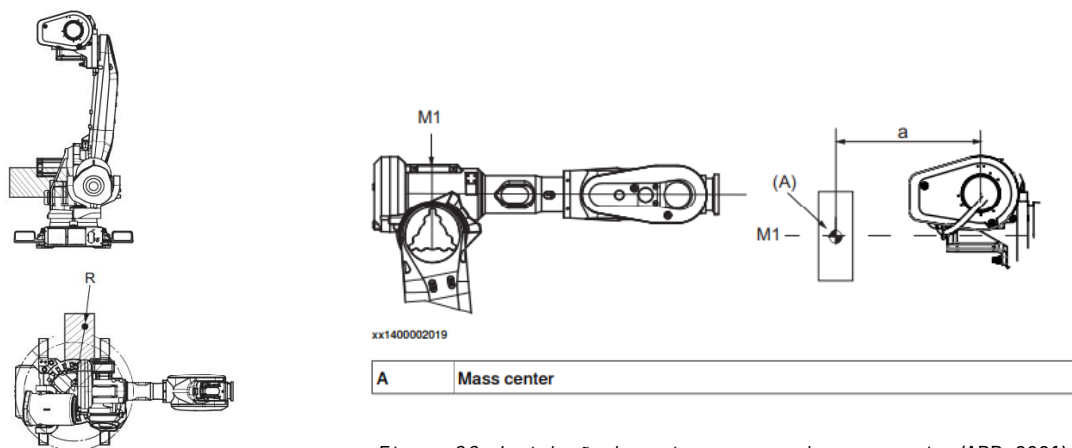


Figura 29 - Instalação de contrapeso para braço superior (ABB, 2021)

Figura 28 - Instalação de contrapeso para a estrutura (ABB, 2021)

Manutenção

A manutenção do *robot* é bastante otimizada devido à utilização de motores AC, utilização de óleo apenas em caixas de engrenagens e à cablagem modular, que, no caso de falha pode ser substituída mais facilmente. A frequência de manutenção depende da utilização do *robot*.

Movimentos do *robot*

Os movimentos do *robot* são caracterizados como “*Rotation motion*”, “*Arm motion*”, “*Wrist motion*”, “*Bend motion*” e “*Turn motion*”. Estão também indicados os limites de rotação dos eixos, dependendo da versão do *robot*. Para evitar colisões do *robot*, é também corrigido o limite de rotação por exemplo dos eixos 2 e 3 em duas versões do *robot*.

Type of motion				
Axis	Type of motion	Range of movement - IRB 6700	Range of movement - IRB 6700Inv	Note
Axis 1	Rotation motion	$\pm 170^\circ$ or $\pm 220^\circ$ (option)	$\pm 170^\circ$	
Axis 2	Arm motion	$-65^\circ/+85^\circ$ ⁱ	$\pm 65^\circ$ ⁱⁱ	
Axis 3	Arm motion	$-180^\circ/+70^\circ$	-180° ⁱⁱ / $+70^\circ$ ⁱⁱ	
Axis 4	Wrist motion	$\pm 300^\circ$	$\pm 300^\circ$	
Axis 5	Bend motion	$\pm 130^\circ$ ⁱⁱⁱ	$\pm 130^\circ$ ⁱⁱⁱ	
Axis 6	Turn motion	$\pm 360^\circ$ ^{iv}	$\pm 360^\circ$ ^{iv}	
		± 93.7 revolutions	± 93.7 revolutions	Maximum value. The default working range for axis 6 can be extended by changing parameter values in the software. Option 610-1 <i>Independent axis</i>

- ⁱ Working range for variants IRB 6700 - 300/2.70 and - 245/3.00:
+85° to -65° when axis 3 is within +70° to -45°
+85° to -58° when axis 3 is within +70° to -180°
- ⁱⁱ Working ranges of axis 2 and axis 3 are limited in some areas to avoid collision with balancing.
- ⁱⁱⁱ Working range +120° to -120° for robots with LeanID, option 780-4
- ^{iv} Working range +220° to -220° for robots with LeanID, option 780-4

Figura 30 - Tipo de movimento dos eixos dos robots (ABB, 2021)

Working range axis 2 and axis 3 for IRB 6700-300/2.70 and -245/3.00

Limited in some areas to avoid collision with balancing.

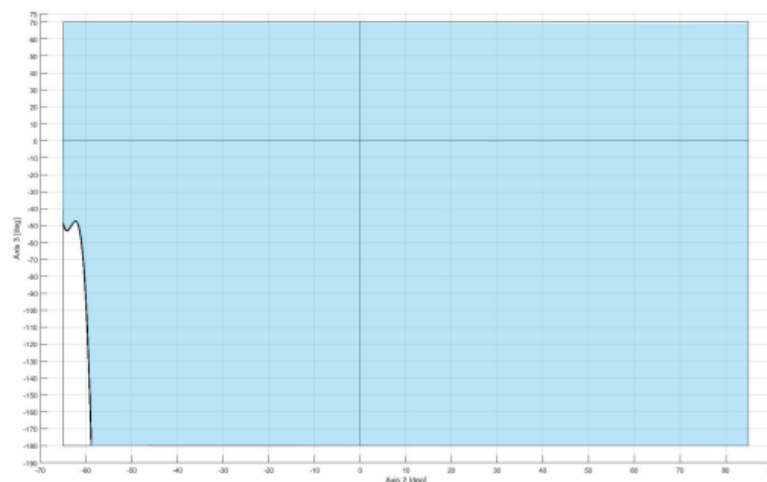


Figura 31 - Compensação de colisões dos eixos 2 e 3 (ABB, 2021)

Para melhor visualização do alcance do *robot*:

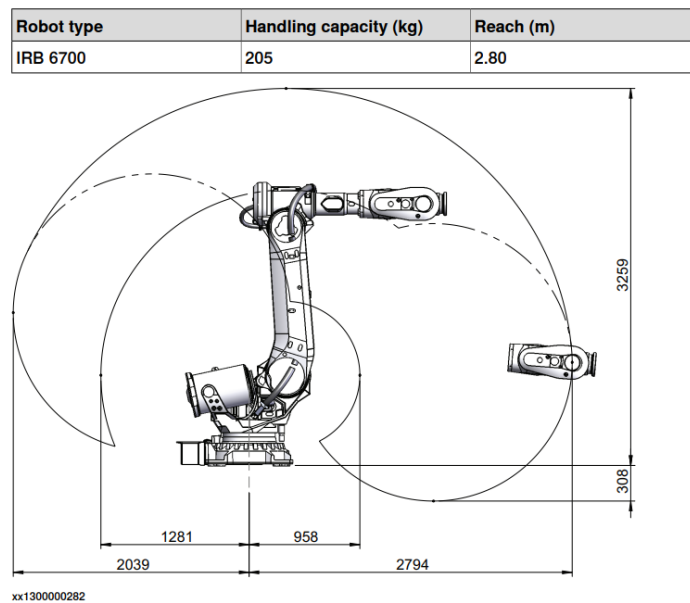
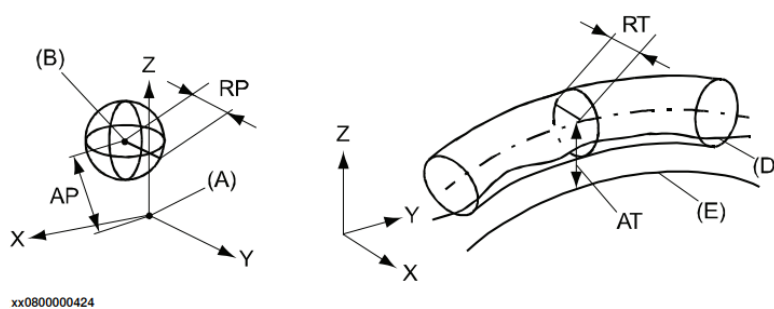


Figura 32 - Alcance de movimento do robot (ABB, 2021)

De acordo com a norma ISO 9283 os valores de precisão do *robot* são recolhidos de movimentos na grandeza de 1,6 m/s com a aplicação da carga máxima e maior distância percorrida possível dentro de um plano inclinado, com a atuação de todos os eixos. Existem fatores como a configuração inicial dos eixos, a direção da carga no sistema, ou até folgas nas caixas de engrenagens que podem agravar irregularidades nos movimentos e não serem obtidos valores iguais aos tabelados na Especificação do Produto IRB 6700. Os resultados dos testes ISO 9283 estão representados:

The figures for AP, RP, AT and RT are measured according to figure below.



Pos	Description	Pos	Description
A	Programmed position	E	Programmed path
B	Mean position at program execution	D	Actual path at program execution
AP	Mean distance from programmed position	AT	Max deviation from E to average path
RP	Tolerance of position B at repeated positioning	RT	Tolerance of the path at repeated program execution

Figura 33 - Nomenclatura das variáveis em testes de precisão (ABB, 2021)

IRB 6700	235/2.65	205/2.80	175/3.05	150/3.20
Pose accuracy, AP ⁱ (mm)	0.03	0.06	0.04	0.05
Pose repeatability, RP (mm)	0.05	0.05	0.05	0.06
Pose stabilization time, PSt (s) within 0.4 mm of the position	0.16	0.17	0.28	0.34
Path accuracy, AT (mm)	1.7	1.5	1.9	1.6
Path repeatability, RT (mm)	0.08	0.08	0.12	0.14

ⁱ AP according to the ISO test above, is the difference between the taught position (position manually modified in the cell) and the average position obtained during program execution.

Figura 34 - Resultados do teste ISO 9283 em 4 versões do robot (ABB, 2021)

A limitação absoluta dos movimentos do *robot* depende da capacidade de atuação de cada eixo. Há prevenção de sobreaquecimento em aplicações com movimentos intensivos e frequentes, no entanto, de modo geral, a velocidade máxima de cada eixo está representada.

Maximum axis speed

Robot type	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4	Axis 5	Axis 6
IRB 6700-235/2.65	100 °/s	90 °/s	90 °/s	170 °/s	120 °/s	190 °/s
IRB 6700-205/2.80	100 °/s	90 °/s	90 °/s	170 °/s	120 °/s	190 °/s
IRB 6700-200/2.60	110 °/s	110 °/s	110 °/s	190 °/s	150 °/s	210 °/s
IRB 6700-175/3.05	100 °/s	90 °/s	90 °/s	170 °/s	120 °/s	190 °/s
IRB 6700-155/2.85	110 °/s	110 °/s	110 °/s	190 °/s	150 °/s	210 °/s
IRB 6700-150/3.20	100 °/s	90 °/s	90 °/s	170 °/s	120 °/s	190 °/s
IRB 6700-300/2.70	100 °/s	88 °/s	90 °/s	140 °/s	110 °/s	180 °/s
IRB 6700-245/3.00	100 °/s	88 °/s	90 °/s	140 °/s	110 °/s	180 °/s
IRB 6700Inv-300/2.60	100 °/s	88 °/s	90 °/s	140 °/s	110 °/s	180 °/s
IRB 6700Inv-245/2.90	100 °/s	88 °/s	90 °/s	140 °/s	110 °/s	180 °/s

Figura 35 - Velocidade máxima de rotação dos eixos, individualmente (ABB, 2021)

Arrefecimento para o Eixo 1

Para evitar sobreaquecimento dos motores e engrenagens em aplicações com movimento intensivo (alta velocidade média e/ou alto torque médio e/ou pequeno tempo de espera) do eixo 1, pode ser utilizada a opção 87-1.

A proteção válida para a ventoinha é a IP54. A falha da ventoinha para o *robot*. A opção não é permitida quando o *robot* é equipado numa linha de movimento, IRBT.

Para determinar o uso da ventoinha de arrefecimento para o eixo 1 usa-se a função *Gearbox Heat Prediction Tool* no *RobotStudio*. Factos viáveis para a decisão de necessidade da ventoinha serão alcançados ao inserir a temperatura ambiente para o ciclo determinado.

Pistola Servo

O *robot* pode ser equipado com hardware e software para controlar as seguintes configurações:

- Atuador estacionário;
- Atuador robótico;
- Atuador robótico e *track motion*;
- *Track motion*.

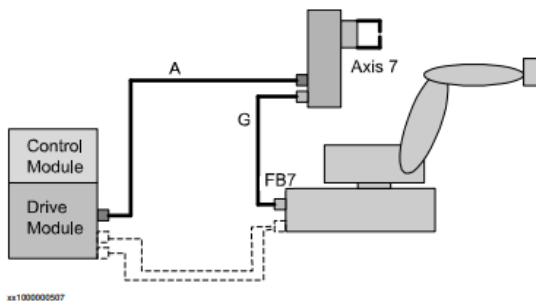


Figura 36 - Atuador estacionário (ABB, 2021)

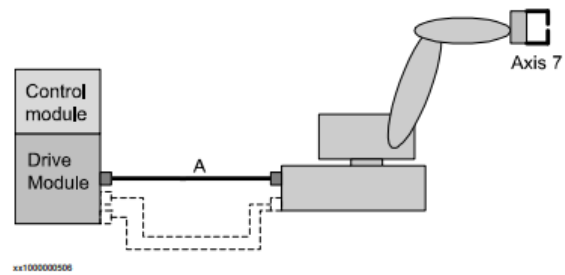


Figura 37 - Atuador robótico (ABB, 2021)

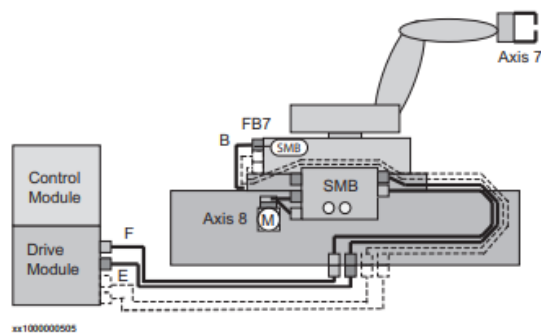


Figura 38 - Atuador robótico e track motion (ABB, 2021)

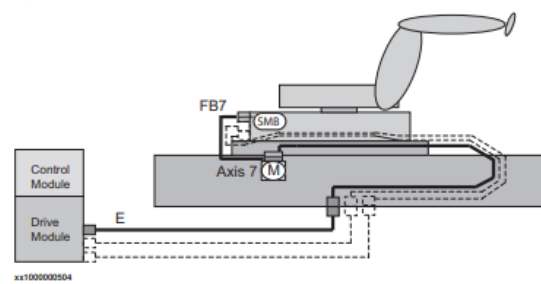


Figura 39 - Track motion (ABB, 2021)

APÊNDICE 8

Robot IRB 6700 – Pacote de Proteção

Introdução

O *robot* inclui opções para o braço superior, braço inferior e solo (posição B, C e D). Estas são descritas separadamente, mas são parte de um pacote completo para várias aplicações.

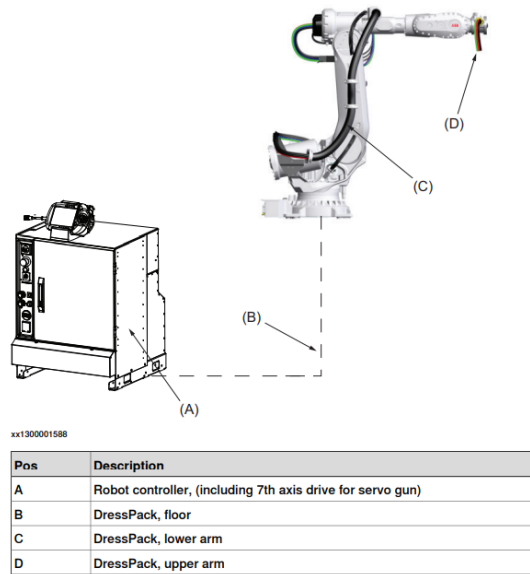


Figura 40 - Esquema de opções de proteção com tabela de descrição (ABB, 2021)

Os diferentes *robots* podem ser equipados com o DP de cablagem e mangueiras integrada, o DP foi desenvolvido em conjunto com o manipulador, logo está bem sincronizado com o *robot*. Existe uma grande variabilidade de flexibilidade necessária para cada utilizador, dependendo da complexidade da operação, e existem duas classes principais de soluções de DP disponibilizadas, a *LeanID* e a MH 3.

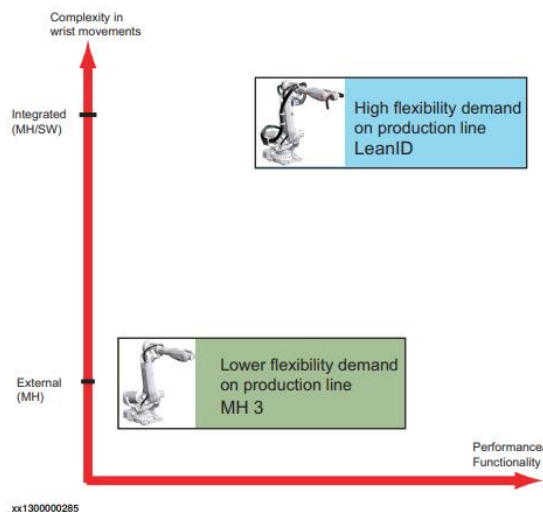


Figura 41 - Principais classes dos DP (ABB, 2021)

A classe integrada é pretendida numa produção onde existam muitos movimentos de pulso complexos e a necessidade de flexibilidade a alterar os produtos. As opções são as 798-3 e a 780-4 para MH/SW, o conceito *LeanID*.

A classe externa é recomendada onde não existem movimentos complexos no pulso. Normalmente ocorre onde não existem produtos muito diferentes na linha de produção. Este DP requer mais ajustes individuais para otimizar a programação do *robot*. As opções são a 798-3 e 780-3 para MH.

Ao equipar um DP, o braço superior sofrerá novas limitações;

- Ao dobrar para posições posteriores existem limitações devido a interferências com o manipulador;
- Poderá restringir o alcance de trabalho.

A opção 780-4 limita os eixos 5 e 6, dependendo de como o DP é montado na ferramenta e como é feito o ajuste, da seguinte forma:

Axis	Working range
Axis 5	120° to -120°
Axis 6	220° to -220°

Figura 42 - Limitações dos eixos com o DP 780-4 (ABB, 2021)

Para melhorar a vida útil dos DP, existem posições/movimentos a evitar na programação da produção do *robot*. A vida útil dos DP externos, ou MH 3, do braço superior, das proteções de mangueiras e mangas irão ser significativamente melhoradas com esta operação.

Pacote de Proteção (*DressPack*)

Os DP disponíveis para aplicações de MH e de SW, ambos com uma proteção no braço inferior da base ao eixo 3 e no braço superior do eixo 3 ao 6:

Available DressPack configurations for Material Handling

The table below shows the different DressPack configurations available for Material Handling.

	Lower arm	Upper arm
Option 778-1, Material Handling	Option 798-3, Base to axis 3 Internal routing in lower arm	Option 780-3, Axis 3 to 6 External routing
		Option 780-4, Axis 3 to axis 6 (LeanID) Internal routing

Available DressPack configurations for Spot Welding

The table below shows the different DressPack configurations available for Spot Welding.

	Lower arm	Upper arm
Option 778-2, Spot Welding	Option 798-3, Base to axis 3 External routing	Option 780-4, Axis 3 to axis 6 (LeanID) Internal routing

Figura 43 - DP em aplicações de MH e SW (ABB, 2021)

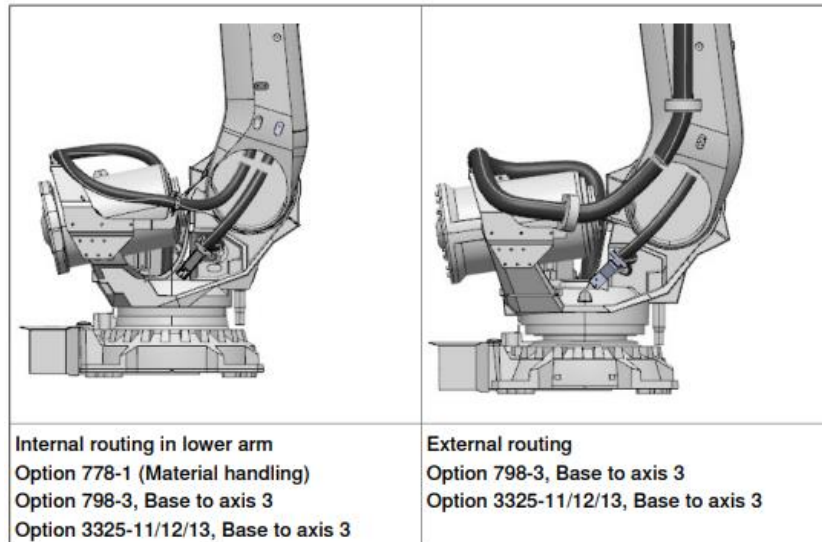
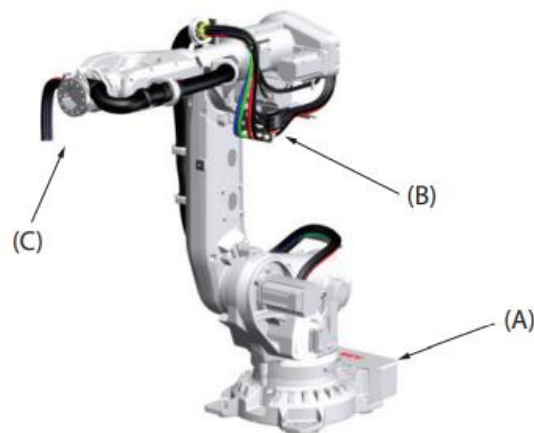


Figura 44 - Via interna e externa de cablagem do braço inferior (ABB, 2021)

Para o braço superior, as vias externas são recomendadas para MH, sendo a opção 780-3, vias internas através da parte traseira do braço superior, a proteção da mangueira é facilmente substituída se for danificada, uma versão para todos os IRB 6700 e ajuste necessário para otimização de comprimentos de cablagem/mangueiras. As vias internas, em contrapartida, são recomendadas para SW e MH, a opção 780-4, com via parcialmente interna através do braço superior, é indicado para movimentos complexos, pouca capacidade de adaptar à flexibilidade e acesso, maior vida útil, movimentos previsíveis e fácil mudança de DP.

Os pontos de montagem dos DP estão localizados:

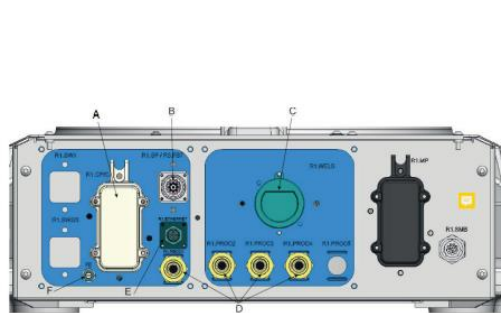


xx1300000224

Pos	Location	Description	Options
A	Base	FB7, CP/CS/CBUS	864-1, 798-3
B	Axis 3	CP/CS/CBUS	798-3
C	Axis 6	CP/CS/CBUS, WELD	780-3, 780-4

Figura 45 - Localização da montagem do DP (ABB, 2021)

A interface dos DP varia consoante a versão utilizada, a opção 798-3 está ilustrada para a base e para o eixo 3.

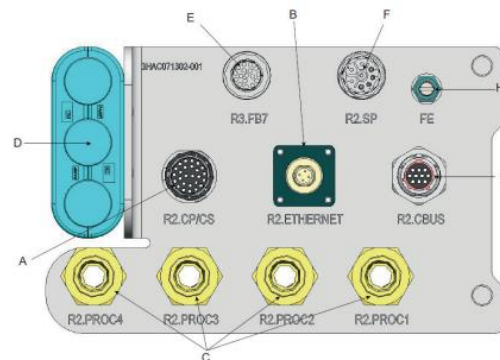


xx1900001501

For corresponding parts of the tool, see [Connection kits on page 143](#).

Pos	Description
A	R1.CP/CS
B	R1.SP (Spot Welding Servo gun) or FB7 (Resolver connection)
C	R1.WELD 3x35mm2. (Spot Welding)
D	R1.PROC 1 (Material Handling/Spot Welding 1/2", M22x1.5, 24 degree seal) R1.PROC 2 - 4 (Spot Welding 1/2", M22x1.5, 24 degree seal)
E	R1.ETHERNET (M12 connector, when EtherNet communication is selected)
F	FE (Functional Earth, when EtherNet communication is selected)

Figura 46 - Interface do DP na Base (ABB, 2021)



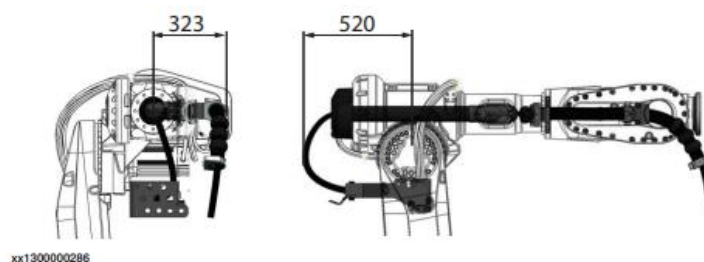
xx1900001511

For corresponding parts of the tool, see [Connection kits on page 143](#).

Pos	Description
A	R2.CP/CS
B	R2.ETHERNET (M12 connector, when EtherNet communication is selected)
C	R2.PROC 1 (Material Handling 1/2", M22x1.5, 24 degree seal) R2.PROC 2-4 (Spot Welding 1/2", M22x1.5, 24 degree seal)
D	R2.WELD 3x35mm2 (Spot Welding)
E	R2.FB7
F	R2.SP (Spot Welding Servo gun)
G	R2.CBUS (UTOW connector when Profibus or DeviceNet communication is selected)
H	FE (Functional Earth, when EtherNet communication is selected)

Figura 47 - Interface do DP no Eixo 3 (ABB, 2021)

A utilização de DP altera a dimensão do *robot* devido às peças exteriores montadas. A opção 780-3 do Eixo 3 ao 6 é de acordo com a Figura 48. A opção 778-2 com a 798-3 da base ao eixo 3 e a 780-4 do eixo 3 ao 6 estão de acordo com a Figura 49. A Opção 778-1 com a 798-3 da base ao eixo 3 e a 780-4 do eixo 3 ao 6 está representada na Figura 50.



xx1300000286

Figura 48 - Dimensão do DP 780-3 (3-6) (ABB, 2021)

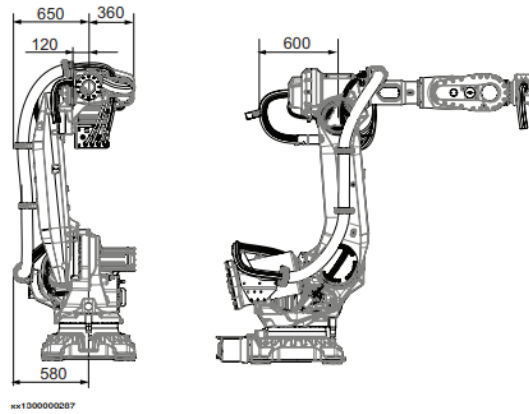


Figura 49 - Dimensão do DP 778-2 + 798-3 (1-3) + 780-4 (3-6) (ABB, 2021)

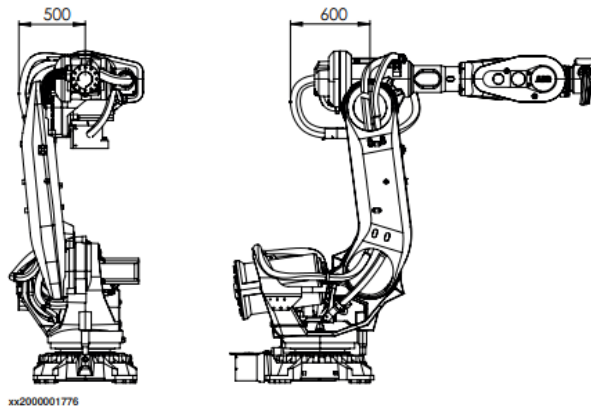
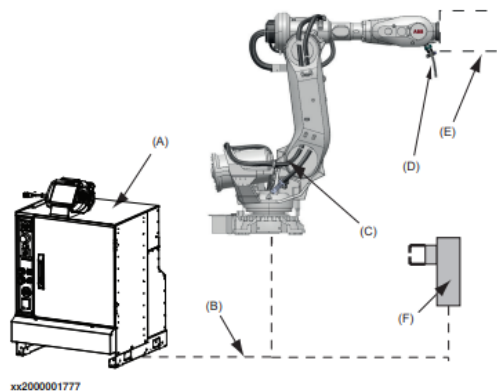


Figura 50 - Dimensão do DP 778-1 + 798-3 (1-3) + 780-4 (3-6) (ABB, 2021)

Tipo “H”/“HSe”

A variante tipo “H” é recomendada para aplicações de MH e a “HSe” para transporte de peças para um Atuador estacionário. A Figura 51 representa o esquema de aplicação desta variante.



Pos	Name	
A	Robot Cabinet IRC5	Incl. 7:th axis drive for servo gun, HSe
B	DressPack, Floor	
C	DressPack, Lower arm	
D	DressPack, Upper arm	For type H and HSe
E	Robot Gripper	
F	Stationary gun	Pneumatic or servo controlled and HSe

Figura 51 - Esquema de aplicação da variante “H” / “HSe” (ABB, 2021)

Pode-se optar por equipar opções adicionais como conexões para uma cabine (16.1), comunicação em paralelo (455-1), em Bus (455-4) ou Ethernet (455-8).

No geral, as opções requeridas para o tipo “HSe” são a opção 727-1 uma fonte de 24 V e 8 A e a opção 635-6 opção de Software para atuadores pneumáticos.

“HSe” com Pistolas Servo são a opção 907-1 uma Drive adicional, a opção 864-1 conexão no eixo 7, a opção 785-5 um atuador estacionário, a opção 786-1 conexão com a primeira Drive e a opção 635-6 Spot 6. A opção 630-1 Mudança de ferramenta Pistola Servo, caso seja necessária a mudança de ferramenta.

Tipo “Se”

A variante tipo “Se” foi desenvolvida para ferramentas Pistolas Servo transportados por *robots*. A Figura 52 representa o esquema de aplicação desta variante.

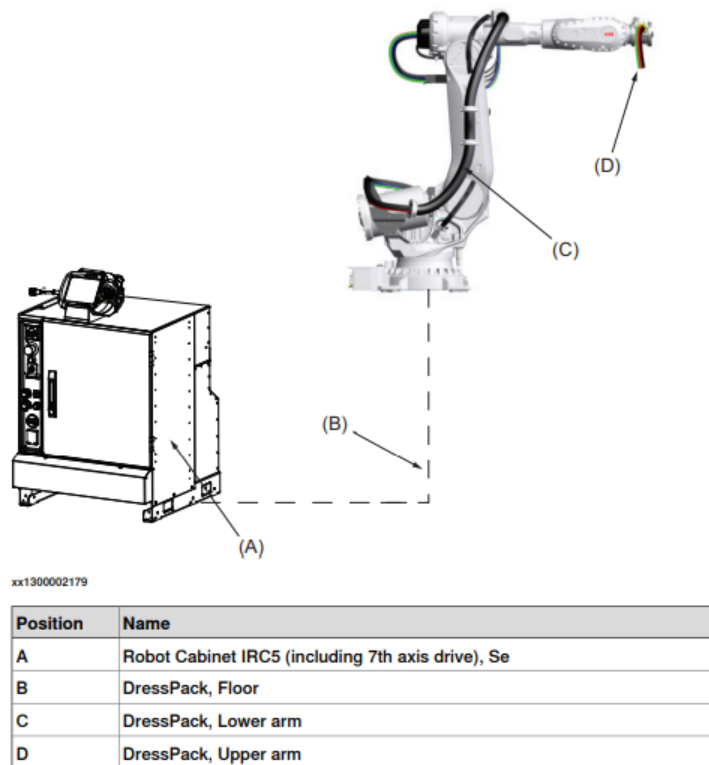


Figura 52 - Esquema de aplicação da variante “Se” (ABB, 2021)

Como a variante “H” / “HSe” pode-se optar por equipar opções adicionais como conexões para uma cabine (16.1), comunicação em paralelo (455-1), em Bus (455-4) ou Ethernet (455-8).

“Se” com Pistolas Servo são a opção 907-1 uma Drive adicional, a opção 864-1 conexão no eixo 7, a opção 785-1 um atuador robótico, a opção 786-1, -2, -3, -4 conexão com a primeira Drive e a opção

635-6 Spot 6. A opção 630-1 Mudança de ferramenta Pistola Servo, caso seja necessária a mudança de ferramenta.

Kits de conexão

Os Kits de conexão servem para a montagem do DP no *robot*. Consiste num conjunto de peças que conectam as cablagens nos DP. A Figura 53 seguinte demonstra como o Kit pode se parecer.



xx1300000223

Figura 53 - Kit de conexão (ABB, 2021)

As opções disponíveis para a Base são a 459-1 e a 453-1, para o eixo 3 é a 458-1 e para o eixo 6 são a 543-1 e a 452-1.

APÊNDICE 9

Robot IRB 6700 – Especificação de variantes e opções

Introdução a variantes e opções

As diferentes variantes e opções para o IRB são descritas individualmente, os números de opção são semelhantes aos do formulário de especificação. As variantes e opções referentes ao IRC5 são descritas na Especificação do Produto IRC5.

Manipulador

Existem 10 versões do *robot*, incluindo 2 versões invertidas. Cada versão é denominada pelo seu nome seguido da capacidade de carga em kg e do seu alcance em metros. O *robot* utilizado é o IRB 6700-205/2.80, logo a opção em estudo é a 435-112, como se identifica na Figura 54.

Option	IRB Type	Handling capacity (kg)	Reach (m)
435-111	6700	235	2.65
435-112	6700	205	2.80
435-113	6700	175	3.05
435-114	6700	150	3.20
435-115	6700	200	2.60
435-116	6700	155	2.85
435-126	6700	300	2.70
435-127	6700	245	3.00
435-138	6700Inv	300	2.60
435-139	6700Inv	245	2.90

Figura 54 - Opção para cada variante do robot (ABB, 2021)

A aparência do *robot* também pode ser alterada de acordo com as aplicações das opções representadas na Figura 55, bem como o tipo de proteção, identificado na Figura 55.

Manipulator color

Option	Description	Note
209-1	ABB Orange standard	
209-2	ABB White standard	
209-202	ABB Graphite White standard	Standard color
209-4 --192	Colors according to RAL-codes	

Figura 55 - Opções das cores do robot (ABB, 2021)

Protection types

Option	Protection type	Note
287-4	Standard	IP67
287-3	Foundry Plus 2	See <i>Protection type Foundry Plus 2</i> on page 11 for a complete description of protection type Foundry Plus 2.

Figura 56 - Opções da proteção do robot (ABB, 2021)

A garantia de reparação do *robot* é variável de acordo com a opção escolhida. A garantia recomendada é de 12 meses (Opção 438-1), e pode se estender por mais 12 meses (438-2), 18 meses (438-4), 24

meses (438-5), 6 meses (438-6) ou 30 meses (438-7). Os DP *Lean/D* (780-4) são incluídos na garantia, no entanto os DP HM3 do braço superior (780-3) não são incluídos.

Existe a opção 430-1 que inclui uma capa no braço superior, como demonstra a Figura 57.

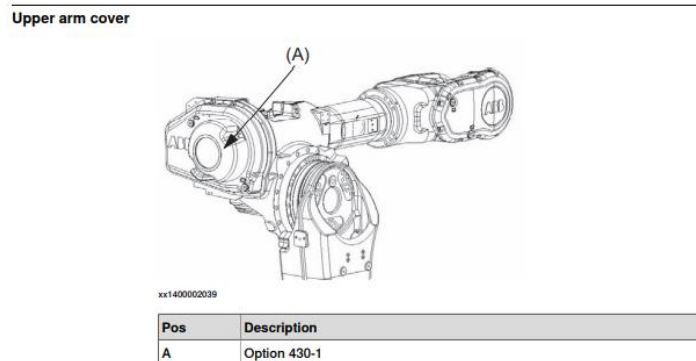


Figura 57 - Capa do braço superior (ABB, 2021)

Pode também se optar por limitar mecanicamente o eixo 1 para aumentar a segurança do *robot* como demonstra a Figura 58.

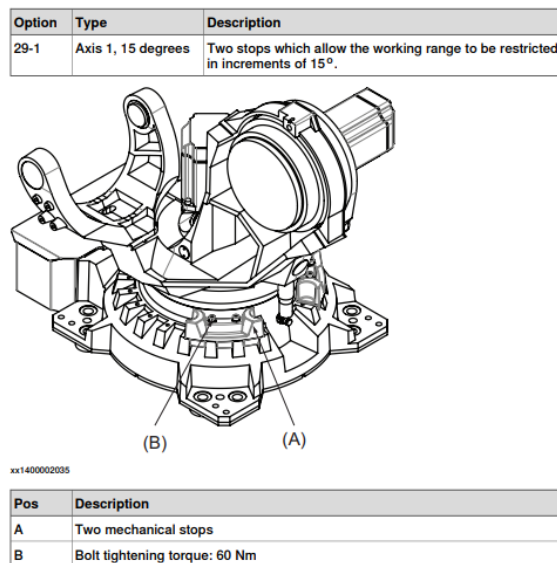
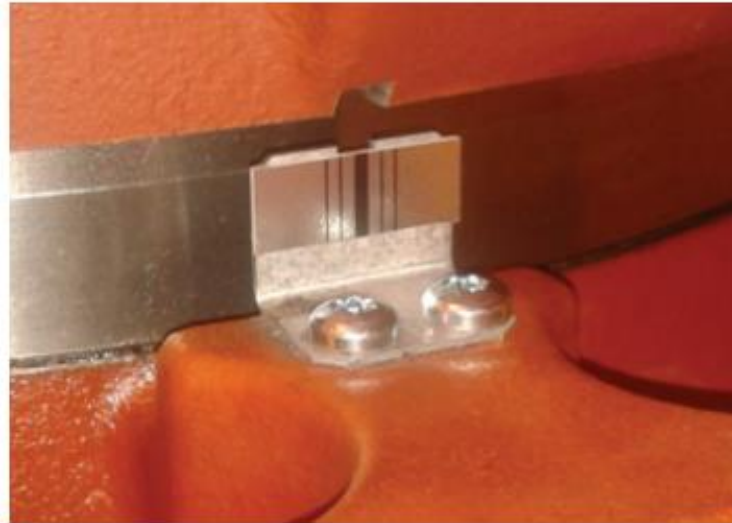


Figura 58 - Limitadores mecânicos do eixo 1 (ABB, 2021)

Se se pretender atribuir alcance extraordinário ao *robot*, é também possível aumentar a gama do eixo 1 de -170 a 170 para -220 a 220 (Opção 561-1).

Equipamento

Equipamento extra ao *robot* pode incluir lâmpada de segurança (213-1), chapa de base (37-1), ventoinha de arrefecimento do eixo 1 (87-1), capas do braço superior (430-1) ou etiquetas de sincronização (804-1), como por exemplo na Figura 59.



xx1300001127

Figura 59 - Etiqueta de sincronização (ABB, 2021)

Interruptores de posição eletrônicos podem substituir os interruptores mecânicos que indicam as posições dos três eixos principais, e incluir até 7 eixos para uma maior flexibilidade e robustez. Pode ser verificado na Especificação do produto IRC5.

Cablagem de chão

A cablagem é modular, trata-se de uma cablagem com opções de seleção de 7, 15, 22 e 30 metros, como se vê na Figura 60.

Manipulator cable length

Option	Lengths
210-2	7 m
210-3	15 m
210-4	22 m
210-5	30 m

Figura 60 - Comprimentos disponíveis da cablagem do robot (ABB, 2021)

Processo Pacote de Proteção

A conexão com uma cabine é referente à opção 16-1. Os sinais *Customer Power/Customer Signals* (CP/CS) ficam conectados a parafusos terminais de 12 polos, Phoenix MSTB 2.5/12-ST-5.08, no IRC5. A cablagem entre o R1.CP/CS e o IRC5 também é fornecida.

A rede de comunicação disponível pode ser em paralelo (455-1), que inclui CP e CS, em paralelo e Bus (455-4), que inclui CP, CS e CAN/*DeviceNet* ou *Profibus* ou em paralelo e Ethernet (455-8), que inclui CP, CS e PROFINET ou Ethernet/IP.

Pacote de Proteção de Cablagem de chão

O DP da cablagem é modular, trata-se de uma cablagem com opções de seleção de 7, 15, 22 e 30 metros, transmite sinais de rede em paralelo e CAN/*DeviceNet*/*Profibus*/Ethernet, como se vê na Figura 61.

Connection to Parallel/CAN DeviceNet/Profibus/Ethernet		
Following information specifies the cable length for Parallel, CANDeviceNet/Profibus/Ethernet for connection to cabinet.		
Option	Lengths	Description
90-2/92-2	7 m	
90-3/92-3	15 m	
90-4/92-4	22 m	
90-5/92-5	30 m	

Figura 61 - Comprimentos disponíveis do DP da cablagem do robot (ABB, 2021)

Pacote de Proteção Braço Inferior e Superior

O DP para os braços superior e inferior podem seguir duas configurações escolhidas pelas opções 778-1 para MH e 778-2 para SW. O DP do braço inferior segue a opção 798-3 com ligação da base para o eixo 3, tanto para aplicações MH como para SW, de acordo com a Figura 62. O DP para o braço superior tem as opções 780-3, com cablagem exterior do eixo 3 para o 6, e a 780-4 com cablagem interior do eixo 3 para o 6, como se pode verificar pela Figura 62 abaixo.

DressPack lower arm		
Option	Description	Note
798-3	Routing from base to axis 3	Material Handling/Spot Welding

DressPack upper arm		
Option	Description	Note
780-3	External routing from axis 3 to axis 6	Requires option 778-1 and option 798-3 ⁱ .
780-4	Internal routing from axis 3 to axis 6	Requires option 798-3. ⁱ

ⁱ Upper arm cabling is not available for IRB 6700Inv together with option Foundry plus 2.

Figura 62 - DP dos braços inferior e superior (ABB, 2021)

Kits de conexão

Os conectores encaixam nos conectores da base do *robot*, no eixo 3 e no eixo 6 respectivamente, de acordo com a tabela representada na Figura 63.

Option	Type	Description
459-1	R1.CP/CS, PROC1	For the Customer Power/Customer Signal connector and one Process connector on the manipulator base. Sockets for bus communication are included.
453-1	R3.FB7	For the 7-axis connector on the manipulator base.
458-1	R2.CP/CS, PROC1	For the Customer Power/Customer Signal connector and one Process connector at axis 3. Pins for bus communication are included.
452-1	Weld, PROC1-4 axis 6	Weld connector and four Process connectors at axis 6, the manipulator side.
543-1	CP/CS/BUS, PROC1 axis 6	Connector for customer power/customer signal/customer bus at axis 6 tool side.

Figura 63 - Opções de kits de conexão (ABB, 2021)

Pistola Servo

O *robot* pode ser utilizado com um Pistola Servo no seu pulso, segundo a opção 785-1 ou com Pistola Servo estacionária, segundo a opção 785-2. A cablagem é modular, trata-se de uma cablagem com opções de seleção de 7, 15, 22 e 30 metros.

Content

For technical description see [Servo gun on page 100](#).

Option	Lengths
785-1	For robot handled Servo Gun.
785-2	For Stationary Servo Gun.

Connection to first drive

Following information specifies the cable length for Connection to first drive. For further information see [Servo gun on page 100](#).

Option	Lengths
786-1	7 m
786-2	15 m
786-3	22 m
786-4	30 m

Figura 64 - Opções de pistola servo e cablagem associada (ABB, 2021)

Documentação do Utilizador

De acordo com a Especificação do Produto IRB 6700, a documentação do utilizador descreve o *robot* com detalhe, incluindo instruções de serviço e de segurança. Toda a documentação pode ser encontrada no site da ABB, depois de obtido o produto.

APÊNDICE 10

AMFE

Tabela 12 - Formulário contínuo da AMFE (Carlson, 2012)

Análise do Tipo e Efeito de Falha																							
Cod_pec : Nome da Peça: Data: Folha No. _____ de _____											<input type="checkbox"/> FMEA de Processo <input type="checkbox"/> FMEA de Produto												
Descrição do Produto/ Processo	Função(ões) do produto	Tipo de Falha Potencial	Efeito de Falha Potencial	Causa da Falha em Potencial	Controles Atuais	Índices				Ações d e Melhoria			Índices Atuais										
						S	O	D	R	Ações Recomendadas	Responsável/ Prazo	Medidas Implantadas	S	O	D	R							

S = Severidade O = Ocorrência D = Detecção R = Riscos

APÊNDICE 11

Tabelas de S.O.D. da AMFE

Tabela 13 - Tabela de Severidade da AMFE - Adaptado de (Carlson, 2012)

SEVERIDADE		
Índice	Severidade	Critério
1	Mínima	O cliente mal percebe que a falha ocorreu
2	Pequena	Ligeira deterioração no desempenho com leve descontentamento do cliente
3		
4	Moderada	Deterioração significativa no desempenho de um sistema com descontentamento do cliente
5		
6		
7	Alta	Sistema deixa de funcionar e grande descontentamento do cliente
8		
9	Muito Alta	Idem ao anterior porém afeta a segurança
10		

Tabela 14 - Tabela de Ocorrência da AMFE - Adaptado de (Carlson, 2012)

OCORRÊNCIA		
Índice	Ocorrência	Proporção
1	Remota	1/1.000.000
2	Pequena	1/20.000
3		1/4.000
4	Moderada	1/1.000
5		1/400
6		1/80
7	Alta	1/40
8		1/20
9	Muito Alta	1/8
10		1/2

Tabela 15 - Tabela de Detecção da AMFE - Adaptado de (Carlson, 2012)

DETEÇÃO		
Índice	Detecção	Critério
1	Muito Grande	Certamente será detectado
2		
3	Grande	Grande probabilidade de ser detectado
4		
5	Moderada	Provavelmente será detectado
6		
7	Pequena	Provavelmente não será detectado
8		
9	Muito Pequena	Certamente não será detectado
10		

APÊNDICE 12

Tabela de distribuição normal

Tabela 16 - Tabela de distribuição normal (Centro de Informática - UFPE, 2022)



Centro de Informática – UFPE
Estatística e Probabilidade para Computação

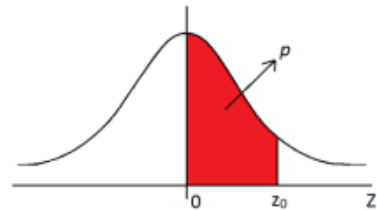


Tabela da Distribuição Normal Padrão Unicaudal
 $P(0 \leq z_0 \leq Z)$

z_0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,0000	0,0040	0,0080	0,0120	0,0160	0,0199	0,0239	0,0279	0,0319	0,0359
0,1	0,0398	0,0438	0,0478	0,0517	0,0557	0,0596	0,0636	0,0675	0,0714	0,0753
0,2	0,0793	0,0832	0,0871	0,0910	0,0948	0,0987	0,1026	0,1064	0,1103	0,1141
0,3	0,1179	0,1217	0,1255	0,1293	0,1331	0,1368	0,1406	0,1443	0,1480	0,1517
0,4	0,1554	0,1591	0,1628	0,1664	0,1700	0,1736	0,1772	0,1808	0,1844	0,1879
0,5	0,1915	0,1950	0,1985	0,2019	0,2054	0,2088	0,2123	0,2157	0,2190	0,2224
0,6	0,2257	0,2291	0,2324	0,2357	0,2389	0,2422	0,2454	0,2486	0,2517	0,2549
0,7	0,2580	0,2611	0,2642	0,2673	0,2704	0,2734	0,2764	0,2794	0,2823	0,2852
0,8	0,2881	0,2910	0,2939	0,2967	0,2995	0,3023	0,3051	0,3078	0,3106	0,3133
0,9	0,3159	0,3186	0,3212	0,3238	0,3264	0,3289	0,3315	0,3340	0,3365	0,3389
1,0	0,3413	0,3438	0,3461	0,3485	0,3508	0,3531	0,3554	0,3577	0,3599	0,3621
1,1	0,3643	0,3665	0,3686	0,3708	0,3729	0,3749	0,3770	0,3790	0,3810	0,3830
1,2	0,3849	0,3869	0,3888	0,3907	0,3925	0,3944	0,3962	0,3980	0,3997	0,4015
1,3	0,4032	0,4049	0,4066	0,4082	0,4099	0,4115	0,4131	0,4147	0,4162	0,4177
1,4	0,4192	0,4207	0,4222	0,4236	0,4251	0,4265	0,4279	0,4292	0,4306	0,4319
1,5	0,4332	0,4345	0,4357	0,4370	0,4382	0,4394	0,4406	0,4418	0,4429	0,4441
1,6	0,4452	0,4463	0,4474	0,4484	0,4495	0,4505	0,4515	0,4525	0,4535	0,4545
1,7	0,4554	0,4564	0,4573	0,4582	0,4591	0,4599	0,4608	0,4616	0,4625	0,4633
1,8	0,4641	0,4649	0,4656	0,4664	0,4671	0,4678	0,4686	0,4693	0,4699	0,4706
1,9	0,4713	0,4719	0,4726	0,4732	0,4738	0,4744	0,4750	0,4756	0,4761	0,4767
2,0	0,4772	0,4778	0,4783	0,4788	0,4793	0,4798	0,4803	0,4808	0,4812	0,4817
2,1	0,4821	0,4826	0,4830	0,4834	0,4838	0,4842	0,4846	0,4850	0,4854	0,4857
2,2	0,4861	0,4864	0,4868	0,4871	0,4875	0,4878	0,4881	0,4884	0,4887	0,4890
2,3	0,4893	0,4896	0,4898	0,4901	0,4904	0,4906	0,4909	0,4911	0,4913	0,4916
2,4	0,4918	0,4920	0,4922	0,4925	0,4927	0,4929	0,4931	0,4932	0,4934	0,4936
2,5	0,4938	0,4940	0,4941	0,4943	0,4945	0,4946	0,4948	0,4949	0,4951	0,4952
2,6	0,4953	0,4955	0,4956	0,4957	0,4959	0,4960	0,4961	0,4962	0,4963	0,4964
2,7	0,4965	0,4966	0,4967	0,4968	0,4969	0,4970	0,4971	0,4972	0,4973	0,4974
2,8	0,4974	0,4975	0,4976	0,4977	0,4977	0,4978	0,4979	0,4979	0,4980	0,4981
2,9	0,4981	0,4982	0,4982	0,4983	0,4984	0,4984	0,4985	0,4985	0,4986	0,4986
3,0	0,4987	0,4987	0,4987	0,4988	0,4988	0,4989	0,4989	0,4989	0,4990	0,4990
3,1	0,4990	0,4991	0,4991	0,4991	0,4992	0,4992	0,4992	0,4992	0,4993	0,4993
3,2	0,4993	0,4993	0,4994	0,4994	0,4994	0,4994	0,4994	0,4995	0,4995	0,4995
3,3	0,4995	0,4995	0,4995	0,4996	0,4996	0,4996	0,4996	0,4996	0,4996	0,4997
3,4	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4998
3,5	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998
3,6	0,4998	0,4998	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999
3,7	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999
3,8	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999
3,9	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000