

ESTUDO DE AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE PINTURA DE MOTORES NA INDÚSTRIA ELÉTRICA

RICARDO JORGE FERREIRA DOS ANJOS

novembro de 2018

ESTUDO DE AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE PINTURA DE MOTORES NA INDÚSTRIA ELÉTRICA

Ricardo Jorge Ferreira dos Anjos



Departamento de Engenharia Eletrotécnica
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Área de Especialização de Sistemas e Planeamento Industrial

2018

Este relatório satisfaz, parcialmente, os requisitos que constam da Ficha de Unidade Curricular de Tese/Dissertação, do 2º ano, do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Candidato: Ricardo Jorge Ferreira dos Anjos, N° 1131285, 1131285@isep.ipp.pt

Orientação científica: João Augusto de Sousa Bastos, jab@isep.ipp.pt

Coorientação científica: Paulo António da Silva Ávila, psa@isep.ipp.pt

Empresa: WEGeuro – Indústria Eléctrica, S.A.

Supervisor: Gustavo da Cunha Monteiro Lopes, glopes@weg.net



Departamento de Engenharia Eletrotécnica
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Área de Especialização de Sistemas e Planeamento Industrial

19 de novembro de 2018

Aos meus pais e irmão

Agradecimentos

Desejo expressar o meu agradecimento a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para a concretização desta dissertação.

À minha família e amigos, por todo o apoio e incentivo consignado, em todos os momentos, na prossecução dos meus estudos.

Ao Eng.º João Augusto de Sousa Bastos e ao Eng.º Paulo António da Silva Ávila, orientador e coorientador científico, respetivamente, deste trabalho, um agradecimento muito especial pela orientação e coordenação durante a realização dos trabalhos conducentes à elaboração desta dissertação, assim como o esforço desenvolvido na leitura e nas sugestões de melhoria que permitiram o enriquecimento do texto da mesma.

Ao Eng.º Gustavo da Cunha Monteiro Lopes, supervisor na empresa, o meu respeitoso agradecimento por todo o apoio prestado e pela disponibilidade de todos os meios materiais disponíveis ao seu alcance para a evolução deste trabalho.

À equipa de Processos Industriais e Melhoria Contínua – Santo Tirso, pela prestimosa colaboração e espírito de entreaajuda.

À WEGeuro – Indústria Eléctrica, S.A. pela oportunidade concedida e pelas condições de trabalho facultas que me acompanharam durante o estágio, e aos seus colaboradores pela prestabilidade e conhecimento dispensado.

A todos os meus sinceros agradecimentos.

Resumo

A automatização de processos industriais é frequentemente utilizada no setor industrial, dado que a competitividade do mercado neste sector, tem aumentado significativamente nos últimos anos e existe uma necessidade de aumento de eficiência. Esta solução de melhoria de processos industriais permite transformar as tarefas que são realizadas por operadores humanos num conjunto de elementos tecnológicos de forma a aumentar a eficiência operacional de uma unidade fabril e reduzir a mão-de-obra, o que, conseqüentemente, reduz o custo de operação.

A presente dissertação foi realizada em contexto industrial na empresa WEGeuro – Indústria Eléctrica, S.A., na secção de Processos Industriais e Melhoria Contínua (PIMC) de Santo Tirso, Portugal. O objetivo deste trabalho foi estudar e propor uma solução de automação que permitisse melhorar o processo de pintura dos motores eléctricos de modo a diminuir e/ou eliminar os problemas associados ao mesmo. Neste sentido, com a aplicação dos princípios considerados na filosofia de gestão *Lean* e outras ferramentas de análise como *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), diagrama de Pareto e diagrama de Ishikawa, foi estudado e analisado o processo de pintura atual e foi proposta uma solução de melhoria. Esta solução passa pela utilização de um robô industrial equipado com todo o equipamento necessário ao processo de pintura e pela definição das especificações inerentes ao dimensionamento da solução.

Estima-se que a proposta de solução apresentada permita a redução de 50% do tempo médio da operação de pintura, garantindo a redução do desperdício, aumentando a produtividade, a qualidade e o desempenho operacional, bem como uma melhoria na utilização do recurso da mão-de-obra humano em operações de maior valor acrescentado. Prevê-se um aumento do indicador OEE para 77,29%, uma poupança anual em mão-de-obra de 20 726,25 € e um período de recuperação do investimento de 5 anos.

Palavras-Chave

Automação, *Lean*, OEE, Robôs Industriais, Produtividade, Qualidade

Abstract

The automation of industrial processes is often used in the industrial sector since the competitiveness of the market in this sector has increased significantly in recent years and there is a greater need for efficiency increase. This solution of industrial process improvement allows the transformation of tasks that are carried out by human operators in a set of technological elements in order to increase the operational efficiency of a manufacturing unit and reduce the workforce that, consequently, it reduces the cost of operation.

This dissertation was carried out in an industrial context, at the WEGeuro – Indústria Eléctrica, S.A. company, located in Santo Tirso, Portugal, in the Processos Industriais e Melhoria Contínua (PIMC) division. The aim of this work was to study and propose an automation solution that would improve the electric motors painting process, in order to decrease and/or eliminate the problems associated with it. In this sense, with the application of the principles considered in Lean management philosophy and other analytical tools such as Overall Equipment Effectiveness (OEE), Pareto diagram and Ishikawa diagram, the current painting process was studied and analysed, and an improvement solution was proposed. This solution encompasses the use of an industrial robot equipped with all the necessary equipment to the painting process and by the definition of the specifications inherent to the sizing of the solution.

It is estimated that the proposed solution allows a reduction of 50% of the average paint operation time, guaranteeing the reduction of waste, increasing productivity, quality and operational performance, as well as the improvement of the use of human labour in operations with higher added value. The OEE indicator is projected to increase to 77.29%, an annual labour savings of €20,726.25 and a five-year investment recovery period.

Keywords

Automation, Lean, OEE, Industrial Robots, Productivity, Quality

Índice

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABELAS	XVII
ACRÓNIMOS	XIX
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.3. METODOLOGIA	2
1.4. CALENDARIZAÇÃO	3
1.5. ESTRUTURA DO RELATÓRIO	3
2. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	5
2.1. CARACTERIZAÇÃO DA WEG S.A.....	5
2.1.1. <i>História</i>	5
2.1.2. <i>WEG em Números</i>	7
2.1.3. <i>Missão, Visão e Valores</i>	8
2.1.4. <i>Presença Global</i>	9
2.1.5. <i>Áreas de Negócio</i>	12
2.2. CARACTERIZAÇÃO DE UM MOTOR ELÉTRICO	15
2.2.1. <i>Motor de Indução Trifásico</i>	15
3. ENQUADRAMENTO TEÓRICO	19
3.1. ROBÔS INDUSTRIAIS	19
3.1.1. <i>História</i>	19
3.1.2. <i>Definição</i>	22
3.1.3. <i>Componentes Básicos</i>	22
3.1.4. <i>Configuração Física</i>	25
3.1.5. <i>Características</i>	28
3.1.6. <i>Métodos de Programação</i>	30

3.1.7.	<i>Aplicações</i>	32
3.2.	FILOSOFIA <i>LEAN</i>	37
3.2.1.	<i>História</i>	37
3.2.2.	<i>Definição</i>	38
3.2.3.	<i>Princípios</i>	39
3.2.4.	<i>Desperdícios</i>	40
3.3.	TRABALHO PADRONIZADO	42
3.4.	INDICADOR OEE	45
3.4.1.	<i>Perdas</i>	45
3.4.2.	<i>Cálculo</i>	46
3.4.3.	<i>Interpretação do Resultado</i>	48
3.5.	DIAGRAMA DE PARETO	48
3.6.	DIAGRAMA DE ISHIKAWA.....	50
4.	CASO DE ESTUDO	53
4.1.	DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE PINTURA.....	53
4.1.1.	<i>Esquemas de Pintura</i>	53
4.1.2.	<i>Planos de Pintura</i>	54
4.2.	PROCEDIMENTO.....	60
4.2.1.	<i>Preparação do Motor</i>	60
4.2.2.	<i>Preparação do Equipamento</i>	62
4.2.3.	<i>Procedimento para a Preparação da Tinta</i>	63
4.2.4.	<i>Procedimento Pintura</i>	68
4.3.	DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO.....	76
4.3.1.	<i>Material Compartilhado</i>	77
4.3.2.	<i>Material Não Compartilhado</i>	78
4.4.	ANÁLISE DO PROCESSO ATUAL.....	82
4.4.1.	<i>Defeitos de Pintura</i>	82
4.4.2.	<i>Capacidade de Pintura Atual</i>	89
4.4.3.	<i>Cálculo do Indicador OEE</i>	91
4.5.	VISÃO.....	92
4.6.	PROJETO DE MELHORIA.....	93
4.6.1.	<i>Requisitos</i>	93
4.6.2.	<i>Sistema Robotizado</i>	96
4.6.3.	<i>Especificidades</i>	107
4.7.	AVALIAÇÃO DA PROPOSTA DE MELHORIA	110
4.7.1.	<i>Capacidade de Pintura Estimada</i>	110
4.7.2.	<i>Cálculo do Indicador OEE Estimado</i>	112
4.7.3.	<i>Período de Recuperação do Investimento</i>	114

5. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO.....	117
5.1. CONCLUSÕES	117
5.2. TRABALHO FUTURO.....	118
REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS	119
ANEXO A. SEQUÊNCIA DE PINTURA	127

Índice de Figuras

Figura 1	Gantt chart	3
Figura 2	1º empresa da WEG [1].....	6
Figura 3	Fundadores da WEG S.A. - Werner Voigt (lado esquerdo), Eggon Silva (centro) e Geraldo Werninghaus (lado direito) [2].....	6
Figura 4	Áreas de negócio [3]	7
Figura 5	Negócios WEG [3].....	7
Figura 6	WEG em números [4]	8
Figura 7	Missão, Visão e Valores [5]	8
Figura 8	Presença global [3].....	9
Figura 9	WEGeuro – Indústria Eléctrica S.A. da Maia, Portugal [7].....	10
Figura 10	WEGeuro – Indústria Eléctrica S.A. de Santo Tirso, Portugal [8].....	10
Figura 11	Organograma da WEGeuro – Indústria Eléctrica S.A.....	11
Figura 12	Equipamentos eletroeletrónicos industriais [3]	12
Figura 13	Geração transmissão e distribuição de energia (GTD) [3]	13
Figura 14	Motores para uso doméstico [3]	13
Figura 15	Tintas e Vernizes [3].....	14
Figura 16	Proporção de vendas por área de negócio [4].....	14
Figura 17	Esquemático de variantes de motores CA [11]	15
Figura 18	Motor de indução trifásico [10].....	16

Figura 19	W22 - Motor trifásico explodido [12]	17
Figura 20	Primeira instalação do robô (máquina de fundição sob pressão numa fábrica da General Motors) [14].....	21
Figura 21	Tipos de juntas de um robô industrial [18]	23
Figura 22	Esquemático da estrutura geral de um robô industrial integrado no seu ambiente [17]	25
Figura 23	Estrutura mecânica de um robô cartesiano.....	26
Figura 24	Estrutura mecânica de um robô cilíndrico.....	26
Figura 25	Estrutura mecânica de um robô esférico	27
Figura 26	Estrutura mecânica de um robô SCARA.....	27
Figura 27	Estrutura mecânica de um robô articulado.....	28
Figura 28	Estrutura mecânica de um robô paralelo	28
Figura 29	Ilustração da precisão e repetibilidade	30
Figura 30	Exemplo de uma consola de programação (<i>teach-pendant</i>) [20].....	31
Figura 31	Exemplo de um <i>software</i> de simulação [21]	32
Figura 32	Os 3Ms de desperdícios [31].....	42
Figura 33	Folha de capacidade do processo [28].....	43
Figura 34	Tabela de combinação do trabalho padronizado [28]	44
Figura 35	Diagrama de trabalho padronizado [28].....	44
Figura 36	Elementos da eficácia global de uma máquina	46
Figura 37	Estratificação do tempo utilizado no cálculo do indicador OEE	46
Figura 38	Exemplo de um diagrama de Pareto [35]	49

Figura 39	Exemplo de um diagrama de Ishikawa [37]	51
Figura 40	Fluxograma dos planos de pintura.....	59
Figura 41	Fim de linha	60
Figura 42	Limpeza do interior da caixa de ligação	60
Figura 43	Colagem do perfil de borracha	61
Figura 44	Obturação dos aterramentos e das furações.....	61
Figura 45	Fixação da caixa de ligação	62
Figura 46	Isolamento do veio	62
Figura 47	Quadro elétrico da cabine de pintura.....	63
Figura 48	Posicionamento do motor na cabine de pintura.....	63
Figura 49	Mistura dos componentes	64
Figura 50	Agitação dos componentes	64
Figura 51	Régua de diluição – Exemplo prático.....	65
Figura 52	Isolamento da flange e da graxeira	68
Figura 53	Limpeza da superfície do motor	68
Figura 54	Aplicação de tinta a um motor elétrico.....	69
Figura 55	Alhetas de um motor elétrico.....	69
Figura 56	Estator.....	70
Figura 57	Tampa da caixa auxiliar.....	71
Figura 58	Tampa da caixa principal (caixa fundida)	71
Figura 59	Placa de passagem dos cabos.....	72

Figura 60	Placa de fechamento de aberturas	73
Figura 61	Tampa defletora em ferro fundido	73
Figura 62	Tampa defletora em chapa de aço	74
Figura 63	Anti queda de corpo fundido ou em aço	75
Figura 64	Direcionador de ar dianteiro.....	75
Figura 65	Olhal de suspensão	76
Figura 66	Graxeira metálica e fixador da graxeira	76
Figura 67	Ponte rolante [39]	77
Figura 68	Roquete pneumático FACOM VR.S3136 [40]	77
Figura 69	Lixadeira orbital CP7220E [41]	78
Figura 70	Régua de mistura Spies Hecker [42]	78
Figura 71	Cabine de pintura 1	79
Figura 72	Cabine de pintura 2	79
Figura 73	Pistola de pintura DELTALYO SIGMA 3000WB [43].....	80
Figura 74	Sundström Shield SR 540 [44].....	80
Figura 75	Fato de pintura Tyvek® 500 (branco) [45]	81
Figura 76	Luva descartável de nitrilo 6080HR [46].....	82
Figura 77	Luvas de nylon 500G2 URETAN [47]	82
Figura 78	Enrugamento	83
Figura 79	Escorrimento	83
Figura 80	Casca de laranja.....	84

Figura 81	Empolamento ou bolhas	84
Figura 82	Fervura.....	85
Figura 83	Descascamento	85
Figura 84	Gretamento	86
Figura 85	Manchas nas cores metálicas	86
Figura 86	Cratera	87
Figura 87	Diagrama de Pareto	88
Figura 88	Diagrama de Ishikawa	89
Figura 89	OEE atual.....	92
Figura 90	Visão.....	93
Figura 91	Dados mecânicos 1 [48]	94
Figura 92	Dados mecânicos 2 [48]	95
Figura 93	Robô industrial articulado IRB 5500-22 [50].....	98
Figura 94	Espaço de trabalho do IRB 5500-22 [50]	99
Figura 95	Controlador do robô IRC5P [54].....	100
Figura 96	Color Changer [55].....	101
Figura 97	Gear Pump	103
Figura 98	Misturador de tintas 2K Mixer [58].....	104
Figura 99	Atomizador de tinta RB1000-SSD_BOC [59]	106
Figura 100	Diagrama de processo do sistema de pintura [56].....	107
Figura 101	Layout da proposta de melhoria	110

Figura 102	OEE estimado após melhoria	113
Figura 103	Sequência de pintura 1 e 2.....	127
Figura 104	Sequência de pintura 3 e 4.....	127
Figura 105	Sequência de pintura 5, 6, 7 e 8.....	128
Figura 106	Sequência de pintura 9, 10, 11 e 12.....	128
Figura 107	Sequência de pintura 13, 14 e 15.....	129
Figura 108	Sequência de pintura 16 e 17.....	129
Figura 109	Sequência de pintura 18 e 19.....	129
Figura 110	Sequência da pintura 20 e 21.....	130
Figura 111	Sequência de pintura 22, 23 e 24.....	130
Figura 112	Sequência de pintura 25 e 26.....	131
Figura 113	Sequência de pintura 27 e 28.....	131
Figura 114	Sequência de pintura 29 e 30.....	132
Figura 115	Sequência de pintura 31, 32, 33 e 34.....	132
Figura 116	Sequência de pintura 35 e 36.....	133
Figura 117	Sequência de pintura 37 e 38.....	133
Figura 118	Sequência de pintura 39, 40, 41 e 42.....	134
Figura 119	Sequência de pintura 43, 44 e 45.....	134

Índice de Tabelas

Tabela 1	Tipos de motores elétricos [11].....	15
Tabela 2	<i>Softwares</i> de simulação e programação [21] [22] [23] [24].....	31
Tabela 3	Planos de pintura	54
Tabela 4	Cores mais utilizadas e respetiva quantidade diária.....	66
Tabela 5	Especificações do modo de aplicação das tintas	67
Tabela 6	Quantidade de defeitos de pintura numa amostra de 80 motores.....	87
Tabela 7	Percentagem de motores produzidos por plano de pintura	89
Tabela 8	Tempo médio atual de pintura dos motores elétricos.....	90
Tabela 9	Resumo das características dos robôs considerados para a proposta de melhoria [50] [51] [52] [53]	96
Tabela 10	Características do robô IRB 5500-22 [50].....	98
Tabela 11	Características do controlador IRC5P [54].....	100
Tabela 12	Especificações técnicas do Color Changer [55]	102
Tabela 13	Especificações técnicas da Gear Pump [57].....	103
Tabela 14	Especificações técnicas do misturador de tinta 2K Mixer [58].....	104
Tabela 15	Especificações técnicas do atomizador de tinta RB1000-SSD_BOC [59]..	106
Tabela 16	Tempo de pintura dos motores elétricos estimado após melhoria.....	110
Tabela 17	Comparação do número de motores pintados antes e após a melhoria	112
Tabela 18	Comparação do indicador OEE antes e após a melhoria.....	113

Acrónimos

ABB	–	<i>Asea Brown Boveri</i>
ATEX	–	<i>ATmosphere EXplosibles</i>
BOC	–	<i>Bell Outside Cleaning</i>
CBS	–	<i>Cartridge Bell System</i>
FANUC	–	<i>Fuji Automatic NUmerical Control</i>
GTD	–	Geração Transmissão e Distribuição de Energia
IPS	–	<i>Integrated Process System</i>
JIT	–	<i>Just-In-Time</i>
MIT	–	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
NFTH	–	<i>Nose Flush THinner</i>
OEE	–	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
OP	–	Ordem de Produção
PMIC	–	Processos Industriais e Melhoria Contínua
PRI	–	Período de Recuperação do Investimento
RUR	–	<i>Rossum's Universal Robots</i>
RIA	–	<i>Robotic Industries Association</i>
SCARA	–	<i>Selective Compliant Articulated Robot for Assembly</i>
TPS	–	<i>Toyota Production System</i>

1. INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta a contextualização, os objetivos, a metodologia, a calendarização e por último, a organização deste relatório.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Atualmente a automatização de processos industriais é frequentemente utilizada no sector industrial, dado que a competitividade do mercado neste sector, tem aumentado exponencialmente nos últimos anos. A automatização de processos industriais permite transformar as tarefas que são realizadas por operadores humanos num conjunto de elementos tecnológicos, aumentando a eficiência operacional de uma unidade fabril e reduzindo a mão-de-obra que conseqüentemente reduz o custo de operação. Esta melhoria é aplicada em situações de risco, em que a presença humana é inadequada ou em situações onde existe a necessidade de aumentar a produtividade, tendo sempre presente a componente de qualidade e segurança.

O âmbito do estágio desenvolvido na nova unidade industrial da WEGeuro – Indústria Eléctrica, S.A., localizada em Santo Tirso, Portugal, surgiu da necessidade de automatizar o processo de pintura presentemente desenvolvido, dado que é uma tarefa de trabalho com pouca inovação e que requiere um elevado nível de especialização.

1.2. OBJETIVOS

O principal objetivo do estágio foi estudar e propor uma solução de automação que permitisse melhorar o processo de pintura dos motores elétricos. Realizou-se uma análise detalhada deste processo com a finalidade de propor possíveis melhorias a implementar de modo a diminuir e/ou eliminar os problemas do mesmo. Esta melhoria pretende a:

- Diminuição dos problemas associados à pintura;
- Diminuição do desperdício de tintas;
- Diminuição do tempo de operação do processo de pintura;
- Redução do número de colaboradores dedicados à pintura;
- Redução de turnos de trabalho do processo de pintura;
- Cumprimento das especificações de pintura estabelecidas pela organização;
- Aumento de unidades de motores pintados/turno de laboração.

Estudada e proposta uma solução de melhoria para o processo atualmente desenvolvido, realizou-se uma avaliação comparativa, de modo a justificar a implementação da solução sugerida.

A implementação da solução de melhoria, dependerá da aceitação da mesma por parte da administração da empresa.

1.3. METODOLOGIA

Nesta subsecção é apresentada a estrutura metodológica que serviu de base para a elaboração da presente dissertação.

Inicialmente realizou-se uma recolha de dados do processo atual de pintura dos motores elétricos, abordando temáticas como: (i) – modo de aplicação; (ii) – equipamentos e materiais utilizados; e (iii) – problemas existentes.

Em seguida, realizou-se uma análise aos dados recolhidos, efetuando um diagnóstico das eventuais causas para os problemas existentes.

Numa fase posterior, foram estudadas possíveis soluções de melhoria dimensionando e elegendo a solução mais adequada para satisfazer todos os requisitos previamente estabelecidos.

Por último, realizou-se uma apreciação da proposta de melhoria face ao processo inicialmente estabelecido.

1.4. CALENDARIZAÇÃO

O cronograma de Gantt da Figura 1 resume o plano de trabalho a realizar durante o estágio.

ID	Nome da Tarefa	Início	Conclusão	Duração	Q2 18			Q3 18		
					abr	mai	jun	jul	ago	set
1	Recolha de informação do processo de pintura	19/03/2018	13/04/2018	4s						
2	Análise do processo de pintura	16/04/2018	11/05/2018	4s						
3	Estudo de conceitos teóricos	14/05/2018	22/06/2018	6s						
4	Escrita do relatório	21/05/2018	28/09/2018	19s						
5	Dimensionamento da proposta de melhoria	21/05/2018	06/07/2018	7s						
6	Avaliação da proposta de melhoria	09/07/2018	03/08/2018	4s						

Figura 1 Gantt chart

Em primeiro lugar, foi efetuada uma recolha de dados sobre processo de pintura atualmente desenvolvido, com o intuito de perceber que tarefas são conducentes a todo este processo. O passo seguinte foi analisar o processo de pintura, reunindo todas as questões relativas aos problemas existentes. Uma vez realizadas estas duas etapas, estudaram-se conceitos como a filosofia de gestão e produção *Lean* e suas ferramentas básicas, *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) e a metodologia de trabalho padronizado. De seguida, propôs-se uma sugestão de melhoria, explicitando toda a componente teórica que esta acarreta e caracterizando todos os aspetos que esta melhoria pretende ultrapassar. Por fim, realizou-se uma avaliação da proposta de melhoria. Todas estas etapas foram acompanhadas com a escrita do presente relatório, que culminarão na apresentação e discussão deste trabalho.

1.5. ESTRUTURA DO RELATÓRIO

A presente dissertação é constituída por cinco capítulos.

No capítulo 1 faz-se uma introdução ao âmbito do estágio desenvolvido, contextualizando o problema, seguido dos objetivos, da metodologia, da calendarização das tarefas e da respetiva estrutura da dissertação.

O capítulo 2 caracteriza a empresa e o produto fabricado.

O capítulo 3 aborda os conceitos teóricos associados a este estudo, tais como: os robôs industriais, a filosofia *Lean*, o trabalho padronizado, o indicador *Overall Equipment Effectiveness*, o diagrama de Pareto e o diagrama de Ishikawa.

O capítulo 4 trata o caso de estudo, onde é descrito o processo de pintura atualmente desenvolvido, o material e o equipamento utilizado. É também analisado o mesmo processo, são quantificados os objetivos a atingir, é dimensionado o projeto de melhoria e são avaliadas as propostas da mesma.

Por último, no capítulo 5 são feitas as conclusões, e são apresentadas possíveis sugestões de melhoria que poderão ser implementadas no futuro.

2. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

Neste capítulo descreve-se a empresa de acolhimento do estágio e caracteriza-se o produto fabricado na mesma.

2.1. CARACTERIZAÇÃO DA WEG S.A.

2.1.1. HISTÓRIA

A 16 de setembro de 1961, na cidade de Jaraguá do Sul no estado brasileiro de Santa Catarina, Werner Ricardo Voigt, Eggon João da Silva e Geraldo Werninghaus decidiram unir as suas experiências e habilidades profissionais e criar a empresa Eletromotores Jaraguá. Após algum tempo do início da sua atividade, esta passou a denominar-se WEG, em alusão às iniciais dos três fundadores, **W**erner **E**ggon **G**eraldo [1].

A Figura 2 apresenta o local da 1ª empresa da WEG.



Figura 2 1º empresa da WEG [1]

Werner Ricardo Voigt, nasceu a 8 de setembro de 1930 e desde criança sempre teve a eletricidade como paixão que após o serviço militar especializou-se em radiotelegrafia e eletrônica, já Eggon João da Silva, nascido a 17 de outubro de 1929 motivado e inspirado pelo seu pai, Emílio da Silva, adquiriu uma vasta experiência em assuntos administrativos, quanto a Geraldo Werninghaus, nascido a 26 de novembro de 1932 o seu interesse estendia-se pela área da mecânica onde na oficina de seu pai, Werninghaus & Filhos em Joinville, adquiriu um vasto leque de conhecimentos [2]. A Figura 3, ilustra os fundadores da WEG.



Figura 3 Fundadores da WEG S.A. - Werner Voigt (lado esquerdo), Eggon Silva (centro) e Geraldo Werninghaus (lado direito) [2]

Inicialmente a WEG produzia apenas motores elétricos, porém a partir da década de 80 aumentou a sua atividade com a produção de componentes eletroeletrônicos, produtos para automação industrial, transformadores de força e distribuição, tintas líquidas e em pó e vernizes electro isolantes. Com isto a WEG tornou-se não só produtora de motores elétricos, mas também fornecedora de sistemas elétricos industriais completos [1]. A Figura 4 ilustra os equipamentos atualmente produzidos pela WEG.



Figura 4 Áreas de negócio [3]

2.1.2. WEG EM NÚMEROS

A WEG atua principalmente no setor de bens de capital e é um dos maiores fabricantes mundiais de equipamentos eletroeletrônicos, atuando em cinco linhas principais: Motores, Energia, Transmissão & Distribuição, Automação e Tintas (ver Figura 5).

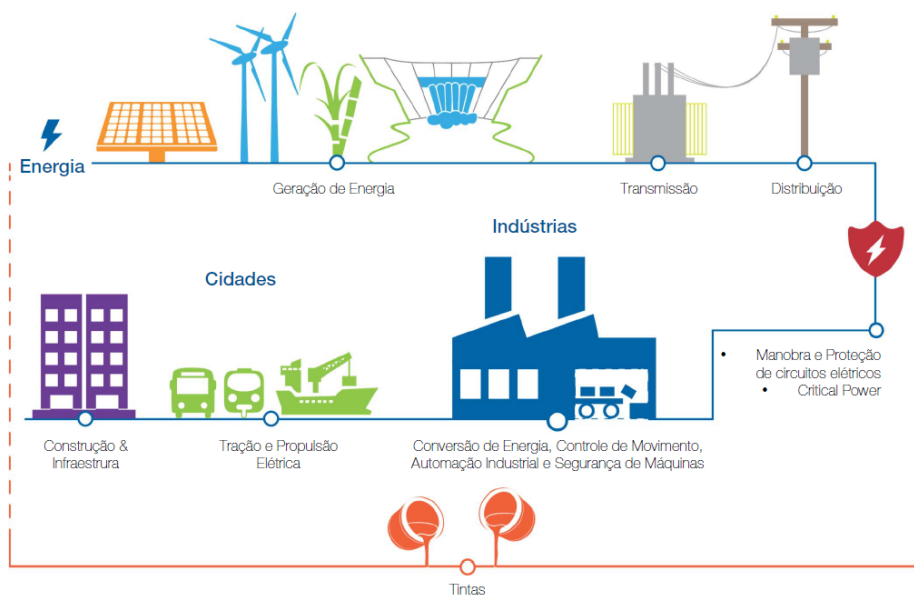


Figura 5 Negócios WEG [3]

Com operações industriais em 12 países e presença comercial em mais de 100 países a companhia atende todos os segmentos da indústria, incluindo petróleo e gás, mineração, infraestrutura, siderurgia, papel e celulose, energia renovável, entre muitos outros. Com mais de 29 mil colaboradores a empresa atingiu uma faturação líquida de R\$9.5 bilhões em 2017 (cerca de 2,2 mil milhões de euros) [4]. A Figura 6, ilustra graficamente a dimensão do grupo WEG.

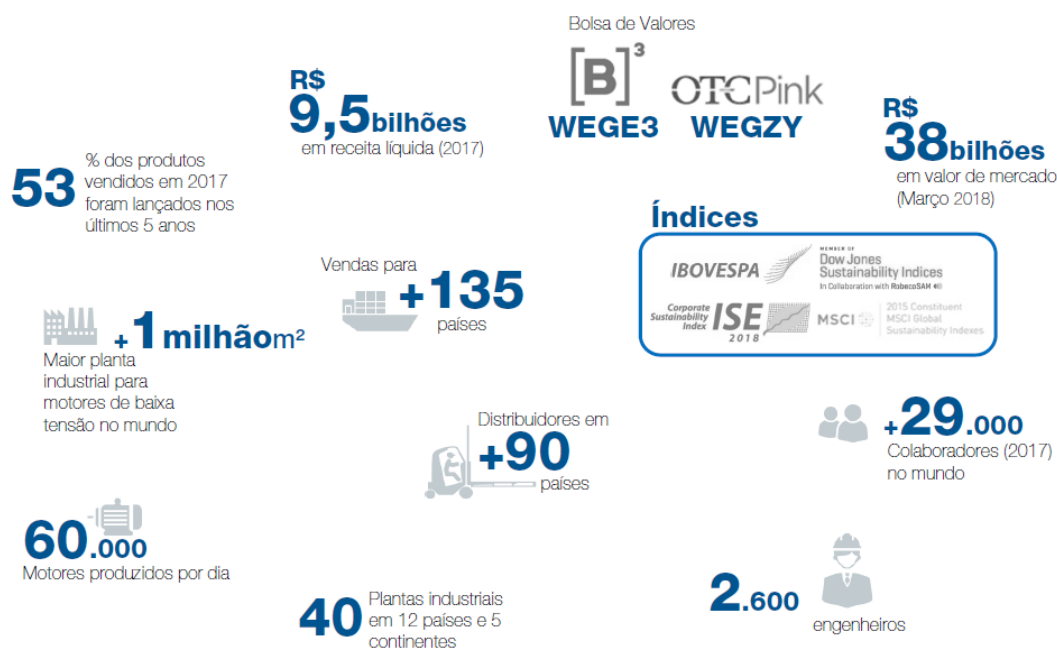


Figura 6 WEG em números [4]

2.1.3. MISSÃO, VISÃO E VALORES

A Figura 7, representa os princípios que a WEG tem em consideração.



Figura 7 Missão, Visão e Valores [5]

2.1.4. PRESENÇA GLOBAL

A WEG possui unidades industriais espalhadas um pouco por todo o mundo (ver Figura 8), como, na Argentina, Brasil, Colômbia, México, Portugal, Espanha, África do Sul, China, Índia, EUA, Áustria e Alemanha, além de escritórios comerciais e centros de distribuição nos EUA, Venezuela, Colômbia, Chile, Alemanha, Reino Unido, Bélgica, França, Espanha, Itália, Suécia, Austrália, Japão, Singapura, Índia, Rússia e Emirados Árabes Unidos.

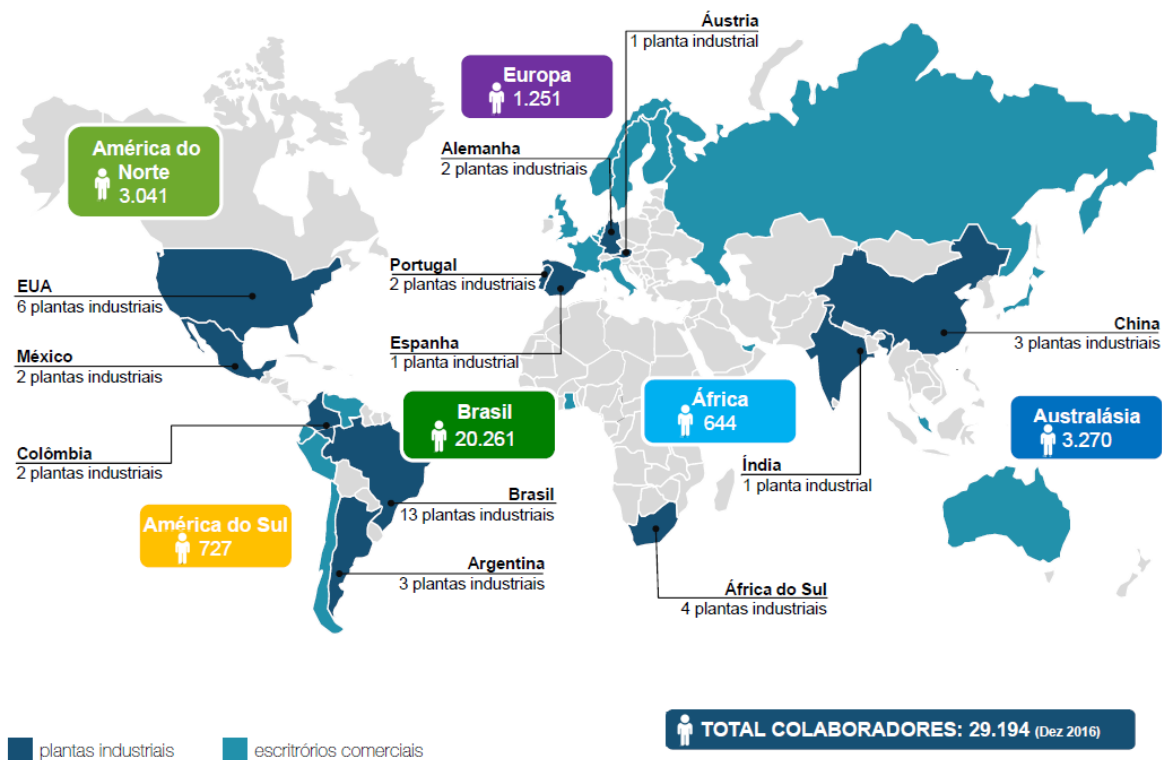


Figura 8 Presença global [3]

2.1.4.1. WEG EM PORTUGAL

No caso de Portugal, existem duas unidades fabris - WEGeuro – Indústria Eléctrica S.A., constituídas por cerca de 300 colaboradores.

A primeira, adquirida a 13 maio de 2002 à Efacec Universal Motors – tradicional fabricante de motores eléctricos portuguesa, localizada na Maia, foi a primeira unidade fabril da WEG na Europa. Esta unidade produz motores eléctricos denominados como *standard* e especiais, de baixa e média tensão para áreas seguras e atmosferas potencialmente explosivas [6]. A Figura 9, apresenta a imagem da unidade fabril WEGeuro – Indústria Eléctrica S.A. da Maia, Portugal.



Figura 9 WEGeuro – Indústria Eléctrica S.A. da Maia, Portugal [7]

A segunda, localizada em Santo Tirso, é a maior unidade industrial da WEG na Europa. Iniciou a sua atividade na primavera de 2016, e dedica-se à produção de motores elétricos de baixa tensão (até 3,5 toneladas) desde a altura de eixo 225 até à altura de eixo 355 [8]. Esta unidade produtiva incorpora setores de produção de maquinagem de componentes, fabrico de veios, fabrico de rotores, bobinagem de estatores de baixa tensão, montagem de motores e ensaios. Estes últimos são executados durante o curso de fabrico, no fim de linha de montagem e em laboratório de ensaio de motores. A realização do estágio do autor deste documento foi realizada nestas instalações. A Figura 10, ilustra a unidade fabril WEGeuro – Indústria Eléctrica S.A. de Santo Tirso, Portugal.



Figura 10 WEGeuro – Indústria Eléctrica S.A. de Santo Tirso, Portugal [8]

2.1.4.1.1. ORGANOGRAMA

A Figura 11 representa a estrutura formal da empresa.

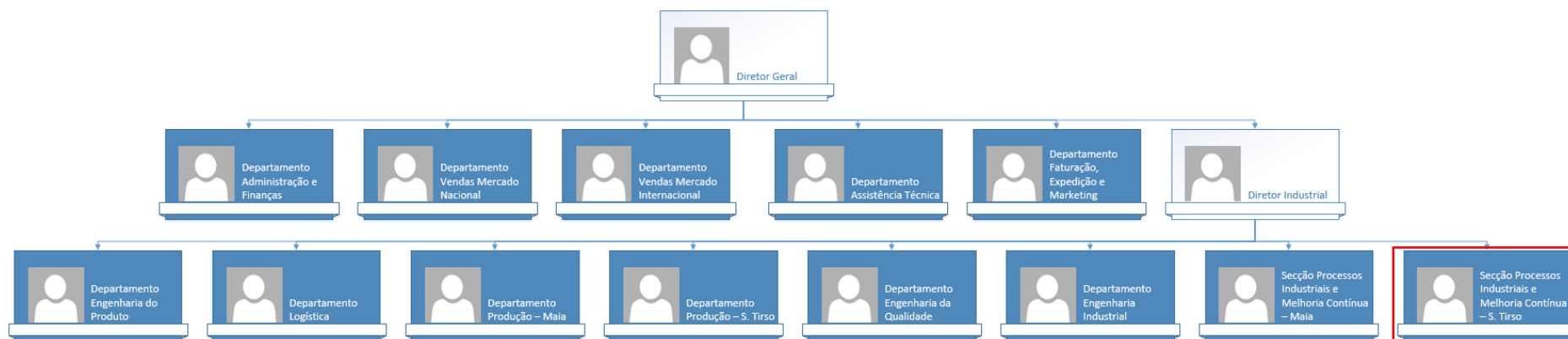


Figura 11 Organograma da WEGeuro – Indústria Eléctrica S.A.

O presente estudo centra-se, na secção de Processos Industriais e Melhoria Contínua (PIMC) de Santo Tirso (contorno de cor vermelha na Figura 11).

2.1.5. ÁREAS DE NEGÓCIO

2.1.5.1. EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS INDUSTRIAIS

Esta área de negócio, representada na Figura 12, inclui motores elétricos, *drives*, equipamentos e serviços de automação industrial e de manutenção. Os motores elétricos e demais equipamentos têm aplicação em praticamente todos os segmentos industriais, em equipamentos como compressores, bombas, ventiladores, entre outros [9].



Figura 12 Equipamentos eletroeletrônicos industriais [3]

2.1.5.2. GERAÇÃO TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA (GTD)

Os produtos e serviços incluídos nesta área de negócio e ilustrados na Figura 13 são [9]:

- geradores elétricos para centrais hidráulicas e térmicas (biomassa);
- turbinas hidráulicas;
- aerogeradores;
- transformadores;
- subestações;
- painéis de controlo e serviços de integração de sistemas.

Geração de energia



Transmissão e distribuição



Figura 13 Geração transmissão e distribuição de energia (GTD) [3]

2.1.5.3. MOTORES PARA USO DOMÉSTICO

O objetivo de produção nesta área é o mercado de motores monofásicos para bens de consumo durável, como máquinas de lavar a roupa, aparelhos de ar condicionado, bombas de água, entre outros [9]. A Figura 14 representa esta área de negócio.

Motores para eletrodomésticos



Motores comerciais e residenciais



Figura 14 Motores para uso doméstico [3]

2.1.5.4. TINTAS E VERNIZES

Esta área de negócio, representada na Figura 15, tem como objetivo a produção de tintas líquidas, tintas em pó e vernizes electro isolantes para aplicações industriais [9].



Figura 15 Tintas e Vernizes [3]

A Figura 16 representa a proporção de vendas das várias áreas de negócio, subdivididas no mercado interno e externo. O mercado interno é referente às vendas equacionadas no Brasil, o mercado externo representa as vendas equacionadas no restante mercado. Os valores que se seguem, são referentes ao 4º trimestre de 2017.

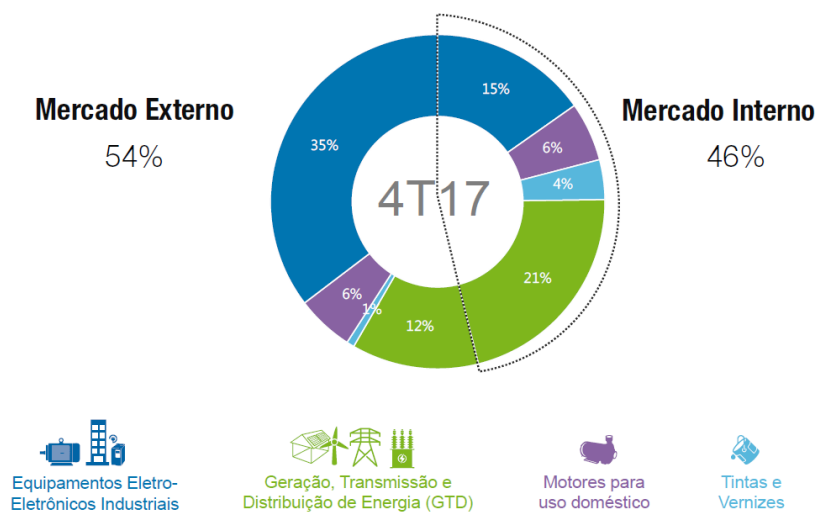


Figura 16 Proporção de vendas por área de negócio [4]

2.2. CARACTERIZAÇÃO DE UM MOTOR ELÉTRICO

Apesar da unidade fabril produzir motores elétricos de modelos W22 e W40, para a realização deste estudo foram apenas considerados motores W22, dado que as suas características são mais difíceis de satisfazer. O motor elétrico transforma energia elétrica em energia mecânica através da interação entre campos magnéticos. Esta máquina é normalmente utilizada em operações de superfícies residenciais, comerciais e industriais. Os tipos mais comuns de motores elétricos são (ver Tabela 1) [10]:

Tabela 1 Tipos de motores elétricos [11]

Motor CC (Corrente Contínua)	Os motores de corrente contínua têm um custo elevado, dado que precisam de uma fonte de corrente contínua, ou de um dispositivo que converta a corrente alternada comum em contínua.
Motor CA (Corrente Alternada)	Os motores de corrente alternada são os mais utilizados, dado que a distribuição de energia elétrica é desenvolvida através de corrente alternada.

Os motores de corrente alternada podem ser síncronos ou assíncronos (ver Figura 17).

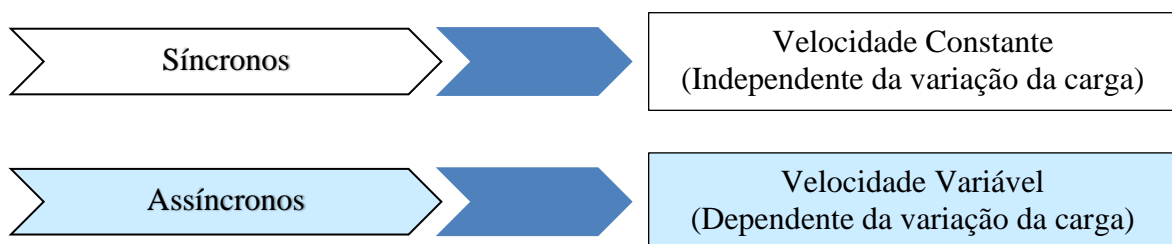


Figura 17 Esquemático de variantes de motores CA [11]

2.2.1. MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO

O motor de indução trifásico (Figura 18) é composto fundamentalmente por duas partes [10]: estator e rotor.

2.2.1.1. ESTATOR

- Carcaça (1) - é a estrutura suporte do conjunto de construção robusta em ferro fundido, aço ou alumínio injetado, resistente à corrosão e normalmente com alhetas.
- Núcleo de chapas (2) - as chapas são de aço magnético.
- Enrolamento trifásico (8) - três conjuntos iguais de bobinas, uma para cada fase, formando um sistema trifásico equilibrado ligado à rede trifásica de alimentação.

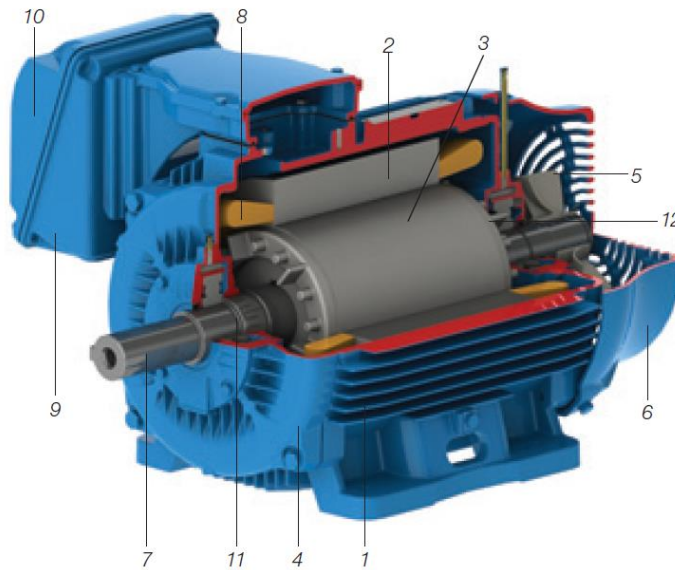


Figura 18 Motor de indução trifásico [10]

2.2.1.2. ROTOR

- Eixo (7) - transmite a potência mecânica desenvolvida pelo motor.
- Núcleo de chapas (3) - as chapas possuem as mesmas características das chapas do estator.
- Barras e anéis de curto-circuito (12) - são de alumínio injetado sob pressão numa única peça.

2.2.1.3. OUTRAS PARTES

Outras partes do motor de indução trifásico:

- Tampa (4)
- Ventilador (5)
- Tampa defletora (6)
- Caixa de ligação (9)

- Terminais (10)
- Rolamentos (11)

2.2.1.4. VISTA EXPLODIDA

A Figura 19 apresenta a vista explodida de um motor elétrico de indução trifásico, salientando todos os constituintes do mesmo.

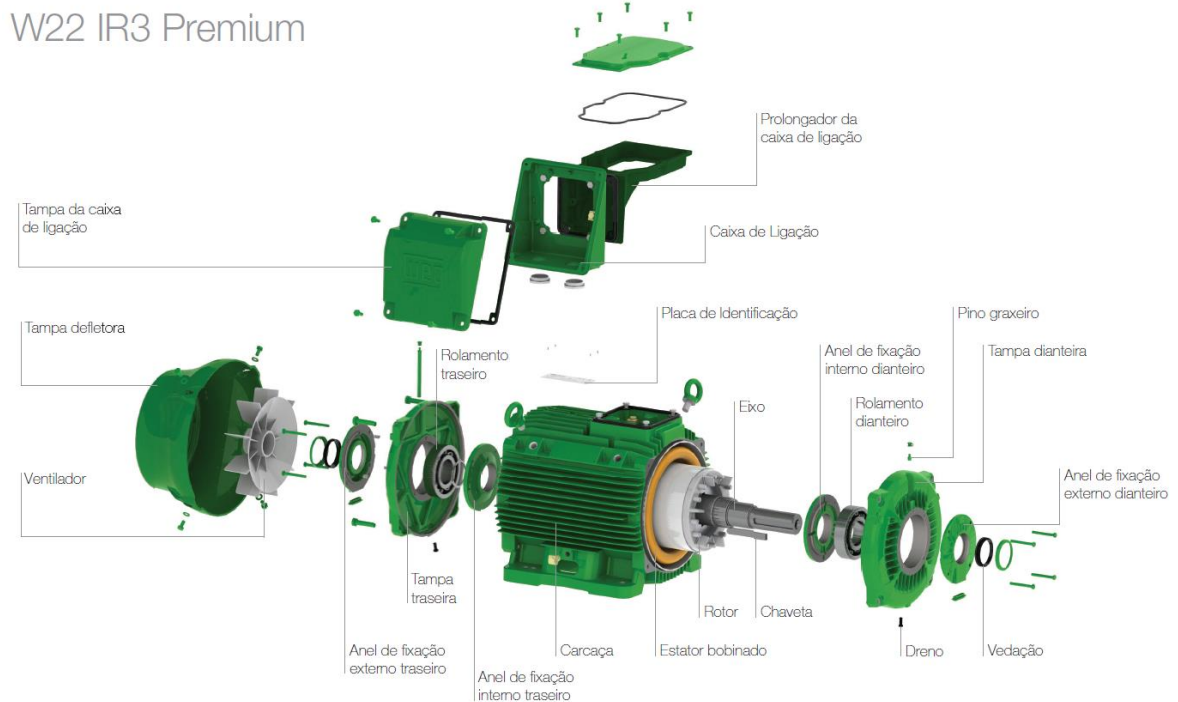


Figura 19 W22 - Motor trifásico explodido [12]

3. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Neste capítulo apresenta-se uma abordagem teórica aos robôs industriais, o conceito *Lean*, trabalho padronizado, *Overall Equipment Effectiveness*, diagrama de Pareto e diagrama de Ishikawa.

3.1. ROBÔS INDUSTRIAIS

3.1.1. HISTÓRIA

O ser humano desde a sua origem sempre utilizou ferramentas e utensílios que o ajudavam na realização de determinadas tarefas quotidianas de modo a satisfazer as necessidades de sobrevivência. Para a civilização europeia o conceito de evolução humana é diretamente proporcional ao desenvolvimento tecnológico adquirido ao longo do tempo, através do desenvolvimento e da melhoria de equipamentos [13].

O desenvolvimento de invenções ao longo dos séculos, propiciaram a necessidade de inovação tecnológica para a substituição do homem pela máquina. Já no final do século XVI, Francis Bacon (1561 – 1626) preconizava a ideia “(...) de que o saber devesse produzir seus frutos na prática, de que a ciência devesse ser aplicável à indústria, de que os homens tivessem o dever sagrado de se organizarem para melhorar e transformar as condições de

vida (...). Após o desenvolvimento da máquina a vapor por James Watt (1736 – 1819), em 1769, houve um elevado progresso na área de automação de processos produtivos. A produção industrial em massa e os meios de transporte revolucionaram socialmente e economicamente as relações humanas. Até meados do século XX, o processo de produção era baseado no modelo de automação rígida – desenvolvido pelo empresário Henry Ford (1863 – 1947) – as máquinas eram especificamente projetadas para a produção em série de produtos da mesma categoria permitindo uma elevada produtividade, volume e qualidade dos mesmos [13].

O dramaturgo checo Karel Capek (1880 – 1938) introduziu o termo robô em 1922 na peça de ficção científica de *Rossum's Universal Robots* (RUR), abordando a temática: perda de humanização na sociedade tecnológica. Este termo foi obtido da palavra checa “robota” de origem eslava, que significa “trabalho forçado”. Mais tarde, no início dos anos 1940, o escritor Isaac Asimov (1926 – 1992) utilizou a palavra robótica para designar a ciência que se dedica ao estudo dos robôs. Estes escritores de ficção científica defendiam ideias distintas, para Capek os robôs ficariam malévolos e acabariam por dominar o mundo, enquanto que Asimov via o robô como uma máquina de aparência humana não possuidora de sentimentos, onde o seu comportamento seria definido a partir da programação elaborada por seres humanos, de forma a cumprir três leis básicas [14] [13]:

- 1ª Um robô não pode fazer mal a um ser humano e nem, por inação, permitir que algum mal lhe aconteça;
- 2ª Um robô deve obedecer sempre às ordens dos seres humanos, exceto quando estas contrariam a 1ª lei;
- 3ª Um robô deve proteger a sua integridade física, desde que com isto não contrarie a 1ª e 2ª lei.

O inventor americano George C. Devol (1912 – 2011), em 1956, reuniu todas as ideias, analisou a tecnologia existente e desenvolveu um robô. O pedido de patente do manipulador programável foi estabelecido em 1954, porém só em 1961 é que foi atendido, atribuindo-lhe o número 2 988 237. Esta patente estava destinada a ser seguida por uma série de outras que reforçariam os princípios a serem usados no primeiro robô industrial [14].

O primeiro robô industrial – máquina de fundição sob pressão – denominado como Unimate foi instalado numa fábrica da General Motors, em 1961, pela Unimation Inc.. A Figura 20 apresenta o primeiro robô industrial [14].

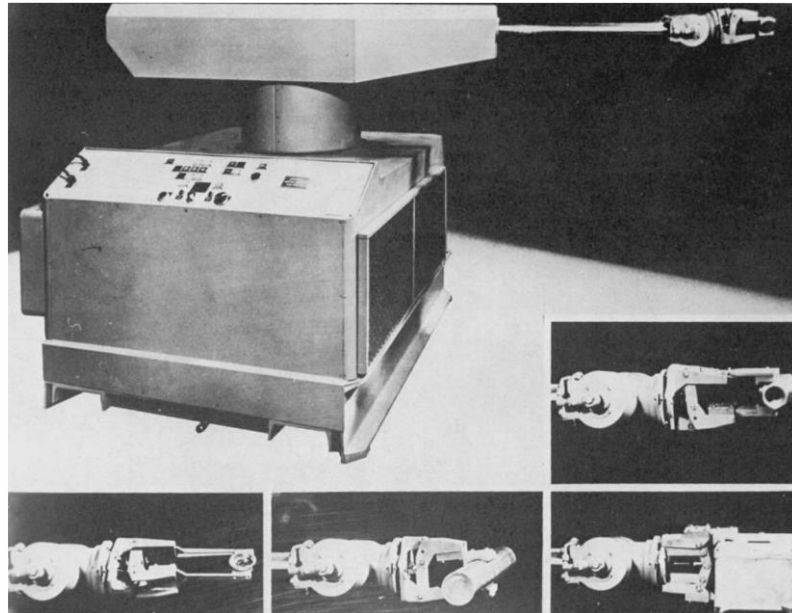


Figura 20 Primeira instalação do robô (máquina de fundição sob pressão numa fábrica da General Motors) [14]

O dimensionamento deste robô resultou da combinação entre 75% de custos eletrônicos e 25% de custos hidro-mecânicos, cujo total foi de \$7,000.0 (cerca de 5 937,00 €) [14].

Desde então, o constante desenvolvimento tecnológico nas áreas de mecânica, eletrônica, ciência de computadores, materiais e logística contribui para o acréscimo de fiabilidade dos componentes empregues na projeção de robôs e para o decréscimo de custos na implementação dos mesmos na atividade industrial. Nas últimas décadas o investimento em robôs industriais tem aumentado significativamente, dado que as necessidades impostas pelo mercado assim o exigem, a fim de se obter sistemas de produção cada vez mais automatizados e dinâmicos. A utilização de robôs industriais permite [13]:

- Reduzir os custos de produção: diminuição do número de pessoas dedicadas à produção (mão-de-obra), aumento da quantidade de produtos acabados (produtividade), diminuição de desperdícios de matéria-prima (diminuição de perdas), entre outras;
- Melhorar as condições de trabalho do ser humano, na medida em que permite eliminar atividades de risco e perigosas;

- Melhorar a qualidade do produto, pelo acompanhamento e controle dos parâmetros associados à produção;
- Realizar atividades incontroláveis manualmente, como montagem de peças minuciosas, coordenação de movimentos complexos e atividades de elevada velocidade e/ou precisão.

3.1.2. DEFINIÇÃO

A definição de robô adotada pela *Robotic Industries Association* (RIA), é enunciada como “Um manipulador multifuncional reprogramável projetado para mover materiais em movimentos variáveis programados para a realização de uma variedade de tarefas” [15].

Segundo a norma ISO 8373:2012¹, um robô industrial é definido como “Um manipulador multifuncional controlado automaticamente, reprogramável, programável em três ou mais eixos, que pode ser fixo ou móvel para uso em aplicações de automação industrial (...)” [16].

3.1.3. COMPONENTES BÁSICOS

Independentemente da sua potencial aplicação, os robôs industriais são projetados para posicionar e orientar no espaço o seu atuador final: uma garra ou ferramenta. Genericamente, os componentes básicos constituintes de um robô industrial são: o manipulador, os sensores, o controlador e a unidade de potência [17].

3.1.3.1. MANIPULADOR

Refere-se principalmente ao aspeto mecânico e estrutural do robô. É constituído pela combinação de elementos estruturais rígidos (elos) ligados entre si através de articulações (juntas) formando cadeias cinemáticas. No manipulador incluem-se os atuadores que agem sobre a estrutura mecânica modificando a sua configuração, e a transmissão que conecta os atuadores à estrutura mecânica [17].

¹ Esta norma define termos usados na relação com robôs e dispositivos robóticos que operam em ambientes industriais e não industriais [26].

3.1.3.1.1. JUNTAS

As juntas são os elementos responsáveis pela interligação dos elos e permitem o movimento relativo dos mesmos. Estas são classificadas como [18]:

- **Junta linear ou prismática (tipo L ou P):** movimento linear entre ligações adjacentes.
- **Junta rotacional (tipo R):** rotação relativa entre ligações adjacentes.

A Figura 21, representa os tipos de juntas de um robô industrial.

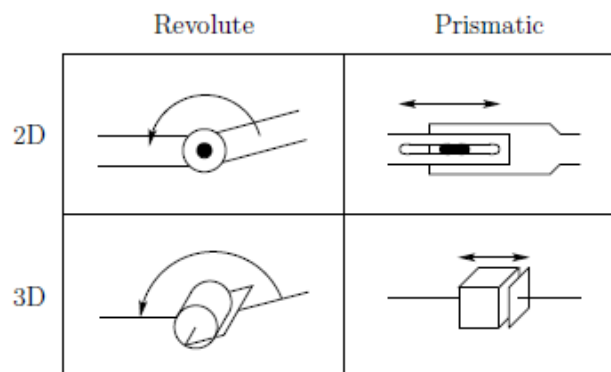


Figura 21 Tipos de juntas de um robô industrial [18]

3.1.3.1.2. ATUADORES

Os atuadores são componentes que realizam a conversão da energia elétrica, hidráulica, pneumática em energia mecânica. A potência mecânica produzida pelos atuadores é enviada aos elos através dos sistemas de transmissão para que os mesmos se movimentem. Estes atuadores podem ser classificados de acordo com o tipo de energia que utilizam [19]:

- **Atuadores hidráulicos:** utilizam um fluido à pressão para movimentar o manipulador; são utilizados em robôs com elevada capacidade de carga, onde permanece a necessidade de grande potência e velocidade, contudo, oferecem baixa precisão e têm um custo associado elevado.
- **Atuadores pneumáticos:** utilizam um gás à pressão para movimentar o manipulador; são utilizados em robôs de reduzida capacidade de carga, oferecem baixa precisão e elevadíssimas velocidades, estando limitados a operações do tipo *pick-and-place*, no entanto, são mais económicos que os atuadores hidráulicos.
- **Atuadores elétricos:** utilizam motores elétricos (de passo-a-passo, servos, corrente contínua ou corrente alternada) ou músculos artificiais para movimentar o

manipulador; são utilizados em robôs de reduzida e média capacidade de carga, oferecem alta precisão e velocidade e os custos são relativamente baixos.

3.1.3.2. SENSORES

Os sensores são dispositivos utilizados na recolha de informação para posteriormente ser comunicada ao controlador. Estes podem ser de dois tipos, internos ou externos [17]:

- **Sensores internos:** fornecem informação sobre o estado do manipulador, como, posição, velocidade e aceleração.
- **Sensores externos:** fornecem informação sobre o ambiente, como sensores de força/momento ou câmaras de vídeo para deteção de obstáculos.

3.1.3.3. CONTROLADOR

O controlador é um dispositivo baseado num computador com funções particulares que controla os movimentos do manipulador. Utiliza os modelos do manipulador, do ambiente e a informação fornecida pelo operador e pelos sensores, efetuando operações algébricas de cálculo e envia sinais de controlo para os atuadores. Dependendo da gama de produtos, este equipamento, poderá também efetuar tarefas como o registo de dados em memória e a gestão de comunicações com o operador ou com outros dispositivos compatíveis ou com outros dispositivos que cooperem com o robô na execução da tarefa [17].

3.1.3.4. UNIDADE DE POTÊNCIA

A unidade de potência é um dispositivo que integra o circuito de potência e tem como objetivo fornecer energia aos atuadores [17].

A Figura 22 ilustra a estrutura geral de um robô industrial.

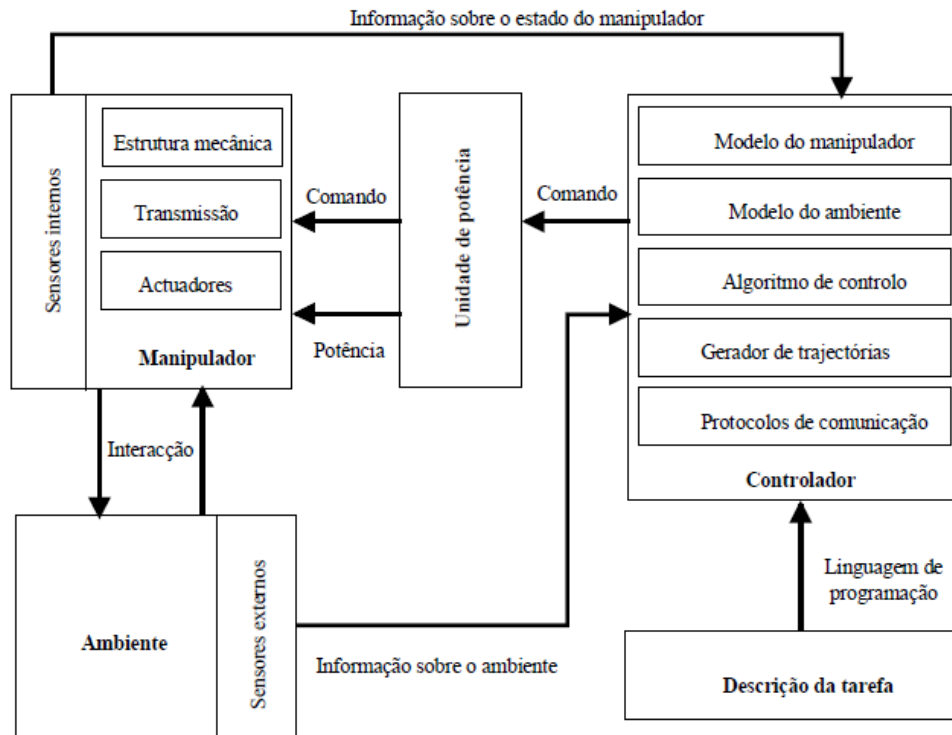


Figura 22 Esquemático da estrutura geral de um robô industrial integrado no seu ambiente [17]

3.1.4. CONFIGURAÇÃO FÍSICA

A configuração física dos robôs industriais está relacionada com o tipo de juntas que apresenta. As principais configurações físicas de robôs são: cartesiana, cilíndrica, esférica, SCARA, articulada e paralela.

3.1.4.1. ROBÔS CARTESIANOS

Os robôs cartesianos possuem três juntas prismáticas (PPP), que resultam num movimento composto de três translações, cujos eixos de movimento são coincidentes com um sistema de coordenadas cartesiano. Um exemplo desta configuração, são os robôs tipo pórtico (*gantry*) que são caracterizados pela estrutura de suporte dos eixos lineares. Estes tipos de robôs são utilizados em tarefas como a paletização, armazenamento, carga/transferência de material, ou em tarefas especiais de maquinagem como o corte a jato de água ou a laser, onde os movimentos do robô cobrem grandes superfícies [14]. A Figura 23, representa a estrutura mecânica de um robô cartesiano.

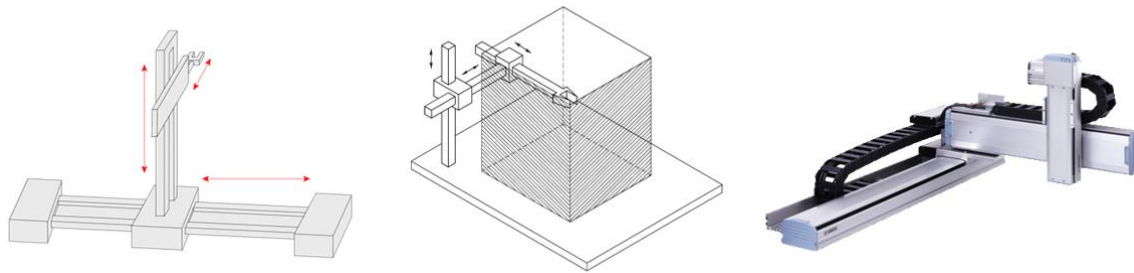


Figura 23 Estrutura mecânica de um robô cartesiano

3.1.4.2. ROBÔS CILÍNDRICOS

Os robôs cilíndricos possuem uma junta rotacional e duas prismáticas (RPP), que resultam num movimento de rotação e dois movimentos de translação, cujos eixos de movimento são descritos por um sistema de coordenadas cilíndricas. Este tipo de robôs é utilizado em tarefas de paletização, carregamento e descarregamento de máquinas [14]. A estrutura mecânica de um robô cilíndrico está ilustrada na Figura 24.

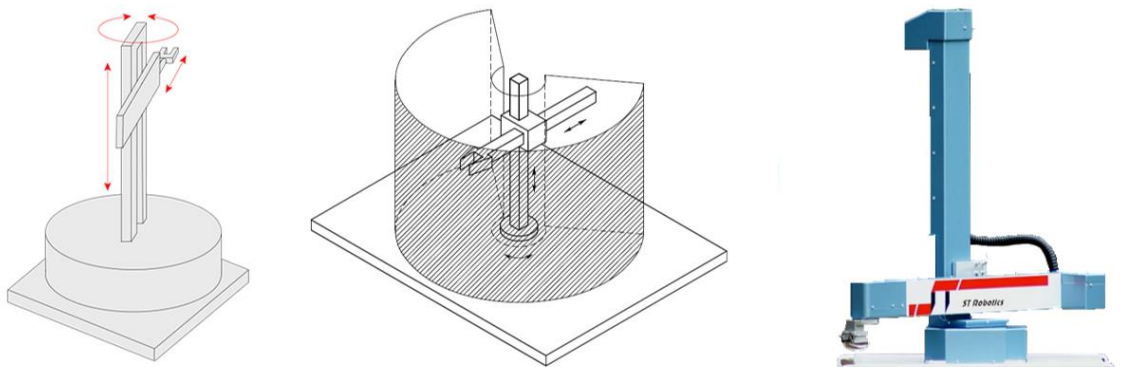


Figura 24 Estrutura mecânica de um robô cilíndrico

3.1.4.3. ROBÔS ESFÉRICOS

Os robôs esféricos possuem duas juntas rotacionais e uma prismática (RRP), que resulta em dois movimentos de rotação e um de translação, cujos eixos de movimento formam um sistema de coordenadas esféricas ou polares. Tal como os robôs com o tipo de configuração física cilíndrica, estes também são utilizados em tarefas de paletização, carregamento e descarregamento de máquinas [14]. A Figura 25, representa a estrutura mecânica de um robô esférico.

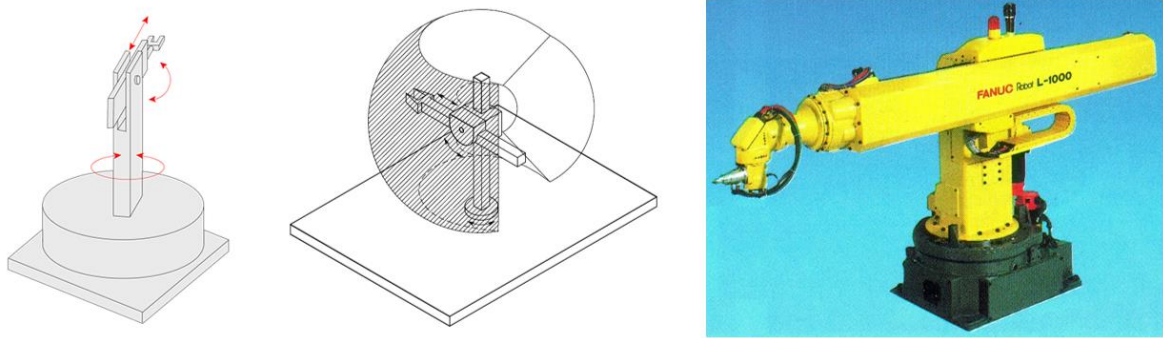


Figura 25 Estrutura mecânica de um robô esférico

3.1.4.4. ROBÔS SCARA

Os robôs *Selective Compliant Articulated Robot for Assembly* (SCARA), tal como os robôs esféricos, possuem duas juntas rotacionais e uma junta prismática (RRP). No entanto, as duas juntas rotacionais estão dispostas em paralelo num plano, já a junta prismática está disposta perpendicularmente sobre o mesmo plano, permitindo dois movimentos de rotação e um de translação. Este tipo de robôs é utilizado em tarefas de montagem de componentes de reduzidas dimensões, como placas de circuitos eletrónicos [14]. A estrutura mecânica de um robô SCARA está ilustrada na Figura 26.

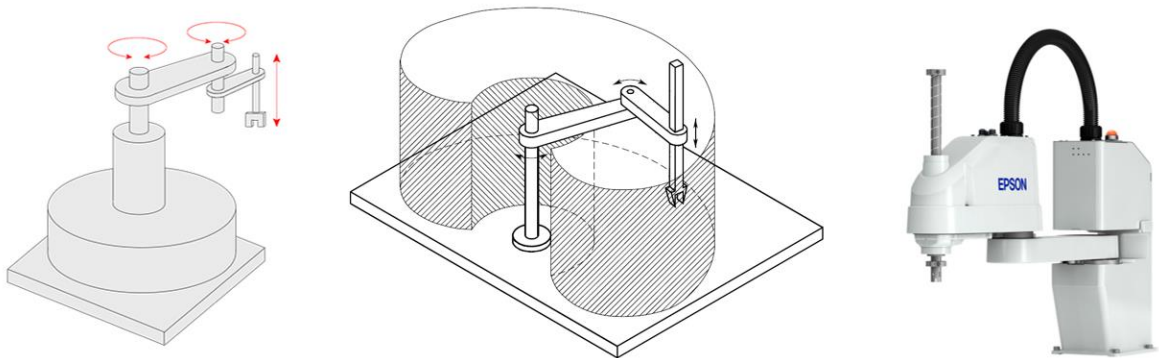


Figura 26 Estrutura mecânica de um robô SCARA

3.1.4.5. ROBÔS ARTICULADOS

Os robôs articulados possuem, pelo menos, três juntas rotacionais (RRR). O eixo de movimento rotacional da base é ortogonal em relação às outras duas juntas rotacionais que são simétricas entre si. Este tipo de robôs é o mais comum na atividade industrial, e é frequentemente utilizado em processos de soldadura, corte e pintura [14]. A Figura 27, apresenta a estrutura mecânica de um robô articulado.

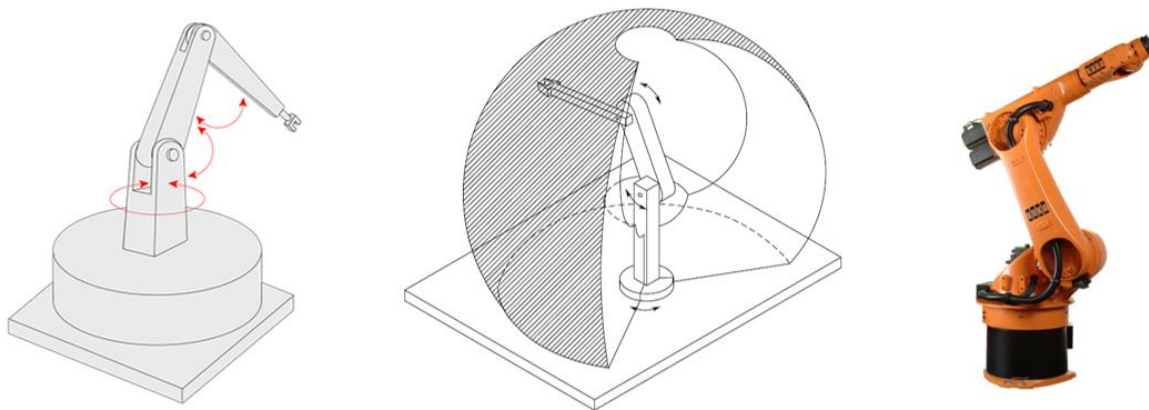


Figura 27 Estrutura mecânica de um robô articulado

3.1.4.6. ROBÔS PARALELOS

Os robôs paralelos são constituídos por duas plataformas, uma fixa (base) e uma móvel (plataforma móvel) ligadas entre si, possuindo, em simultâneo juntas prismáticas e rotativas. A principal utilização deste tipo de robôs é em tarefas de *pick-and-place* de determinados produtos [14]. A estrutura mecânica de um robô paralelo está ilustrada na Figura 28.



Figura 28 Estrutura mecânica de um robô paralelo

3.1.5. CARACTERÍSTICAS

As especificidades que caracterizam um robô são [19]:

- **Graus de liberdade (*degree of freedom*):** são definidos como o número total de movimentos independentes que o mesmo pode efetuar. Exemplo: um cubo no espaço a 3 dimensões pode deslocar-se ao longo dos três eixos, e rodar em torno de cada um deles, dando um total de 6 graus de liberdade para a sua movimentação.

- **Graus de mobilidade:** são definidos pelo número de juntas do sistema robótico. Exemplo: um tripé de fotografia é constituído por 3 pés, cada um destes possui 3 juntas prismáticas que afetam o mesmo movimento, logo temos um tripé com 3 graus de liberdade, mas com 9 graus de mobilidade.
- **Volume de trabalho:** representa todas as posições que o robô consegue alcançar no espaço tridimensional. É definido como o conjunto de pontos que podem ser alcançados pelo atuador final do robô e é determinado pela geometria do manipulador e pelos limites dos movimentos das juntas. A distância máxima do atuador final à base do robô é definida como alcance, já o espaço morto é definido como o conjunto de pontos que não podem ser alcançados pelo atuador final. O volume de trabalho de um robô depende da configuração da estrutura física do mesmo, do comprimento dos elos constituintes do manipulador e dos limites dos movimentos das juntas.
- **Velocidade de operação:** é caracterizada pela rapidez com que o robô consegue posicionar o seu atuador final.
- **Capacidade de carga:** é definida como a massa que um robô é capaz de suportar na sua extremidade durante os movimentos, sem afetar a precisão. Esta é especificada nas condições de posição mais desfavoráveis para o manipulador, sendo classificada como:
 - **Nominal:** carga máxima à velocidade máxima sem perda de precisão;
 - **Máxima:** carga máxima a velocidade reduzida sem perda de precisão.
- **Resolução:** representa o incremento mínimo de movimento que o robô pode efetuar. Nesta especificidade devem ser considerados fatores como a resolução do sistema de controlo e as imprecisões mecânicas do robô.
- **Precisão ou exatidão:** é definida como a capacidade de um robô se posicionar sobre um ponto pré-programado dentro do volume de trabalho. Esta mede a distância entre a posição desejada (e programada) e a posição efetivamente atingida pelo robô, sendo afetada pela posição no interior do volume de trabalho, pela limitação do ciclo de movimento, e pela carga transportada.
- **Repetibilidade:** está relacionada com a capacidade de um robô se reposicionar repetidamente numa posição. Esta capacidade pode ser afetada pela variabilidade do comportamento mecânico do robô, bem como pela flexibilidade do material a operar.

A Figura 29, ilustra os conceitos de precisão e repetibilidade.

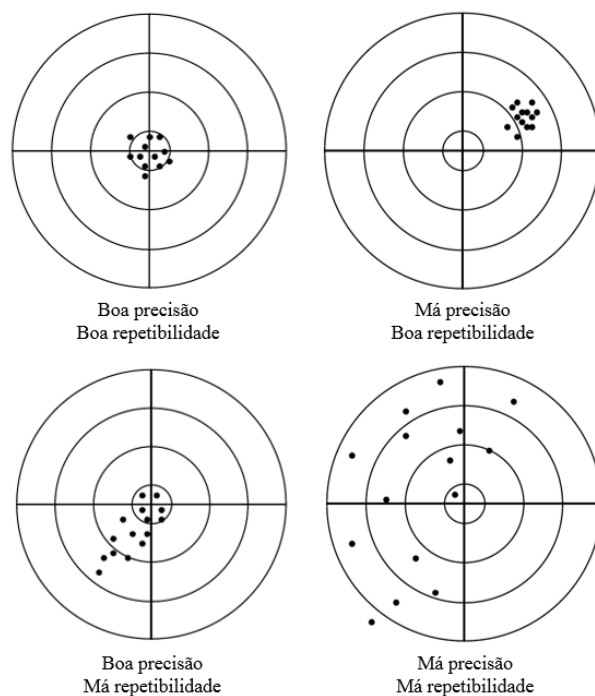


Figura 29 Ilustração da precisão e repetibilidade

3.1.6. MÉTODOS DE PROGRAMAÇÃO

A programação de um robô pode ser definida como um processo que indica a sequência de ações que o robô deverá cumprir durante a realização de uma tarefa. Esta envolve a memorização de um conjunto de pontos, definidos pelos valores das juntas de movimento do robô, que deverão ser percorridos segundo uma sequência pré-definida com uma determinada orientação, velocidade e aceleração. Os métodos de programação, genericamente, são classificados em dois tipos: programação *online* e programação *offline*.

3.1.6.1. PROGRAMAÇÃO ONLINE

O método de programação *online* requer a utilização física do robô para a definição das trajetórias a realizar. Estas são definidas através do movimento do robô para as posições pretendidas, de forma [14]:

- **Manual:** o utilizador transporta o robô até às posições que pretende memorizar manualmente (*manual lead-through*).

Esta forma é utilizada quando se pretende definir uma sequência de pontos no espaço ou uma trajetória complexa, como por exemplo em tarefas de pintura;

- **Automática:** o utilizador transporta o robô até às posições que pretende memorizar através da consola de programação (*teach-pendant*) (ver Figura 30).

Esta forma é utilizada quando se pretende definir alguns pontos discretos e específicos no espaço, como por exemplo em tarefas de *pick-and-place*.



Figura 30 Exemplo de uma consola de programação (*teach-pendant*) [20]

A principal vantagem deste método de programação é a facilidade de aprendizagem e realização, já a principal desvantagem é a necessidade de utilização do robô para a programação, que poderá originar perdas de produtividade para a empresa [14].

3.1.6.2. PROGRAMAÇÃO *OFFLINE*

O método de programação *offline* não requer a utilização física do robô para a programação do mesmo. Este método permite realizar o modelo virtual do robô e da tarefa a concretizar, bem como efetuar simulações de verificação e validação das trajetórias a executar pelo mesmo, evitando assim possíveis colisões ou acidentes na célula real. A linguagem de programação e os sistemas de simulação comerciais diferem consoante o fabricante de robôs [14].

A Tabela 2 apresenta o *software* de simulação e a linguagem utilizada de acordo com o fabricante de robôs.

Tabela 2 Softwares de simulação e programação [21] [22] [23] [24]

Fabricante	Linguagem	Software
<i>Asea Brown Boveri (ABB)</i>	RAPID	RobotStudio
<i>Fuji Automatic NUmberical Control (FANUC)</i>	KAREL	ROBOGUIDE

Kawasaki	AS	K-ROSET
YASKAWA	INFORM	MotoSim EG

A Figura 31 ilustra um tipo de *software* de simulação e programação.

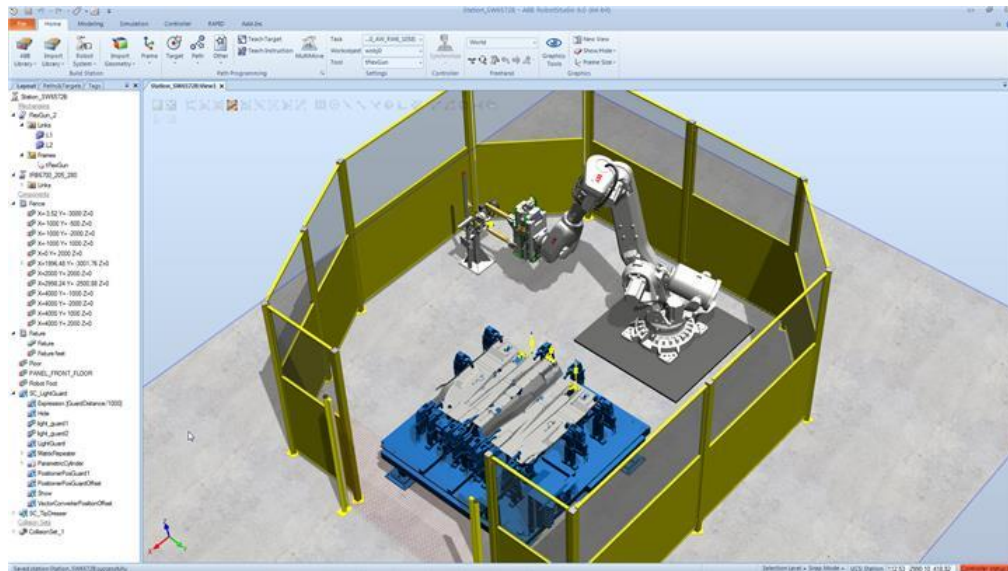


Figura 31 Exemplo de um *software* de simulação [21]

A principal vantagem deste método de programação é a redução de custos relativamente ao projeto e à otimização dos sistemas, já a principal desvantagem é a imprecisão entre o modelo virtual e o real [14].

3.1.7. APLICAÇÕES

As condições de trabalho adversas a que os operadores humanos estavam sujeitos em determinadas tarefas, bem como a relativa simplicidade de operação e necessidade de flexibilidade levaram à utilização de soluções robotizadas. À medida que as capacidades dos sistemas robóticos foram evoluindo, as aplicações diversificaram-se da simples operação de transporte a operações de montagem e de processos (soldadura, pintura, deposição de colas e vedantes, entre outros).

Segundo P. Abreu [25], os robôs industriais são utilizados em situações de condições de trabalho adversas como:

- Temperaturas extremas;
- Ruído excessivo;

- Fumos e poeiras;
- Meios radioativos;
- Meios aquáticos;
- Meios espaciais;
- Trabalhos repetitivos e monótonos;
- Automação de diversas tarefas que se verifiquem ser tecnicamente e economicamente viáveis.

3.1.7.1. SOLDADURA POR PONTOS

A soldadura por pontos representa uma das aplicações mais utilizadas pelos robôs industriais, sendo principalmente utilizada na indústria automóvel. De acordo com as especificidades deste processo, os robôs empregues devem possuir características como [25]:

- Capacidade de carga suficiente para suportar a pistola de soldadura;
- Capacidade de posicionar e orientar a pistola de soldadura em locais de acesso restrito;
- Sistema de controlo ponto-a-ponto;
- Sistema de controlo com capacidade de memória capaz de armazenar o conjunto de pontos num ciclo de soldadura;
- Sistema de controlo com capacidade de armazenar diferentes programas de modo a ser possível mudar rapidamente a sequência de soldadura.

As principais vantagens que resultam da automatização do processo de soldadura por pontos pela utilização de robôs industriais traduzem-se em [25]:

- Melhoria da qualidade;
- Melhoria na consistência das soldaduras;
- Melhoria na repetibilidade dos pontos de soldadura;
- Redução do tempo de ciclo;
- Melhoria do controlo da produção.

3.1.7.2. SOLDADURA POR ARCO ELÉTRICO

A soldadura por arco elétrico, quando realizada manualmente, requer a atividade profissional de um operador especializado – o soldador – e de um outro operador encarregue de preparar os componentes a soldar – o preparador. As condições de trabalho neste processo são

desagradáveis e perigosas, dado que os operadores trabalham em ambientes de fumos, faíscas e de calor intenso. A automatização deste processo por via da utilização de robôs industriais coloca problemas técnicos e económicos significativos. Os problemas técnicos podem estar associados à ocorrência de variações dimensionais e geométricas dos componentes a soldar, já os problemas económicos estão relacionados com a diversidade de produtos e de processos de fabrico que dificultam a justificação económica da forma de automação. Atendendo à especificidade do processo de soldadura por arco elétrico, os robôs a utilizar neste processo devem contemplar as seguintes características [25]:

- Volume de trabalho elevado;
- Cinco ou seis graus de liberdade;
- Sistemas de suporte e fixação dos componentes a soldar;
- Sistema de controlo de percurso contínuo;
- Precisão e repetibilidade elevada;
- Capacidade de controlar e/ou comunicar com outros equipamentos.

3.1.7.3. PINTURA

A pintura está presente na maioria dos produtos fabricados a partir de materiais metálicos. Estes necessitam de um tipo de revestimento superficial, normalmente uma tinta, que poderá ser aplicada pelo método manual ou por processos automáticos altamente sofisticados. De acordo com [25], os processos de revestimento organizam-se em quatro categorias:

- i. Processo por imersão;
- ii. Processo por fluxo;
- iii. Processo por eletrodeposição;
- iv. Processo por *spray*.

No processo de imersão, o componente a pintar é submerso num tanque com o revestimento líquido, quando o componente é retirado, o excesso de revestimento líquido escorre para a parte interior do tanque. No processo por fluxo, em vez de submergir o componente a pintar dentro de um tanque, o mesmo é colocado debaixo de um fluxo de revestimento líquido. Ambos os processos envolvem baixa tecnologia e rentabilidade da tinta produzindo uma baixa qualidade do produto final.

O processo de revestimento por eletrodeposição, à semelhança do processo por imersão, o componente a pintar é colocado dentro de um tanque com o revestimento líquido. No entanto, neste processo, são atribuídas cargas elétricas aos elementos utilizados no revestimento. Às partículas do revestimento líquido é conferida carga elétrica positiva e ao componente a pintar é conferida carga elétrica negativa, que conseqüentemente, são atraídas e resultam num processo de revestimento. Este processo é rigorosamente exigente na componente de controlo, dado que, existe um conjunto de parâmetros que são necessários conferir, como, correntes, tensões, concentrações do revestimento no banho líquido, tempos de imersão, entre outros. O principal benefício deste processo é traduzido pelo reduzido desperdício de revestimento líquido e pela elevada uniformidade de aplicação do revestimento [25].

No processo por *spray*, o revestimento líquido é direcionado sobre o objeto a pintar através da utilização de uma pistola de ar. Este processo, tipicamente realizado por um ser humano, é diferenciado pelos seguintes sistemas [25]:

- ***Spray com ar:*** também denominado de sistema convencional, é utilizado ar comprimido que serve de elemento transportador às partículas de revestimento a utilizar (por exemplo, tinta).
- ***Spray sem ar:*** o revestimento líquido é injetado sobre elevada pressão na pistola de pintura e, devido à elevada queda de pressão ao sair da pistola, é forçado a decompor-se em pequenas partículas.
- ***Spray electroestático:*** as partículas de revestimento e o objeto a ser revestido encontram-se com cargas elétricas de sinal oposto, provocando uma atração das cargas elétricas e uma pintura uniforme.

Os processos de revestimento por *spray*, quando realizados manualmente por um ser humano, resultam em situações potencialmente perigosas como [25]:

- **Contaminação do ar:** parte das partículas do revestimento ficam suspensas no ar, potencializando problemas de respiração ao ser humano;
- **Ruído:** ruído constante quando o revestimento sai da pistola de pintura, potencializando problemas de audição ao operador humano;

- **Perigo de explosão:** a utilização de tintas e diluentes são normalmente inflamáveis e, encontradas com o ar em pequenas partículas, formam uma atmosfera potencialmente explosiva;
- **Potencial ambiente cancerígeno:** parte dos revestimentos utilizados são considerados cancerígenos, criando assim um potencial risco de saúde para o operador humano.

Estes inconvenientes para os seres humanos levaram ao aumento significativo de utilização de robôs de pintura. Na maior parte das aplicações de robôs de pintura por *spray*, o robô que manipula a pistola de pintura é apenas um componente da célula de pintura. Esta inclui sistemas transportadores de componentes a pintar e dispositivos que permitem o isolamento da área de pintura. No caso de se utilizar um sistema transportador intermitente, o objeto a revestir é colocado numa posição fixa ao longo de todo o processo, existindo assim a necessidade de prever a sincronização de arranque e paragem entre o programa do robô e o movimento do transportador. Já para o caso de se utilizar um sistema transportador contínuo, o objeto a revestir encontra-se em movimento ao longo de todo o processo, e é necessário utilizar um outro sistema de seguimento, que permite coordenar os movimentos do robô com o transportador. Além da utilização dos sistemas de transportes acima referidos, é possível pintar diferentes objetos, independentemente da ordem de chegada à célula de pintura. Neste caso, é necessário utilizar um sistema de identificação dos objetos a pintar compatível com o controlador do robô, de modo a seleccionar o programa de pintura correspondente ao objeto em causa. É também aconselhável utilizar sistemas que permitam a limpeza automática dos bicos das pistolas de pintura [25].

De acordo com as especificidades deste processo, os robôs empregues no mesmo devem possuir características como [25]:

- **Sistema de controlo por percurso contínuo e elevada manobrabilidade:** o robô deverá emular os movimentos uniformes e complexos que um operador humano executaria durante o processo manual.
- **Capacidade de programação *online* através de *manual lead-through*:** o operador humano desloca manualmente o robô ao longo das trajetórias a realizar pelo mesmo.
- **Capacidade de trabalhar em ambiente de trabalho agressivo:** o robô deverá ser capaz de suportar ambientes potencialmente explosivos, devido à utilização de tintas e diluentes inflamáveis.

As principais vantagens que resultam da automatização do processo de pintura pela utilização de robôs pintura são [25]:

- Inexistência de operadores humanos em ambientes adversos;
- Redução de consumos de energia em sistemas de ventilação;
- Aumento da uniformidade da pintura;
- Aumento da consistência na produção;
- Redução de níveis de rejeição;
- Redução de desperdícios de tintas, diluentes e outros componentes;
- Aumento da produtividade;
- Aumento da qualidade.

3.1.7.4. CORTE POR JATO DE ÁGUA

O processo de corte por jato de água é caracterizado pela utilização de robôs equipados com uma pistola de jato de água. Esta poderá ou não utilizar pequenas partículas abrasivas junto com a água a operar a pressões elevadas (na ordem dos 350 MPa), permitindo cortar materiais relativamente macios, como borracha, plástico, cartão, entre outros [25].

Os robôs utilizados neste processo têm características semelhantes aos utilizados no processo de soldadura por arco elétrico, no entanto, é menos exigente, dado que não existe a necessidade de preparação de componentes.

3.2. FILOSOFIA *LEAN*

3.2.1. HISTÓRIA

No início do século XX, Henry Ford (1863 – 1947), fundador da *Ford Motor Company*, revolucionou a indústria automóvel através de técnicas de produção em massa alterando o paradigma de fabrico artesanal para fabrico em série. O paradigma de produção foi alterado de pequenas oficinas artesanais para grandes linhas de montagem com trabalhadores pouco especializados e com máquinas complexas de elevado custo. Com o decorrer destas transformações, os processos tornaram-se cada vez mais complexos, provocando o aumento de *stocks* e tempos de entrega. Perante esta situação, e na tentativa de eliminar desperdícios inerentes ao tipo de produção em massa, surgiu a filosofia de gestão e produção *Lean*, ou *Lean Thinking* [26].

Teve origem no Japão, alvo de duas bombas atômicas lançadas sobre duas das suas maiores cidades industriais, Hiroshima e Nagasaki durante a Segunda Guerra Mundial. Com o país destruído pela guerra, e com o seu orgulho nacional arrasado pela derrota, o Japão deparou-se com a necessidade de reconstruir o país, principalmente no sector da indústria automóvel que enfrentava graves problemas relacionados com a diminuta disponibilidade de recursos materiais e humanos. Ao mesmo tempo, as indústrias ocidentais fruía de elevadas capacidades e recursos, dominando desta forma os mercados. No entanto, estes fabricantes também possuíam problemas devidos à reduzida flexibilidade e diversidade de produtos. A *Toyota Motors Company* apercebeu-se da oportunidade para sobreviver e crescer, através da oferta de produtos com diversidade de padrões de elevada qualidade a baixo custo. Na década de 1950, o executivo Taiichi Ohno (1912 – 1990), desenvolveu o sistema *Toyota Production System* (TPS). Este sistema de produção teve como base o sistema de produção retratado no livro *Today and Tomorrow* publicado por Henry Ford em 1926, bem como a análise do método de operação utilizado pelos supermercados no reabastecimento de *stock* das prateleiras, visualizado numa visita aos Estados Unidos da América em 1956 [26].

Após mais de uma década a estudarem os métodos de gestão utilizados no Japão, em 1990, James P. Womack, Daniel T. Jones, e Daniel Roos publicaram o livro *The Machine That Changed the World* que retrata o estudo da indústria automóvel realizado por investigadores do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT). Mais tarde, em 1996, surgiu o termo *Lean Thinking* pela primeira vez, no livro de James P. Womack e Daniel T. Jones com a mesma designação. Este termo foi descrito como sendo o sistema TPS atualizado com novas práticas e ferramentas. Desde então, *Lean* deixou de ser simplesmente um sistema de produção e passou a ser uma filosofia de gestão [26].

3.2.2. DEFINIÇÃO

A filosofia de gestão *Lean* pode ser definida como um conjunto de princípios, práticas, ferramentas e técnicas desenhadas para combater as causas do baixo desempenho operacional, eliminando todas os desperdícios inerentes à cadeia de valor da empresa que, contribuem de alguma forma para o aumento de custos, de tempo e da não satisfação do cliente ou das demais partes interessadas (*stakeholders*) no negócio. Para Womack e Jones [27], *Lean Thinking* é “Uma abordagem sistemática para a identificação e eliminação de desperdícios (atividades sem valor acrescentado), através da melhoria contínua, fazendo os produtos fluir, sempre que o cliente os “puxa”, na procura da perfeição”.

3.2.3. PRINCÍPIOS

James P. Womack e Daniel T. Jones, em 1996, no livro *Lean Thinking* propuseram cinco princípios básicos para orientar os gestores no processo de transformação da organização para a filosofia de gestão *Lean*. Este processo de transformação assenta nos seguintes princípios [27]:

- **Valor** – consiste na definição das características do produto ou serviço que são valorizadas pelo cliente. As características como, preço, qualidade, prazo de entrega, atendimento ou serviço pós-venda são valorizadas pelo cliente no momento de decisão. Quanto maior for o valor percebido pelo cliente maior será a satisfação do mesmo.
- **Fluxo de valor** – é o conjunto de todas as ações necessárias no processo produtivo para levar um produto ou serviço específico até ao cliente. As ações que ocorrem ao longo do processo podem ser divididas em três tipos: (i) – as que efetivamente geram valor; (ii) – as que não geram valor, mas são imprescindíveis para a manutenção dos processos e da qualidade; e (iii) – as que não agregam valor, devendo ser eliminadas.
- **Fluxo contínuo** – significa produzir sem interrupções. A construção de fluxos contínuos é uma tarefa difícil, no entanto, o seu efeito pode ser sentido na redução dos tempos de conceção de produtos e de processamento de pedidos e na diminuição de *stock*.
- **Produção puxada** – consiste em produzir um produto ou prestar um serviço apenas quando o cliente solicita, considerando as características que o mesmo estabelece. O consumidor passa a “puxar” a produção, eliminando *stocks* e concedendo valor ao produto.
- **Perfeição** – tem como objetivo a eliminação progressiva de desperdícios de todos os envolvidos no fluxo de valor. A procura do aperfeiçoamento contínuo em direção ao estado ideal deve nortear todos os esforços da empresa, em processos transparentes, nos quais todos os colaboradores envolvidos com o processo produtivo devem procurar a melhor forma de criar valor.

Mais tarde, em 2007, os mesmos autores simplificaram os cinco princípios para: Propósito, Processo e Pessoas [28].

- **Propósito** – o objetivo principal de qualquer organização e o primeiro passo em qualquer processo de *Lean Thinking* é especificar corretamente o valor que o cliente procura, para que de maneira econômica a organização consiga resolver o problema do cliente e prosperar.
- **Processo** – definido corretamente o propósito, o próximo passo é delinear o fluxo de valor. Normalmente é o resultado da combinação de três processos: desenvolvimento do processo e do produto, realização da ordem à entrega, e suporte do produto e do cliente através da vida útil do produto. O processo ideal é aquele que em cada etapa (ação) é:
 - **Valioso** – o que significa que o cliente está disposto a pagar pela etapa porque cria valor, opondo-se caso esta fosse excluída;
 - **Capaz** – produzir um bom resultado de cada vez;
 - **Adequado** – ter a capacidade de manter a produção em fluxo contínuo;
 - **Flexível** – permitir uma gama de produtos dentro de uma família de produtos para passar por um processo sem lotes e atrasos.
- **Pessoas** – identificados os processos primários e de suporte necessários para criar valor para o cliente, é necessário definir a pessoa responsável por cada fluxo de valor. Esse gestor de fluxo de valor deve acoplar e alinhar os esforços de todos os colaboradores e orientá-los em direção ao solicitado pelo cliente, aumentando o desempenho do estado atual para um estado de futuro cada vez melhor.

3.2.4. DESPERDÍCIOS

Taiichi Ohno no sistema TPS identificou e definiu três tipos de desperdícios a serem eliminados, classificando-os como os 3Ms: *Muda*, *Mura* e *Muri* [29].

- **Muda** – palavra japonesa que significa desperdício. O desperdício é definido como sendo toda a atividade humana que absorve recursos, mas não cria valor, devendo ser reduzido ou eliminado. Por outras palavras, desperdício refere-se a todas as componentes do produto e/ou serviços que o cliente não está disposto a pagar. Além da identificação dos tipos de desperdícios, Taiichi Ohno identificou e especificou as sete originais fontes de desperdício [29]:
 - i. **Excesso de produção** – produzir em excesso ou em alturas temporais díspares da sua procura, resulta em fluxos irregulares de materiais e informação, ou em excesso de *stocks*; tem como principais consequências o

- consumo desnecessário de matérias-primas, ocupação de meios de armazenamento e de transporte;
- ii. **Tempo de espera** – longos períodos de paragens de pessoas, equipamentos, materiais e informação, resultando na interrupção de fluxos; tem como principais causas avarias do equipamento, atrasos de entregas, burocracia de processos e pouca autonomia nas pessoas;
 - iii. **Transporte** – deslocações excessivas de pessoas, materiais e informação, resultando em dispêndio de capital, tempo e energia;
 - iv. **Processo** – utilização incorreta de equipamento e ferramentas, aplicação de recursos e processos inadequados às funções, aplicação de procedimentos complexos, incorretos ou sem a informação necessária;
 - v. **Inventário** – armazenamento excessivo de matérias-primas ou produto acabado, falta de produtos ou informação, resultando em custos excessivos, baixo desempenho e mau serviço prestado ao cliente;
 - vi. **Movimento** – movimento desnecessário por parte dos colaboradores, devido a uma disposição fabril (*layout*) pouco eficiente de recursos e/ou equipamentos nos locais de trabalho, resultando em mau desempenho, despreocupação por aspetos ergonómicos e pouca atenção às questões associadas ao estudo do trabalho;
 - vii. **Defeitos** – problemas existentes na qualidade do produto ou baixo desempenho na entrega, resultando em retrabalho para correção dos defeitos verificados.

James P. Womack e Daniel T. Jones consideraram na sua obra *Lean Thinking* uma oitava fonte de desperdício, denominada como [30]:

- viii. **Não aproveitamento do potencial humano** – autonomia e criatividade das pessoas limitada por burocracia ou excesso de autoridade, desconhecimento das competências e motivações intrínsecas dos colaboradores.
- **Mura** – termo também em japonês que significa variável. Refere-se às anomalias ou instabilidades estabelecidas na produção do produto ou serviço. A eliminação deste desperdício poderá ser eliminada adotando a sistemática *Just-In-Time* (JIT). É aplicado através do sistema “*pull*”, deixando o cliente puxar os produtos e/ou serviços.

- **Muri** – palavra japonesa que significa irracional. Para a redução e eliminação deste desperdício é necessário padronizar o trabalho, garantindo que todos os elementos da organização seguem o mesmo procedimento, tornando os processos mais previsíveis, estáveis e controláveis.

Os três tipos de desperdícios estão representados na Figura 32.



Figura 32 Os 3Ms de desperdícios [31]

3.3. TRABALHO PADRONIZADO

A padronização do trabalho é uma ferramenta básica muito utilizada na filosofia de gestão *Lean*. O trabalho padronizado é composto por um conjunto de procedimentos de trabalho que visam estabelecer os melhores métodos e sequências para cada processo e trabalhador, de modo a que os resultados desejados sejam alcançados. O estabelecimento de procedimentos de trabalho para cada trabalhador deve ter por base os seguintes elementos [28]:

- **Takt time** – taxa de produção de um produto de modo a responder à procura do cliente;
- **Sequência de trabalho** – sequência pela qual devem ser efetuadas as diversas operações que conduzem à realização da tarefa;
- **Inventário padronizado** – quantidade mínima de *stock* necessária para assegurar a produção sem tempos improdutivo e com fluxo contínuo.

Neste método definem-se como é que as operações devem ser realizadas num posto de trabalho de um sistema produtivo, impedindo que os operadores executem as operações de forma aleatória. Esta ausência de aleatoriedade nos processos de fabrico permite reduzir variações nos tempos de ciclo, dado que a sequência das operações é definida de acordo com o *takt time*, de modo a responder às necessidades da procura [32].

Na criação desta metodologia são frequentemente utilizados três documentos [28]:

- i. **Folha de capacidade do processo** – formulário utilizado para calcular a capacidade de cada máquina relativa a um processo, a fim de confirmar a capacidade real e identificar desperdícios. Este formulário determina fatores como os tempos de ciclo das máquinas, intervalos de troca de ferramentas e os tempos de trabalho manual. A Figura 33 ilustra uma folha de capacidade do processo.

Process Capacity Sheet		Approved by:		Part #		Application		Entered by:	
				Part name		Line			
#	Process name	Machine #	BASIC TIME			TOOL CHANGE		Processing capacity per shift	
			MANUAL	AUTO	COMPLETION	CHANGE	TIME		
1	Cut	cc 100	5	25	30	500	2 min.	896	
2	Rough Grind	gg 200	5	12	17	1000	5 min.	1570	
3	Fine Grind	gg 300	5	27	32	300	5 min.	823	

Figura 33 Folha de capacidade do processo [28]

- ii. **Tabela de combinação do trabalho padronizado** – formulário que divulga a combinação do tempo de trabalho manual, tempo de movimentação e o tempo de processamento na máquina destinado ao operador na sequência de produção. A Figura 34 exemplifica uma tabela de combinação do trabalho padronizado.

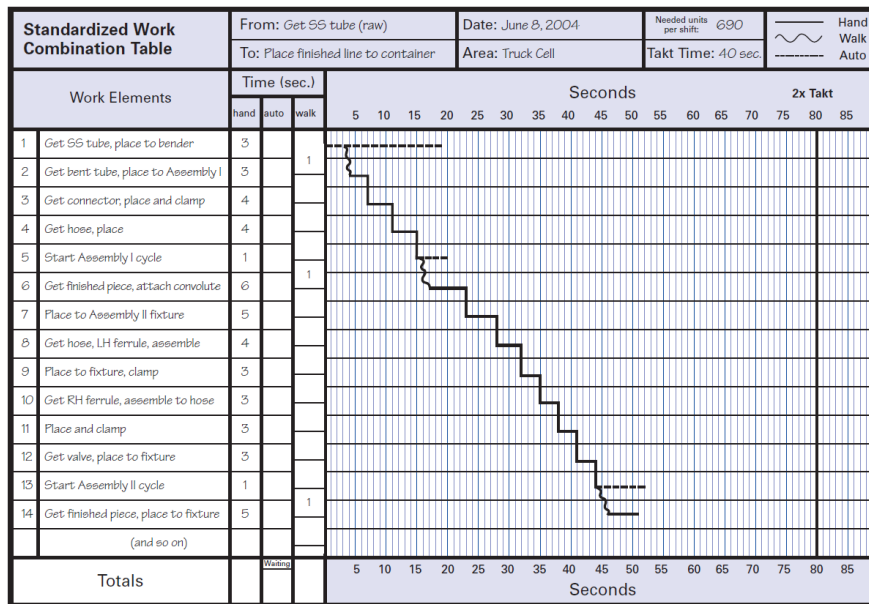


Figura 34 Tabela de combinação do trabalho padronizado [28]

iii. **Diagrama de trabalho padronizado** – apresenta a movimentação do colaborador e a localização do material em relação à máquina e ao *layout* do processo total. Na Figura 35 está representado um diagrama de trabalho padronizado.

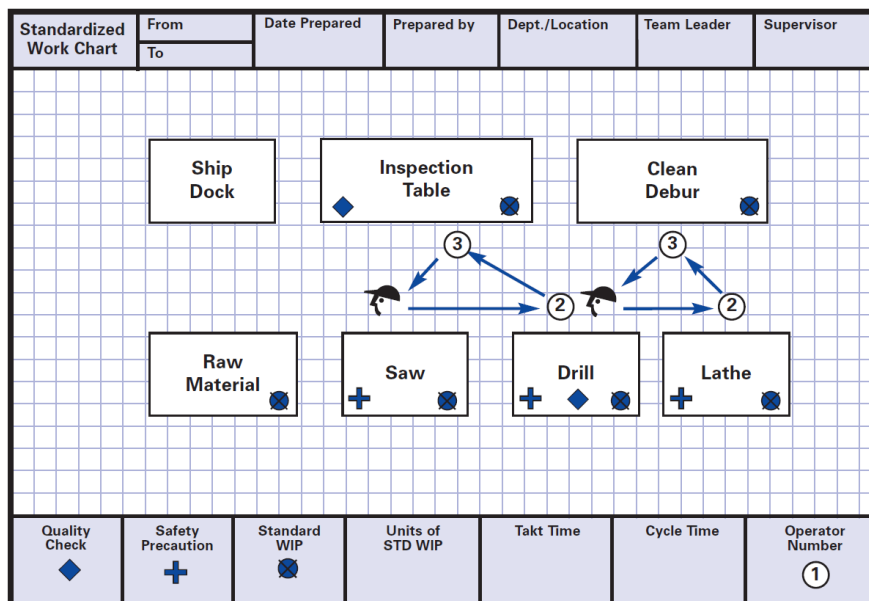


Figura 35 Diagrama de trabalho padronizado [28]

Estes documentos de trabalho padronizado são normalmente utilizados em conjunto com a folha de padrões de trabalho e com a folha de instruções de trabalho. A folha de padrões de trabalho resume uma variedade de documentos que, de acordo com as especificações de engenharia, definem como fabricar o produto. A folha de instruções de trabalho, utilizada

para formar os novos operadores, lista as etapas do trabalho e detalha as habilidades especiais exigidas para a realização do mesmo com segurança, qualidade e eficiência [28].

A padronização do trabalho, quando aplicada corretamente, permite [32]:

- Controlo de processos;
- Redução da variabilidade;
- Melhoria da qualidade e da flexibilidade;
- Previsibilidade de não conformidades.

3.4. INDICADOR OEE

O conceito *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) foi escrito pela primeira vez em 1989 no livro *TPM Development Program: Implementing Total Productive Maintenance* de Seiichi Nakajima (1919 – 2015), e é caracterizado como sendo uma ferramenta que permite avaliar a eficiência dos equipamentos, de forma a garantir a melhoria da produtividade e a redução de custos associados aos mesmos.

3.4.1. PERDAS

Este indicador permite analisar as condições reais de utilização dos equipamentos de uma organização, a partir da identificação de seis tipos de perdas, que são mensuradas através do índice de disponibilidade, desempenho e qualidade [33]:

- i. **Perdas relacionadas com a falha/avaria de um equipamento:**
 - a. **Perdas de tempo** – quando a produtividade é reduzida;
 - b. **Perdas de qualidade** – quando existem produtos não conformes.
- ii. **Perdas de tempo em *setup* e ajustes** – devido à troca de ferramentas do equipamento para permitir a produção de um produto diferente;
- iii. **Perdas inerentes à ocorrência de pequenas paragens** – devido ao funcionamento anormal do equipamento (ex. funcionamento irregular dos sensores);
- iv. **Perdas relacionadas com a reduzida velocidade de produção** – devido a discrepâncias entre a velocidade atual e a velocidade ideal do equipamento;
- v. **Perdas de baixo rendimento** – devido à instabilidade inicial de funcionamento do equipamento;
- vi. **Perdas de qualidade** – existência de produtos não conformes ou que exigem retrabalho, devido ao funcionamento anómalo dos equipamentos.

A Figura 36 ilustra o indicador OEE, os seus índices e as perdas associadas aos mesmos.

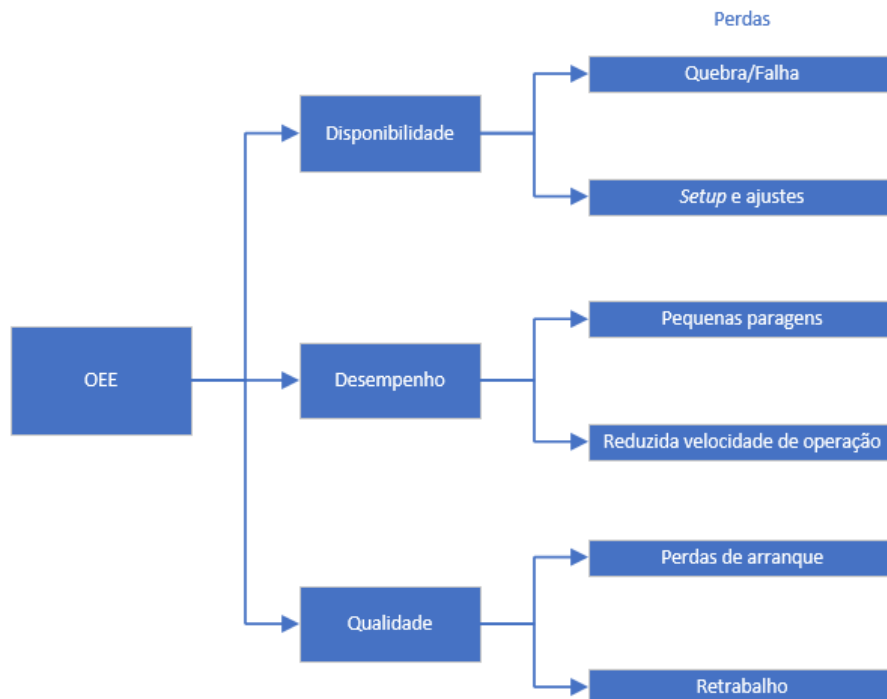


Figura 36 Elementos da eficácia global de uma máquina

3.4.2. CÁLCULO

O indicador OEE é calculado através do produto dos índices de disponibilidade, desempenho e qualidade [33].

$$OEE = Disponibilidade \times Desempenho \times Qualidade \quad (1)$$

O cálculo de cada um destes índices tem como base a decomposição do tempo disponível para produção, conforme a Figura 37.

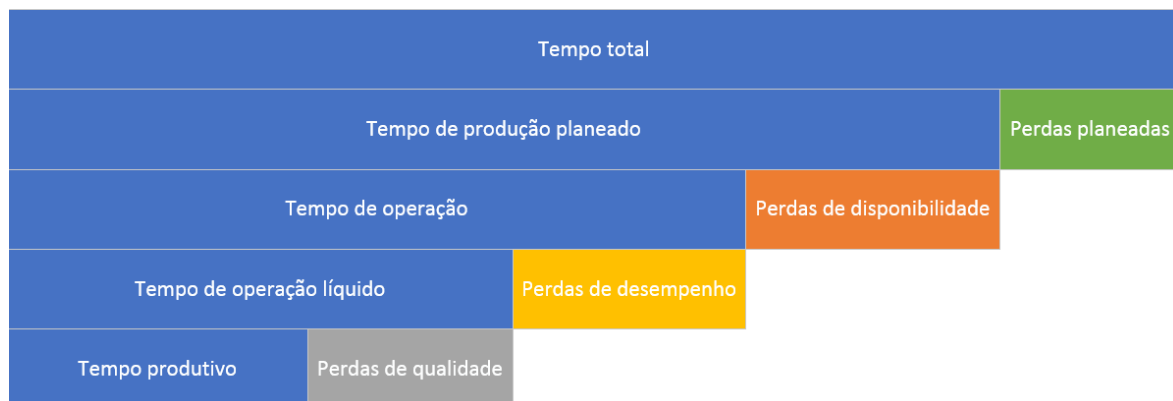


Figura 37 Estratificação do tempo utilizado no cálculo do indicador OEE

O tempo de produção planeado, corresponde ao tempo disponível para produzir de acordo com o planeado, e é dado por [33]:

$$\text{Tempo de produção planeado} = \text{Tempo total} - \text{Perdas planeadas} \quad (2)$$

O tempo de operação corresponde ao tempo em que o equipamento esteve efetivamente a trabalhar, face ao tempo de produção planeado e é calculado da seguinte forma [33]:

$$\begin{aligned} \text{Tempo de operação} \\ &= \text{Tempo de produção planeado} \\ &- \text{Perdas de disponibilidade} \end{aligned} \quad (3)$$

O tempo de operação líquido corresponde ao tempo em que o equipamento esteve efetivamente a trabalhar após a resolução das perdas estabelecidas, e é dado por [33]:

$$\begin{aligned} \text{Tempo de operação líquido} \\ &= \text{Tempo de operação} - \text{Perdas de desempenho} \end{aligned} \quad (4)$$

O tempo produtivo corresponde ao tempo que o equipamento esteve a produzir sem nenhum tipo de perdas, e é calculado da seguinte forma [33]:

$$\begin{aligned} \text{Tempo produtivo} \\ &= \text{Tempo de operação líquido} \\ &- \text{Perdas de qualidade} \end{aligned} \quad (5)$$

3.4.2.1. ÍNDICE DE DISPONIBILIDADE

Corresponde ao tempo em que o equipamento esteve efetivamente a trabalhar (tempo de operação) face ao tempo de produção planeado. Este índice é utilizado para a mensuração das perdas por paragens não planeadas do equipamento [33].

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{Tempo de operação}}{\text{Tempo de produção planeado}} \quad (6)$$

3.4.2.2. ÍNDICE DE DESEMPENHO

Corresponde ao rácio entre a velocidade atual e ideal do equipamento. Este índice é utilizado para medir as perdas relativas ao volume a ser produzido durante o período de funcionamento do equipamento [33].

$$\text{Desempenho} = \frac{\text{Tempo de operação líquido}}{\text{Tempo de operação}} \quad (7)$$

O tempo de ciclo ideal é o tempo de ciclo mais rápido que o processo pode alcançar em perfeitas condições, que quando multiplicado pela produção total resulta no tempo de

operação líquido. Este índice é utilizado para medir as perdas relativas ao volume a ser produzido durante o período de funcionamento do equipamento [33].

$$\text{Desempenho} = \frac{\text{Tempo de ciclo ideal} \times \text{Produção total}}{\text{Tempo de operação}} \quad (8)$$

3.4.2.3. ÍNDICE DE QUALIDADE

Corresponde ao rácio entre o tempo produtivo e o tempo de operação líquido. Este índice é utilizado para medir as perdas relativas à qualidade do produto final [33].

$$\text{Qualidade} = \frac{\text{Tempo produtivo}}{\text{Tempo de operação líquido}} \quad (9)$$

Também poderá ser calculado através da divisão entre a produção aprovada e a produção total [33].

$$\text{Qualidade} = \frac{\text{Produção total} - \text{Produção rejeitada}}{\text{Produção total}} \quad (10)$$

3.4.3. INTERPRETAÇÃO DO RESULTADO

Os valores de referência mundiais para os índices de disponibilidade, desempenho e qualidade, identificados por Seiichi Nakajima, para indústrias de processos são de 90%, 95% e 99%, respetivamente, resultando num indicador OEE de 85% [33].

De acordo com R. Hansen [34], o indicador OEE está categorizado segundo o seu valor:

- OEE < 65% – valores inaceitáveis, demonstra que a empresa é pouco competitiva, existindo perdas monetárias significativas;
- 65% ≤ OEE < 75% – valores razoáveis, quando acompanhados de uma tendência crescente em que as perdas estão a ser colmatadas;
- 75% ≤ OEE < 85% – valores aceitáveis, o desempenho está devidamente controlado, no entanto deverão ser atingidos os valores de referência mundiais;
- OEE ≥ 85% – valores ótimos, o desempenho está otimizado e as perdas existentes são residuais.

3.5. DIAGRAMA DE PARETO

O diagrama de Pareto, também conhecido por curva ou classificação ABC, é um gráfico de barras verticais que apresenta a informação de forma a tornar evidente a priorização de temas. Baseia-se no princípio identificado pelo economista italiano Vilfredo Pareto (1848 –

1923), que ao estudar a distribuição da riqueza do seu país, verificou que 80% da mesma estava concentrada em 20% da população. Mais tarde, o engenheiro americano Joseph Moses Juran (1948 – 2008), baseou-se no mesmo princípio e adotou-o aos problemas da qualidade, verificando que 80% dos problemas eram causados por 20% das causas [35].

Este diagrama, dispõe a informação de modo a possibilitar a identificação das principais causas de um problema. Estas causas fazem parte de fatores que compõe um processo [35]:

- **Equipamentos** – desgaste, modo de operação, tipo de ferramenta;
- **Informações do processo ou medidas** – método de medição;
- **Condições ambientais** – temperatura, iluminação e clima;
- **Pessoas** – idade, formação e saúde;
- **Métodos e procedimentos.**

O diagrama de Pareto é representado por barras dispostas em ordem decrescente, que representam as causas dos problemas analisados, bem como por uma linha, que representa a contribuição de cada causa no seu todo [35]. A Figura 38 ilustra um exemplo de um diagrama de Pareto.

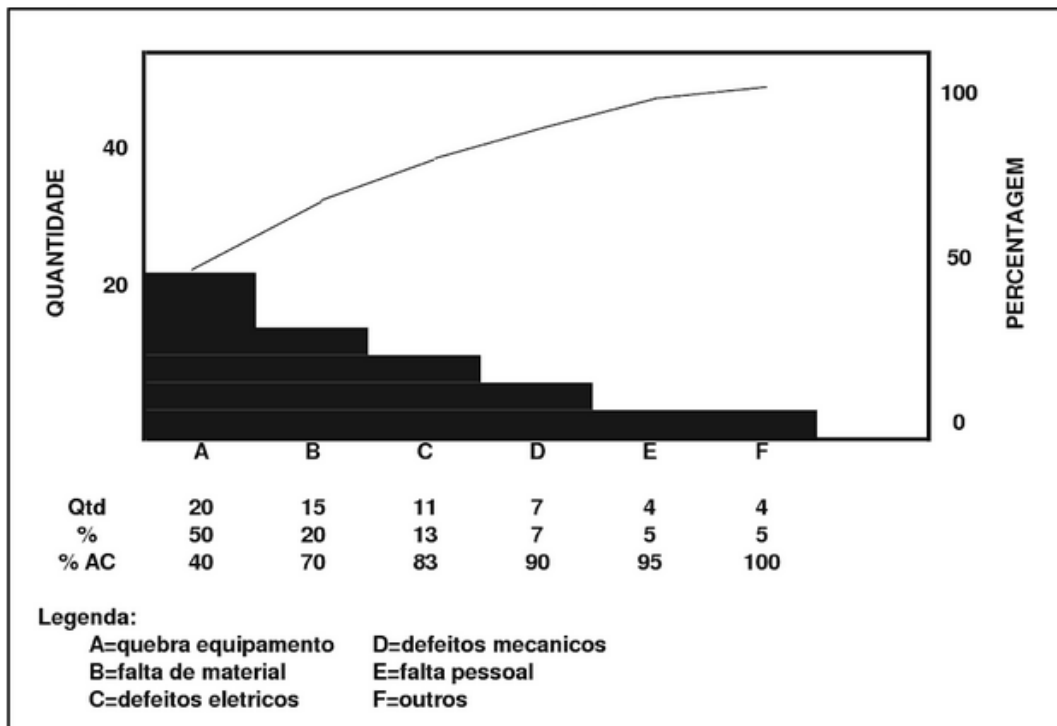


Figura 38 Exemplo de um diagrama de Pareto [35]

Segundo F. César [35], as principais aplicações deste diagrama são:

- Identificação de problemas;
- Identificação das causas que atuam sobre um defeito;
- Priorização da ação;
- Confirmação de resultados de melhoria;
- Estratificação de ações;
- Identificação das principais fontes de custo de um projeto.

3.6. DIAGRAMA DE ISHIKAWA

O diagrama de Ishikawa, também denominado como diagrama de causa e efeito ou espinha de peixe, é uma ferramenta utilizada para apresentar a relação existente entre o problema a ser resolvido (efeito) e os fatores (causas) do processo que podem provocar o problema. Foi desenvolvido em 1953 pelo engenheiro químico japonês Kaoru Ishikawa (1915 – 1989) com a finalidade de medir os processos de controlo de qualidade numa indústria de construção naval. Este diagrama, além de resumir as possíveis causas do problema, também procura identificar a causa principal e as ações que devem ser tomadas [36].

A construção deste diagrama é normalmente precedida pela recolha de informação sobre o assunto a analisar, através de sessões de *brainstorming*. Esta ferramenta apresenta uma forma idêntica à espinha de um peixe, estando estruturada em três categorias: (i) – as causas principais (espinhas); (ii) – as sub-causas (ramificações das espinhas); e (iii) – o efeito (cabeça do peixe).

Segundo [36], Kaoru Ishikawa categorizou as diferentes causas em seis categorias:

- **Materiais** – refere-se a todos os aspetos que são consumíveis ao projeto, como matérias-primas, papel, água, eletricidade, entre outros;
- **Método** – corresponde à forma como serão desenvolvidas as ações. Inclui procedimentos existentes, fluxo de informações, pesquisa e desenvolvimento;
- **Meio ambiente** – diz respeito ao ambiente que poderá ter impacto no projeto, como, local de trabalho, espaços verdes, e outros;
- **Máquina ou equipamento** – corresponde ao equipamento necessário para o projeto, como por exemplo, instalações, equipamentos, *hardware*, *software* e tecnologia;

- **Mão-de-obra** – refere-se a recursos humanos envolvidos no projeto e às qualificações dos mesmos;
- **Medida** – caracterizada pela forma como os valores são apresentados e pelos instrumentos de medida utilizados.

A Figura 39, exemplifica um diagrama de Ishikawa.

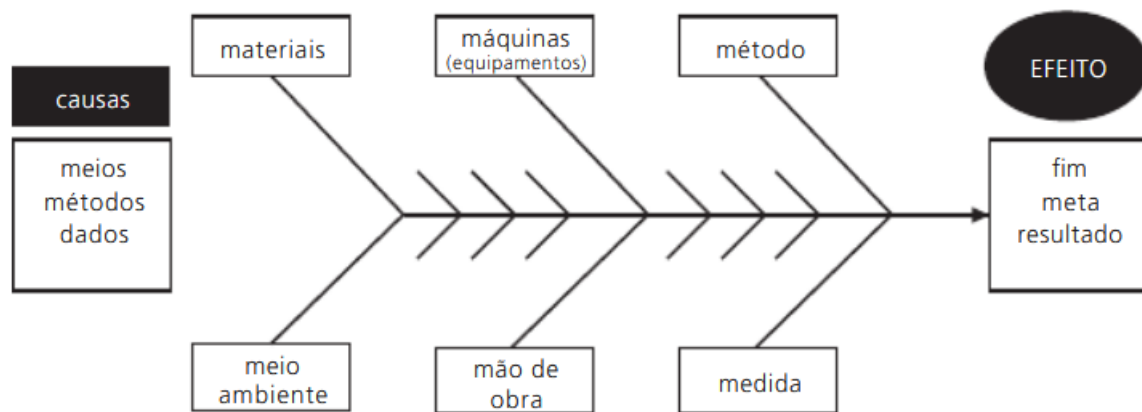


Figura 39 Exemplo de um diagrama de Ishikawa [37]

De acordo com [36], a utilização do diagrama de Ishikawa permite:

- Classificação de todas as causas relativas a um problema;
- Exposição de um problema relativamente grande;
- Criação e análise de dinâmicas de gestão de projetos;
- Fornecimento de elementos cruciais para o desenvolvimento de uma solução adequada ao problema.

4. CASO DE ESTUDO

Neste capítulo apresenta-se a recolha de dados realizada (descrevendo o processo de pintura atualmente desenvolvido, o material e o equipamento utilizado), apresenta-se uma análise do processo atual evidenciando-se os resultados que se pretendem alcançar, dimensiona-se o projeto de melhoria e apresenta-se uma avaliação do mesmo.

4.1. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE PINTURA

Atualmente todo o processo de preparação de tinta e pintura dos motores elétricos produzidos nesta unidade fabril é efetuado através de mão-de-obra humana. Este encontra-se em laboração a 3 turnos de trabalho, constituídos por 2 colaboradores por turno que se destinam à preparação da tinta e pintura dos motores elétricos. A preparação dos motores para a pintura é desempenhada por 2 colaboradores no 1º e 2º turno.

4.1.1. ESQUEMAS DE PINTURA

Segundo o documento da WEG “Apostila Curso DT-12: Pintura Industrial com Tintas Líquidas” [38], o esquema de pintura ou de tinta refere-se ao conjunto de tintas específicas para uma determinada aplicação, por exemplo, um primário ou um acabamento. A aplicação de tinta tem como objetivo permitir que as estruturas e os equipamentos permaneçam por grandes períodos de tempo sem corrosão. As pinturas podem ter um desempenho que, em condições favoráveis, chegam a uma vida útil de 5 ou mais anos. Em condições adversas, a

mesma pintura poderá durar cerca de 1 ou 2 anos, dependendo do meio ambiente e do esquema de pintura empregue.

Um plano de pintura especifica fatores como, a tinta a utilizar, o número de demãos de tinta, a espessura de película seca e húmida para cada tinta, o intervalo de repintura entre demãos, entre outros. Os planos de pintura contêm diversos esquemas de pintura que podem ser classificados como [38]:

a) Primário

- a. Responsável pela adesão do esquema ao substrato, pode ou não conter pigmentos inibidores de corrosão.

b) Intermédio

- a. Oferece espessura ao sistema;
- b. Ajuda na proteção.

c) Acabamento

- a. É responsável por proteger o sistema contra o meio ambiente e dar a cor desejada.

4.1.2. PLANOS DE PINTURA

A Tabela 3 que segue abaixo, representa os planos de pintura e as especificações a atingir na pintura dos motores elétricos.

Tabela 3 Planos de pintura

Plano	Composição
202 E	<p>Primário:</p> <p><u>Superfície em aço conformado:</u> Uma camada com 80 a 110 µm de tinta em pó poliéster.</p> <p><u>Superfície em aço:</u> Uma demão com 40 a 55 µm de Tinta Alquídica Vermelho Óxido HPP 115 R, conforme WPS-3387.</p> <p><u>Superfície em ferro fundido:</u> Uma demão com 20 a 55 µm de Tinta Alquídica Vermelho Óxido HPP 115 R, conforme WPS-3387.</p> <p>Intermédio:</p> <p>Uma demão com 80 a 112 µm de Tinta Epóxi N2288, conforme WPS-29067.</p>

	<p>Acabamento: Uma demão com 100 a 140 µm de Tinta Epóxi N2628, conforme WPS-3271.</p>
202 P	<p>Primário: <u>Superfície em aço conformado:</u> Uma camada com 80 a 110 µm de tinta em pó poliéster. <u>Superfície em aço:</u> Uma demão com 40 a 55 µm Tinta Alquídica Vermelho Óxido HPP 115 R, conforme WPS-3387. <u>Superfície em ferro fundido:</u> Uma demão com 20 a 55 µm de Tinta Alquídica Vermelho Óxido HPP 115 R, conforme WPS-3387.</p> <p>Intermédio: Uma demão com 80 a 112 µm de Tinta Epóxi N2288, conforme WPS-29067.</p> <p>Acabamento: Uma demão com 70 a 100 µm de Tinta PU N2677, conforme WPS-3093.</p>
203 A	<p>Primário: <u>Superfície em nylon:</u> Uma demão com 3 a 6 µm de selador para plástico. <u>Superfície em aço conformado:</u> Uma camada com 60 a 120 µm de tinta pó poliéster. <u>Superfície em aço:</u> Uma demão com 40 a 55 µm de Tinta Alquídica Vermelho Óxido HPP 115 R, conforme WPS-3387. <u>Superfície em ferro fundido:</u> Uma demão com 20 a 55 µm de Tinta Alquídica Vermelho Óxido HPP 115 R, conforme WPS-3387.</p> <p>Acabamento: Uma demão com 40 a 60 µm de Tinta Alquídica W-Lack ACA 113 R e W-Lack SRA 113 R, conforme WPS-3185.</p>
205 E	<p>Primário: <u>Superfície em aço conformado:</u> Uma camada com 60 a 120 µm de tinta em pó poliéster. <u>Superfície em aço:</u> Uma demão com 40 a 55 µm de Tinta Alquídica Vermelho Óxido HPP 115 R, conforme WPS-3387.</p>

	<p><u>Superfície em ferro fundido:</u> Uma demão com 20 a 55 µm de Tinta Alquídica Vermelho Óxido HPP 115 R, conforme WPS-3387.</p> <p>Intermédio:</p> <p>Uma demão com 20 a 30 µm de Tinta Epóxi CVE 355, conforme WPS-3162.</p> <p>Acabamento:</p> <p>Uma demão com 100 a 140 µm de Tinta Epóxi N2628, conforme WPS-3271.</p>
205 P	<p>Primário:</p> <p><u>Superfície em aço conformado:</u> Uma camada com 60 a 120 µm de tinta em pó poliéster.</p> <p><u>Superfície em aço:</u> Uma demão com 40 a 55 µm de Tinta Alquídica Vermelho Óxido HPP 115 R, conforme WPS-3387.</p> <p><u>Superfície em ferro fundido:</u> Uma demão com 20 a 55 µm de Tinta Alquídica Vermelho Óxido HPP 115 R, conforme WPS-3387.</p> <p>Intermédio:</p> <p>Uma demão com 20 a 30 µm de Tinta Epóxi CVE 355, conforme WPS-3162.</p> <p>Acabamento:</p> <p>Uma demão com 70 a 100 µm de Tinta PU N2677, conforme WPS-3271.</p>
211 E	<p>Primário:</p> <p><u>Superfície em aço, ferro fundido:</u> Uma demão com 100 a 140 µm de Tinta Epóxi N2630, conforme WPS-3290.</p> <p>Acabamento:</p> <p>Uma demão com 100 a 140 µm de Tinta Epóxi N2628, conforme WPS-3271.</p>
211 P	<p>Primário:</p> <p><u>Superfície em aço, ferro fundido:</u> Uma demão com 100 a 140 µm de Tinta Epóxi N2630, conforme WPS-3290.</p> <p>Acabamento:</p> <p>Uma demão com 70 a 100 µm de Tinta PU N2677, conforme WPS-3093.</p>

212 E	<p>Primário: <u>Superfície em aço e ferro fundido:</u> Uma demão com 70 a 100 µm de Tinta Epóxi N1277 (Exceto partes em alumínio), conforme WPS-3239.</p> <p>Intermédio: Uma demão com 180 a 250 µm de Tinta Líquida Wet Surface 89 PW, conforme WPS-29066.</p> <p>Acabamento: Uma demão com 100 a 140 µm de Tinta Epóxi N2628, conforme WPS-3271.</p>
212 P	<p>Primário: <u>Superfície em aço e ferro fundido:</u> Uma demão com 70 a 100 µm de Tinta Epóxi N1277 (Exceto partes em alumínio), conforme WPS-3239.</p> <p>Intermédio: Uma demão com 180 a 250 µm de Tinta Líquida Wet Surface 89 PW, conforme WPS-29066.</p> <p>Acabamento: Uma demão com 70 a 100 µm de Tinta PU N2677, conforme WPS-3093.</p>
214 P	<p>Primário: <u>Superfície em aço e ferro fundido:</u> Uma demão com 70 a 100 µm de Tinta Epóxi N1277 (Exceto partes em alumínio), conforme WPS-3239.</p> <p>Acabamento: Uma demão com 70 a 100 µm de Tinta PU N2677, conforme WPS-3093.</p>
Tropicalização	<p>Rotor completo: Uma demão com 40 a 55 µm de Tinta Epóxi HPI 363 Verde 54280.</p> <p>Demais componentes (anel fixação rolamento, tampas do motor, tampa caixa ligação, caixa ligação): Uma demão com 70 a 100 µm de Tinta Epóxi HPI 363 Verde 54280.</p>

<p>Proteção anticorrosiva</p> <p>Conforme IEEE-841</p>	<p>Rotor completo: Uma demão com 40 a 70 µm de Tinta Epóxi HPI 363 Verde 54280.</p> <p>Áreas maquinadas: Aplicação de óleo protetivo graxoso.</p>
<p>Somente rotor</p>	<p>Rotor completo: Uma demão com 40 a 70 µm de Tinta Epóxi HPI 363 Verde 54280.</p>

Nos planos de pintura 202, 203 e 205 – denominados como planos de pintura simples – os motores são fornecidos com o primário de Tinta Alquídica Vermelho Óxido HPP 115 R (cor vermelha), enquanto que nos planos de pintura 211, 212 e 214 – denominados como planos de pintura especiais – os motores também são fornecidos com o primário de Tinta Alquídica Vermelho Óxido HPP 115 R (cor vermelha), porém, dado que estes planos necessitam de um primário de Tinta Epóxi Cinza (cor cinza), os motores são decapados e posteriormente é aplicado o respetivo primário. O processo de decapagem é desenvolvido numa outra unidade produtiva parceira da WEGeuro.

O fluxograma representado na Figura 40, explicita o funcionamento dos vários planos de pintura existentes.

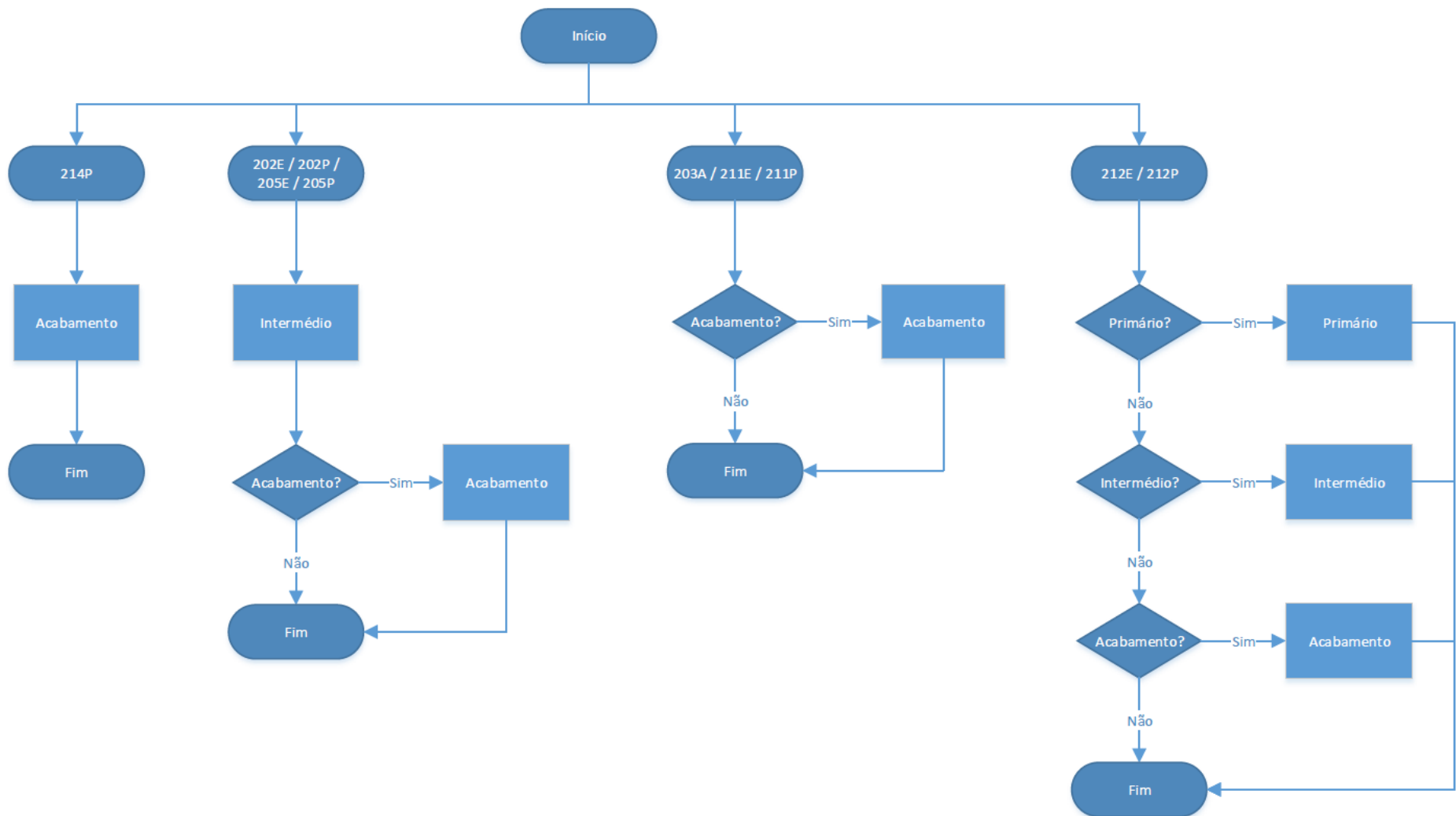


Figura 40 Fluxograma dos planos de pintura

4.2. PROCEDIMENTO

4.2.1. PREPARAÇÃO DO MOTOR

Concluída a montagem do motor elétrico, antes deste partir para a pintura, é necessário isolar e proteger as partes que não são para pintar. Todo este processo de preparação do motor para a pintura é realizado por um operário no tapete rolante junto ao laboratório de ensaio – fim de linha. A Figura 41 representa o local onde o processo de preparação do motor para a pintura é realizado.



Preparação do
Motor para a
Pintura

Figura 41 Fim de linha

Numa fase inicial procede-se à limpeza do interior da caixa de ligação (ver Figura 42), com panos e diluente de limpeza de modo a retirar todas as impurezas que poderão existir devido à atividade industrial existente no ambiente fabril.



Figura 42 Limpeza do interior da caixa de ligação

Em seguida, é aplicada cola sobre o canal das tampas e é colocado o perfil de borracha de modo a proteger a caixa de ligação. Esta etapa está representada na Figura 43.



Figura 43 Colagem do perfil de borracha

Posteriormente, são obturados os aterramentos e as furações (ver Figura 44), através da colocação de dispositivos de proteção nas zonas roscadas da carcaça e da caixa de ligação do motor, de modo a evitar que estas sejam pintadas.



Figura 44 Obturação dos aterramentos e das furações

Em seguida, após a cola aplicada sobre o canal das tampas secar, as tampas são fixadas na caixa de ligação, através do aperto dos parafusos com um roquete. A Figura 45 ilustra esta tarefa.



Figura 45 Fixação da caixa de ligação

Fixadas as caixas de ligação, são isoladas partes do motor como o veio e a flange (esta depende do tipo de configuração do motor), através de fita isoladora. Nota: por vezes este isolamento é realizado pelo pintor. A Figura 46 ilustra a tarefa acima descrita.



Figura 46 Isolamento do veio

4.2.2. PREPARAÇÃO DO EQUIPAMENTO

Após a preparação do motor para a pintura segue-se a preparação do equipamento.

Inicialmente liga-se a cabine de pintura e verifica-se se o sistema de exaustão é capaz de eliminar toda a névoa formada durante a aplicação. A Figura 47 representa o quadro elétrico da cabine de pintura.



Figura 47 Quadro elétrico da cabine de pintura

Em seguida, o pintor desloca-se até ao seu cacifo, recolhe todo o seu material (ver ponto 4.3.2) e equipa-se de modo a estar apto para iniciar a sua atividade.

O pintor, após reunir todas as condições necessárias para iniciar a sua atividade, verifica que tinta está atribuída ao motor a pintar, em seguida transporta-o até à cabine de pintura utilizando uma ponte rolante e posiciona-o no centro da cabine de modo a evitar a projeção de tinta para o exterior da cabine de pintura (ver Figura 48).

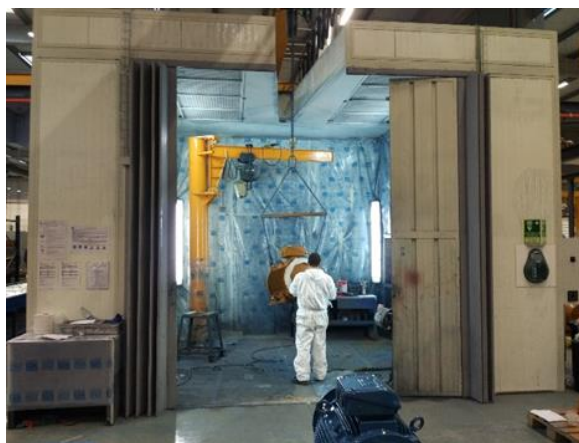


Figura 48 Posicionamento do motor na cabine de pintura

Seguidamente, o pintor confirma a Ordem de Produção (OP) respetiva ao motor em questão e garante que a mesma acompanha sempre o motor.

4.2.3. PROCEDIMENTO PARA A PREPARAÇÃO DA TINTA

Confirmada a OP é realizada a preparação da tinta para posteriormente ser aplicada ao motor.

Verificado o plano de pintura a aplicar ao motor, o pintor requisita os componentes necessários para preparar a tinta, como um recipiente (balde) de 5 litros limpo, o endurecedor e o diluente, de modo a permitir a mistura dos vários componentes.

Em seguida, agita a tinta a aplicar através de uma régua de diluição e verifica que porção de mistura (COMP A:COMP B) esta requiere. Posto isto, coloca no balde a quantidade de tinta a preparar e de acordo com a porção de mistura é adicionado endurecedor e diluente, a quantidade deste depende da percentagem de diluição. A Figura 49 ilustra todo este processo.



Figura 49 Mistura dos componentes

A mistura dos componentes é agitada através de uma régua de diluição, de modo a verificar uma completa consistência, verificando este estado, a tinta está pronta para ser aplicada (ver Figura 50).



Figura 50 Agitação dos componentes

Exemplo prático: supondo que uma tinta tem de porção de mistura (COMP A:COMP B) 5:1 e uma percentagem de diluição de 50%.

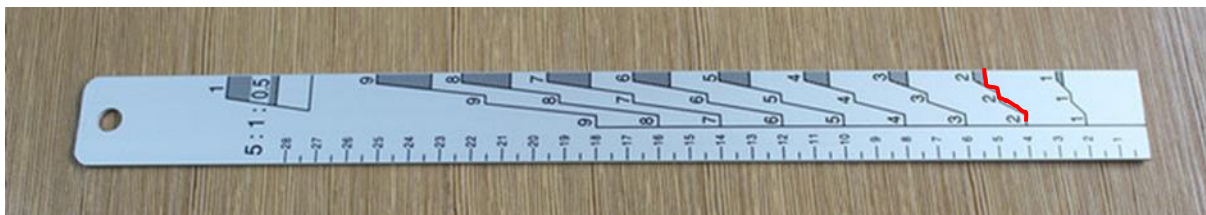


Figura 51 Régua de diluição – Exemplo prático

Admitindo que a quantidade de tinta a preparar corresponde à marca de 2 na régua de diluição (ver Figura 51), isto significa, que tem que ser seguido o caminho (trajeto a cor vermelha) referente à marca de 2 na mesma, sendo que a primeira marca corresponde à quantidade de tinta, a segunda ao endurecedor e a terceira ao diluente (neste caso seria adicionado diluente até ao meio da zona sombreada da terceira marca na régua de diluição, dado que a percentagem de diluição é de 50%).

4.2.3.1. TINTAS

As tintas utilizadas na unidade fabril são do tipo alquídicas, epóxis e de poliuretano à base de solventes. As tintas alquídicas, conhecidas como esmaltes sintéticos, são tintas monocomponente de secagem ao ar. São frequentemente utilizadas em ambientes secos e abrigados ou não poluídos. Quanto às tintas epóxis, são tintas bicomponentes também de secagem ao ar. A cura estabelece-se pela reação química entre dois componentes, o componente A, de modo geral é à base de resina epóxi e B (agente de cura) de base de poliamida ou poliamina. São caracterizadas por serem resistentes à humidade, imersão em água doce ou salgada, lubrificantes, combustíveis e diversos produtos químicos. Já as tintas poliuretânicas são bicomponentes em que o componente A é baseado em resina de poliéster ou resina acrílica, e o componente B, agente de cura, é baseado de isocianato alifático [38].

As tintas apresentadas na Tabela 5 podem organizar-se segundo o seu tipo:

- **Alquídicas:**
 - LACKTHANE N 2677;
 - WEGLACK SRA 111 R;
 - WEGPOXI 89 PW.
- **Epóxis:**

- WEGPOXI CVE 355;
 - LACKPOXI N 1277;
 - LACKPOXI N 2288;
 - LACKPOXI N 2628;
 - LACKPOXI N 2630.
- **Poliuretano:**
 - LACKTHANE N 2677.

O RAL é um sistema de definição de cores, utilizado para diferenciar as cores associadas às tintas. As cores mais utilizadas na pintura dos motores elétricos bem como a quantidade diária de utilização estão representadas na Tabela 4 (dados relativos ao 1º semestre de 2018).

Tabela 4 Cores mais utilizadas e respetiva quantidade diária

Cor	Quantidade diária (l)
RAL 5009 – Azul azur	24,7
RAL 7000 – Gris ardilla	5,5
RAL 9006 – Alumínio branco	4,5
RAL 1015 – Marfil claro	3,8
RAL 5001 – Azul verdoso	3,1
RAL 6002 – Verde hoja	1,8
RAL 5010 – Azul genciana	1,5
RAL 3002 – Rosso carminio	1,4
RAL 5017 – Azul tráfico	1,3

4.2.3.1.1. MODO DE APLICAÇÃO

De acordo com as fichas técnicas disponibilizadas pelo fornecedor WEG tintas (WMO), a Tabela 5 que segue abaixo, tem como objetivo resumir a informação relativa ao modo de aplicação, como o tipo de pistola a utilizar, o tipo de bico, orifício do bico, entre outros.

Existem cerca de nove tipos de tintas com propriedades, métodos de aplicação e ainda requisitos de aplicações diferentes.

Tabela 5 Especificações do modo de aplicação das tintas

Tintas de Pintura WEGeuro																	
Fornecedor			Método de Aplicação														
			Pistola Convencional					Pistola Airless			Trincha		Rolo				
Modelo	Capa de Ar	Bico de Fluido	Pressão de Atomização (psi)	Pressão no Tanque (psi)	Diluição (%)	Usar Airless	Orifício do bico (")	Pressão do Fluido (psi)	Mangueira (")	Filtro	Diluição (%)	Largura (mm)	Tipo de Material				
WMO	Primário	LACKPOXI N 1277	JGA 502/3 Devilbiss	704	EX	60 - 65	10 - 20	Máx. 10%	60 : 1	0,021 - 0,023	3000	¼	Malha 60	Máx. 5%	75 - 100	-	
		LACKPOXI N 2630	JGA 502/3 Devilbiss	704	EX	60 - 65	10 - 20	Máx. 10%	60 : 1	0,019 - 0,023	3000	¼	Malha 60	Máx. 5%	75 - 100	Lã carneiro/sintético	
		WEGLACK HPP 115 R	JGA - 502	704	FX	-	-	-	-	0,013 - 0,015	1800 - 2200	¼	-	-	75 - 100	Lã carneiro/sintético	
	Intermédio	CVE 355	JGA 502/3 Devilbiss	704	EX	60 - 65	10 - 20	Máx. 5%	60 : 1	0,013 - 0,017	2000	¼	Malha 60	-	-	-	-
		LACKPOXI N 2288	JGA 502/3 Devilbiss	704	EX	60 - 65	10 - 20	Máx. 15%	60 : 1	0,019 - 0,023	3000	¼	Malha 60	Máx. 10%	75 - 100	Lã carneiro/sintético	
		WEGPOXI 89 PW	JGA 502/3	704	EX	60 - 65	10 - 20	Máx. 10%	60 : 1	0,017 - 0,023	2500 - 3000	¼	-	Máx. 5%	75 - 100	Lã carneiro/sintético	
	Acabamento	LACKPOXI N 2628	JGA 502/3 Devilbiss	704	EX	60 - 65	10 - 20	Máx. 10%	60 : 1	0,019 - 0,023	3000	¼	-	Máx. 5%	75 - 100	Lã carneiro/sintético	
		LACKTHANE N 2677	JGA 502/3 Devilbiss	704	EX	60 - 65	10 - 20	Máx. 10%	60 : 1	0,015 - 0,019	1800 - 2000	¾	-	Máx. 5%	75 - 100	-	
		WEGLACK SRA 111 R	JGA 502/3 Devilbiss	704	EX	60 - 65	10 - 20	Máx. 25%	-	-	-	-	-	-	75 - 100	-	

4.2.4. PROCEDIMENTO PINTURA

Inicialmente o pintor faz o isolamento das partes do motor que não foram isoladas aquando a preparação do motor para a pintura (ponto 4.2.1), como patas através de fita isoladora (depende do plano de pintura – estas são pintadas nos planos 203 A, 211 E, 211 P, 214 P), flanges através de moldes de proteção – caso existam e graxeiras através da inserção de protetores de plástico. A Figura 52 ilustra as partes do motor que são isoladas pelo pintor.



Figura 52 Isolamento da flange e da graxeira

Em seguida procede-se à limpeza da superfície do motor, com um pincel e diluente de limpeza retira-se autocolantes, impurezas e massas. Esta tarefa está representada na Figura 53.



Figura 53 Limpeza da superfície do motor

Concluída a limpeza da superfície do motor é iniciada a pintura do mesmo. Com o motor suspenso pela ponte rolante, começa-se a pintar a superfície do motor (parte superior, laterais e extremidades) através de uma pistola de ar convencional.

Nota: caso o motor a pintar possua um plano com um esquema de pintura intermédio (explicação detalhada no ponto 4.1.2) é necessário desmontar a tampa defletora, retirando esta com um roquete. De seguida, é pintado o interior desta e enquanto se aguarda pela sua secagem é pintado o motor (sem a tampa defletora). Verificando-se a secagem do interior da tampa defletora, esta é aglomerada ao motor e é pintada exteriormente, dando por último uma rápida e completa pintura ao motor (ver Figura 54). Após a secagem da tinta aplicada no esquema intermédio e cumprindo os tempos de secagem, o pintor segue a mesma metodologia deste para aplicar o esquema acabamento.



Figura 54 Aplicação de tinta a um motor elétrico

Em seguida, o motor é subido e é pintada a parte inferior do mesmo. É movido até à altura ideal para que o pintor consiga fazer uma breve verificação visual da aplicação e aderência da tinta. Em certas partes do motor onde é mais difícil pintar com a pistola convencional, como por exemplo nas alhetas (ver Figura 55), é por vezes, necessário utilizar um pincel.

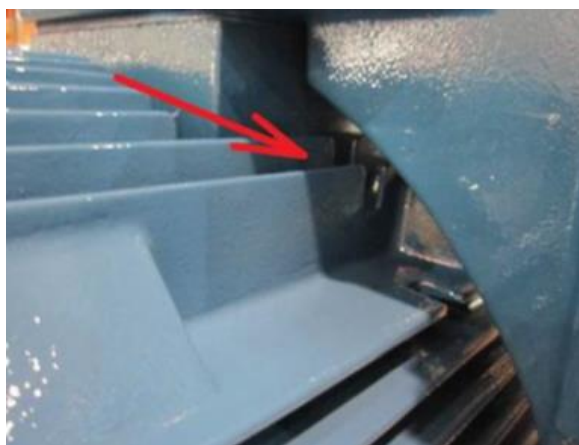


Figura 55 Alhetas de um motor elétrico

No plano de pintura tropicalização, a proteção das partes que não são pintadas é efetuada pelo pintor. Neste plano são pintadas partes como, estator, rotor completo, anel de fixação do rolamento, tampas do motor, tampa da caixa de ligação e a caixa de ligação. Na Figura 56 está representado o estator de um motor elétrico com o plano de pintura tropicalização aplicado.



Figura 56 Estator

4.2.4.1. PINTURA DE ELEMENTOS DE FIXAÇÃO DOS MOTORES

Em todas as combinações de motores existentes, os elementos de fixação são pintados, salvo raras exceções que poderão existir se o cliente assim desejar. A inspeção da parte interna das caixas de ligação dos acessórios deve ser realizada antes da pintura, para não abrir a caixa de ligação após a pintura.

4.2.4.1.1. TAMPA DA CAIXA AUXILIAR

- Planos: A, P e E – pintar todos os elementos de fixação.

A Figura 57 ilustra a tampa de caixa auxiliar, bem como os seus elementos de fixação.



Figura 57 Tampa da caixa auxiliar

4.2.4.1.2. TAMPA DA CAIXA PRINCIPAL (CAIXA FUNDIDA)

- Planos: A, P e E – pintar todos os elementos de fixação.

Na Figura 58 está representada a tampa da caixa principal.



Figura 58 Tampa da caixa principal (caixa fundida)

4.2.4.1.3. PLACA DE PASSAGEM DOS CABOS

- Planos: A, P e E – pintar todos os elementos de fixação.

A Figura 59 enobrecer as várias combinações possíveis das placas de passagem de cabos.



Figura 59 Placa de passagem dos cabos

4.2.4.1.4. PLACA DE FECHAMENTO DE ABERTURAS (RESISTÊNCIA, ACESSÓRIOS, INSPEÇÃO...)

- Planos: A, P e E – pintar todos os elementos de fixação.

A Figura 60 nobilita os tipos de placa de fechamento de aberturas.





Figura 60 Placa de fechamento de aberturas

4.2.4.1.5. TAMPA DEFLETORA EM FERRO FUNDIDO

- Plano A, P e E – pintar todos os elementos de fixação.

As defletoras, representadas na Figura 61, com plano A são pintadas montadas no motor e normalmente neste caso a tampa traseira do motor e a parte interna da tampa defletora não são pintadas.

As defletoras com planos P e E são removidas do motor e pintadas em separado, de modo a possibilitar a pintura da parte traseira do motor e da parte interna da defletora. Após a secagem, a defletora é fixada no motor e é dada uma leve aplicação de tinta por todo o motor.



Figura 61 Tampa defletora em ferro fundido

4.2.4.1.6. TAMPA DEFLETORA EM CHAPA DE AÇO

- Plano A, P e E – pintar todos os elementos de fixação.

As defletoras com plano A são pintadas montadas no motor e normalmente neste caso a tampa traseira do motor e a parte interna da tampa defletora não é pintada.

Tal como as defletoras de ferro fundido, as defletoras com planos P e E são removidas do motor e pintadas em separado, de modo a possibilitar a pintura da parte traseira do motor e da parte interna da defletora. Após a secagem, a defletora é fixada no motor e é dada uma leve aplicação de tinta por todo o motor. A Figura 62 representa as tampas defletoras em chapa de aço.



Figura 62 Tampa defletora em chapa de aço

4.2.4.1.7. ANTI QUEDA DE CORPOS FUNDIDO OU EM AÇO

- Plano A, P e E – pintar todos os elementos de fixação.

No plano A, este componente é fixado na tampa defletora e pintado em conjunto com a defletora. Nos planos P e E este componente é separado da defletora para possibilitar a pintura completa de ambos os componentes e remontado na defletora após a cura da pintura, em seguida é dada uma leve aplicação de tinta por todo o motor.

A Figura 63 exemplifica uma tampa de anti queda de corpos em ferro fundido.



Figura 63 Anti queda de corpo fundido ou em aço

4.2.4.1.8. DIRECIONADOR DE AR DIANTEIRO

- Plano A, P e E – pintar todos os elementos de fixação.

Este componente é pintado em separado e após a cura da pintura é fixado no motor, em seguida é dada uma leve aplicação de tinta por todo o motor. O direcionador de ar dianteiro está representado na Figura 64.

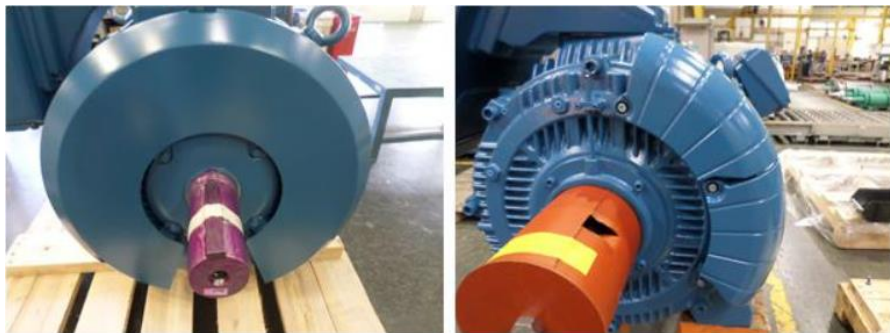


Figura 64 Direcionador de ar dianteiro

4.2.4.1.9. OLHAL DE SUSPENSÃO

- Planos A, P e E – pintar todos os olhais.

Exceção: quando o olhal for de segurança aumentada, deve permanecer a cor do componente conforme é fornecido. A Figura 65 ilustra os vários olhais de suspensão.

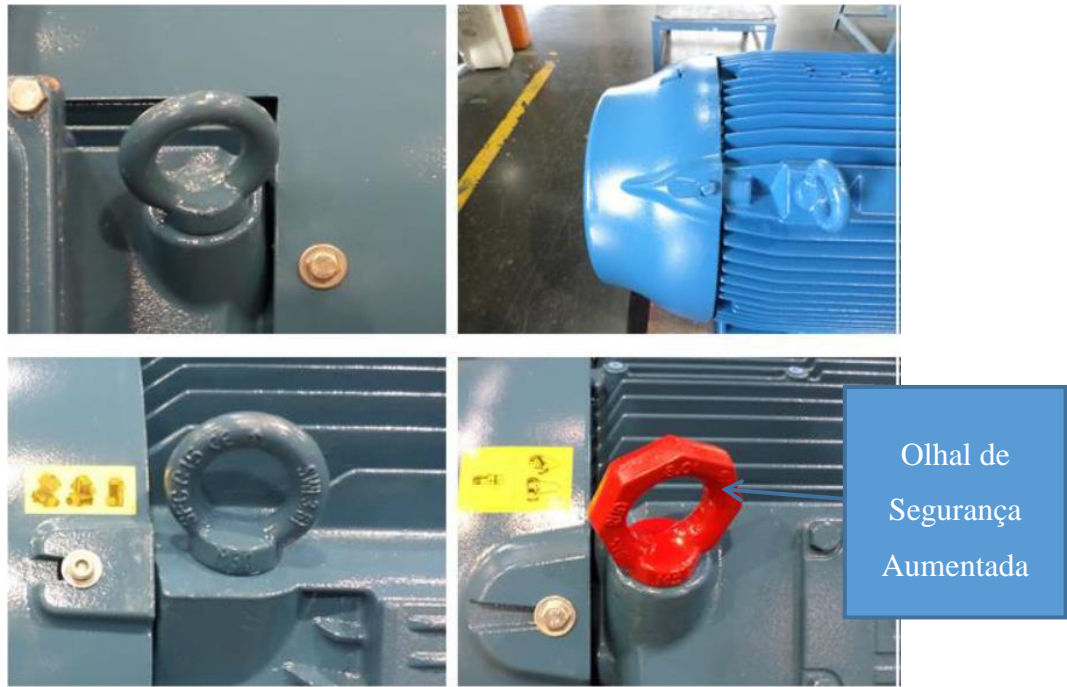


Figura 65 Olhal de suspensão

4.2.4.1.10. GRAXEIRA METÁLICA E FIXADOR DA GRAXEIRA

- Planos A, P e E – pintar o tubo da graxeira e os elementos de fixação.

A Figura 66 exibe a graxeira metálica e o fixador da graxeira.



Figura 66 Graxeira metálica e fixador da graxeira

4.3. DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO

Em relação ao equipamento, este pode ser dividido em duas formas, material compartilhado e material não compartilhado.

4.3.1. MATERIAL COMPARTILHADO

4.3.1.1. PONTE ROLANTE

Os motores elétricos são transportados até à cabine de pintura através de uma ponte rolante com capacidade de carga até 3,5 t (ver Figura 67). Esta foi adquirida em meados de 2017 à NORCRANES, S.A..

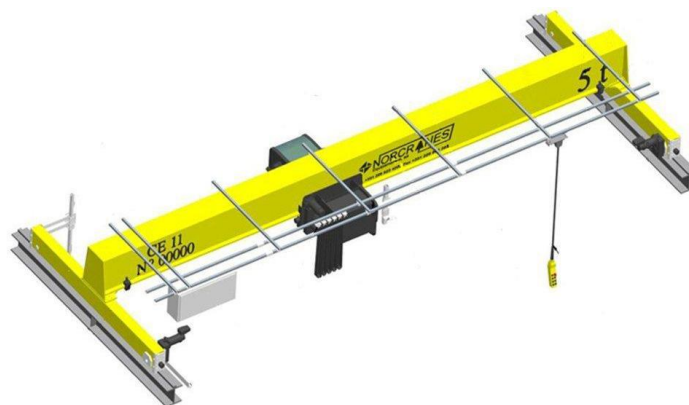


Figura 67 Ponte rolante [39]

4.3.1.2. ROQUETE PNEUMÁTICO

O roquete pneumático utilizado na preparação do motor para a pintura, denominado como FACOM VR.S3136 e ilustrado na Figura 68, tem um binário máximo de 136 N/m e uma velocidade de 280 rpm [40].



Figura 68 Roquete pneumático FACOM VR.S3136 [40]

4.3.1.3. LIXADEIRA ORBITAL

A lixadeira orbital CP7220E (ver Figura 69) é utilizada para lixar e polir partes do motor onde são necessárias estas ações. Este equipamento com alto desempenho e baixo ruído

funciona através de vácuo central com uma velocidade de rotação de 12000 rpm e uma entrada de ar de ¼ polegada. [41].



Figura 69 Lixadeira orbital CP7220E [41]

4.3.1.4. ESPÁTULAS DE PINTURA

As espátulas de pintura são utilizadas para a abertura das latas de tintas, entre outras tarefas.

4.3.1.5. RÉGUAS DE DILUIÇÃO

As régua de diluição são utilizadas na preparação da tinta para medir a proporção de componentes. Os pintores possuem três régua diferentes entre si, no que diz respeito às escalas. Este equipamento está representado na Figura 70.



Figura 70 Régua de mistura Spies Hecker [42]

4.3.2. MATERIAL NÃO COMPARTILHADO

4.3.2.1. CABINE DE PINTURA 1

A cabine de pintura 1, representada na Figura 71, foi adquirida à empresa construtora de estruturas metálicas A Eléctrica, Lda e tem como dimensões 3500*3500*3200 (mm), de

largura útil, profundidade útil e altura útil, respetivamente. Esta inclui um sistema de exaustão, luz e um manómetro capaz de medir e regular a pressão de ar da pistola.



Figura 71 Cabine de pintura 1

4.3.2.2. CABINE DE PINTURA 2

A cabine de pintura 2, ilustrada na Figura 72, à semelhança da ponte rolante, foi adquirida em meados de 2017 à A Eléctrica, Lda e tem como dimensões 4000*4000*3200 (mm), de largura útil, profundidade útil e altura útil, respetivamente. À semelhança da cabine de pintura 1, esta inclui um sistema de exaustão, luz e um manómetro capaz de medir e regular a pressão de ar da pistola.

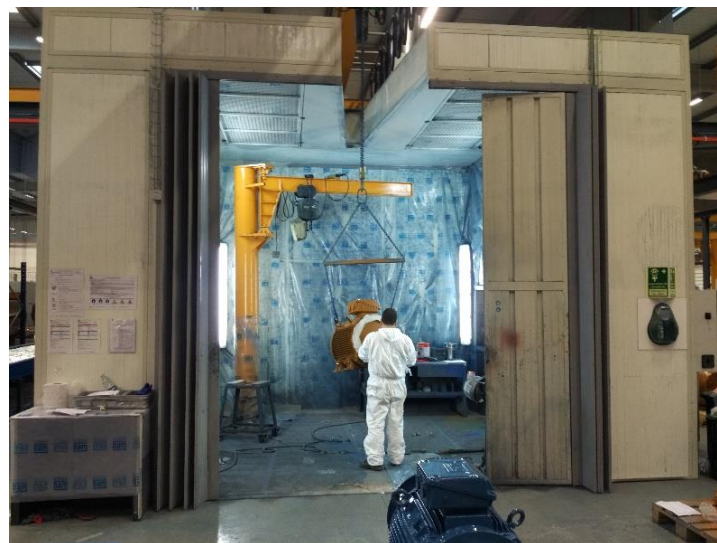


Figura 72 Cabine de pintura 2

4.3.2.3. PISTOLA DE PINTURA CONVENCIONAL

A pistola de pintura DELTALYO SIGMA 3000WB utilizada na projeção da tinta tem um orifício de bico de 2,0, está preparada para ser acoplada a mangueiras de ¼ polegada e trabalha a uma pressão de 2,5 bar [43]. Este equipamento está representado na Figura 73.



Figura 73 Pistola de pintura DELTALYO SIGMA 3000WB [43]

4.3.2.4. MÁSCARA DE PROTEÇÃO RESPIRATÓRIA

A máscara de proteção respiratória Shield SR 540, representada na Figura 74, possui um sistema de alimentação direta a ar comprimido que permite ao pintor respirar ar puro aquando da realização do seu trabalho. Este equipamento está de acordo com a norma EN 12941² e tem um fator de proteção nominal de 500 [44].



Figura 74 Sundström Shield SR 540 [44]

² Norma que especifica os requisitos mínimos para dispositivos de filtragem com alimentação incorporando um capacete ou capuz com filtro(s) de gás, partículas ou combinados para proteção respiratória [57].

4.3.2.5. FATO DE PINTURA

O fato de pintura utilizado pelos pintores na sua atividade profissional, denominado como DuPont™ Tyvek® 500, oferece proteção contra uma série de ameaças, desde respingos de líquidos químicos à base de água, amianto, partículas radioativas e farmacêuticas até riscos biológicos. Está de acordo com a norma ISO 6529³ e é aprovado pelo método do tipo 6 [45]. O fato de pintura Tyvek® 500 está representado na Figura 75.



Figura 75 Fato de pintura Tyvek® 500 (branco) [45]

4.3.2.6. LUVAS

Os pintores, normalmente, utilizam dois pares de luvas de proteção, interiores e exteriores.

4.3.2.6.1. INTERIORES

As luvas descartáveis de nitrilo 6080HR, representadas na Figura 76, são caracterizadas por serem resistentes a produtos químicos, ácidos e a dissolventes não cetônicos cumprindo assim a norma ISO 374⁴ [46].

³ Norma que descreve métodos de teste de laboratório para determinar a resistência de materiais usados em roupas de proteção, incluindo luvas e calçados, entre outros [54].

⁴ Esta norma especifica os requisitos para luvas de proteção destinadas a proteger o utilizador contra produtos químicos perigosos e define os termos a serem usados [55].



Figura 76 Luva descartável de nitrilo 6080HR [46]

4.3.2.6.2. EXTERIORES

As luvas exteriores utilizadas pelos pintores, ilustradas na Figura 77, possuem uma fibra sintética que proporciona um alto nível de resistência à abrasão e são acreditadas pela norma EN 388⁵ [47].



Figura 77 Luvas de nylon 500G2 URETAN [47]

4.4. ANÁLISE DO PROCESSO ATUAL

4.4.1. DEFEITOS DE PINTURA

No processo atual de pintura dos motores elétricos existem inúmeros problemas, dado que a pintura destes não cumpre com os requisitos pré-estabelecidos pela organização, como espessuras de camada de tinta (medidas a húmido e seco), tempos de secagem, porções de mistura, percentagens de diluição, intervalos entre demãos, entre outros, condicionando

⁵ Esta norma aplica-se a todas as classes de luvas de proteção referentes a agressões físicas e mecânicas por abrasão, corte, perfuração e desgarre [56].

assim a qualidade dos motores elétricos produzidos nesta unidade industrial. Os principais defeitos de pintura são [38]:

- **Enrugamento** – presença de micro rugas ou encolhimento da película de tinta aplicada em parte ou em toda a superfície. Este defeito pode ser originado devido à utilização de diluentes não recomendados, à secagem superficial muito rápida, ao incumprimento dos intervalos entre demãos e ainda pela aplicação de tintas epóxis ou PU sobre tintas sintéticas. A Figura 78 representa este defeito.



Figura 78 Enrugamento

- **Escorrimento** – em superfícies verticais as tintas enquanto líquidas tendem, por ação da gravidade, a deslocar-se em forma de onda ou gotas até à parte inferior. Esta anomalia poderá ter como origem a inexperiência do pintor, o excesso de diluição da tinta, a aplicação de excesso de tinta, o uso de diluentes não recomendados, a não observância dos intervalos entre demãos, entre outros. A Figura 79 representa este defeito de pintura.



Figura 79 Escorrimento

- **Casca de laranja** – irregularidades da superfície pintada com película não uniforme e micro relevos (aspeto idêntico à casca de laranja). Poderá ser causado pela aplicação da tinta num ambiente com elevadas temperaturas, pelo uso de diluentes não recomendados, pelo incumprimento do intervalo entre demãos e ainda pelo incumprimento das distâncias entre a peça e a pistola de pintura durante a aplicação da tinta. A Figura 80 ilustra este defeito de pintura.



Figura 80 Casca de laranja

- **Empolamento ou bolhas** – formação de bolhas ou vesículas contendo sólidos líquidos ou gases. Normalmente, este tipo de defeito é originado pelo encapsulamento de ar na tinta devido ao processo de mistura da mesma. Poderá também ser originado pela secagem rápida da película superficial, pela má preparação da superfície para a pintura, pelo excesso de humidade no ambiente, pela utilização de tinta muito porosa, entre outros. O defeito empolamento ou bolhas está representado na Figura 81.



Figura 81 Empolamento ou bolhas

- **Fervura** – presença de pequenas bolhas na superfície pintada, podendo ou não, apresentar um pequeno orifício central. É originado pela evaporação rápida do solvente, pela aplicação da tinta sobre superfícies quentes, pela utilização de diluentes inadequados e ainda pelo incumprimento do intervalo entre demão. Este defeito está representado na Figura 82.

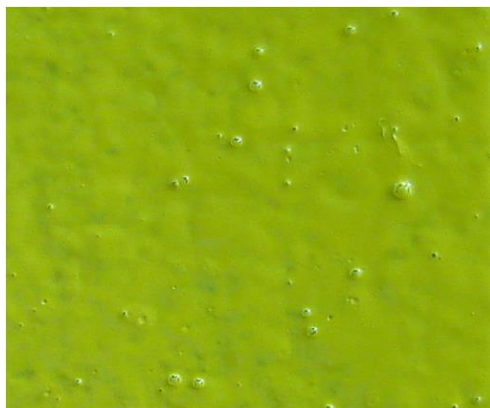


Figura 82 Fervura

- **Descascamento (falta de aderência)** – descascamento da película de tinta do substrato, parcial ou total. Consiste na perda de aderência entre a película e o substrato. À sua origem poderá estar associada a má preparação da superfície, a aplicação da tinta sobre superfícies quentes, a incompatibilidade entre tintas, o incumprimento dos intervalos entre demão entre outros. O defeito de descascamento está ilustrado na Figura 83.

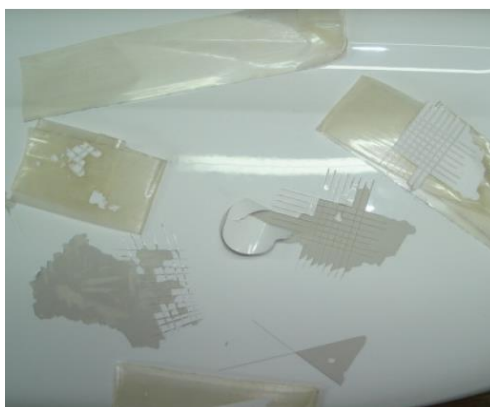


Figura 83 Descascamento

- **Gretamento** – a superfície apresenta-se com aspecto de textura similar ao couro jacaré (*alligatoring*). Este defeito poderá ter como origens, a inabilidade do pintor, a

secagem rápida da película superficial, diluição inadequada, ente outros. A Figura 84 representa este defeito.

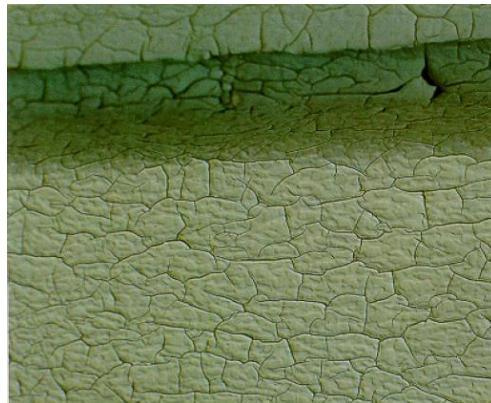


Figura 84 Gretamento

- **Manchas nas cores metálicas** – concentração de alumínio em pequenas áreas, originando manchas na pintura. As origens associadas a este defeito poderão estar relacionadas com a inabilidade do pintor, a utilização de diluentes inadequados, a preparação desapropriada da tinta e ainda uma incurial utilização da pistola de pintura. As manchas nas cores metálicas estão representadas na Figura 85.



Figura 85 Manchas nas cores metálicas

- **Cratera (olho de peixe)** – formação de uma pequena depressão arredondada sobre a superfície pintada. Poderá apresentar-se sob a forma perfurante ou superficial. Este é originado pela presença de óleos, graxas ou gorduras na superfície a pintar, pela existência de um ambiente de pintura contaminado por silicones, pelo uso de anti respingos e desmoldantes à base de silicones em áreas próximas da pintura, pela utilização de ar comprimido contaminado, pela presença de humidade no ar ou na

peça a pintar, pela falta de instalação de purgadores e filtros de ar na cabine de pintura, ou pela reduzida homogeneização da tinta. O defeito cratera ou olho de peixe está ilustrado na Figura 86.

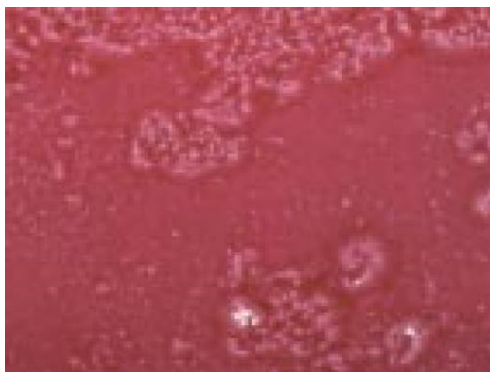


Figura 86 Cratera

Nota: O defeito escorrimento, não afeta a qualidade do produto, é apenas um problema estético.

De modo a analisar a importância relativa de cada defeito de pintura foi realizada uma análise quantitativa. Esta análise teve como base o princípio de Pareto, bem como uma amostra de 80 motores e o registo das não conformidades estabelecidas durante o processo. A Tabela 6 apresenta os dados recolhidos da análise efetuada.

Tabela 6 Quantidade de defeitos de pintura numa amostra de 80 motores

Defeitos de pintura	Frequência	% Acumulada
Escorrimento	20	25%
Fervura	17	46%
Casca de laranja	13	63%
Cratera (olho de peixe)	9	74%
Manchas nas cores metálicas	7	83%
Empolamento ou bolhas	6	90%
Descascamento (falta de aderência)	4	95%

Gretamento	3	99%
Enrugamento	1	100%

A Figura 87 ilustra o gráfico correspondente aos dados anteriores.

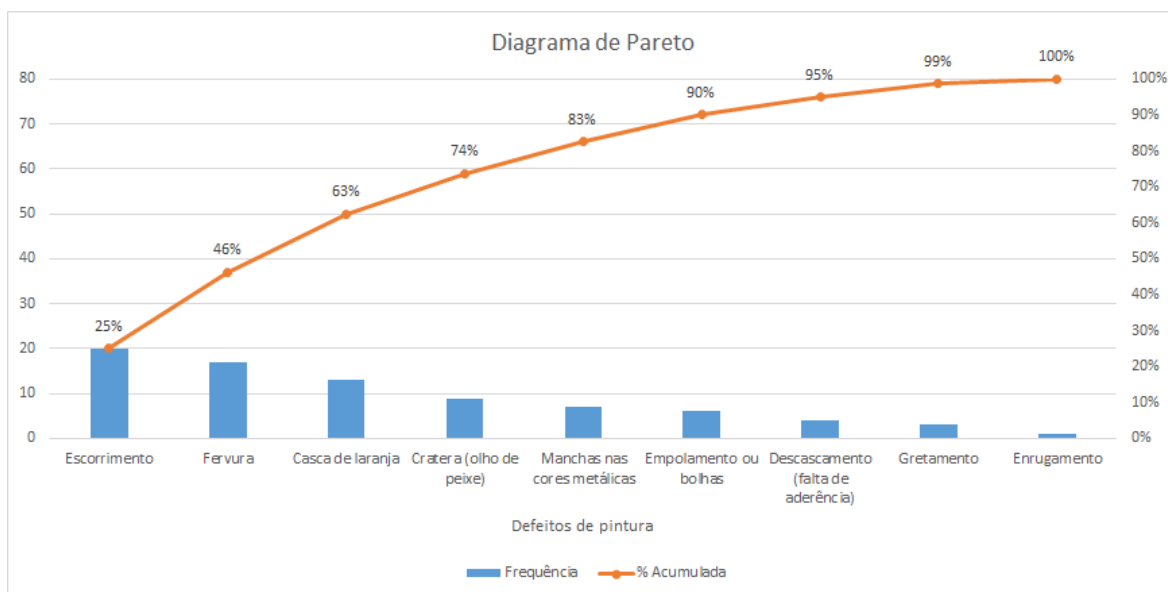


Figura 87 Diagrama de Pareto

Pela análise do diagrama de Pareto verifica-se que os principais defeitos de pintura são: o escorrimento, a fervura, a casca de laranja, a cratera (olho de peixe) e as manchas nas cores metálicas, uma vez que representam cerca de 83% dos defeitos.

O diagrama de Ishikawa representado na Figura 88, visa analisar graficamente e de forma estruturada, as causas e os efeitos do problema da pintura. Foi elaborado com base na opinião dos colaboradores diretamente relacionados com a pintura dos motores elétricos, bem como com a recolha e análise de dados efetuada.

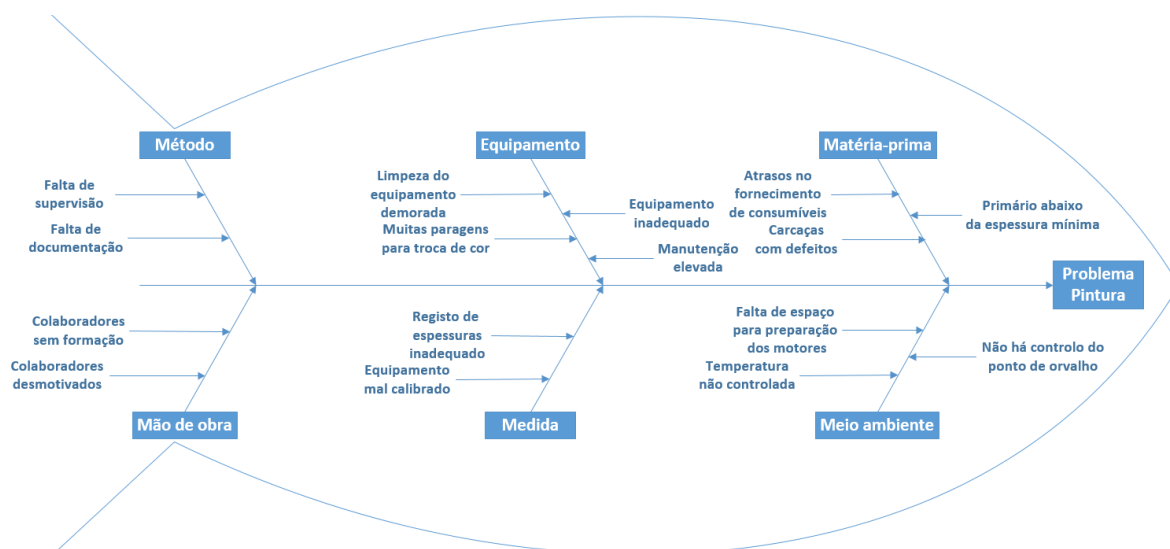


Figura 88 Diagrama de Ishikawa

4.4.2. CAPACIDADE DE PINTURA ATUAL

Considerando a laboração de 2 turnos de trabalho, constituídos por 2 colaboradores por turno distribuídos pelas cabines de pintura acima descritas, em média são pintados cerca de 41 motores por dia, dos quais 29 unidades são referentes ao plano de pintura 203 A, 6 unidades são referentes ao plano 202 e 205 (E, P) e 6 unidades são referentes ao plano 211, 212 (E, P) e 214 P, refletindo-se na seguinte percentagem de motores produzidos (ver Tabela 7):

Tabela 7 Percentagem de motores produzidos por plano de pintura

Plano de pintura	Motores pintados (%)
203 A	$\frac{29}{41} \times 100 \cong 70\%$
202 e 205 (E, P)	$\frac{6}{41} \times 100 \cong 15\%$
211, 212 (E, P) e 214 P	$\frac{6}{41} \times 100 \cong 15\%$

A nível da cronometragem dos tempos de pintura temos os seguintes valores médios (ver Tabela 8):

Tabela 8 Tempo médio atual de pintura dos motores elétricos

Plano de pintura	Tempo acabamento (min)	Tempo intermédio (min)
203 A	19,17	0
202 e 205 (E, P)	34,17	28,45
211, 212 (E, P) e 214 P	40,60	29,92

Admitindo a informação acima descrita (inclusive Tabela 7 e Tabela 8) e os dados que se seguem foi avaliada a percentagem de ocupação instalada por cabine de pintura.

Cabine de pintura 1:

- Dados de produção:
 - *Turnos* = 2;
 - *Turno de trabalho* = 8h = 8h × 60min = 480 minutos;
 - *Pausas* = 2 × 10min cada = 20 minutos;
 - *Tempo de inatividade* = 23 minutos;
- Motores pintados:
 - *Nº motores* = 20;
- Cálculos:
 - *Tempo de operação* = *Turnos* × (*Turno de trabalho* – *Pausas* – *Tempo de inatividade*) = 874 minutos;
 - *Tempo de produção* = *Nº motores* × $\sum(\text{Motores Pintados (\%)} \times (\text{Tempo Acabamento (min)} + \text{Tempo Intermédio (min)}))$ = 667,80 minutos;
 - *% de Ocupação* = $\frac{\text{Tempo de produção}}{\text{Tempo de operação}}$ = 76%.

Cabine de pintura 2:

- Dados de produção:
 - *Turnos* = 2;
 - *Turno de trabalho* = 8h = 8h × 60min = 480 minutos;
 - *Pausas* = 2 × 10min cada = 20 minutos;
 - *Tempo de inatividade* = 23 minutos;
- Motores pintados:

- $N^{\circ} \text{ motores} = 20;$
- Cálculos:
 - $\text{Tempo de operação} = \text{Turnos} \times (\text{Turno de trabalho} - \text{Pausas} - \text{Tempo de inatividade}) = 874 \text{ minutos};$
 - $\text{Tempo de produção} = N^{\circ} \text{ motores} \times \sum(\text{Motores Pintados} (\%) \times (\text{Tempo Acabamento} (\text{min}) + \text{Tempo Intermédio} (\text{min}))) = 667,80 \text{ minutos};$
 - $\% \text{ de Ocupação} = \frac{\text{Tempo de produção}}{\text{Tempo de operação}} = 76\%.$

Após esta avaliação verifica-se que a percentagem de ocupação de cada cabine de pintura é de 76%. Em dois turnos de trabalho são pintados cerca de 20 motores por cabine de pintura, contabilizando um total de 40 motores.

4.4.3. CÁLCULO DO INDICADOR OEE

A eficiência do equipamento de pintura foi medida através do cálculo do indicador OEE. Este cálculo teve em consideração os dados da análise previamente efetuada ao processo de pintura.

Da análise previamente efetuada apurou-se que, em média, em 2 turnos de trabalho, onde cada turno tem uma duração de 8 horas e é composto por 2 pausas de 10 minutos, são pintados cerca de 40 motores, dos quais 16 unidades apresentam defeitos de pintura. Verificou-se também que, para acompanhar a taxa de produção instituída no fim de linha, o tempo de processamento da pintura de um motor elétrico tem que ser igual a 14 minutos.

- Dados de produção:
 - $\text{Turnos} = 2;$
 - $\text{Turno de trabalho} = 8h = 8h \times 60min = 480 \text{ minutos};$
 - $\text{Pausas} = 2 \times 10 \text{ min cada} = 20 \text{ minutos};$
 - $\text{Tempo de inatividade} = 23 \text{ minutos};$
 - $\text{Tempo de pintura ideal} = \frac{1}{14} = 0,07 \text{ motores/minuto};$
 - $\text{Total de motores} = 40 \text{ motores};$
 - $\text{Motores rejeitados} = 16 \text{ motores}.$
- Variáveis de suporte:
 - $\text{Tempo de produção planeado} = \text{Turnos} \times (\text{Turno de trabalho} - \text{Pausas}) = 2 \times (480 - 20) = 920 \text{ minutos};$
 - $\text{Tempo de operação} = \text{Tempo de produção planeado} - (\text{Turnos} \times \text{Tempo de inatividade}) = 920 - (2 \times 23) = 874 \text{ minutos};$
 - $\text{Motores aprovados} = \text{Total de motores} - \text{Motores rejeitados} = 40 - 16 = 24.$

- Fator OEE:

- $Disponibilidade = \frac{Tempo\ de\ operação}{Tempo\ de\ produção\ planeado} = \frac{874}{920} = 0,9500\ (95,00\%);$
- $Desempenho = \frac{\frac{Total\ de\ motores}{Tempo\ de\ operação}}{Tempo\ de\ pintura\ ideal} = \frac{\frac{40}{874}}{0,07} = 0,6407\ (64,07\%);$
- $Qualidade = \frac{Motores\ aprovados}{Total\ de\ motores} = \frac{24}{40} = 0,6000\ (60,00\%);$
- $OEE = Disponibilidade \times Desempenho \times Qualidade = 0,9500 \times 0,6407 \times 0,6000 = 0,3652\ (36,52\%).$

A representação gráfica do fator OEE calculado anteriormente está ilustrada na Figura 89.

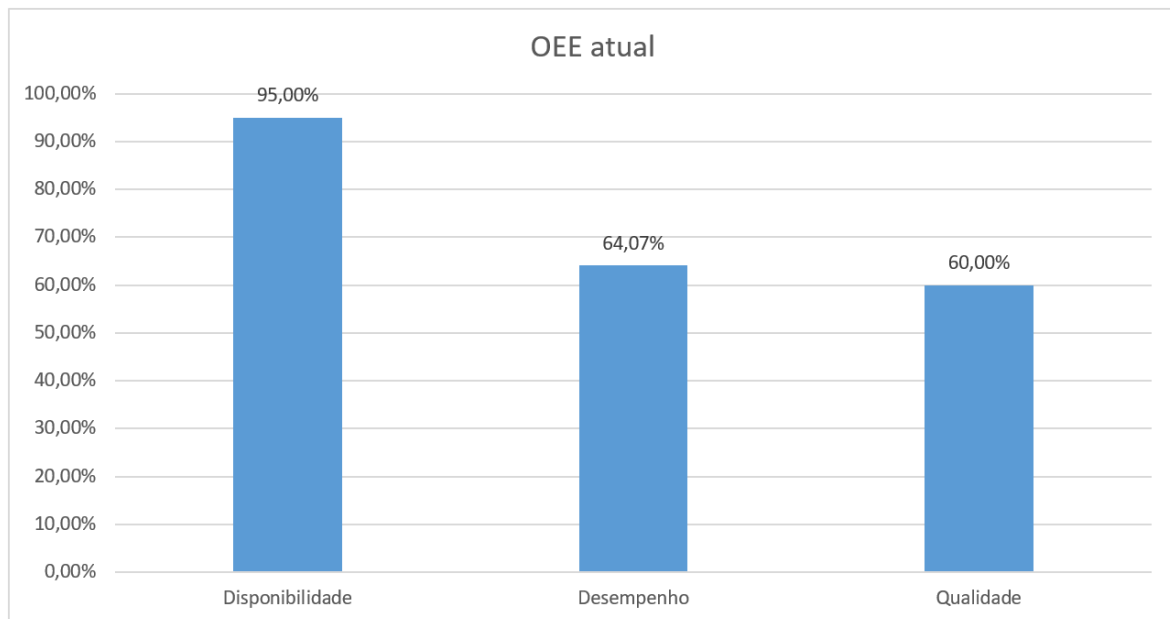


Figura 89 OEE atual

Pelos cálculos acima efetuados, averigua-se que o fator OEE não é aceitável, uma vez que o valor calculado é inferior ao mínimo aceitável ($36,52\% < 65,00\%$).

4.5. VISÃO

Analisado o processo atual de pintura foi delineada uma visão (Figura 90) com vista a alcançar os objetivos pretendidos. Esta teve como base a filosofia *Lean*, e permitirá motivar os colaboradores, reduzir o desperdício (*muda*) e aumentar o valor acrescentado e a eficiência do equipamento.

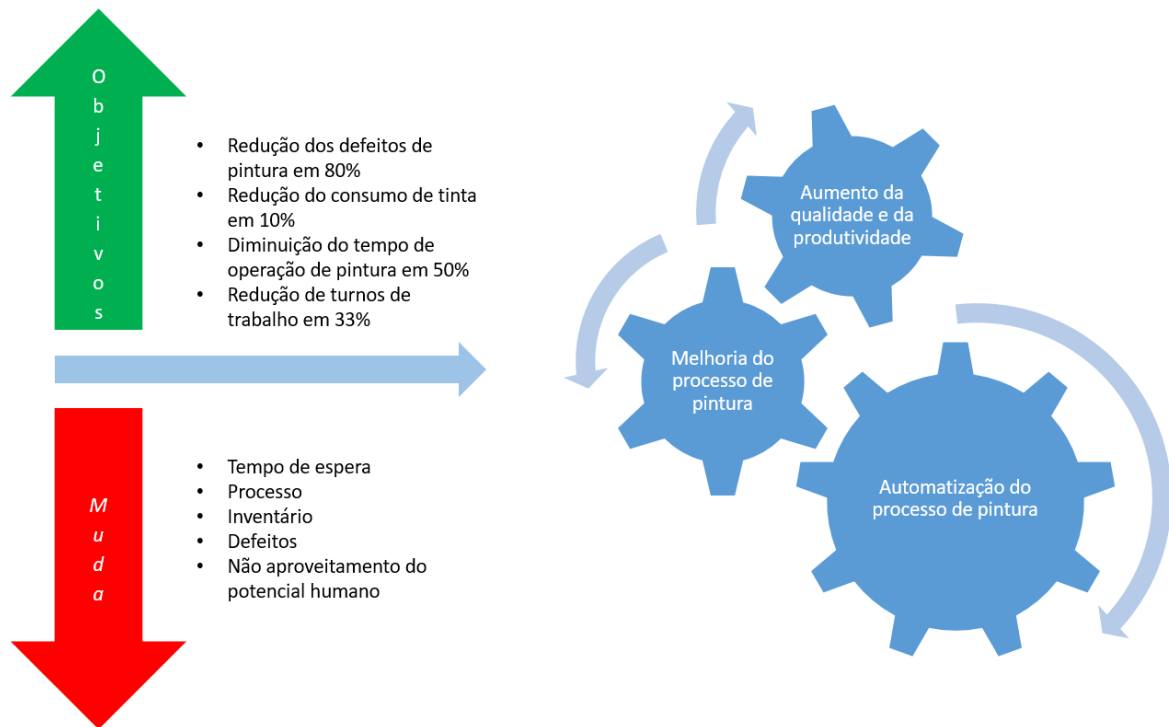


Figura 90 Visão

4.6. PROJETO DE MELHORIA

O projeto de melhoria que se segue, teve como base o máximo aproveitamento das instalações e recursos existentes na unidade fabril, bem como o mínimo valor de investimento necessário.

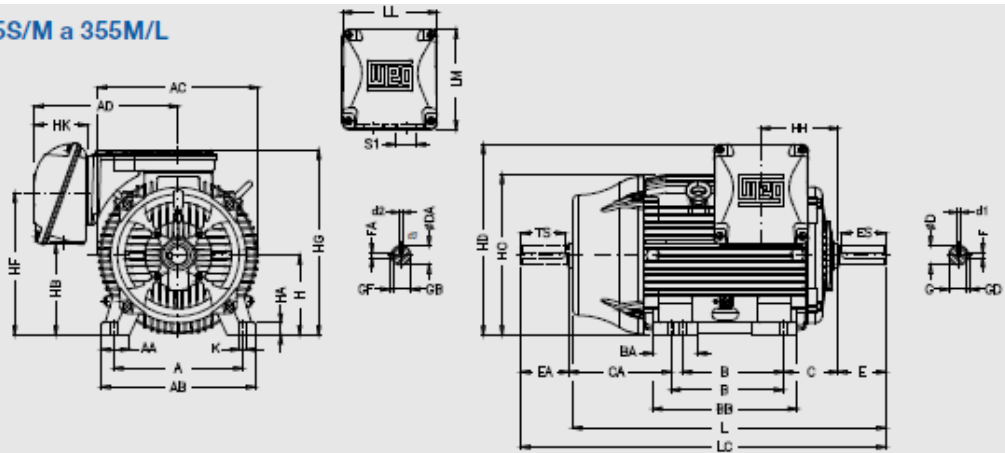
Após a compreensão do processo de pintura e das especificações que este tem de cumprir, denotou-se que uma proposta de melhoria para este processo passa pela implementação de um sistema robotizado.

4.6.1. REQUISITOS

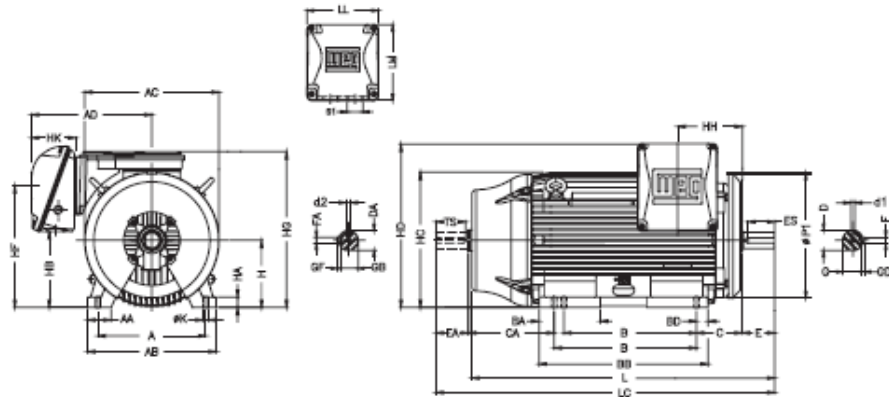
4.6.1.1. MOTORES PRODUZIDOS

As dimensões dos motores W22 produzidos nesta unidade industrial variam desde a menor carcaça – 225S/M até à maior carcaça – 355A/B. Para a escolha do robô foram consideradas as dimensões do maior motor (carcaça 355A/B) uma vez que, se satisfaz a maior dimensão também satisfará a menor. A Figura 91 e a Figura 92 representam os dados mecânicos dos motores fabricados na unidade fabril.

Carcaças 225S/M a 355M/L



Carcaça 355A/B



Motores nas carcaças 355A/B são equipados com defletor de ar para o mancal dianteiro. Nestes casos, a dimensão P1 é de 880 mm.

Figura 91 Dados mecânicos 1 [48]

Carcaça	A	AA	AB	AC	AD	B	BA	BB	BD	C	CA	Ponta de eixo dianteira						Ponta de eixo traseira							
												D	E	ES	F	G	GD	DA	EA	TS	FA	GB	GF		
63	100	25,5	116	125	123	80		95		40	78	11j6	23	14	4	8,5	4	96	20	12	3	7,2	3		
71	112	28,5	132	141	131	90		113,5		45	88	14j6	30	18	5	11	5	11j6	23	14	4	8,5	4		
80										50	99		19j6	40	28	6	15,5	6	14j6	30	18		11		
L80	125	30,5	149	159	140			125,5		56	104												5		
90S						100					135														
L90S											104														
90L	140	37	164	184	159			156		63	118														
L90L											104														
100L	160	40	188	206	169			173		70	128														
L100L						140					158														
112M	190	40,5	220	227	192			177		89	150	38k6	80	63	10	33									
L112M											178														
132S								187			225														
L132M	216	45,5	248	274	220			225			250														
160M	254	44	292	329	266			254			298														
L160M						63		298			332														
180M	279	78	350	360	281			241			294														
L180M						70		279			332														
200M	318	82	385	402	319			267			370														
L200M						82		305			412														
225S/M	356	80	436	455				286/311	124	412	41	149	319/294	55m6*	110*	100*	16*	49*	10*	55m6*	110*	100*	16*	49*	10*
250S/M	406		506	486		410		311/349	146	467	59	168	354/316	60m6*	140	125	18	53*	11	60m6*	140	125	18	53*	11
280S/M	457	100	557	599	445	368/419	151	517	49	190	385/334		140	125			18	58*	11*	60m6*	140	125	18	53*	11
315S/M	508	120	630	657	525	406/457	184	621	70	216	494/443		140*	125*	18*	58*	11*	60m6*	140	125*	18*	53*	11*		
355M/L	610	140	750	736		609	560/630	230	760	65	483/413		100m6	140*	125*	18*	58*	11*	60m6*	140*	125*	18*	53*	11*	
355A/B						701	710/800	325	955	70	528/438		100m6	140*	125*	18*	58*	11*	60m6*	140*	125*	18*	53*	11*	

Carcaça	H	HA	HB	HC	HD	HD**	HF	HG	HH	HK	LL	LM	K	L	LC	S1	d1	d2	Rolamentos			
																			Diant.	Tras.		
63	63		25,5	130		186	68,5		80				7	216	241				6201 ZZ			
71	71	7	33	145		202	76		90					250	276				6202 ZZ			
80	80	8	43,5	163		220	87		100	59	108,5	99		277	313				6204 ZZ	6203 ZZ		
L80						220								325	362							
90S						249			106				10	305	350							
L90S						249								335	381							
90L	90	9	45	182		249	90		118,5	67	115	104		329	375					6205 ZZ	6204 ZZ	
L90L						249								360	406							
100L	100					269	106,4		133					376	431							
L100L						269								420	475							
112M	112	10	54,5	235	280	304	112		140				12	394	448					6207 ZZ	6206 ZZ	
L112M						304								423	478							
132S						352			159	80	140	133		452	520,5							
L132M	132	16	75	274	319	352	132		178					489	557					6308 ZZ	6207 ZZ	
160M	160	17	79	331	380	426			190,5					515	582							
L160M						426			213				14,5	598	712							
180M	180	28	92	366	413	426			235	101	198,5	190		642	756					6309 C3	6209 Z-C3	
L180M						461			241,5					664	782						6311 C3	6211 Z-C3
200M	200	30	119	407	464	461			260,5					702	820							
L200M						519			266,5	119,5	230	220		729	842						6312 C3	6212 Z-C3
225S/M	225	34	254	453	541	609	421	534	212	153	269	285	18,5	767	880							
250S/M	250	43	297	493	583	609	463	577	214					856*	974*						6314 C3	
280S/M	280	42	386	580	700	745	572	686	266	151	314	312	24	886	1034						6316 C3	
315S/M	315	48	386	644	768	745	592	751	264	176	379	382		965	1113	2xRWG(Rp) 2"		DM20			6314 C3*	
355M/L	355	50	461	723	898	845	700	885	339	220	404	436	28	1071	1223						6319 C3	6316 C3
355A/B			411		955	1080								1244*	1392*						6319 C3*	6316 C3
						1080								1274	1426	2xRWG(Rp) 3"		DM20*			6319 C3	6316 C3
						1080								1412*	1577*			DM24			6314 C3*	
						1080								1482	1677			DM20*			6322 C3	6319 C3
						1080								1607*	1772*	2xRWG(Rp) 4"		DM20*			6314 C3*	
						1080								1677	1872			DM24			6322 C3	6319 C3

(*) Dimensão para 2 polos

(**) Dimensão HD para montagem com caixa no topo.

Figura 92 Dados mecânicos 2 [48]

Assim sendo, as dimensões dos motores com as carcaças 355A/B são (dados retirados a partir da Figura 91 e Figura 92):

- Comprimento (L) = 1677 mm
- Largura (AC+HK) = 736 + 290 = 1026 mm
- Altura (HD**) = 1080 mm

Portanto o robô terá que ter alcance suficiente para cobrir as dimensões acima descritas.

4.6.1.2. TINTAS

Como descrito na subsecção 4.2.3.1, são utilizadas cerca de 9 tintas com características distintas que podem ter associadas inúmeras combinações de cores, portanto os equipamentos do sistema robótico a utilizar nesta solução terão de ser compatíveis com as especificidades das mesmas.

4.6.1.3. DIMENSÕES DA CABINE DE PINTURA

Para a implementação do sistema robótico foi considerada a cabine de pintura 2, já descrita no ponto 4.3.2.2, uma vez que as dimensões da mesma satisfazem as necessidades de área de ocupação do robô, não existindo a necessidade de efetuar alterações à mesma.

4.6.1.4. CUMPRIMENTO DE NORMAS

O sistema robótico proposto irá operar em atmosferas explosivas constituídas por misturas de ar com substâncias inflamáveis (gases, vapores, névoas ou poeiras), nas quais, após a ignição, a combustão propagar-se-á para toda a mistura não queimada. Como tal, todo o equipamento empregue no sistema robótico terá de ser ATEX respondendo às categorias definidas pelo Decreto-Lei nº 112/96, de 5 de Agosto, e pela Portaria nº 341/97, de 21 de maio, salvo disposição em contrário do manual de proteção contra explosões [49].

4.6.2. SISTEMA ROBOTIZADO

Analizadas todas as questões relativas aos tipos de tintas, configurações de motores e dimensões possíveis dos mesmos, foram estudadas opções de robôs de pintura disponíveis no mercado, capazes de satisfazer todas as necessidades previamente estabelecidas.

A escolha do sistema robotizado teve em consideração quatro opções de robôs de pintura de diferentes fabricantes com características similares, conforme a Tabela 9.

Tabela 9 Resumo das características dos robôs considerados para a proposta de melhoria [50]
[51] [52] [53]

Fabricante	ABB	FANUC	Kawasaki	YASKAWA
Robô	IRB 5500-22	P-250iB/15	KF264	MPX3500
Número de eixos	6	6	6	6

Capacidade de carga (kg)	13	15	12	15
Alcance (mm)	2975	2800	2668	2700
Repetibilidade (mm)	0,15	0,2	0,5	0,15
Diretiva ATEX	✓	✓	✓	✓

4.6.2.1. ROBÔ

A partir das características de cada robô foi feita uma avaliação dos requisitos técnicos e operacionais de cada proposta. Em resultado desta avaliação verificou-se que o robô que satisfaz os critérios técnicos de uma forma satisfatória nomeadamente, a maximização do alcance foi a primeira opção da lista apresentada na Tabela 9.

O robô selecionado foi o IRB 5500-22 (ver Figura 93), produzido pelo fabricante *Asea Brown Boveri* (ABB), uma vez que possui características particulares que satisfazem todos os requisitos operacionais. Este robô, totalmente dedicado à pintura, foi projetado de forma a permitir a colocação dos equipamentos de regulação de tinta a uma distância de 150 mm do pulso, que juntamente com o sistema *Cartridge Bell System* (CBS) reduzem o desperdício de tintas e de solventes durante a troca de cor. Possui um sistema denominado como *Integrated Process System* (IPS), que compensa automaticamente as mudanças físicas do ambiente e/ou do equipamento, mantendo sempre o comando de taxa de fluxo no intervalo de tolerância, garantindo uma aplicação de tinta uniforme dentro das espessuras especificadas. Também permite monitorizar e alertar o operador sobre o desgaste do equipamento ao longo do tempo, podendo detetar alguma anomalia [50].



Figura 93 Robô industrial articulado IRB 5500-22 [50]

Este robô quando montado na parede, no solo, inclinado ou invertido, dispõe de 6 eixos. Nesta proposta de solução considera-se fundamental a montagem do robô na parede de modo a conseguir cobrir toda a área do motor elétrico a pintar. Neste contexto, o robô IRB 5500-22 é capaz de atingir um alcance de 2975 mm, quando disposto numa parede e tem uma capacidade de carga de 13 kg, capacidade esta capaz de suportar o atomizador de dispersão de tinta (pistola de pintura), e uma repetibilidade de 0,15 mm. A Tabela 10, resume as características do robô elegido.

Tabela 10 Características do robô IRB 5500-22 [50]

Número de eixos	6
Capacidade de carga (kg)	13
Alcance (mm)	2975
Repetibilidade (mm)	0,15
Nível de proteção	IP67 (punho IP54)

Classificação Ex	Ex i / Ex p / Ex c protegido contra explosões para instalação em áreas classificadas Zona 1 & Zona 21 (Europa) e Divisão I, Classe I e II
Montagem	Parede, solo, inclinado ou invertido

A Figura 94, apresenta o espaço de trabalho atingido pelo robô.

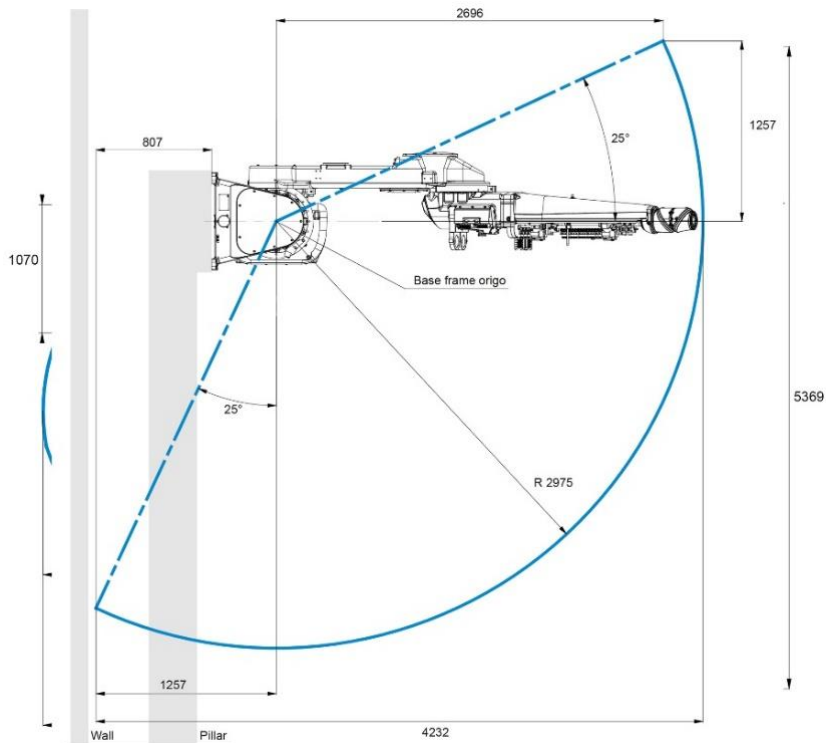


Figura 94 Espaço de trabalho do IRB 5500-22 [50]

4.6.2.2. CONTROLADOR

O controlador do robô, denominado como IRC5P (ver Figura 95) foi especificamente projetado para a atividade de pintura. Este equipamento, à semelhança do robô, possui o sistema IPS de forma a garantir o acompanhamento e controlo do processo de pintura. Os principais elementos da sua interface são a consola de programação, com suporte de multi-idiomas, e o software RobView 5, que permite a supervisão e controlo das células de pintura [54].



Figura 95 Controlador do robô IRC5P [54]

A Tabela 11 resume as características do controlador selecionado.

Tabela 11 Características do controlador IRC5P [54]

Dimensões	C: 725 mm, L: 710 mm, A: 1450 mm
Peso	180 - 200 kg (dependendo das opções)
Nível de proteção	IP54
Classificação Ex	II 2 G Ex ib px IIB T4 II 2 D Ex pD 21 T65°C FM Class I,II. Div.1, Group C,D,G 135°
Temperatura ambiente	Operação: <ul style="list-style-type: none"> • 0°C até +48°C (máx. recomendado <30°C) Armazenamento/transporte: <ul style="list-style-type: none"> • -25°C até +55°C
Humidade relativa	Máx. 95% sem condensação
Especificação da cor	Grey RAL7035

Nível de ruído	< 70 dB (A) Leq (de acordo com 98/37/EEC ⁶)
Software do controlador	RobotWare Paint Powered by IPS
Linguagem de programação	RAPID

4.6.2.3. SISTEMA DE PINTURA

Nesta proposta de solução, adotou-se um sistema de pintura de dois componentes com duas bombas, uma vez que as tintas utilizadas se formam a partir da mistura entre dois componentes (tinta base e endurecedor). Este sistema composto por duas bombas de engrenagem, utiliza tanques de pressão para transportar os dois componentes até ao misturador de tinta *2K Mixer*. Após este processo a tinta segue para o atomizador de tinta para posteriormente ser aplicada.

4.6.2.3.1. COLOR CHANGER

O *Color Changer* produzido pelo fabricante ABB e ilustrado na Figura 96, permite a troca rápida de cores e possui um reduzido ciclo de limpeza. O bloco final de cada módulo deste equipamento é constituído por duas conexões, uma destinada ao agente de limpeza e outra ao ar [55].



Figura 96 Color Changer [55]

⁶ Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho de 22 de Junho de 1998 relativa à aproximação das legislações dos Estados-membros respeitantes às máquinas [58].

Na Tabela 12 estão representadas as principais características do *Color Changer*.

Tabela 12 Especificações técnicas do Color Changer [55]

Tipo	Módulo Color Changer
Limpeza	Limpeza do canal entre cada mudança de cor
Canal central do fluido	Ø6 mm
Conexões do fluido	4 X 6 mm to 8 X 10 mm
Material de aço	Para tinta à base de água e tinta à base de solvente

4.6.2.3.2. CONFIGURAÇÃO DA PUMP

A *Pump* é acionada por um motor que é controlado por um *drive* de motor, por sua vez, este é controlado pelo sistema IPS através de barramento CAN⁷. A pressão de entrada e de saída de ar é monitorizada através de sensores de pressão instalados na bomba [56].

4.6.2.3.3. GEAR PUMP

A *Gear Pump* desenvolvida pela ABB e ilustrada na Figura 97, foi especificamente projetada para a troca rápida de cores. Este equipamento é constituído principalmente, por quatro partes [57]:

- Corpo da bomba - incluindo roda de engrenagem e eixo da bomba;
- Bloco do sensor de pressão - incluindo todas as ligações;
- Adaptador de limpeza - incluindo três válvulas para *Bypass*⁸ e lavagem interna de engrenagens;
- Bloco de bomba - incluindo a vedação do eixo.

⁷ É uma norma de barramento que possibilita a comunicação de microcontroladores e dispositivos entre si sem a necessidade de um computador *host* [59].

⁸ É uma válvula de desvio hidráulico que redireciona o fluido para um caminho alternativo ao principal [60].



Figura 97 Gear Pump

A Tabela 13, resume as características da *Gear Pump*.

Tabela 13 Especificações técnicas da Gear Pump [57]

Máx. fluxo de fluido	1120 cm^3/min
Min. fluxo de fluido	100 cm^3/min
Volume interno	3,0 cm^3
Precisão	$\pm 2\%$
Máx. pressão do fluido	20 bar
Operação	Pressão do fluido: 1-9 bar
Ligações das mangueiras do fluido	4 × 6 mm a 9 × 12 mm

4.6.2.3.4. PRESSURE SENSOR

A *Gear Pump* tem dois sensores de pressão instalados, o sensor de entrada e o de saída. Estes sensores são usados para fins de monitoramento pelo sistema IPS. O sensor de entrada deteta que a bomba tem pressão de alimentação suficiente e o sensor de saída é utilizado para evitar que a bomba aumente a pressão se o fluxo for limitado [56].

4.6.2.3.5. PUMP MOTOR

O *Pump Motor* é equipado com um sistema que envia informações de velocidade ao controlador para efeitos de controlo de velocidade. A unidade do motor também é equipada com um sensor de temperatura para proteção contra sobrecargas [56].

4.6.2.3.6. 2K MIXER

O misturador de tinta *2K Mixer* produzido pela ABB e ilustrado na Figura 98, foi desenvolvido especificamente para a mistura precisa de dois componentes de fluídos, podendo suportar uma ou duas cores e um ou dois catalisadores com ou sem descarga. Para os modelos com 2 cores/catalisadores, a conduta de descarga permite carregar a próxima cor a utilizar durante a pintura, reduzindo assim o tempo de troca de cor [58].

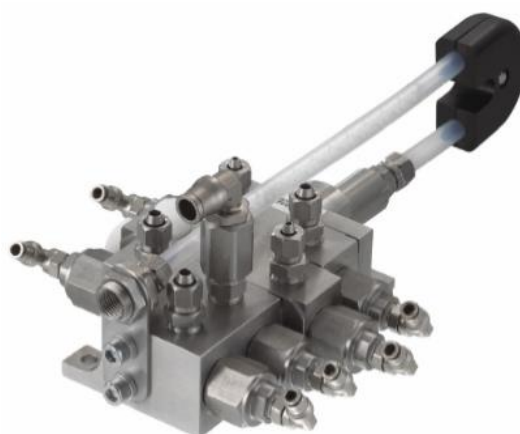


Figura 98 Misturador de tintas 2K Mixer [58]

A Tabela 14 resume as características técnicas do misturador de tinta 2K Mixer.

Tabela 14 Especificações técnicas do misturador de tinta 2K Mixer [58]

Tipo	Módulo 2K Mixer em aço inoxidável AISI 303
Máx. fluxo do fluido	Depende da viscosidade do fluido, da pressão do sistema e da precisão necessária no objeto. O fluxo máximo deve ser verificado com o material fluido.
Min. fluxo de fluido	25-100 ml/min
Precisão	$\pm 2\%$

Máx. pressão no fluido	20 bar
Operação	Pressão do fluido: 2-4 bar Pressão de piloto de ar: 5-10 bar
Máx. temperatura do fluido permitida	60°C
Ligação do fluido	4 × 6 mm até 6 × 8 mm
Material em aço	Para tintas à base de água e solvente

4.6.2.3.7. AIR DISTRIBUTION

A *Air Distribution* fornece ar com as especificações corretas para o equipamento de processo [56].

4.6.2.3.8. FUNCTION VALVE ASSEMBLY

A *Function Valve Assembly* contém válvulas piloto para controlar válvulas pneumáticas no equipamento de processo [56].

4.6.2.3.9. PRESSURE BOOSTER

As válvulas de fluido M-PAC exigem uma pressão piloto pneumática maior do que a do *applicator* – atomizador de pintura. O *Pressure Booster* fornece a pressão de abastecimento necessária para as válvulas piloto [56].

4.6.2.3.10. SOLVENT

O *Applicator* é limpo com um solvente de limpeza [56].

4.6.2.3.11. APPLICATOR

O *Applicator* RB1000-SSD_BOC desenvolvido pelo fabricante ABB e ilustrado na Figura 99, tem como objetivo pulverizar a tinta sobre o objeto a pintar. Este atomizador, compatível com tintas à base de solvente, proporciona alta qualidade de acabamento e alta eficiência de transferência com capacidade de fluxo de tinta até 1000 cc/min. Possui a função *Bell Outside Cleaning* (BOC), que permite remover a contaminação da parte traseira do copo do atomizador por descarga de solvente de limpeza através do canal especialmente adaptado,

enquanto que a parte frontal do atomizador é limpa através da válvula *Nose Flush Thinner* (NFTH) [59].



Figura 99 Atomizador de tinta RB1000-SSD_BOC [59]

A Tabela 15, resume as características do atomizador de tinta RB1000-SSD_BOC.

Tabela 15 Especificações técnicas do atomizador de tinta RB1000-SSD_BOC [59]

Dimensões do copo	70 mm
Consumos de ar	<p>Molde de ar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dentro (purga): Max. 600 NI/min, 0,3 MPa • Fora (forma): Max. 600 NI/min, 0,3 MPa <p>Rolamento de ar: Max. 80 NI/min, 0,8 MPa</p> <p>Turbina de ar: Max. 950 NI/min, 0,9 MPa</p> <p>Freio de ar: Max. 300 NI/min, 0,9 MPa</p> <p>Exaustão da purga de ar: Max. 300 NI/min, 0,6 MPa</p> <p>Exaustão do eixo de ar: Max. 20 NI/min, 0,2 MPa</p>
Taxa de fluxo	<p>Solvente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Linha principal: Max. 1200 cc/min • Linha NFTH: Max. 1200 cc/min • Linha de descarga: Max. 1200 cc/min

O processo simplificado do sistema de pintura está representado na Figura 100.

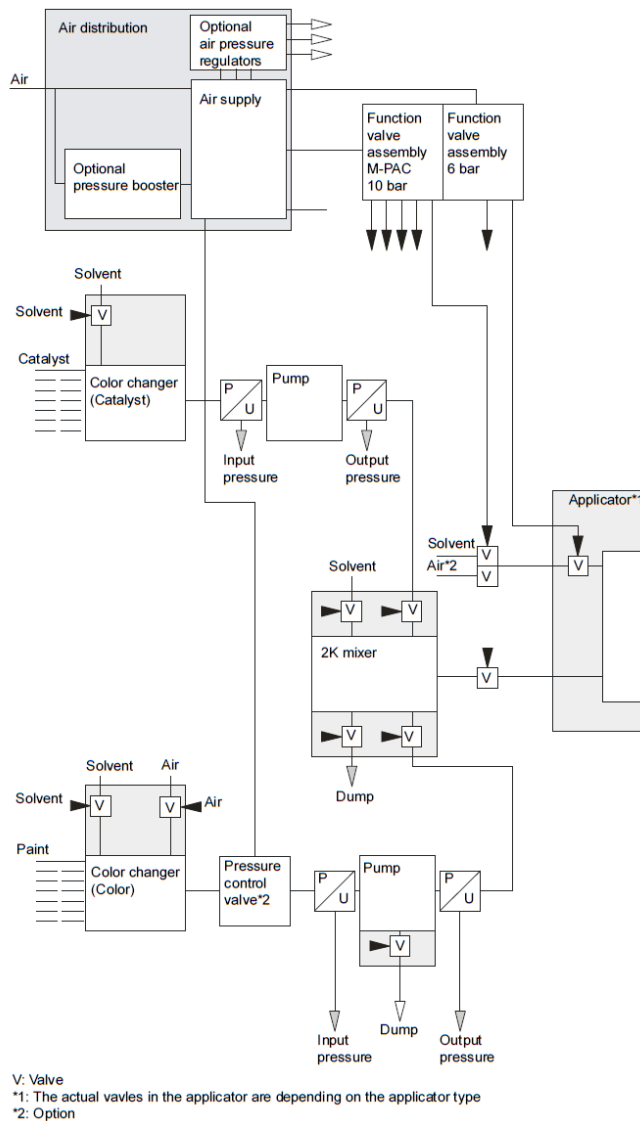


Figura 100 Diagrama de processo do sistema de pintura [56]

4.6.3. ESPECIFICIDADES

4.6.3.1. TRANSPORTE E POSICIONAMENTO DO MOTOR ELÉTRICO

O transporte do motor elétrico até à cabine de pintura continuará a ser realizado através da ponte rolante. Deverá ser pousado sobre a base fixa correspondente ao tamanho da carcaça (225S/M, 250S/M, 280S/M, 315S/M, 355M/L ou 355A/B) e disposto paralelamente em relação ao robô, de modo a que a ponta de veio fique orientada para a porta da cabine de pintura. Esta base fixa deverá suportar os motores através das patas dos mesmos, garantindo assim uma maior abrangência de área para permitir que a base do motor seja pintada. A distância entre a estrutura de base fixa e o solo não deverá ser inferior a 500 mm, dado que é necessário existir um espaçamento suficiente para o braço robótico e a pistola de pintura atuarem.

4.6.3.2. CABINES DE PINTURA

A cabine de pintura 2, alvo de robotização, estará direcionada para a pintura dos motores elétricos com os planos de pintura (simples) 202, 203 e 205 e (especiais) 211, 212 e 214, já referidos na subsecção 4.1.2. Requererá a laboração de dois colaboradores, um destinado à atividade profissional de preparação e sequenciamento do motor para a pintura, e outro destinado à seleção da base fixa, transporte e preparação manual das tintas associadas ao motor a pintar.

Quanto à cabine de pintura 1, continuará com o processo de pintura manual, requerendo a atividade profissional de um colaborador que estará destinado à pintura de pequenas especificidades que possam surgir da pintura robotizada, como a zona das patas do motor (devido à estrutura de base fixa onde assentará o motor), bem como a pintura dos planos de pintura: tropicalização, proteção anticorrosiva e somente rotor.

4.6.3.3. TINTAS

Quanto ao sistema de pintura integrável ao sistema robotizado, considera-se fundamental que a tinta WEGLACK SRA 111 R com a cor RAL 5009 esteja sempre preparada para aplicação, uma vez que esta é a que apresenta maior utilização diária (cerca de 70%). Considera-se também relevante a existência de mais 3 recipientes preparados para a alteração rápida do tipo de tinta/cor de modo a satisfazer as necessidades de pintura instituídas no final de linha e ainda um último destinado para a limpeza da tubagem de tinta/cor. Resumindo, o sistema de pintura deverá conter cerca de 5 recipientes, dos quais 4 estarão preparados para levar tinta, sendo que um deles possuirá a preparação de tinta automática o restante estará preparado para levar diluente de limpeza.

4.6.3.4. PROGRAMAÇÃO DO ROBÔ

O robô deverá ser programado pelo método de programação *offline*, através do *software* ABB Robot Studio. Utilizando este *software* de simulação e os ficheiros de desenho dos motores em 3D⁹ programar-se-ão as posições/trajetórias a percorrer pelo robô na pintura dos motores elétricos.

⁹ Disponíveis para consulta e *download* em: [Biblioteca CAD - Motores Elétricos](#)

A programação *offline* do robô para a pintura dos motores elétricos deverá seguir a sequência (caso do motor de modelo W22 com caixa de ligação no topo) apresentada no Anexo A.

4.6.3.5. LAYOUT DA PROPOSTA DE MELHORIA

Na proposta de *layout* dimensionada considerou-se fundamental a disposição do robô no centro da parede de fundo da cabine de pintura de modo a possibilitar a mesma porção de alcance para ambos os lados. A nível de posicionamento do mesmo em relação ao solo, a base deste deve ser o ponto de referência da ponta de veio, independentemente do tamanho da carcaça do motor elétrico. Considerando a altura máxima desde a base até ao topo da carcaça do motor elétrico (HC), retirada a partir da Figura 92, e o comprimento da extensão do braço robótico (c_{ex}), temos:

$$d_{sb} = \frac{HC}{2} + c_{ex} , \quad (11)$$

onde d_{sb} é a distância do solo à base do robô, HC é a altura máxima desde a base até ao topo da carcaça do motor elétrico e c_{ex} é o comprimento da extensão do braço robótico.

Aplicando a equação 11 tem-se que:

$$d_{sb} = \frac{723}{2} + 500 = 861,5 \cong 862 \text{ mm}$$

Pelo cálculo acima apresentado, verifica-se que a distância do solo à base do robô deverá ser de pelo menos 862 mm, no entanto, de modo a facilitar a operação do braço robótico considerou-se a distância de 1000 mm. Quanto à base fixa que sustem o motor deverá permitir que a ponta de veio esteja a 1000 mm do solo, e localizada no alcance médio atingido pelo robô orientada de forma paralela com o mesmo. Esta proposta de *layout* está representada na Figura 101.

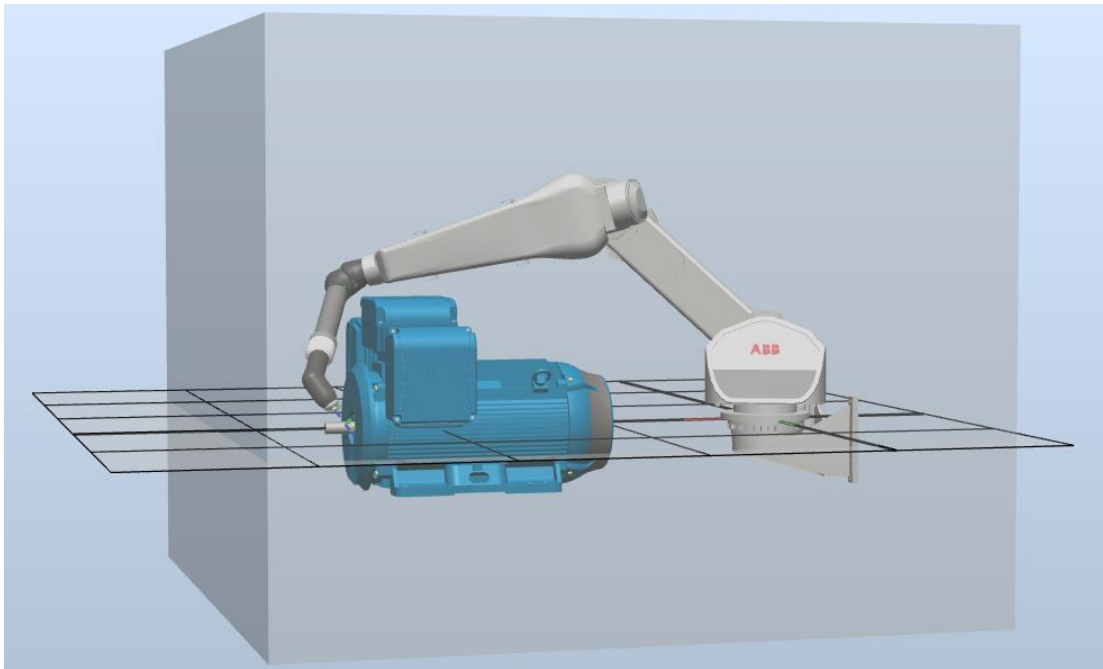


Figura 101 **Layout da proposta de melhoria**

4.7. AVALIAÇÃO DA PROPOSTA DE MELHORIA

4.7.1. CAPACIDADE DE PINTURA ESTIMADA

Estima-se que com a implementação do sistema robótico, o tempo médio de pintura associado aos vários planos de pintura reduza em 50%, uma vez que um robô de pintura é 50% mais rápido que um operador humano, atingindo os valores presentes na Tabela 16.

Tabela 16 Tempo de pintura dos motores elétricos estimado após melhoria

Plano de pintura	Tempo acabamento (min)	Tempo intermédio (min)
203 A	9,59	0
202 e 205 (E, P)	17,09	14,23
211, 212 (E, P) e 214 P	20,30	14,96

Considerando o cenário de melhoria apresentado para o qual a cabine de pintura 2 é alvo de robotização e a cabine de pintura 1 segue o funcionamento normal, ambas com laboração a 2 turnos de trabalho, recorrendo à informação apresentada na Tabela 7 e na Tabela 16, foi estimada a percentagem de ocupação instalada por cabine de pintura de modo a avaliar a proposta de melhoria.

Cabine de pintura 1:

- Dados de produção:
 - $Turnos = 2;$
 - $Turno\ de\ trabalho = 8h = 8h \times 60min = 480\ minutos;$
 - $Pausas = 2 \times 10min\ cada = 20\ minutos;$
 - $Tempo\ de\ inatividade = 23\ minutos;$
- Motores pintados:
 - $N^o\ motores = 20;$
- Cálculos:
 - $Tempo\ de\ operação = Turnos \times (Turno\ de\ trabalho - Pausas - Tempo\ de\ inatividade) = 874\ minutos;$
 - $Tempo\ de\ produção = N^o\ motores \times \sum(Motores\ Pintados\ (\%) \times (Tempo\ Acabamento\ (min) + Tempo\ Intermédio\ (min))) = 667,80\ minutos;$
 - $\% \text{ de Ocupação} = \frac{Tempo\ de\ produção}{Tempo\ de\ operação} = 76\%.$

Cabine de pintura 2:

- Dados de produção:
 - $Turnos = 2;$
 - $Turno\ de\ trabalho = 8h = 8h \times 60min = 480\ minutos;$
 - $Pausas = 0 \times 10min\ cada = 0\ minutos;$
 - $Tempo\ de\ inatividade = 0\ minutos;$
- Motores pintados:
 - $N^o\ motores = 46;$
- Cálculos:
 - $Tempo\ de\ operação = Turnos \times (Turno\ de\ trabalho - Pausas - Tempo\ de\ inatividade) = 960\ minutos;$
 - $Tempo\ de\ produção = N^o\ motores \times \sum(Motores\ Pintados\ (\%) \times (Tempo\ Acabamento\ (min) + Tempo\ Intermédio\ (min))) = 768,2\ minutos;$
 - $\% \text{ de Ocupação} = \frac{Tempo\ de\ produção}{Tempo\ de\ operação} = 80\%.$

Após esta avaliação verifica-se que as percentagens de ocupação para a cabine de pintura 1 e para a cabine de pintura 2 são respetivamente, de 76% e 80%. Assim em dois turnos de trabalho são pintados cerca de 20 motores na cabine de pintura 1 (não robotizada) e 46 motores na cabine de pintura 2 (robotizada), contabilizando um total de 66 motores.

Comparando o número de motores pintados antes e após a melhoria, averigua-se que para o mesmo período de laboração – 2 turnos – esta melhoria permite a pintura de mais 26 motores, conforme representado na Tabela 17.

Tabela 17 Comparação do número de motores pintados antes e após a melhoria

	Antes da melhoria		Depois da melhoria	
	Cabine de pintura 1	Cabine de pintura 2	Cabine de pintura 1	Cabine de pintura 2
Motores pintados	20	20	20	46
Total	40		66	

4.7.2. CÁLCULO DO INDICADOR OEE ESTIMADO

Estima-se também que com a implementação do projeto de melhoria o indicador OEE aumente significativamente. Neste contexto, de modo a quantificar este acréscimo, foi estimado o valor do indicador OEE.

- Dados de produção:
 - $Turnos = 2$;
 - $Turno\ de\ trabalho = 8h = 8h \times 60min = 480\ minutos$;
 - $Pausas = 0 \times 10\ min\ cada = 0\ minutos$;
 - $Tempo\ de\ inatividade = 0\ minutos$;
 - $Tempo\ de\ pintura\ ideal = \frac{1}{14} = 0,07\ motores/minuto$;
 - $Total\ de\ motores = 66\ motores$;
 - $Motores\ rejeitados = 13\ motores$.
- Variáveis de suporte:
 - $Tempo\ de\ produção\ planeado = Turnos \times (Turno\ de\ trabalho - Pausas) = 2 \times (480 - 0) = 960\ minutos$;
 - $Tempo\ de\ operação = Tempo\ de\ produção\ planeado - (Turnos \times Tempo\ de\ inatividade) = 960 - (2 \times 0) = 960\ minutos$;
 - $Motores\ aprovados = Total\ de\ motores - Motores\ rejeitados = 66 - 13 = 53$.
- Fator OEE:

- $Disponibilidade = \frac{Tempo\ de\ operação}{Tempo\ de\ produção\ planejado} = \frac{960}{960} = 1,0000\ (100,00\%);$
- $Desempenho = \frac{\frac{Total\ de\ motores}{Tempo\ de\ operação}}{Tempo\ de\ pintura\ ideal} = \frac{\frac{66}{960}}{0,07} = 0,9625\ (96,25\%);$
- $Qualidade = \frac{Motores\ aprovados}{Total\ de\ motores} = \frac{53}{66} = 0,8030\ (80,30\%);$
- $OEE = Disponibilidade \times Desempenho \times Qualidade = 1,0000 \times 0,9625 \times 0,8030 = 0,7729\ (77,29\%).$

A representação gráfica do fator OEE calculado anteriormente está ilustrada na Figura 102.

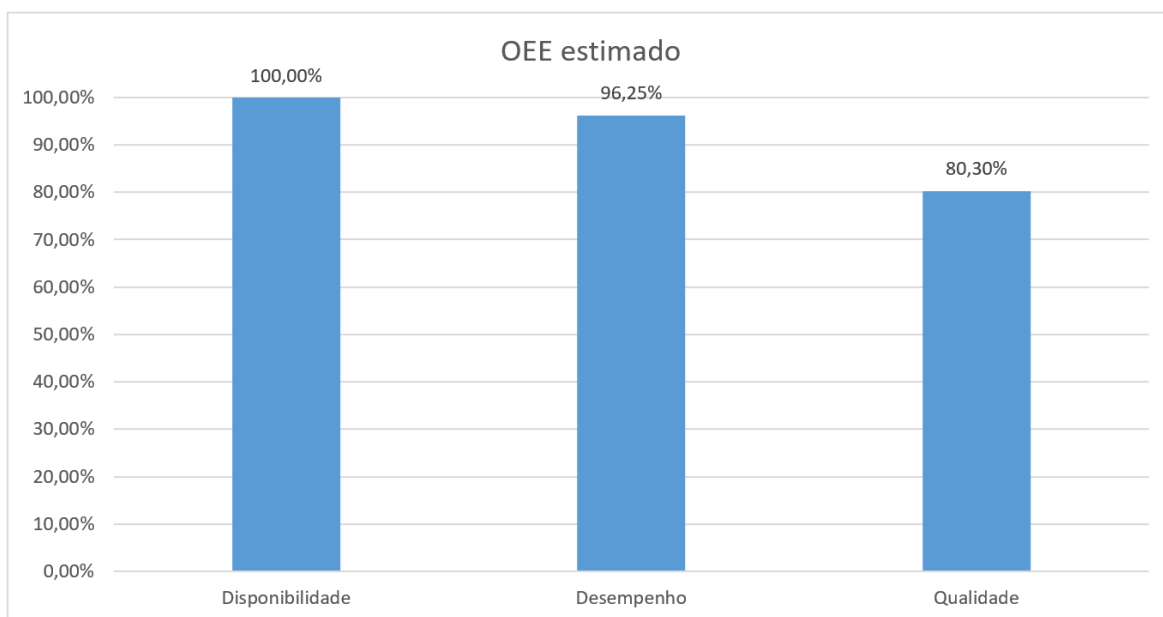


Figura 102 OEE estimado após melhoria

Pelos cálculos acima efetuados, averigua-se que o fator OEE é admissível, uma vez que o valor calculado pertence ao intervalo de valores aceitáveis ($75\% \leq OEE < 85\%$).

Comparando os valores do indicador OEE antes e após a melhoria, verifica-se que esta melhoria permite o aumento do indicador em 0,4077 unidades, conforme representado na Tabela 18.

Tabela 18 Comparação do indicador OEE antes e após a melhoria

	Antes da melhoria	Depois da melhoria
Indicador OEE	0,3652 (36,52%)	0,7729 (77,29%)

4.7.3. PERÍODO DE RECUPERAÇÃO DO INVESTIMENTO

O Período de Recuperação do Investimento (PRI) indica o espaço de tempo necessário para recuperar o capital investido que matematicamente, pode ser traduzido pela divisão entre o custo da melhoria e a poupança anual (originada pela implementação de melhoria) [60]:

$$PRI_{simples} = \frac{\text{Custo da melhoria}}{\text{Poupança anual}} \quad (12)$$

Este cálculo não considera a vida útil do investimento, o valor do dinheiro no momento, a inflação ou os custos de trabalho e da energia, no entanto fornece um método para o cálculo dos custos de energia. Para instalações de robôs, a poupança anual líquida é frequentemente usada, onde os custos de manutenção do robô são deduzidos a partir da poupança anual da seguinte forma [60]:

$$P = \frac{I}{L - E}, \quad (13)$$

onde P é o período de recuperação do investimento em anos, I é o total de investimento (robô e acessórios), L é a poupança anual em mão-de-obra e E são despesas de manutenção com o robô.

A taxa de produção do robô também pode ser considerada no cálculo do período de PRI através da seguinte expressão [60]:

$$P = \frac{I}{L - E \pm q \times (L + Z)}, \quad (14)$$

onde P é o período de recuperação do investimento em anos, I é o total de investimento (robô e acessórios), L é a poupança anual em mão-de-obra, E representam as despesas de manutenção com o robô, Z é a depreciação anual do equipamento e q é o coeficiente de taxa de produção (sinal positivo (+) caso a taxa de produção do robô seja superior à taxa de produção do humano, caso contrário o sinal é negativo (-)).

Recorrendo à equação 14 e considerando esta proposta de solução tem-se:

$$P = \frac{I}{L - E \pm q \times (L + Z)} = \frac{215\,571,43}{20\,726,50 - 11\,616,00 + 0,50 \times (20\,726,50 + 53\,892,86)} = 4,64$$

$\cong 5 \text{ anos}$

$$I = 215\,571,43 \text{ €}$$
$$L = 10\,363,25 \times 2 = 20\,726,50 \text{ €}$$
$$E = \text{€ } 3,00/h = 11\,616,00 \text{ € por dois turnos de trabalho}$$
$$Z = \frac{I}{4} = \frac{215\,571,43}{4} \cong 53\,892,86 \text{ €}$$

$q = 0,50$ (50%) (o robô é 50% mais rápido que o operador humano)

Após o cálculo acima efetuado verifica-se que o período de recuperação do investimento é de 5 anos.

5. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Neste capítulo apresentam-se as conclusões e o trabalho futuro suscetível de ser implementado.

5.1. CONCLUSÕES

Ao longo desta dissertação foram abordados os problemas existentes no atual processo de pintura dos motores elétricos na unidade industrial WEGeuro – Indústria Eléctrica, S.A., bem como estudada e apresentada uma proposta de melhoria do mesmo, a fim de alcançar os objetivos previamente estabelecidos. A estratégia escolhida para a melhoria do processo de pintura foi a automatização do mesmo.

A solução de automação seguida passou pela utilização de robôs industriais no processo de pintura dos motores elétricos. Foi efetuado um estudo sobre o funcionamento geral dos robôs industriais, explorando a utilização dos mesmos em aplicações de pintura. A par deste estudo, foi também realizado um outro estudo sobre a filosofia de gestão *Lean*, apresentando os princípios e os desperdícios considerados por esta metodologia, a fim de reduzir o desperdício, aumentar a produtividade, a qualidade, o desempenho operacional e a mudança do comportamento humano.

Foi apresentada uma proposta de melhoria descrevendo todo o equipamento do sistema robotizado (inclusive a explicitação do processo) e os requisitos que o mesmo teve em consideração, bem como definidas todas as especificidades inerentes ao dimensionamento da solução.

Foi também apresentada uma avaliação da proposta de melhoria, estimando-se uma redução de 50% do tempo médio de pintura – aumentando significativamente 26 unidades de produto acabado – um aumento do indicador OEE para 77,29%, uma poupança anual em mão-de-obra de 20 726,25 € e ainda um período de recuperação do investimento de 5 anos.

5.2. TRABALHO FUTURO

Em termos de trabalho futuro perspectiva-se a implementação e o acompanhamento da proposta de melhoria que, devido à dimensão e ao investimento do projeto, não foi possível concretizar.

Uma segunda proposta de trabalho futuro passaria pelo estudo do processo de secagem da pintura dos motores elétricos a fim de sugerir melhorias suscetíveis de serem implementadas com o objetivo de diminuir os tempos de secagem e aumentar a taxa de produtividade.

Referências Documentais

- [1] WEG, “História,” [Online]. Available: http://www.weg.net/institucional/PT/pt_PT/history. [Acedido em 28 Maio 2018].
- [2] WEG, “História - Fundadores,” [Online]. Available: http://www.weg.net/institucional/PT/pt_PT/history/founders. [Acedido em 28 Maio 2018].
- [3] WEG, “Reunião Pública 2017 – Jaraguá do Sul/SC,” 22 Novembro 2017. [Online]. Available: <https://ri.weg.net/ptb/44/201711ReuniaoPublicacomAnalistas.pdf>. [Acedido em 28 Maio 2018].
- [4] WEG, “Apresentação para Investidores,” 31 Julho 2017 . [Online]. Available: <https://ri.weg.net/ptb/1881/2018%2003%204T17%20Apresentao%20para%20Investidores.pdf>. [Acedido em 28 Maio 2018].
- [5] WEG, “Relatório Anual Integrado 2016,” 31 Dezembro 2016. [Online]. Available: <https://ri.weg.net/ptb/1420/RelatC3B3rioAnualIntegrado2016.pdf>. [Acedido em 28 Maio 2018].
- [6] A. Ferreira, “Fábrica de motores. Brasileira Weg instala nova fábrica em Santo Tirso,” *Expresso*, 20 Novembro 2015. [Online]. Available: <http://expresso.sapo.pt/economia/2015-11-20-Fabrica-de-motores.-Brasileira-Weg-instala-nova-fabrica-em-Santo-Tirso--#gs.V5HXG7g>. [Acedido em 29 Maio 2018].
- [7] WEG, “Operações WEG,” WEG, [Online]. Available: <http://old.weg.net/pt/Contacto/Operacoes-WEG>. [Acedido em 29 Maio 2018].
- [8] WEG, “Começam as operações da nova fábrica da WEG na Europa,” WEG, 13 Fevereiro 2018. [Online]. Available:

- http://www.weg.net/institucional/PT/pt_PT/news/corporativo/weg-comienza-operaciones-en-su-nueva-fabrica-europea. [Acedido em 29 Maio 2018].
- [9] WEG, “Perfil Corporativo,” WEG, [Online]. Available: <https://ri.weg.net/a-weg/perfil-corporativo>. [Acedido em 29 Maio 2018].
- [10] WEG, “Guia de Especificação de Motores Elétricos,” 15 Fevereiro 2018. [Online]. Available: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h32/hc5/WEG-motores-eltricos-guia-de-especificacao-50032749-brochure-portuguese-web.pdf>. [Acedido em 4 Junho 2018].
- [11] WEG, “Guia Prático de Treinamento Técnico Comercial,” 15 Fevereiro 2018. [Online]. Available: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h83/h62/WEG-guia-pratico-de-treinamento-tecnico-comercial-50009256-brochure-portuguese-web.pdf>. [Acedido em 4 Junho 2018].
- [12] WEG, “W22 - Motor trifásico explodido,” 19 Fevereiro 2018. [Online]. Available: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/he2/hd3/WEG-vista-explodida-do-motor-trifasico-w22-premium-efficiency-ie3-50009253-banner-portuguese-web.pdf>. [Acedido em 4 Junho 2018].
- [13] J. M. Rosário, *Robótica Industrial I: Modelagem, Utilização e Programação*, São Paulo: Baraúna, 2010.
- [14] S. Y. Nof, *Handbook of Industrial Robotics*, New York: John Wiley & Sons, 1999.
- [15] R. K. Mittal e I. J. Nagrath, *Robotics and Control*, New Delhi: McGraw-Hill, 2013.
- [16] I. O. f. Standardization, “ISO 8373:2012,” Março 2012. [Online]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en>. [Acedido em 12 Junho 2018].
- [17] A. M. Lopes, “Modelação Cinemática e Dinâmica de Manipuladores de Estrutura em Série,” 2002. [Online]. Available: https://paginas.fe.up.pt/~aml/maic_files/cindin.pdf. [Acedido em 12 Junho 2018].

- [18] M. W. Spong, S. Hutchinson e M. Vidyasagar, Robot Modeling and Control, New York: John Wiley & Sons Ltd., 2005.
- [19] B. Siciliano e O. Khatib, Springer Handbook of Robotics, Berlin: Springer, 2016.
- [20] P. I. Europe, “Software: Robot Software,” Panasonic Industry Europe GmbH, 2018. [Online]. Available: <https://eu.industrial.panasonic.com/products/robot-welding-system-solutions/software/robot-software>. [Acedido em 14 Junho 2018].
- [21] ABB, “RobotStudio downloads,” ABB, 2018. [Online]. Available: <https://new.abb.com/products/robotics/robotstudio/downloads>. [Acedido em 17 Julho 2018].
- [22] FANUC, “Intelligent 3-D robot simulation,” FANUC, [Online]. Available: <https://www.fanuc.eu/pt/pt/rob%c3%b4s/acess%c3%b3rios/roboguide>. [Acedido em 17 Julho 2018].
- [23] L. Kawasaki Heavy Industries, “K-ROSET Offline programming tool,” Kawasaki Robot, Novembro 2017. [Online]. Available: https://robotics.kawasaki.com/userAssets1/productPDF/Kawasaki_K-ROSET_brochure_.pdf. [Acedido em 17 Julho 2018].
- [24] Y. M. R. Division, “MOTOSim EG-VRC,” Setembro 2017. [Online]. Available: https://www.yaskawa.eu.com/fileadmin/Products/Software/Flyer/Flyer_Software_MotoSimEG-VRC_E_08.2017.pdf. [Acedido em 17 Julho 2018].
- [25] P. Abreu, “Robótica Industrial: aplicações industriais de robôs,” 2001. [Online]. Available: https://web.fe.up.pt/~aml/maic_files/aplicacoes.pdf. [Acedido em 17 Julho 2018].
- [26] M. D. F. A. d. Silva, “Abordagem Lean à Gestão da Manutenção e Energia de uma Indústria de Bebidas: Caso Prático Sumol+Compal,” Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, 2014.

- [27] J. P. Womack e D. T. Jones, Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation, New York: Simon and Schuster, 2013.
- [28] I. Lean Enterprise Institute, Lean Lexicon, Cambridge: Lean Enterprise Institute, Inc., 2014.
- [29] J. P. Pinto, Pensamento Lean: A Filosofia das Organizações Vencedoras, Lisboa: LIDEL, 2014.
- [30] J. K. Liker, The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer, Madison: McGraw-Hill, 2004.
- [31] L. I. Brasil, “Muda, Mura, Muri - Tipos Atividades que Geram Desperdícios,” [Online]. Available: <https://www.lean.org.br/conceitos/78/muda,-mura,-muri---tipos-atividades-que-geram-desperdicios.aspx>. [Acedido em 7 Setembro 2018].
- [32] S. T. d. A. B. d. M. e. Lopes, “Aplicação de Standard Work e de outras ferramentas de Lean Production numa empresa de elevadores,” Universidade do Minho, Braga, 2012.
- [33] S. Nakajima, Introduction to TPM: Total Productive Maintenance, Portland: Productivity Press, 1989.
- [34] R. C. Hansen, Overall Equipment Effectiveness: A Powerful Production/Maintenance Tool for Increased Profits, New York: Industrial Press, Inc., 2001.
- [35] F. I. G. César, Ferramentas Básicas da Qualidade, São Paulo: Biblioteca24horas, 2011.
- [36] 50MINUTES.com, The Ishikawa Diagram for Risk Management: Anticipate and solve problems within your business, Namur: Plurilingua Publishing, 2015.
- [37] H. Stadler e R. Seleme, Controle da Qualidade: As Ferramentas Essenciais, Curitiba: EDITORAIBPEX, 2008.

- [38] WEG, “Apostila Curso DT-12: Pintura Industrial com Tintas Líquidas,” 18 Maio 2016. [Online]. Available: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h55/h07/WEG-apostila-curso-dt-12-pintura-industrial-com-tintas-liquidas-treinamento-portugues-br.pdf>. [Acedido em 29 Maio 2018].
- [39] S. NORCRANES, “Ponte Rolante Monoviga,” [Online]. Available: <http://www.norcranes.pt/#!/equipamentos/photostackergallery1=1>. [Acedido em 6 Junho 2018].
- [40] FACOM, “Roquete 1/2" standard | VR.S3136,” 2015. [Online]. Available: <https://catalogue.facom.com/pt-pt/categorie/ferramentas-energizadas/ferramentas-pneumaticas/roquetes/produit/roquete-1-2-standard/vr-s3136-6>. [Acedido em 6 Junho 2018].
- [41] C. Pneumatic, “Industrial Tools,” Dezembro 2017. [Online]. Available: http://www.cp.com/content/dam/brands/Chicago%20Pneumatic/cp-tools-literature/catalogues/industrial-tools/CP-INDUS_EN.pdf. [Acedido em 6 Junho 2018].
- [42] S. Hecker, “Pintar numa Nova Dimensão.,” 31 Janeiro 2011. [Online]. Available: http://www.spieshecker.com/content/dam/EMEA/Spies%20Hecker/PT/Public/Documents/products/2011-01-31_HiTEC_Folder_pt.pdf. [Acedido em 6 Junho 2018].
- [43] DELTALYO®, “New Spray Gun Brochure,” 2015. [Online]. Available: <http://www.deltalyo.eu/sites/default/files/Brochure-Pistolets-BDemail.pdf>. [Acedido em 5 Junho 2018].
- [44] S. Safety, “Shield SR 540,” Sphinxly, 2013. [Online]. Available: <http://www.srsafety.com/products/ansiktsdelar-till-sr-500-och-srsr-700/skarm-sr-540>. [Acedido em 5 Junho 2018].
- [45] DuPont, “Tyvek® 500,” 2018. [Online]. Available: <http://www.dupont.com/products-and-services/personal-protective->

equipment/chemical-protective-garments/brands/tyvek-protective-apparel/products/tyvek-xpert-coveralls.html. [Acedido em 5 Junho 2018].

- [46] T. Bodero, “6080HR,” [Online]. Available: <http://dermikgloves.com/pdf/6080HR.pdf>. [Acedido em 6 Junho 2018].
- [47] T. B. Group, “500G2 URETAN,” procesyva, 2018. [Online]. Available: <https://tomasbodero.com/pt/mat/10plus/500g2-uretan.html>. [Acedido em 6 Junho 2018].
- [48] WEG, “W22 - Motor Trifásico - Técnico (Mercado Brasil),” 2 Março 2018. [Online]. Available: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h11/h34/WEG-w22-motor-eletrico-trifasico-50023622-brochure-portuguese-web.pdf>. [Acedido em 19 Junho 2018].
- [49] A. P. d. Segurança, “ATEX - Atmosferas Explosivas,” Lisbon Project, [Online]. Available: <https://www.apsei.org.pt/areas-de-atuacao/seguranca-contraincendio/atex-atmosferas-explosivas/>. [Acedido em 19 Julho 2018].
- [50] ABB, “Data sheet IRB 5500-22/23 features and specification,” Fevereiro 2018. [Online]. Available: <http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=RP50010EN&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>. [Acedido em 20 Junho 2018].
- [51] FANUC, “Datasheet Paint Robot P-250iB/15,” 2017. [Online]. Available: <https://www.fanuc.eu/~media/files/pdf/products/robots/robots-datasheets-en/paint-robots/datasheet%20p-250ib-15.pdf?la=pt>. [Acedido em 25 Junho 2018].
- [52] L. Kawasaki Heavy Industries, “Datasheet KF264 Robot,” 15 Dezembro 2011. [Online]. Available: <https://robotics.kawasaki.com/userAssets1/productPDF/KF264EFE45-E.pdf>. [Acedido em 25 Junho 2018].

- [53] YASKAWA, “MOTOMAN MPX3500,” Abril 2017. [Online]. Available: <https://www.yaskawa.eu.com/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=12309&token=9b00e884e5b0527ec00d5ab4d9af0c52bdfc9a45>. [Acedido em 25 Junho 2018].
- [54] ABB, “Data sheet IRC5P features and specification,” Agosto 2009. [Online]. Available: <https://library.e.abb.com/public/fb19b29639c73e68c125761e0045b377/IRC5P%20Datasheet.pdf>. [Acedido em 14 Junho 2018].
- [55] ABB, “Data sheet Color Changer features and specification,” 9 Julho 2004. [Online]. Available: http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=PR10275EN_R1&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch. [Acedido em 30 Agosto 2018].
- [56] ABB, “Global application platform manual - 2KP 5500P,” ABB AS, Robotics, Bryne, 2018.
- [57] ABB, “Data sheet Gear Pump features and specification,” 27 Fevereiro 2003. [Online]. Available: http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=PR10085EN_R4&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch. [Acedido em 11 Julho 2018].
- [58] ABB, “Data sheet 2K Mixer features and specification,” 9 Novembro 2007. [Online]. Available: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=PR10274EN&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>. [Acedido em 28 Junho 2018].
- [59] ABB, “RB1000-SSD_BOC / RB1000-SAD_BOC Outside Cleaning Bell,” 6 Maio 2014. [Online]. Available: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=AB08E&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>. [Acedido em 31 Agosto 2018].
- [60] R. K. Miller, Industrial Robot Handbook, Springer, 1989.

- [61] I. O. f. Standardization, “ISO 6529:2013,” Fevereiro 2013. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/44800.html>. [Acedido em 5 Junho 2018].
- [62] I. O. f. Standardization, “ISO 374-1:2016,” Outubro 2016. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/66421.html>. [Acedido em 6 Junho 2018].
- [63] E. C. f. Standardization, “BS EN 388:2016,” British Standards Institution, 30 Novembro 2016. [Online]. Available: <https://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=000000000030303769>. [Acedido em 6 Junho 2018].
- [64] E. C. f. Standardization, “BS EN 12941:1998+A2:2008,” British Standards Institution, Abril 1999. [Online]. Available: <https://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=000000000030178274>. [Acedido em 5 Junho 2018].
- [65] EUR-Lex, “Directive 98/37/EC,” 22 Junho 1998. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:31998L0037>. [Acedido em 14 Junho 2018].
- [66] S. Corrigan, “Introduction to the Controller Area Network (CAN),” Maio 2016. [Online]. Available: <http://www.ti.com/lit/an/sloa101b/sloa101b.pdf>. [Acedido em 31 Agosto 2018].
- [67] S. Jensen, “What is the function of a hydraulic bypass valve?,” 27 Março 2012. [Online]. Available: <https://engineering.mit.edu/engage/ask-an-engineer/what-is-the-function-of-a-hydraulic-bypass-valve/>. [Acedido em 31 Agosto 2018].

Anexo A. Sequência de pintura

Admitindo que o plano de pintura a aplicar ao motor contém o esquema de pintura intermédio (planos 202E, 202P, 205E, 205P, 212E e 212P), e que o motor e a tampa deflectora estão posicionados corretamente, começar-se-á a pintar a zona constituída pela tampa traseira, tubo e canal da graxeira, sequenciada de 1 na Figura 103. Em seguida deverão ser pintadas as alhetas superiores, que se encontram debaixo da caixa de ligação auxiliar, sequenciada de 2 na Figura 103).



Figura 103 Sequência de pintura 1 e 2

Concluída a etapa anterior deverá ser pintada a parte interna da tampa deflectora (3) e entre a caixa de ligação principal e auxiliar (4), conforme ilustrado na Figura 104.



Figura 104 Sequência de pintura 3 e 4

Em seguida deverão ser pintadas as caixas de ligação (5), bem como a parte inferior das mesmas (6), seguindo-se a pintura da zona da placa de identificação e alhetas onde estão fixados os batentes (7), posto isto, deverão ser pintadas as alhetas da lateral do motor do lado

da parte inferior das caixas de ligação (8). A Figura 105 representa a sequência de pintura acima descrita.



Figura 105 Sequência de pintura 5, 6, 7 e 8

Posteriormente deverão ser pintadas as laterais da caixa de ligação e a base da mesma (9), bem como as alhetas superiores (10) e parte superior da tampa dianteira (11), finalizando esta etapa com a pintura entre as caixas de ligação principal e auxiliar (12), conforme representado na Figura 106.



Figura 106 Sequência de pintura 9, 10, 11 e 12

Em seguida deverão ser pintadas a parte superior das tampas das caixas de ligação e sua lateral (13), as alhetas da parte superior do motor, batente de fixação da placa de identificação e o reforço do olhal (14), bem como as alhetas da parte superior (15). Esta sequência está ilustrada na Figura 107.



Figura 107 Sequência de pintura 13, 14 e 15

Realizada a sequência anterior, deverão pintadas a lateral das caixas de ligação (16) e a parte superior da tampa deflectora (17), conforme representado na Figura 108.



Figura 108 Sequência de pintura 16 e 17

Em seguida deverá ser pintada a lateral da base da caixa de ligação (18), bem como as alhetas da lateral do motor (19), como sequenciado na Figura 109.



Figura 109 Sequência de pintura 18 e 19

A etapa que se segue passa pela pintura das faces das patas do motor (20), bem como as partes internas do excerto das patas (21), como enumerado na Figura 110.



Figura 110 Sequência da pintura 20 e 21

Posteriormente deverá ser pintada a lateral da tampa dianteira (22), as alhetas da mesma (23), bem como a sua envoltória (24). A Figura 111, representa a sequência acima descrita.



Figura 111 Sequência de pintura 22, 23 e 24

Concluída a etapa anterior deverá ser pintada a lateral da tampa dianteira oposta à anterior (25) bem como as alhetas da mesma zona (26), conforme ilustrado na Figura 112.



Figura 112 Sequência de pintura 25 e 26

De seguida deverão ser pintadas as faces das patas da lateral do motor oposta (27), bem como as partes internas das mesmas (28). A Figura 113 representa esta sequência.



Figura 113 Sequência de pintura 27 e 28

Realizada a etapa anterior, deverá ser pintada a lateral da tampa defletora voltada para a parte superior da caixa de ligação (29), bem como a parte da ventilação da mesma (30), conforme ilustrado na Figura 114.



Figura 114 Sequência de pintura 29 e 30

Posteriormente deverá ser pintada a lateral da tampa deflectora voltada para a parte inferior da caixa de ligação (31), as alhetas da lateral do motor voltadas para o lado inferior da caixa de ligação (32), a parte inferior das alhetas junto às patas do motor (33) e ainda a parte lateral dos pés (34), como representado na Figura 115.



Figura 115 Sequência de pintura 31, 32, 33 e 34

Em seguida deverão ser pintadas as alhetas inferiores, a face interna das patas voltadas para o lado da parte inferior da caixa de ligação (35), bem como a parte inferior da tampa dianteira e a face dos pés voltada para a dianteira do motor (36), como ilustrado na Figura 116.



Figura 116 Sequência de pintura 35 e 36

Concluída a etapa anterior, deverá pintar-se a face interior das patas voltada para a dianteira do motor (37) e as alhetas inferiores da mesma (38). Esta sequência está representada na Figura 117.



Figura 117 Sequência de pintura 37 e 38

De seguida, deverão ser pintadas as alhetas laterais voltadas para o lado superior da caixa de ligação (39), a parte inferior das alhetas próximas das patas (40), toda a lateral dos mesmos (41), bem como as alhetas inferiores e a face interna das patas voltadas para o lado da parte superior da caixa de ligação (42), como ilustrado na Figura 118.



Figura 118 Sequência de pintura 39, 40, 41 e 42

Para finalizar a pintura deste motor, dever-se-á pintar a face interior das patas voltadas para a traseira do motor (43), as faces das patas traseiras voltadas para a traseira do motor (44) e a parte inferior da tampa defletora (45). A Figura 119, representa esta última sequência de pintura.



Figura 119 Sequência de pintura 43, 44 e 45