

PROJETO DE EQUIPAMENTO DE UNIÃO LONGITUDINAL DE CONDUTAS POR SOLDADURA

JOSÉ MANUEL SOARES MONTEIRO

dezembro de 2018

PROJETO DE EQUIPAMENTO DE UNIÃO LONGITUDINAL DE CONDUTAS POR SOLDADURA

José Manuel Soares Monteiro
1960481

2018

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

“O sonho é que leva a gente para frente. Se a gente for seguir a razão, fica aquietado, acomodado”

Ariano Suassuna

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar

POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

PROJETO DE EQUIPAMENTO DE UNIÃO LONGITUDINAL DE CONDUTAS POR SOLDADURA

José Manuel Soares Monteiro
1960481

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Professor Doutor Francisco José Gomes da Silva e Coorientação do Professor José Manuel Fernandes da Silva Fecheira.

2018

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

JÚRI

Presidente

Rui Pedro Cardoso da Silva Martinho, PhD
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Francisco José Gomes da Silva, PhD
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Coorientador

José Manuel Fernandes da Silva Fecheira, MSc
Assistente Convidado, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

José Duarte Ribeiro Marafona, PhD
Professor Auxiliar, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

AGRADECIMENTOS

O desafio de expressar e registar neste pequeno espaço os agradecimentos a todos os que contribuíram direta ou indiretamente para esta Tese é quase tão grande como a realização da própria Tese...

Começo por deixar uma palavra de agradecimento à minha esposa Ana Paula, pelo permanente incentivo que me catapulta para estas aventuras, mesmo em prejuízo do tempo que deveria ser dedicado à família.

À minha Neta Matilde, à minha Filha Cristina e ao meu Genro Ricardo Perfeito, por me apoiarem, incentivarem e me fazerem sentir que lhes devo deixar esta atitude de querer, de abnegação e de permanente insatisfação que nos faz seguir em frente.

Ao Professor Doutor Francisco José Gomes da Silva, pela capacidade que tem de me “arrastar” para estes projetos, pela ajuda, motivação e apoio prontamente disponibilizado ao jeito do que lhe é característico, como excelente profissional que é.

Ao Sr. Filipe Serrado, em nome da SERVENTAR, pelo desafio colocado e pelo apoio prestado no desenvolvimento deste projeto.

À Engenheira Ana Almeida e à Dr.^a Isa Santos, pelo contributo que deram para este trabalho.

A todos os que não estando mencionados neste espaço, contribuíram direta ou indiretamente para a execução desta Tese.

PALAVRAS CHAVE

Conduatas; Soldadura Longitudinal; *Setup* da máquina;

RESUMO

A constante e permanente insatisfação do ser humano, aliada à evolução das sociedades nas suas variadas vertentes: social, intelectual, tecnológica, económica, leva à constante procura de melhores soluções, com o fim comum de se obter ganhos com o menor consumo possível de recursos. Foi este princípio que, norteou o desenvolvimento do equipamento de ligação de conduatas por soldadura, e consequentemente, forneceu matéria para suportar esta dissertação.

A soldadura de conduatas por fusão era até então uma operação confinada a produtos de dimensões consideráveis, tanto na espessura quanto no diâmetro, e a alguns materiais de maior complexidade de conformação, como por exemplo o aço inoxidável, sendo que as de espessuras mais delicadas, se destinavam normalmente à união por conformação mecânica (costura obtida por dobragem e esmagamento dos bordos longitudinais) mas, as exigências do mercado e a competitividade cada vez maior, deu origem a um novo paradigma que, basicamente direciona esta operação para a soldadura longitudinal das conduatas, independentemente das suas dimensões e dos materiais que as constituem.

A filosofia não é recente e até já existem no mercado máquinas capazes de o fazer, mas a sua complexidade, limitações no que concerne à variedade dimensional e o seu custo, serviram de motivação e ensejo ao desenvolvimento deste projeto.

A empresa SERVENTAR, na pessoa do Sr. Filipe Serrado, lançou o desafio e demonstrou todo o interesse no acompanhamento e materialização do projeto/protótipo, tendo como principal objetivo o incremento da produtividade da sua unidade, mas não descartando a reprodução e comercialização do exemplar.

KEYWORDS

Ducts; Longitudinal Welding; Machine Setup

ABSTRACT

The constant and permanent dissatisfaction of the human being, in addition with the evolution of societies, in their various aspects: social, intellectual, technological, economic, among others, leads to a constant search for the best solutions, which the common goal is obtaining gains with the least consumption of resources. It was this principle that guided the development of Longitudinal Seam Welding equipment and, consequently, provided material to support this dissertation.

Ducts welding was until then an operation confined to products of considerable size, both in thickness and diameter, and in some materials of higher conformation complexity, such as stainless steel, given that those with more delicate thickness were usually devoted to beading (the folding and crushing of the longitudinal edges), but the demands of the market and the increasing competitiveness have given rise to a new paradigm that basically directs this operation to the longitudinal welding of the ducts, regardless of their dimensions and materials that constitute them.

The philosophy is not recent and already exists in the machines market that are capable to do it. However, the complexity and their limitations concerning to the variety of the dimensional and its cost, delivers the motivation and the opportunity to develop this project.

The company SERVENTAR, in the name of Mr. Filipe Serrado, issued a challenge and reveals all the interest to monitor the pilot project, aiming to increase the productivity of his unit, but not discarding the reproduction and the deliver to the market of this exemplar

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

AGV	<i>Automatic Guided Vehicle</i>
APT	<i>Automatic Programation Tool</i>
AW	<i>Arc Welding</i>
AWS	<i>American Welding Society</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CNC	Controlo Numérico Computorizado
CAGR	<i>Compound Annual Growth Rate</i>
DFW	<i>Diffusion Welding</i>
DT	Desenho Técnico
EFW	<i>Electric Fusion Welding</i>
ERW	<i>Electric Resistance Welding</i>
ESLC18V1	Equipamento de Soldadura Longitudinal de Conduatas 2018 V_1
FCAW	<i>Flux Cored Arc Welding</i>
FRW	<i>Friction Welding</i>
FMEA	<i>Failure Modes, Effects Analysis</i>
GMAW	<i>Gas Metal Arc Welding</i>
GTAW	<i>Gas Tungsten Arc Welding</i>
HFV	<i>High-Frequency Welding</i>
MAG	<i>Metal Active Gas Welding</i>
I&D	Investigação e Desenvolvimento
MIG	<i>Metal Inert Gas Welding</i>
NC	<i>Numerical Control</i>
MLP	<i>Feedforward Multilayer Perceptron</i>
NVEB	<i>Non-Vacuum Electron-Beam</i>
OFW	<i>Oxy Fuel Welding</i>
RSW	<i>Resistance Spot Welding</i>
RSEW	<i>Resistance Seam Welding</i>
RW	<i>Resistance Welding</i>
SAW	<i>Submerged Arc Welding</i>
SER	Soldadura por Elérodos Revestidos
TIG	<i>Tungsten Inert Gas Welding</i>
USW	<i>Ultrasonic Welding</i>
ZION	<i>Zion Market Research™</i>

Lista de Unidades

g	Gramma
m	Metro
kg	Quilograma
ms ⁻¹	Metro por segundo
rpm	Número rotações por minuto
Nm	Newton metro
N/mm ²	Newton por milímetro quadrado
s	Segundo
W	Watt

Lista de Símbolos

€	Euro (Moeda)
%	Percentagem

GLOSSÁRIO DE TERMOS

AGV's	Veiculos guiados automaticamente
CAGR	<i>Compound Annual Growth Rate</i>
FMEA	Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos
FMS	Sistemas flexíveis de manufatura ou fabrico
Setup	Configuração, instalação, organização, disposição ou regulação.
SMACNA	<i>Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association</i>
SWOT	<i>Strenghts, Weaknesses, Opportunities e Threats</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – GRÁFICO REPRESENTATIVO DO MERCADO GLOBAL DE PRODUTOS DE SOLDADURA EM (%), POR REGIÃO, 2015. [43]	44
FIGURA 2 - CRESCIMENTO DO MERCADO DE PRODUTOS ATÉ 2022 [44]	44
FIGURA 3 - SOLDADURA CIRCUNFERENCIAL MECÂNICA DE JUNTAS [47]	48
FIGURA 4 - SISTEMA AUTOMÁTICO PARA SOLDADURA CIRCUNFERENCIAL DE TUBOS DE PEQUENO DIÂMETRO [47]	49
FIGURA 5 - ROBÔS DE SOLDADURA NA INDÚSTRIA AUTOMÓVEL [48]	49
FIGURA 6 – EQUIPAMENTO DE CONFORMAÇÃO DE TUBO E RESPECTIVA SOLDADURA POR RESISTÊNCIA ERW [60]	61
FIGURA 7 – SOLDADURA POR PONTOS [63]	61
FIGURA 8 – MÁQUINA DE SOLDADURA CONTÍNUA POR RESISTÊNCIA [64]	62
FIGURA 9 – UNIÃO DE CONDUTA EM CHAPA PELO PROCESSO DE SOLDADURA CONTÍNUA POR RESISTÊNCIA [64]	63
FIGURA 10 – MÁQUINA AUTOMÁTICA DE SOLDADURA LONGITUDINAL POR FUSÃO [64]	63
FIGURA 11 - MÁQUINA DE SOLDAR LONGITUDINALMENTE CONDUTAS DA MARCA “ELENA ONE” [65]	72
FIGURA 12 - MÁQUINA (REFª “LW”) DE SOLDAR LONGITUDINALMENTE CONDUTAS [66]	73
FIGURA 13 – TROCA DE PROCESSO DE SOLDADURA NAS MÁQUINAS (REFª LW) [66]	73
FIGURA 14 – PROTÓTIPO PRÉ-CONCEBIDO PELA SERVENTAR	76
FIGURA 15 – MODELO 3D DO PROTÓTIPO PRÉ-CONCEBIDO (ETAPA 1)	76
FIGURA 16 – MODELO 3D DO PROTÓTIPO PRÉ CONCEBIDO (ETAPA 2) – PARTE SUPERIOR	77
FIGURA 17 – MODELO 3D DO PROTÓTIPO PRÉ CONCEBIDO (ETAPA 2) – PARTE INFERIOR	77
FIGURA 18 – 1ª IDEIA DE ACONDICIONAMENTO E ARRASTE DA CONDUTA:	81
FIGURA 19 – VISTA FRONTAL DA 1ª IDEIA DE ACONDICIONAMENTO E ARRASTE	82
FIGURA 20 – ROLOS CILÍNDRICOS COMO SEGUNDA OPÇÃO PARA O MECANISMO DE ARRASTE	82
FIGURA 21 – TRANSMISSÃO SIMULTÂNEA DOS ROLOS	83
FIGURA 22 – EQUIPAMENTO DE SOLDADURA LONGITUDINAL DE CONDUTAS.	85
FIGURA 23 – GRUPOS CONSTITUINTES DO EQUIPAMENTO ESLC18V1	86
FIGURA 24 – VISTA AMPLIADA E EXPLODIDA DO EQUIPAMENTO MOSTRADO NA FIGURA 23	87
FIGURA 25 – MECANISMOS DE ARRASTE, POSICIONADOR DA TOCHA E TUBO DE ARREFECIMENTO	88
FIGURA 26 – ZONA DE ALIMENTAÇÃO DA MÁQUINA	88
FIGURA 27 – TRANSMISSÃO DOS ROLOS DO MECANISMO DE ARRASTE	89
FIGURA 28 – ESTRUTURA TUBULAR DO EQUIPAMENTO E SEU ATRAVANCAMENTO	89
FIGURA 29 – ESTADO DE TENSÃO NA ESTRUTURA	90
FIGURA 30 - ESTADO DE DEFORMAÇÃO DA ESTRUTURA	91
FIGURA 31 – SUPORTE DA CONDUTA	92
FIGURA 32 – FIXAÇÃO DO SUPORTE À ESTRUTURA	92
FIGURA 33 – TUBO INTERIOR DE ARREFECIMENTO A AZOTO	93
FIGURA 34 – VISTA FRONTAL DA CONDUTA SUSPENSA	93

FIGURA 35 – MECANISMO DE ARRASTE DA CONDUTA	94
FIGURA 36 – ACONDICIONAMENTO DA CONDUTA	94
FIGURA 37 – ARRASTE DA CONDUTA	94
FIGURA 38 – ARO MECANISMO DE ARRASTE	95
FIGURA 39 – CINEMÁTICA DOS AROS DO MECANISMO	96
FIGURA 40 – CHAPA SUPORTE DO MOTOREDUTOR	96
FIGURA 41 – SUPORTE DE SUJEIÇÃO DA GRADE DE ROLOS	97
FIGURA 42 – SUPORTE SUPERIOR DE SUJEIÇÃO DA GRADE	97
FIGURA 43 - SUPORTE INFERIOR DE SUJEIÇÃO DA GRADE	97
FIGURA 44 – GRADE DE ROLOS	98
FIGURA 45 – ROLO ASSEMBLADO	98
FIGURA 46 - ROLO EXPLODIDO	98
FIGURA 47 – PORMENOR DE MONTAGEM DO ROLO	98
FIGURA 48 – LEGENDA DO MECANISMO DE ACOPLAMENTO DO ROLO	99
FIGURA 49 – ROLO FIXADO	99
FIGURA 50 – FÊMEA INFERIOR ALIVIADA	99
FIGURA 51 – COMPENSAÇÃO DA ALTURA PELA FÊMEA SUPERIOR	100
FIGURA 52 – FORÇAS ENVOLVIDAS NO ACONDICIONAMENTO	100
FIGURA 53 – DIREÇÃO DE ARRASTE DA CONDUTA	100
FIGURA 54 – VISTA SUPERIOR DA MÁQUINA	101
FIGURA 55 – FORÇAS DE ATRITO [70]	101
FIGURA 56 – FORÇA NORMAL (FN) DA CONDUTA	102
FIGURA 57 – FORÇA DE ARRASTE DA CONDUTA	103
FIGURA 58 – FORÇA NORMAL À CONDUTA	103
FIGURA 59 – FORÇAS NORMAL E TANGENCIAL NA CONDUTA	104
FIGURA 60 – ESTADO DE TENSÃO DA CONDUTA	104
FIGURA 61 - ESTADO DE DEFORMAÇÃO DA CONDUTA	105
FIGURA 62 – PORMENOR DE FIXAÇÃO AXIAL DA GRADE	105
FIGURA 63 - COMPENSAÇÃO DO EFEITO DA CONICIDADE DA CONDUTA	106
FIGURA 64 – FORÇA TANGENCIAL E NORMAL NA CONDUTA	107
FIGURA 65 – DADOS DOS MOTORREDUTORES BONFIGLIOLI (RETIRADO DO CATÁLOGO) [71]	109
FIGURA 66 - TRANSMISSÃO DE MOVIMENTO A PARTIR DE CARRETOS TRIPLOS	110
FIGURA 67 - FIXADOR DE VEIOS	110
FIGURA 68 – MECANISMO TOCHA	111
FIGURA 69 – MECANISMO DA TOCHA EXPLODIDO	112
FIGURA 70 – POSICIONAMENTO DO MECANISMO DE SOLDADURA	112
FIGURA 71 – MESAS DESLIZANTES DE GUIAS DE TRILHO PERFILADO – LTB	113
FIGURA 72 – VARIÁVEIS EM JOGO NA ESCOLHA DO MOTOR DE PASSO [72]	114
FIGURA 73 – RESULTADO DA SELEÇÃO DO MOTOR DE PASSO [72]	114
FIGURA 74 – MOTOR DE PASSO IGUS COM A REF [®] NEMA23 24 V [72]	115
FIGURA 75 – CARACTERÍSTICAS DO MOTOR DE PASSO NEMA23	115
FIGURA 76 – MESA ROTATIVA [73]	116
FIGURA 77 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA E DIMENSIONAL DA MESA ROTATIVA [73]	117

FIGURA 78 – BLINDAGENS DE PROTEÇÃO DOS SALPICOS	117
FIGURA 79 – SUPORTE ARTICULADO DA TOCHA	118
FIGURA 80 – DISPOSITIVO CALCADOR	119
FIGURA 81 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA ZONA DE CALCAMENTO DA JUNTA	119
FIGURA 82 – VISTA LATERAL DO CALCADOR	120
FIGURA 83 – DADOS DA MESA INA TIRADOS DE CATÁLOGO [74]	120
FIGURA 84 - VARIÁVEIS EM JOGO NA ESCOLHA DO MOTOR (2) DE PASSO [72]	121
FIGURA 85 - RESULTADO DA SELEÇÃO DO MOTOR (2) DE PASSO [72]	122
FIGURA 86 – CARACTERÍSTICAS DO MOTOR DE PASSO NEMA23XL	123
FIGURA 87 – REPRESENTAÇÃO PARCIAL DA MÁQUINA DE SOLDAR CONDUTAS	123
FIGURA 88 – PORMENOR DO VISOR E DO TUBO DE ASPIRAÇÃO	124
FIGURA 89 – CONSOLA DE CONTROLO E SEU POSICIONAMENTO	124
FIGURA 90 – PORMENOR DO ENGATE DOS PAINÉIS LATERAIS	125
FIGURA 91 - ASPETO DO <i>LAYOUT</i> DA CONSOLA	126
FIGURA 92 – ESQUEMA DE SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES	126
FIGURA 93 – <i>GRAFICET</i> DO FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO	127
FIGURA 94 – MECANISMO DA TOCHA, REPRESENTADO EM VISTA ISOMÉTRICA EXPLODIDA E ASSEMBLADA	137
FIGURA 95 – MECANISMO CALCADOR, REPRESENTADO EM VISTA ISOMÉTRICA EXPLODIDA E ASSEMBLADA	138
FIGURA 96 – MECANISMO SUPORTE DA CONDUTA, REPRESENTADO EM VISTA ISOMÉTRICA EXPLODIDA E ASSEMBLADA	138
FIGURA 97 – MECANISMO DE ARRASTE, REPRESENTADO EM VISTA ISOMÉTRICA EXPLODIDA E ASSEMBLADA	139
FIGURA 98 – ROLO DO MECANISMO DE ARRASTE, REPRESENTADO EM VISTA ISOMÉTRICA EXPLODIDA E ASSEMBLADA	140
FIGURA 99 – ARO DO MECANISMO DE ARRASTE, REPRESENTADO EM VISTA ISOMÉTRICA EXPLODIDA E ASSEMBLADA	141
FIGURA 100 – EQUIPAMENTO DE SOLDADURA, REPRESENTADO EM VISTA ISOMÉTRICA EXPLODIDA E ASSEMBLADA	142
FIGURA 101 – EQUIPAMENTO DE SOLDADURA COMPLETO, REPRESENTADO EM VISTA ISOMÉTRICA EXPLODIDA E ASSEMBLADA	143
FIGURA 102 – LUBRIFICAÇÃO DE CORRENTES DE ELOS [76]	150
FIGURA 103 – LAVAGEM DA CORRENTE [76]	150
FIGURA 104 – ALINHAMENTO DA CORRENTE [76]	151

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - EVOLUÇÃO DA AUTOMAÇÃO [1]	33
TABELA 2 - DIFERENÇAS ENTRE AUTOMAÇÃO E ROBÓTICA [31]	41
TABELA 3 - PROCESSOS MAIS UTILIZADOS E CONHECIDOS EM SOLDADURA [46]	47
TABELA 4 - PRODUTOS FABRICADOS PELA SERVENTAR	69
TABELA 5 - DADOS TÉCNICOS DA MÁQUINA “ELENA ONE” [65]	72
TABELA 6 - DADOS TÉCNICOS DA MÁQUINA “LW” [66]	74
TABELA 7 – ANÁLISE SWOT DA OPÇÃO CHUMACEIRAS VS SUPORTE DE FIXAÇÃO DOS VEIOS	78
TABELA 8 - ANÁLISE SWOT DA OPÇÃO SUPORTES DAS FÊMEAS TRAPEZOIDAIS	78
TABELA 9 - ANÁLISE SWOT DA OPÇÃO CHUMACEIRAS LINEARES FABRICADAS VS STANDARD	79
TABELA 10 - ANÁLISE SWOT DA OPÇÃO FIXAÇÃO DAS CHUMACEIRAS LINEARES	79
TABELA 11 - ANÁLISE SWOT DA OPÇÃO SINCRONISMO DE MOVIMENTO	80
TABELA 12 - ANÁLISE SWOT DA OPÇÃO SUPORTE DA TOCHA	80
TABELA 13 - ANÁLISE SWOT DA OPÇÃO ROLOS DE ACONDICIONAMENTO E TRAÇÃO	83
TABELA 14 – RESISTÊNCIA MECÂNICA DE DIFERENTES AÇOS DE CONSTRUÇÃO [68]	90
TABELA 15 - CARACTERÍSTICAS DA CHUMACEIRA LTBR40-2LS DA SKF	95
TABELA 16 - CARACTERÍSTICAS DA CHUMACEIRA RCJY30-TV-VA	98
TABELA 17 - COEFICIENTES DE ATRITO DE METAIS [69]	102
TABELA 18 - DADOS TÉCNICOS DE CARRETOS DE CORRENTE TRIPLOS	110
TABELA 19 - CARACTERÍSTICAS DO FIXADOR LUHR	111
TABELA 20 - DADOS TÉCNICOS DA MESA DESLIZANTE – LTB	113
TABELA 21 - CARACTERÍSTICAS DAS MESAS ROTATIVAS [73]	116
TABELA 22 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA MESA ROTATIVA [73]	118
TABELA 23 – LISTAGEM GERAL DE COMPONENTES DO EQUIPAMENTO	128
TABELA 24 – LISTAGEM DE COMPONENTES DOS SUPORTES INFERIORES DE TRANSMISSÃO	129
TABELA 25 – LISTAGEM DOS COMPONENTES DOS SUBCONJUNTOS QUE COMPÕEM O EQUIPAMENTO	129
TABELA 26 – LISTAGEM DE COMPONENTES DA GRADE DE ACONDICIONAMENTO E ARRASTE	130
TABELA 27 – LISTAGEM DE COMPONENTES DOS AROS DA GRADE	130
TABELA 28 – LISTAGEM DE COMPONENTES DOS SUPORTES INFERIORES (1) DE TRANSMISSÃO	131
TABELA 29 – LISTAGEM DE COMPONENTES DOS SUPORTES INFERIORES (2) DE TRANSMISSÃO	131
TABELA 30 – LISTAGEM DE COMPONENTES DO SUPORTE DA TOCHA	131
TABELA 31 – LISTAGEM DE COMPONENTES DO MECANISMO DA TOCHA	132
TABELA 32 – LISTAGEM DE COMPONENTES DO ROLO	132
TABELA 33 – LISTAGEM DE COMPONENTES DO SUPORTE DA CONDUTA	133
TABELA 34 – LISTAGEM DE COMPONENTES DO VISOR	133
TABELA 35 – LISTAGEM DE COMPONENTES DO MECANISMO CALCADOR	134
TABELA 36 - CUSTO FINAL PREVISÍVEL DO EQUIPAMENTO	135
TABELA 37 – CUSTO MÉDIO DO M ² DE CONDUTA CIRCULAR EM CHAPA GALVANIZADA	135
TABELA 38 – CUSTO MÉDIO DO M ² DE CHAPA GALVANIZADA	135
TABELA 39 – CUSTO MÉDIO DO FABRICO DO M ² DE CONDUTA CIRCULAR EM CHAPA GALVANIZADA	135

TABELA 40 - NÍVEIS DE GRAVIDADE DE DEFORMAÇÃO DA CONDUTA	144
TABELA 41 - ÍNDICES DE OCORRÊNCIA	145
TABELA 42 - ÍNDICE DE DETECÇÃO	145
TABELA 43 – FMEA E ANÁLISE DE RISCOS DO MECANISMO DE APERTO E ARRASTE	145
TABELA 44 - NÍVEIS DE GRAVIDADE DE INUTILIZAÇÃO DA CONDUTA DEVIDO AO POSICIONAMENTO DA TOCHA	146
TABELA 45 - ÍNDICES DE OCORRÊNCIA	146
TABELA 46 - ÍNDICE DE DETECÇÃO	147
TABELA 47 – FMEA E ANÁLISE DE RISCOS DO MECANISMO DE APERTO E ARRASTE	147
TABELA 48 – FMEA E ANÁLISE DE RISCOS DO MECANISMO CALCADOR DA CONDUTA	148

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	27
1.1	Contextualização	27
1.2	Objetivos	27
1.3	Metodologia usada na dissertação	27
1.4	Estrutura da dissertação	28
2	CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA	31
2.1	Automatização de processos industriais.....	33
2.1.1	Abordagens à automatização (simples ou robotizada)	36
2.1.2	Vantagens e inconvenientes da automatização de processos	41
2.2	A Soldadura	42
2.2.1	Importância da soldadura no mercado da metalomecânica mundial.....	43
2.2.2	Processos de soldadura	46
2.2.3	Classificação dos processos de soldadura	47
2.2.4	Automatização de processos de soldadura	48
2.2.5	Mecanização simples.....	50
2.2.6	Automação dedicada e de propósito especial	51
2.2.7	Robotização de processos de soldadura	52
2.2.8	Recentes avanços na automatização de processos de soldadura	54
2.3	Tubagens	59
2.3.1	Especificidades das condutas para ventilação	59
2.3.2	Produção de condutas.....	60
2.3.3	Processos de Soldadura de Condutas.....	61
2.3.4	Formas de flexibilizar e incrementar a produtividade da soldadura de tubagens.....	63
2.4	Ferramenta FMEA	65
3	DESENVOLVIMENTO	69
3.1	Empresa de acolhimento	69
3.2	Caracterização do problema	71
3.2.1	Requisitos do equipamento a desenvolver	75

3.2.2	Tempestade de ideias, sua estimativa de custo e análise SWOT	75
3.3	Projeto.....	84
3.3.1	Projeto mecânico	85
3.3.2	Projeto elétrico e de automação.....	125
3.3.3	Listagem de componentes normalizados e a produzir.....	128
3.3.4	Estimativa de custos.....	135
3.3.5	Estudo de Payback.....	135
3.4	Manual de montagem.....	137
3.5	FMEA e análise de riscos do equipamento	144
3.6	Manual de manutenção	149
3.6.1	Plano de Manutenção Diário.....	149
3.6.2	Plano de Manutenção Semanal.....	149
3.6.3	Plano de Manutenção Anual	151
3.6.4	Outras operações de Manutenção.....	151
4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	155
4.1	CONCLUSÕES.....	155
4.2	PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS.....	156
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	159
6	ANEXOS	167
6.1	ANEXO 1 – Listagem de Processos de Soldadura.....	169
6.2	ANEXO 2 – Orçamento	173
6.3	ANEXO 3 – Desenhos Técnicos.....	185
6.4	ANEXO 4 – Esquemas elétricos	205
6.5	ANEXO 5 – Catálogos dos componentes.....	211

INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

1.2 Objetivos

1.3 Metodologia usada na dissertação

1.4 Estrutura da dissertação

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A competitividade do mercado, cada vez mais global, obriga a uma análise atenta e redobrada dos pormenores de fabrico com o intuito primário de lhes retirar “gorduras”, ou seja, subtrair tanto quanto possível todas as tarefas que envolvam mão-de-obra desnecessária que, encarece o produto, ao mesmo tempo que lhe diminui a possibilidade de entrar na cadeia comercial.

As organizações atentas, tentam maximizar os lucros e, para tal, buscam permanentemente os produtos “perfeitos” que utilizam racionalmente as matérias-primas, com o menor consumo possível de energia e de mão-de-obra porque, só assim, atingirão o sucesso.

As organizações de excelência não se ficam pelo desenvolvimento contínuo do produto, mas avaliam o mercado e perspetivam também a utilização de processos que exigem um potencial tecnológico superior, mas também abrem outros tipos de oportunidade.

É na persecução destas filosofias que surge a ideia do desenvolvimento de um equipamento de baixo custo, cuja capacidade seja soldar longitudinalmente condutas de forma contínua e autónoma.

1.2 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho assenta no desenvolvimento integral de um equipamento de soldadura longitudinal de condutas, adaptável aos principais processos de soldadura por arco elétrico (MIG/MAG, TIG, Plasma) capaz de unir condutas de vários diâmetros, espessuras e materiais, sem os atuais constrangimentos da limitação de comprimento, de preço e outros, com o mínimo de intervenção humana.

1.3 Metodologia usada na dissertação

A metodologia definida e seguida cumpriu as seguintes fases:

- Análise do problema da soldadura das condutas e suas especificidades;

- Análise e mapeamento das limitações do processo;
- Pesquisa do equipamento disponível no mercado;
- Análise das características dos equipamentos disponíveis no mercado e suas limitações;
- “Tempestade de ideias” (*brainstorming*) sobre o I&D do equipamento e a implantação de possíveis soluções;
- Fundamentação e apresentação das ideias à SERVENTAR;
- Esboço das soluções encontradas e validadas;
- Integração dos propósitos com vista à otimização das limitações detetadas;
- Análise das vantagens, fragilidades, ameaças e oportunidades do equipamento;
- Projeto definitivo do equipamento;
- Lista de componentes e respetivo desenho técnico dos componentes a fabricar;
- Lista de componentes normalizados a adquirir;
- Indicação dos componentes de automação necessários ao correto funcionamento do sistema e respetivas indicações para programação;
- Grafset da sequência de operações a realizar;
- Orçamentação definitiva da solução completa;
- Instruções de montagem e manutenção;
- FMEA e análise de riscos;
- Lista de ações de manutenção a realizar.

1.4 Estrutura da dissertação

A estrutura deste trabalho assenta essencialmente em dois pilares: num primeiro pilar procura-se familiarizar e enquadrar o leitor com o tema em questão, através da Revisão Bibliográfica, enquanto no segundo pilar, o Desenvolvimento, objetiva-se desmistificar toda a sequência de etapas, operações, criações e outros, conducente ao resultado final que é o equipamento de soldadura longitudinal de condutas.

CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA

2.1 Automação de processos industriais

2.2 A Soldadura

2.3 Tubagens

2 CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA

Num mercado global altamente competitivo, os avanços nos processos de fabrico, maquinaria, ferramentas e operações são impulsionados por metas que podem ser resumidas da seguinte forma [1]:

- Os produtos devem atender aos requisitos, especificações e padrões de projeto e de serviço;
- As atividades de fabrico devem tender continuamente para níveis mais altos de qualidade e produtividade; a qualidade deve ser incorporada no produto em cada estágio do projeto e de fabrico;
- Os processos e operações de fabrico devem ser suficientemente flexíveis para responder rapidamente às exigências de um mercado em constante mudança;
- Os métodos mais económicos de fabrico devem ser explorados e implementados.

Até ao início de 1950, a maioria das operações numa típica unidade fabril eram realizadas em máquinas tradicionais, como tornos, fresadoras, engenhos de furar e vários equipamentos para moldar, modelar e unir materiais. Tais equipamentos geralmente careciam de flexibilidade e exigiam mão-de-obra qualificada considerável para produzir peças com dimensões e características aceitáveis.

Estas circunstâncias significaram que os métodos de processamento geralmente eram ineficientes e que os custos de mão-de-obra eram uma parcela significativa do custo total de produção. A necessidade de reduzir a participação do trabalho no custo do produto conduziu à necessidade de melhorar a eficiência e flexibilidade das operações de fabrico.

Uma operação eficiente faz um uso otimizado de todos os recursos, como materiais, energia, capital, mão-de-obra, maquinaria e tecnologia disponível.

Com rápidos avanços na ciência e tecnologia de produção, a eficiência das operações de fabrico começou a melhorar e a percentagem do custo total representado pelo trabalho começou a diminuir.

Na melhoria da produtividade, os elementos importantes foram a mecanização, automação e controlo de equipamentos e sistemas de fabrico.

O mercado global tem-se tornado cada vez mais exigente, esperando continuamente um incremento no valor do produto que deve ser personalizado para as mais variadas necessidades, incluindo cultura, linguagem e ambiente. Assim, empresas globais devem tornar-se mais flexíveis, eficientes (isto é, *Lean*) e focadas nas suas competências, entregando a outros os itens que não são proficientes. Isto também

resulta em muitas parcerias e alianças entre empresas especializadas em diferentes aspetos do mercado [2].

No contexto atual, as empresas de fabrico enfrentam uma concorrência acirrada e operam mercados em mudança. A procura dos clientes por produtos de maior qualidade a custos mais baixos e com menores ciclos de vida estão a exercer uma pressão extra sobre o processo de introdução do produto no mercado.

O custo e a qualidade dos produtos são essencialmente projetadas nos estágios iniciais desse processo. O *designer* tem a grande responsabilidade de garantir que o produto vai estar em conformidade com os requisitos do cliente, cumprir com a especificação e garantir a qualidade em todos os aspetos do produto, incluindo fabrico e montagem, tudo dentro de escalas de tempo comprimidas. A empresa que espera que o produto chegue ao final da linha para medir a sua conformidade, desempenho e custo, não será competitiva.

A necessidade de entender e quantificar as consequências das decisões de *design*, fabrico e qualidade do produto, nunca foi tão grande [3].

Estamos perante uma nova mudança estrutural nos produtos, serviços e como eles são fornecidos. Telefones via satélite, a Internet, máquinas inteligentes, biotecnologia, comércio eletrónico e muitas outras novas tecnologias, estão a mudar o mundo em que vivemos [2].

Muito tem sido escrito sobre o potencial da tecnologia para alterar drasticamente modelos de negócios e práticas de fabrico. O verdadeiro potencial da tecnologia é realizado quando é empregado de maneira inovadora, capaz de mudar as tradicionais práticas de negócios.

Empresas de sucesso serão aquelas cujo modelo de negócios pode responder às mudanças de forma mais rápida e eficaz do que os seus concorrentes.

O futuro será ainda mais caótico, com mais avanços e a um ritmo mais rápido. Para muitas empresas, as barreiras à entrada num mercado cada vez mais competitivo serão menores do que nunca. Conhecimento e tempo, serão os recursos mais escassos.

As indústrias e as empresas comerciais devem estar dispostas a reagir rapidamente no sentido de maximizar a otimização da utilização de recursos.

O desenvolvimento do produto requer melhores estratégias e métodos que o tornem flexível, fluido e que promova a simplicidade.

A chave é uma aplicação sistemática das melhores práticas que se concentram na redução do risco técnico num ambiente em mudança.

A única coisa que será constante no futuro, é a própria mudança.

2.1 Automatização de processos industriais

A automatização de processos, como qualquer tecnologia, obedeceu a uma linha de evolução e desenvolvimento, conforme mostra a tabela 1.

Tabela 1 - Evolução da Automação [1]

EVOLUÇÃO DA AUTOMAÇÃO	
1500 - 1600	Potência de água para maquinação de metais; laminadores para tiras de cunhagem
1600 - 1700	Torno manual para madeira; calculadora mecânica
1700 - 1800	Torno de mandrilamento, torneamento e corte de parafusos; furadora
1800 - 1900	Torno copiador, torno revólver, fresadora universal; calculadoras mecânicas avançadas
1808	Placas de chapa com furos para controlo automático de tecelagem de padrões em teares
1863	Pianola, pianola automática
1900 - 1920	Torno mecânico; máquina de parafuso automático; máquina automática de produção de garrafas
1920	Primeira utilização da palavra robô
1920 - 1940	Máquinas <i>transfer</i> ; produção em massa
1940	Primeira máquina de computação eletrónica
1943	Primeiro computador electrónico digital
1945	Primeiro uso da palavra automação
1947	Invenção do transístor
1952	Primeiro protótipo de máquina-ferramenta de controlo numérico
1954	Desenvolvimento da linguagem simbólica APT (Ferramenta Automática de Programação); controlo adaptativo
1957	Máquinas-ferramentas NC disponíveis comercialmente
1959	Circuitos integrados; primeira utilização do termo tecnologia de grupo; Robôs industriais dos anos 60
1965	Circuitos integrados de grande escala
1968	Controladores lógicos programáveis
1970	Primeiro sistema integrado de fabrico; soldadura por pontos de carroçarias de automóveis com robôs
1970s	Microprocessadores, robô controlado por minicomputador; sistemas de fabrico flexível; tecnologia de grupo
1980s	Inteligência artificial, robôs inteligentes; sensores inteligentes; células de fabrico
1990s -	Sistemas integrados de fabrico; máquinas inteligentes baseadas em

2000	sensores; redes de telecomunicações e fabrico global; dispositivos de lógica difusa; redes neurais artificiais; ferramentas de Internet; ambientes virtuais; sistemas de informação de alta velocidade
------	--

As evoluções no fabrico têm-se concentrado frequentemente em melhorias da tecnologia. A automação de tarefas manuais tem sido uma estratégia importante desde há muitos anos [4]. A atual fase de automação é impulsionada pelo desenvolvimento de complexas tecnologias de produtos como semicondutores e optoelectrónicos que exigem elevadíssima precisão, novo planeamento e controlo do fabrico integrado. Esta razão para a utilização da automação é chamada de "necessidade do produto" (por exemplo, requisitos rigorosos do produto, forçarem uma empresa a usar a automação para o fabricar) [5]. Um exemplo de onde a automação é uma necessidade impulsionada pelo produto é o semicondutor, devido à redução do tamanho dos trajetos do circuito e aumento dos requisitos da placa [2].

Outro grande uso da automação é a melhoria da qualidade [6]. Um importante equívoco é que a automação em si resulta em maior qualidade, mas isso não é necessariamente verdade. Uma vantagem da automação é que ela produz produtos de alta consistência [7]. Esta consistência, quando combinada com um efetivo programa de controlo de qualidade total, fornece a base ideal para a melhoria da qualidade. Resolvidos os problemas de qualidade de um processo automatizado, podem ser obtidos os mais altos níveis de qualidade de um produto [8]. Um sistema automatizado é uma coleção de dispositivos que trabalham juntos para realizar tarefas, ou produzir um produto ou família de produtos. Um automóvel, por exemplo, é um sistema automatizado, este possui uma "centralina" que recebe sinais de entrada de vários sensores, trata essa informação e controla as várias saídas que regulam a operação do motor e outras funções, como, por exemplo, a travagem anti-bloqueio [9]. Um sistema de alarme contra roubo em casa, é outro sistema automatizado. A sua caixa de controlo recebe sinais de entrada de sensores e interruptores localizados nas portas e janelas da casa. Se a caixa de controlo receber um sinal de que uma porta ou janela foi aberta, soa o alarme e chama as forças de segurança.

Sistemas automatizados industriais podem ser uma máquina ou um grupo de máquinas, denominado célula. Os dispositivos incluem aqueles que realmente produzem o produto e que fornecem suporte, controlo e *feedback* para o sistema [10].

A automação pode ser definida a partir da tecnologia pela qual o procedimento do processador é executado sem assistência humana. Os seres humanos podem estar presentes como observadores, ou até como participantes, mas o processo em si opera autonomamente. A automação é implementada por meio de um sistema de controlo que executa um conjunto de instruções, normalmente denominado por programa. Para automatizar um processo, é necessária energia para operar o sistema de controlo e conduzir o processo em si [11].

Os sistemas automatizados utilizados no fabrico podem ser classificados basicamente em três tipos [1, 12]: (1) automação fixa, (2) automação programável e (3) automação flexível.

Automação Fixa

Na automação fixa, as etapas de processamento ou montagem, e sua consequência, são fixadas pela configuração do equipamento. O programa de instruções é determinado pelo *design* do equipamento e não pode ser alterado com facilidade. Cada passo na sequência envolve geralmente uma ação simples, como alimentar um fuso rotativo ao longo de uma trajetória linear.

Embora o ciclo de trabalho consista em operações simples, integrar e coordenar as ações pode resultar na necessidade de um sistema de controlo bastante sofisticado, sendo o controlo por computador frequentemente necessário. As características típicas da automação fixa incluem (1) alto investimento inicial para equipamentos especializados, (2) altas taxas de produção e (3) pouca ou nenhuma flexibilidade para acomodar as especificidades próprias de uma dada família de produtos. Os sistemas automatizados com esses recursos, podem ser justificados para peças e produtos que são produzidos em grandes quantidades. O alto custo de investimento pode ser distribuído por muitas unidades, tornando o custo por unidade relativamente baixo, em comparação com métodos de produção alternativos.

Automação programável

Como o próprio nome sugere, o equipamento em programação automática é projetado com a capacidade de alterar o programa de instruções, para permitir a produção de diferentes peças ou produtos. Novos programas podem ser preparados para novas peças, e o equipamento pode ler cada programa e executar as instruções codificadas. Assim, os recursos que caracterizam a automação programável são: (1) alto investimento em equipamentos de uso geral, que podem ser reprogramados, (2) taxas de produção mais baixas do que automação fixa, (3) capacidade de lidar com variedade de produtos, reprogramando o equipamento e (4) adequação para produção em lote de vários estilos de peças ou produtos. Exemplos de automação programável incluem controlo numérico computadorizado e robótica industrial.

Automação flexível

A adequação para produção em lote é mencionada como um dos recursos da automação programável. A desvantagem da produção em lote é que o tempo de produção perdido ocorre entre os lotes, devido a trocas de equipamentos e/ou ferramentas que são necessárias para acomodar o próximo lote. Assim, a automação programável geralmente sofre dessa desvantagem.

A automação flexível é uma extensão da automação programável, na qual praticamente não há perda de tempo de produção para alterações de configuração e/ou reprogramação. Quaisquer alterações necessárias no programa de instruções e/ou configuração podem ser realizadas rapidamente; isto é, dentro do tempo necessário para colocar a próxima unidade de trabalho em posição na máquina. Um sistema flexível é, portanto, capaz de produzir uma mistura de diferentes peças ou produtos, um após o outro, em vez de produzir em lotes. Os recursos geralmente associados à automação flexível incluem: (1) alto custo de investimento para equipamentos personalizados, (2) taxas médias de produção e (3) produção contínua de diferentes estilos de peças ou produtos.

Usando alguma da terminologia desenvolvida anteriormente, poderíamos dizer que a automação fixa é aplicável em situações de variedade de produtos difíceis, a automação programável é aplicável à variedade de produtos de dificuldade média, e a automação flexível pode ser usada para variedade de produtos com grau de dificuldade baixo.

Embora tenha havido várias definições, a automação geralmente é definida como o processo de permitir que as máquinas sigam uma sequência predeterminada de operações com pouca ou nenhuma intervenção humana e usando equipamentos e dispositivos que executam e controlam processos e operações de fabrico [1].

2.1.1 Abordagens à automatização (simples ou robotizada)

O uso da automação oferece uma oportunidade de competir na economia mundial [13].

Em geral, a automação afeta o tipo de pessoal exigido pelo fabrico. Um dos resultados é uma queda gradual na necessidade de mão-de-obra de baixa qualificação, com o aumento da incorporação de engenheiros de produção e técnicos capacitados para implementar e usar rapidamente novas tecnologias, bem como solucionar os problemas impostos pelas mesmas [14].

No desenvolvimento de equipamentos automatizados, podem ser distinguidas quatro etapas correspondentes às gerações particulares deste tipo de equipamento [15, 16].

A primeira geração, que pode ser chamada de dispositivos de construção automatizada, foi desenvolvida com a montagem de equipamentos de construção existentes, adicionando sensores eletrónicos e controlo digital. Os princípios subjacentes ao desenvolvimento dos robôs de primeira geração ainda são usados na automação de muitos tipos de máquinas de construção. Nestes casos, máquinas de construção caras, são equipadas com sensores e controlo por computador. O último inclui uma unidade de processamento de dados e controlo por *feedback*. Tais

adaptações são usadas em escavadoras, guindastes, equipamentos de estacas, e transporte de betão, assim como em algum equipamento de produção mecânica.

A segunda geração está associada à aplicação de manipuladores em obras, como a colocação de armaduras, a construção de paredes com blocos de construção e a colocação de telhas.

A terceira geração inclui robôs autónomos sem nenhum operador envolvido no seu controlo. Precisam de um operador apenas para prepará-los para o trabalho e, esporadicamente, durante o trabalho. Encontram aplicação em muitos tipos de trabalhos de construção, como abertura de valas, trabalhos de alvenaria em canteiros de obras e em fábricas de betão pré-moldado para produção de elementos de parede, montagem de estruturas de aço, transporte de materiais para o local onde serão construídos, a pulverização de isolamento à prova de fogo em estruturas de aço e pintura, incluindo indústria automóvel. Além disso, são utilizados para testar estruturas e elementos de edifícios, por exemplo, esgotos, a adesão de telhas em edifícios altos e testar a qualidade de juntas soldadas em estruturas de aço.

Os robôs de quarta geração são projetados para estruturas específicas, levando em consideração os materiais a serem usados. São empregados em sistemas automatizados de construção metálica. Estes robôs são projetados para serem parte integrante de novos métodos de construção, adaptados ao uso de robôs de construção.

Todas as quatro gerações de equipamentos automatizados são usadas na construção civil ou metalomecânica, e a transição de uma para outra tem sido evolutiva. Uma característica importante deste processo é que o papel do operador é reduzido, ou completamente substituído, pelo controlo do computador. Paralelamente, a indústria metalomecânica tem também incrementado significativamente o uso de robôs no fabrico e manipulação de bens, tendo feito evoluir este tipo de equipamentos para sistemas colaborativos, em que o operário pode conviver pacificamente com o robô sem que hajam problemas de segurança [17, 18].

Os robôs são usados para muitas funções numa célula, incluindo as repetitivas, como mover e posicionar peças entre dispositivos e tarefas de produção, tais como soldadura de peças, entre outras [9].

Ainda hoje, é comum associar o uso de robôs à indústria transformadora, principalmente à indústria automóvel, onde são tipicamente empregues para pulverizar tinta e soldar a carroçaria. No entanto, avanços consideráveis foram feitos em aplicações robóticas nos mais variados ramos da construção [19, 20].

Os robôs são usados não apenas por causa das suas vantagens técnico-económicas, mas também resultam em melhor qualidade do trabalho, maior produtividade, menor tempo de realização de tarefas, redução de custos de mão-de-obra e maior segurança

operacional. Este último aplica-se especialmente ao trabalho em condições que são perigosas e prejudiciais à saúde, como inspeções em esgotos, trabalhos de demolição, trabalhos subaquáticos, trabalhos em ambientes radioativos, terraplenagens em encostas e trabalhos em altura [21].

O rápido desenvolvimento da robótica para aplicações em construção no Japão, começou efetivamente nos anos 80. A sua causa direta foi a escassez de mão-de-obra em construção. A comunidade empresarial do Japão recorreu ao governo para obter permissão para admitir trabalhadores do exterior. Por causa da recusa do governo, as construtoras foram forçadas a investir em pesquisa e desenvolvimento de robótica para automação na execução de obras. Outra motivação foi a dificuldade com o desempenho convencional de tarefas que foram consideradas perigosas ou árduas para os trabalhadores realizarem. O Instituto de Ciência de Sistemas da Universidade de *Waseda*, em Tóquio, foi pioneiro em conceitos japoneses de implementação de robótica industrial em canteiros de obras. Empresas de engenharia de ponta como *Shimizu*, *Obayashi*, *Kajima*, *Taisei*, *Fujita* e outras, produziram os seus próprios protótipos de robôs de construção para várias aplicações em obras.

O *software* do robô permite executar tarefas variáveis dentro do seu intervalo de aplicação.

Conforme o referido anteriormente, os robôs são muito bons para tarefas repetitivas, porque são rápidos e precisos. Cada um dos vários tipos de robôs - elétricos, pneumáticos e hidráulicos - tem as suas próprias vantagens [9].

Os robôs pneumáticos são bons para tarefas de posicionamento simples, como partes móveis entre dispositivos. São baratos, rápidos e precisos, mas são muito limitados em alguns aspetos: não são bons para tarefas complexas e são muito limitados nos graus de liberdade.

Os robôs elétricos, que são muito versáteis, são usados para posicionamento, soldadura e muitas outras tarefas. São rápidos e precisos, mas são muito mais caros que os robôs pneumáticos.

Os robôs hidráulicos são bons para pintura e aplicações pesadas. São rápidos e podem-se mover de forma suave, tornando-os eficazes para aplicações de pintura. Também são bons para aplicações perigosas.

Com os custos de mão-de-obra a aumentar e a concorrência mundial a forçar uma entrega mais rápida, maior qualidade e preços mais baixos, os robôs têm assumido uma nova importância. A sua utilização para aliviar as pessoas de tarefas perigosas também aumentou. O ambiente pode ser perigoso por causa da temperatura ou dos fumos, mas os robôs podem funcionar muito bem nesses ambientes. Os robôs também realizam operações repetitivas que tendem a ser tediosas, por exemplo, a soldadura automática de carroçarias durante todo o dia, é um trabalho muito tedioso

que pode tornar as pessoas menos atentas e, com isso, pode reduzir a qualidade e aumentar a variabilidade do produto final.

A velocidade necessária para executar alguns trabalhos, como por exemplo, montar placas de circuito impresso, é de extrema dificuldade para o ser humano [22].

Muitas aplicações de soldadura são inadequadas para os soldadores, porque não é fácil alcançar confortavelmente os locais a soldar e por exigir longos períodos de tempo em certas localizações de difícil acesso [23]. Além do mais, os operadores devem usar máscaras de soldadura para, proteger os olhos, “levantar e baixar a máscara” todas as vezes que inicia uma soldadura, operações que retardam o operador e adicionam incerteza às peças [24].

O uso de robôs e da automação também são apropriados quando a mão-de-obra qualificada não está disponível, por restrições salariais ou outras que afetam a qualidade e a disponibilidade de mão-de-obra [25].

Os robôs são ferramentas flexíveis em sistemas automatizados. Podem mudar imediatamente de tarefa, o que se está a tornar uma característica importante, à medida que aumentam os requisitos de flexibilidade e agilidade [26].

Um robô industrial é uma máquina programável de uso geral que possui certas características antropomórficas. O recurso antropomórfico ou humano mais óbvio é o braço mecânico, ou o manipulador do robô. A unidade de controlo de um robô industrial moderno é um computador que pode ser programado para executar sub-rotinas bastante sofisticadas, fornecendo ao robô uma inteligência que às vezes parece quase humana. O manipulador do robô, combinado com um controlador de alto nível, permite que um robô industrial realize uma variedade de tarefas, como carregar e descarregar máquinas de produção, soldadura por pontos e pintura por *spray*. Os robôs são normalmente usados como substitutos para trabalhadores humanos nessas tarefas. O primeiro robô industrial foi instalado numa operação de fundição sob pressão, na Ford Motor Company. O trabalho do robô era descarregar peças fundidas da máquina de fundição sob pressão [11].

As características que tendem a promover a substituição de um trabalhador humano por um robô são:

- O ambiente de trabalho é perigoso para o homem;
- O ciclo de trabalho é repetitivo;
- O trabalho é realizado num local estacionário;
- A manipulação de peças ou ferramentas seria difícil para humanos;
- É uma operação contínua;
- Há longos ciclos de produção e trocas pouco frequentes.

As aplicações de manuseio de materiais envolvem o movimento de materiais ou peças de um local para outro. Para realizar essa tarefa de realocação, o robô é equipado com uma pinça apropriada. As aplicações de manuseio de materiais incluem transferência de material (colocação de peças, paletização, despaletização) e carregamento e/ou descarregamento de máquinas (por exemplo, máquinas-ferramentas, prensas e moldação de plástico) [27]. Operações de processamento exigem que o robô manipule uma ferramenta apropriada. As aplicações incluem soldadura por pontos, soldadura por arco contínuo, revestimento por pulverização e certas operações de corte e rebarbagem de metal, nas quais o robô manipula uma ferramenta especial. A soldadura por pontos é uma aplicação comum de robôs industriais na indústria automóvel [28].

As aplicações de montagem e inspeção não podem ser classificadas nitidamente em nenhuma das categorias anteriores; às vezes, envolvem o manuseio de peças e outras vezes a manipulação de uma ferramenta. Os aplicativos de montagem geralmente envolvem o acoplamento de peças - basicamente uma tarefa de manuseio de peças. Noutras operações de montagem, uma ferramenta é manipulada, como uma chave de fenda automática [29]. Da mesma forma, operações de inspeção às vezes exigem que o robô posicione uma peça de trabalho em relação a um dispositivo de inspeção, ou carregue uma peça numa máquina de inspeção; outras aplicações envolvem a manipulação de um sensor para realizar uma inspeção [30].

Automação é um termo geral para o trabalho realizado pela tecnologia da informação e máquinas, enquanto a robótica é considerada uma forma avançada de automação autónoma ou semiautónoma [31]. A automação geralmente requer condições estáticas e previsíveis para funcionar, enquanto a robótica implica uma entidade que pode lidar com certas condições do mundo real por conta própria [32].

Os robôs são autónomos ou semiautónomos. Na maioria dos casos, eles são semiautónomos, pois são controlados ou direcionados de uma forma ou de outra por sistemas ou pessoas. O termo semiautónomo implica que uma máquina pode tomar decisões ou navegar em situações que encontra, sem ajuda [33]. Exemplo: Uma máquina de linha de montagem automatizada empacota amendoim durante todo o dia. Quando uma maçã aparece entre os amendoins, a máquina tenta empacotá-la. Isso não funciona e a máquina entra em estado de erro e a linha de montagem bloqueia.

Um robô que processa materiais de reciclagem pode identificar mais de 200 peças reutilizáveis e recicláveis, processando toda a sucata que é alimentada em dezenas de caixas. Embora o robô nunca tenha visto uma maçã antes, quando recebe uma maçã, pode manipulá-la e decidir colocá-la num recipiente para itens excepcionais.

A automação recebe entradas exatas e cria saídas exatas. O robô é capaz de lidar com uma ampla gama de entradas e condições [31]. A tabela 2 mostra as principais diferenças entre a Automação e a Robótica.

Tabela 2 - Diferenças entre automação e robótica [31]

Automação vs. Robótica		
	Automação	Robótica
Definição	Trabalho realizado por tecnologia da informação ou máquinas.	Tecnologia da informação autónoma ou semiautónoma.
Condições	Requer condições previsíveis, como dados bem formatados e partes intercambiáveis.	Pode fazer as coisas e tomar decisões por conta própria. Como tal, os robôs podem lidar com certas condições do mundo real sem restrições.

2.1.2 Vantagens e inconvenientes da automatização de processos

A automação possibilita grandes incrementos na produtividade, possibilitando que as necessidades básicas da população possam ser atendidas. Além de aumentar a produção, os equipamentos automatizados incrementam a qualidade do produto, uniformizando a produção e eliminando perdas e refugos [34]. A automação também permite a eliminação de tempos mortos, ou seja, permite o trabalho contínuo 24 sobre 24 horas, sem as limitações humanas, o que leva a um crescimento da rentabilidade dos investimentos [35]. Sem dúvida a automação industrial foi e é um grande impulsionador da tecnologia robótica. Cada vez mais se tem procurado aperfeiçoar os dispositivos, dotando-os com inteligência para executar as tarefas necessárias [36].

As transformações que ocorrem causadas pelo advento dos robôs, podem muitas vezes não estar visíveis para uma parte significativa das pessoas que não convivem no ambiente fabril. Contudo, a ascensão da robótica nas unidades fabris faz parte da mesma tendência que vem determinando, nos últimos anos, a crescente automatização dos bancos, do comércio e das empresas em geral, causados pelo

advento da informática. Nos últimos tempos, através da automação, tem-se verificado o decréscimo do nível de emprego para um mesmo volume de atividade industrial.

Num curto prazo, a automação levanta problemas como o desemprego, necessária reconversão e formação do pessoal, consequência da redução de horas de trabalho e, questões relativas ao aumento de salários em atividades de maior produtividade [37]. Quando se fala em desemprego, é necessário ressaltar que não existem somente empregos destruídos, mas ainda e também, empregos modificados pela exigência de conhecimento tecnológico. Não restam dúvidas que o caminho não é impedir a automatização, porque isso será impossível, mas antes, aumentar a capacitação dos profissionais, por forma a fazer face aos desenvolvimentos da tecnologia [4, 36]. A rápida mudança no fabrico criou uma janela de oportunidades de carreira. Técnicos e engenheiros qualificados que podem trabalhar com estas novas tecnologias são cada vez mais requisitados. A automação criou uma necessidade de projetistas que podem utilizar Sistemas CAD / CAM para projetar e construir sistemas automatizados e para pessoas que sejam capazes de programar e integrar os dispositivos. Há a necessidade de formar engenheiros de campo e pessoal de manutenção, e estão disponíveis inúmeras oportunidades para engenheiros de vendas que entendem as novas tecnologias, e como aplicá-las [38].

A automação geralmente é instalada apenas quando representa uma opção económica. As empresas devem evitar aplicações complexas, especialmente nas primeiras tentativas de aplicação de uma nova tecnologia. A determinação do período de retorno é usada frequentemente para decidir se o projeto é uma escolha viável. A maioria das empresas quer um período de retorno do investimento inferior a dois anos, antes de investir num robô [9, 11].

2.2 A Soldadura

Poderá definir-se soldadura como a técnica de unir duas ou mais peças, como partes de um todo, assegurando entre elas a continuidade geométrica, as características mecânicas, metalúrgicas e químicas do material, sendo usada para unir metais de modo a que as propriedades físicas e mecânicas da junta soldada sejam tão boas ou melhores do que as patenteadas pelos materiais de base [39]. Poderão ser usados materiais de adição ou não, consoante o processo, os materiais envolvidos e a espessura dos mesmos. Soldaduras realizadas sem o uso de metais de adição são conhecidas como soldaduras autógenas [1]. A soldadura é geralmente usada para unir peças do mesmo material, mas pode ser utilizada para unir peças de materiais diferentes [9].

A integridade de um componente soldado, que possui continuidade metalúrgica ao longo da junta, também é caracterizada por propriedades como a estanquidade,

resistência à pressão ou resistência ao calor e à corrosão. Estas propriedades contribuíram para o seu rápido desenvolvimento, tanto técnico como económico em todos os campos, incluindo energia nuclear, engenharia química, construção de pontes, construção naval, fabrico de automóveis, locomotivas e material circulante, motores de aeronaves, eletrodomésticos e equipamento militar, entre muitos outros.

A soldadura por arco elétrico é um dos vários processos de fusão para unir metais. Pela aplicação de calor intenso, o metal na junção entre duas partes é fundido e causa diretamente a ligação ou, mais comumente, acrescenta-se à operação um metal de adição fundido [40, 41]. Após o arrefecimento e solidificação, resulta uma ligação metalúrgica. Como a junção resulta da mistura dos materiais de base (se diferentes) e do material de adição, a soldadura final tem o potencial de exibir na junta as mesmas propriedades de resistência que o metal das peças. Isto contrasta acentuadamente com outros processos de união, tais como a brasagem ou a colagem - nos quais as propriedades mecânicas e físicas dos materiais de base não podem ser replicadas na junta [42]. A soldadura tem como principais funções: a ligação de materiais, recuperação e enchimentos, beneficiação superficial e corte [24].

2.2.1 Importância da soldadura no mercado da metalomecânica mundial

A dimensão do mercado global de produtos de soldadura foi estimada em 11,82 mil milhões de Dólares em 2015, e espera-se um crescimento significativo ao longo do período de previsão (2016-2025). Este crescimento pode ser atribuído à crescente necessidade dos principais segmentos de mercado, tais como a construção, transportes, automóveis e marinha. Durante o período de 2016 a 2025, o mercado global deverá crescer a uma taxa CAGR de 5,3% (*Compound Annual Growth Rate*, em português, Taxa Composta Anual de Crescimento), para alcançar 19,76 mil milhões de Dólares em 2025. Esse crescimento estará relacionado com a rápida urbanização e desenvolvimento de infraestruturas, especialmente de economias emergentes como a Índia, China e outras. Ásia-Pacífico e Europa, juntas, representam mais de 53% do mercado global. Espera-se que o desenvolvimento rápido das infraestruturas e os avanços tecnológicos na indústria automóvel, estimulem a procura durante o período da previsão [43]. A figura 1 representa um gráfico circular, com o mercado global de produtos de soldadura distribuídos em percentagem, e por região do globo.

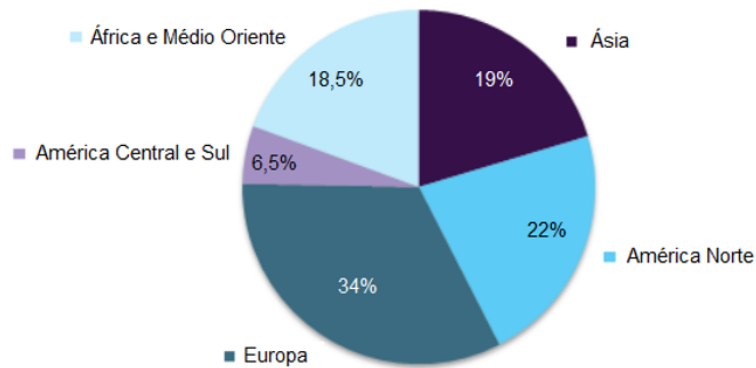


Figura 1 – Gráfico representativo do Mercado global de produtos de soldadura em (%), por região, 2015. [43]

A indústria da construção na Ásia-Pacífico é um fator proeminente que promove o crescimento da tecnologia de soldadura, impulsionada principalmente pelo aumento dos investimentos em desenvolvimento de infraestruturas e rápida industrialização, especialmente nas economias emergentes da região. A Ásia-Pacífico foi responsável pelo consumo de 3.883,7 milhões de Dólares em material de soldadura em 2015, e está previsto crescer a uma taxa de 6,3% anuais entre 2016 e 2025. O crescimento do segmento automotivo em polos como a Alemanha e China deverá impulsionar a procura nos próximos anos [43].

Outros estudos de mercado apresentam valores um pouco diferentes. A indústria da soldadura e fabrico nas últimas décadas experimentou altos e baixos significativos, mas agora está preparada para registar um crescimento significativo até 2020, com os novos mercados emergentes e tecnologias que remodelarão o setor [44].



Figura 2 - Crescimento do mercado de produtos até 2022 [44]

Em 2016, o mercado de produtos de soldadura estava avaliado em 20,67 mil milhões de Dólares (Figura 2), e estão previsto para 2022 mais de 32,63 mil milhões de Dólares com um CAGR (*Compound Annual Growth Rate*) de 7,5% neste período, de acordo com o relatório de pesquisa de mercado da Zion (*Zion Market Research™*).

O mercado de equipamentos, acessórios e consumíveis expandirá de 19,57 mil milhões de Dólares em 2016 para 24 mil milhões de Dólares em 2021, com um CAGR menor de 4,23% de acordo com o relatório *Markets & Markets de 2016*, aqui resumido. Grande parte desse crescimento, de acordo com o Relatório de Pesquisa de Mercado de Soldadura da *Frost and Sullivan 2016*, será impulsionado pelo setor de soldadura por arco elétrico, que deve chegar a 6,1 mil milhões de Dólares até 2020, com um CAGR de 5,8%, acima do crescimento médio desta indústria [44].

Ásia-Pacífico – Pesquisas de mercado sugerem que grande parte do valor nos mercados de produtos de soldadura será impulsionado pelas indústrias como a exploração de petróleo e gás na região, e essas indústrias devem gerar um crescimento significativo até 2022.

América do Norte - Provavelmente haverá um crescimento moderado no mercado de produtos de soldadura, decorrente da alta procura das indústrias automóvel e de construção, o qual é nefastamente compensado pelos altos custos de mão-de-obra, de acordo com o mesmo relatório.

África e Médio Oriente - Provavelmente também farão parte desse crescimento substancial do mercado, que se deve em parte à crescente urbanização e reservas significativas de matérias-primas, que impulsionarão respetivamente as indústrias de construção e transporte.

Europa - Uma das principais conclusões do relatório de pesquisa é que, apesar do forte crescimento noutros lugares, a percentagem de consumo global de equipamento de soldadura na Europa, provavelmente contrair-se-á devido à escassez de mão-de-obra especializada em soldadura.

O mercado de equipamentos e consumíveis irá apoiar-se no crescimento do mercado de produtos na maioria das regiões. Embora as previsões apontem para um crescimento de mercado, a área da soldadura deverá sofrer alterações e adaptar-se a novas realidades, tendo como principais desafios, os registados nos parágrafos seguintes. O relatório de pesquisa de mercado da *Zion* deixa bem claro que os custos de mão-de-obra e a disponibilidade são os principais problemas que afetam os mercados mais desenvolvidos, como EUA e Europa, pois o conjunto de habilidades pode simplesmente não estar disponível para atender às necessidades de mercado. As empresas precisam reduzir os funcionários e investir em novas tecnologias de soldadura de alta produtividade, para serem competitivas com os mercados da Ásia-Pacífico [45]. A *Vision for Welding Report*, aqui relacionado, discute outras questões-chave que incluem o perfil e a estrutura da indústria de soldadura, a avaliação da força de trabalho de soldadura e a necessidade de um rápido desenvolvimento tecnológico no setor de soldadura [45].

O processo de soldadura é crucial para a indústria automóvel no fabrico de componentes e chassis de veículos, na construção naval para operações em

componentes estruturais como reforços, tubagens e máquinas. Nos últimos anos, os fabricantes de equipamentos de soldadura têm colocado particular ênfase no estudo e aplicação de tecnologia avançada. Por exemplo, a crescente adoção da tecnologia automatizada, permite que os soldadores soldem metais mais espessos e complexos, sem que haja riscos acrescidos para a saúde. O crescimento na procura por produtos de soldadura é diretamente proporcional ao crescimento da indústria automóvel. Os produtos de soldadura são também amplamente utilizados na construção de tubagens, construção civil, pontes e outros trabalhos de engenharia.

2.2.2 Processos de soldadura

Tendo em conta os tipos ou combinações de energia necessárias ao processo de soldadura, a *American Welding Society* distinguiu e referenciou cerca de cinquenta tipos diferentes de operações de soldadura. Podemos dividir os processos de soldadura em dois grandes grupos: (1) soldadura por fusão e (2) soldadura em estado sólido [11, 24, 46].

Soldadura por fusão

Os processos de soldadura por fusão usam calor para fundir os metais de base. Em muitas operações de soldadura por fusão, é adicionado à poça de fusão um metal de adição, para facilitar o processo e fornecer volume e resistência à junta soldada. Uma operação de soldadura por fusão, na qual não é adicionado qualquer metal de adição, é chamada de camada autógena. A categoria de fusão inclui os processos de soldadura mais conhecidos e utilizados, que podem ser organizados nos seguintes grupos gerais (as iniciais entre parênteses são designações da *American Welding Society*):

- Soldadura por arco elétrico (AW) - A soldadura por arco elétrico refere-se a um grupo de processos de soldadura em que o aquecimento dos metais é realizado por um arco elétrico. Algumas operações de soldadura a arco também aplicam pressão durante o processo, e a maioria utiliza um metal de adição.
- Soldadura por resistência (RW) – Este processo alcança a coalescência através do calor provocado pela resistência à passagem de uma corrente elétrica entre as superfícies em contato de duas peças mantidas juntas sob pressão.
- Soldadura oxiacetilénica (OFW) - Esses processos de junção usam uma mistura de gases, normalmente oxigénio e acetileno, que produz uma chama capaz de fundir o metal base e o metal de adição.
- Outros processos de soldadura por fusão - Outros processos de soldadura que produzem a fusão dos metais, incluem soldadura por feixe de eletrões e soldadura por feixe de laser, entre muitos outros.

Soldadura em estado sólido

A soldadura no estado sólido refere-se a processos de junção nos quais a coalescência resulta da aplicação somente de pressão ou de uma combinação de calor e pressão. O calor usado no processo está abaixo do ponto de fusão dos metais que vão ser soldados (temperatura de forjagem). O processo não usa habitualmente qualquer metal de adição [11, 24, 45]. Os processos de soldadura representativos neste grupo incluem:

- Soldadura por difusão (DFW) - Duas superfícies são mantidas juntas sob pressão a uma temperatura elevada, e as peças coalescem por difusão em estado sólido.
- Soldadura por fricção (FRW) - A coalescência é alcançada pelo calor gerado pelo atrito entre duas superfícies, existindo igualmente pressão axial.
- Soldadura ultrassónica (USW) - Uma pressão moderada é aplicada entre as duas partes e um movimento oscilante, usando frequências ultrassónicas, é aplicado numa direção paralela às superfícies de contato. A combinação de forças normais e vibratórias resulta na união atômica das mesmas.

Os vários processos de soldadura podem ser usados para unir a maioria dos materiais metálicos e alguns dos não metálicos, seja na forma fundida ou forjada, em espessuras desde alguns micrómetros, até mesmo 1 m ou mais [39].

2.2.3 Classificação dos processos de soldadura

Existem vários tipos de soldadura [41], os quais estão parametrizados pela norma EN ISO 4063 que classifica e denomina os processos de acordo com o estabelecido no Anexo 1. Apesar de existirem inúmeros processos de soldadura, conforme indicado nesse Anexo 1, os processos mais conhecidos e aplicados são os representados na tabela 3.

Tabela 3 - Processos mais utilizados e conhecidos em soldadura [46]

Nº	PROCESSOS
111	Soldadura por arco, por gravidade com elétrodo revestido
135	Soldadura MAG: soldadura por arco sob proteção de gás ativo com fio – elétrodo fusível
136	Soldadura por arco sob proteção de gás ativo com fio - elétrodo recheado
141	Soldadura TIG: soldadura por arco em atmosfera inerte com elétrodo de tungsténio
16	Soldadura com plasma
21	Soldadura por pontos (por resistência)
311	Soldadura oxiacetilénica

41	Soldadura por ultrassons
42	Soldadura por fricção
441	Soldadura por explosão
45	Soldadura por difusão
74	Soldadura por indução
751	Soldadura por laser
753	Soldadura por Infravermelhos

2.2.4 Automatização de processos de soldadura

Entre os trabalhos de soldadura de construção, a soldadura de pilares e vigas de aço é um dos focos principais da automação e robotização, visando reduzir o tempo de trabalho de soldadura e melhorar as condições de trabalho dos soldadores que, quando estão nas obras, estão expostos a projeções, alta temperatura e trabalho em altura. Alguns destes equipamentos também incorporam um sistema de controlo de soldadura e selecionam automaticamente os parâmetros de soldadura apropriados ao trabalho [20], sendo normalmente designados por equipamentos sinérgicos [24]. Devido aos perigos da soldadura manual, e aos esforços para aumentar a produtividade e melhorar a qualidade do produto, foram desenvolvidas várias formas de mecanização e automação. As categorias incluem soldadura mecânica, soldadura automática e soldadura robótica [11, 46].

A soldadura mecânica (Figura 3) pode ser definida como soldadura mecanizada, com equipamentos que realizam a operação sob a supervisão contínua de um operador. É normalmente realizado por uma cabeça de soldadura que é movida por meios mecânicos em relação a um trabalho estacionário, ou movendo o trabalho em relação a uma cabeça de soldadura estacionária. O trabalhador deve observar e interagir continuamente com o equipamento, para controlar a operação.

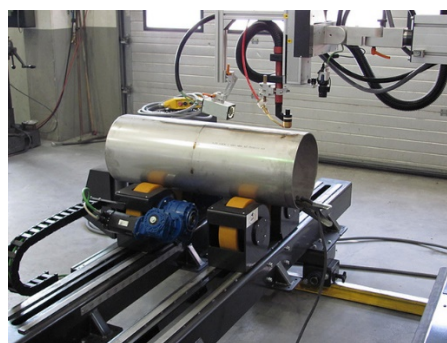


Figura 3 - Soldadura circunferencial mecânica de juntas [47]

Se o equipamento é capaz de realizar a operação sem controlo de um operador, é chamada de soldadura automática (Figura 4). Um trabalhador está geralmente presente para supervisionar o processo e detetar variações das condições normais. O que distingue a soldadura automática da soldadura mecanizada, é um controlador que regula a movimentação do arco ao longo da junta e o posicionamento da peça de trabalho, sem atenção humana contínua. A soldadura automática requer um dispositivo de soldadura e/ou posicionador, para posicionar o trabalho em relação à cabeça de soldadura. Também requer um maior grau de consistência e precisão nas peças que se pretendem unir. Por estes motivos, a soldadura automática pode ser justificada apenas para produção em grande série.

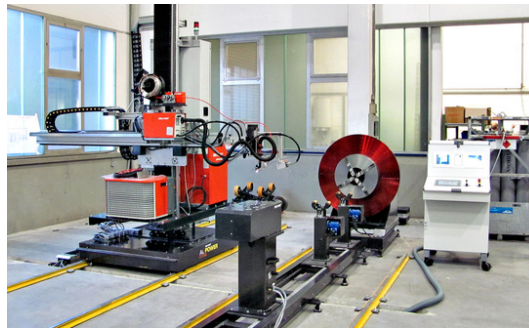


Figura 4 - Sistema automático para soldadura circunferencial de tubos de pequeno diâmetro [47]

Na soldadura robótica (Figura 5), é usado um robô industrial ou manipulador programável para controlar automaticamente o movimento da cabeça de soldadura em relação ao trabalho. O alcance versátil do braço robótico permite o uso de equipamentos relativamente simples, e a capacidade do robô ser reprogramado para novas configurações de peças, justificando que este tipo de automação possa ser usado no fabrico de lotes de reduzida dimensão. Uma célula robótica típica de soldadura a arco consiste em dois dispositivos de soldadura e um operador para carregar e descarregar peças, enquanto o robô solda. Além da soldadura a arco, os robôs industriais também são usados em montagens finais de automóveis, para realizar soldaduras por resistência em carroçarias de veículos automóveis [11, 46].



Figura 5 - Robôs de soldadura na indústria automóvel [48]

Muitos dos processos de soldadura tradicionais são trabalhosos e consomem bastante tempo. Uma análise dos custos de soldadura mostra que cerca de 70 a 80% do custo total pode ser explicado pelo elemento mão-de-obra. A automação na soldadura é um meio de reduzir o custo total da operação de soldadura, substituindo parte ou todo o esforço manual por um sistema mecanizado. A introdução da automação pode, no entanto, ter muito mais significado do que o seu efeito primário nos custos da mão-de-obra; em particular, a sua influência sobre os seguintes factos deve ser considerada: segurança e saúde; qualidade do produto e flexibilidade de fornecimento [47-50].

A automação de soldadura pode variar de simples posicionadores a sistemas totalmente integrados. Para maior clareza, as várias opções serão discutidas sob os seguintes títulos:

- Mecanização simples;
- Automação dedicada e de propósito especial;
- Soldadura robótica;

2.2.5 Mecanização simples

Os sistemas de mecanização simples mais comuns podem ser agrupados sob as seguintes rubricas:

- Sistemas de tração;
- Posicionadores e manipuladores.

Sistemas de tração

Estes são baseados num simples sistema de tração impulsionado eletricamente, que pode ser conduzido ao longo da superfície da chapa, ou pode ser montado numa esteira e acionado por uma cremalheira e pinhão. A cabeça de soldadura é montada no equipamento de tração, geralmente num subequipamento em forma de grampo ajustável. Os sistemas de acionamento por fricção, montados diretamente, são geralmente considerados satisfatórios para soldadura a arco submerso, mas, para soldadura com fio fluxado e GMAW, os sistemas acionados por engrenagem montados sobre esteiras são preferidos, uma vez que são menos propensos a escorregar.

O trilho é normalmente fornecido em comprimentos retos para costuras lineares, mas é possível obter anéis de trilhos circulares para soldadura de tubos, e trilhos anelares integrais para corte circular e soldadura.

O utilizador também pode adaptar esses dispositivos para atender a uma determinada aplicação, usando uma ampla gama de acessórios padrão; estes incluem dispositivos de oscilação da tocha, para permitir a realização de soldaduras posicionais através de GMAW, reboques para transportar equipamentos auxiliares (por exemplo, unidades

de alimentação de arame), corredeiras transversais motorizadas e dispositivos táteis de seguimento de costura.

A portabilidade do equipamento torna este tipo de equipamento particularmente adequado para aplicações de soldadura de dimensões consideráveis, como estruturas marinhas, edifícios e tanques de armazenamento.

Estações de soldadura fixas

Podem ser usados posicionadores rotativos simples e tornos de soldadura para mover componentes relativamente pequenos sob uma cabeça de soldadura fixa, ou até mesmo uma tocha mantida manualmente.

Este tipo de automação pode ser facilmente justificado para lotes relativamente pequenos. É particularmente adequado para cordões de soldadura circulares, mas também estão disponíveis corredeiras lineares fixas para cordões retos.

2.2.6 Automação dedicada e de propósito especial

A automação, quando aplicada a processos de soldadura, pode assumir diferentes configurações, atendendo à especificidade do produto e tamanho do lote. Seguidamente irão ser passados em revista algumas dessas configurações.

Automação dedicada

A automação dedicada envolve o projeto de um sistema de soldadura especial para uma aplicação específica, e o equipamento resultante pode não ser adaptável a mudanças no projeto da junta ou do componente. Este tipo de automação geralmente é justificado apenas para grandes volumes de produção de componentes com vida útil prolongada. A automação dedicada tem sido tradicionalmente usada para componentes automóveis, como rodas e sistemas de exaustão, com uma ampla gama de processos de soldadura, incluindo Resistência, GTAW e GMAW.

Sistemas de soldadura dedicados também têm sido utilizados em situações onde estejam previstos volumes de produção menores e ciclos de vida mais curtos, onde o ambiente de soldadura seja particularmente hostil ou a qualidade do produto final seja de importância primordial.

Sistemas de automação para aplicações especiais

A automação para aplicações especiais foi desenvolvida para situações particulares e específicas, onde poderão existir juntas com componentes semelhantes dentro de uma dada família, possuindo apenas dimensões diferentes.

2.2.7 Robotização de processos de soldadura

A soldadura a arco é das aplicações mais comuns nos robôs. Soldaduras robotizadas a arco elétrico são muito mais consistentes do que soldaduras efetuadas manualmente [9].

Os fabricantes fazem peças que variam muito pouco, mas devem prever o fornecimento de bons acessórios de fixação das peças para a operação de soldadura. Os equipamentos devem localizar precisamente as peças, e posicioná-las convenientemente para receberem a soldadura [13].

Alguns métodos robóticos exclusivos estão a ser utilizados para compensar as imprecisões das peças. A visão artificial é uma realidade, mas por causa do ambiente nefasto que a soldadura cria, ainda está em fase de aperfeiçoamento [51]. Outro método aplicado tem sido a análise da corrente de soldadura em tempo real. Uma soldadura, para unir duas peças contíguas, geralmente usa uma curva de corrente característica. Ao detetar a corrente, o caminho do robô pode ser ajustado automaticamente para compensar imprecisões e lacunas.

A soldadura por pontos segue o princípio já anteriormente descrito. O acessório de soldadura por pontos é muito tolerante a imprecisões posicionais, e o robô pode fazer a soldadura de forma consistente e precisa [9].

Podemos definir soldadura robotizada como a aplicação de componentes mecânicos e eletrónicos para a execução de funções básicas de um processo de soldadura, exigindo-se componentes inteligentes para a movimentação do arco elétrico sobre a peça de trabalho, assim como fixadores para assegurar o posicionamento dos materiais, manipulando tanto a peça de trabalho, como o arco elétrico. Além disso, consideram-se também sensores para monitorizar parâmetros de soldadura e, a partir deles, o controlo do processo [51].

Soldadura robotizada é uma forma específica de soldadura automática e é definida pela AWS como a soldadura realizada com equipamento próprio (robô, manipulador), o qual executa operações de soldadura, após programação, sem necessidade de ajuste ou controlo por parte do operador de soldadura. O primeiro processo de soldadura a ser robotizado foi a soldadura por resistência elétrica por pontos, que surgiu na década de 70. A robotização desse processo, introduzido inicialmente na indústria automóvel, mudou completamente a conceção da linha de produção de automóveis, pois a precisão e a produtividade aumentaram significativamente. Atualmente, o processo de soldadura por arco elétrico é, entre os vários processos existentes, um dos mais utilizados na soldadura robotizada. Os processos de soldadura e corte com interface com os robôs industriais atualmente existentes, são:

- MIG-MAG;
- TIG;

- Corte e soldadura por plasma
- Soldadura por resistência;
- Corte e soldadura por laser.

Um robô industrial é um dispositivo reprogramável, projetado para manipular e transportar peças ou ferramentas, por meio de movimentos variáveis previamente programados para o desempenho de tarefas de fabrico específicas [50]. No caso de robôs de soldadura, as ferramentas ou complementos de fabrico especializados consistem em cabeças de soldadura, sistemas de alimentação de arame e dispositivos de rastreamento. Os processos para os quais os sistemas de soldadura por robôs estão agora disponíveis incluem GMAW, FCAW, SAW, GTAW, plasma, resistência e laser.

O sistema normal de soldadura com robôs industriais é basicamente composto por [51]:

- Um braço mecânico ou sistema de manipulação: a configuração mais comum para robôs de soldadura de uso geral é o braço articulado, geralmente com seis ou mais eixos de movimento. A vantagem do braço articulado é sua flexibilidade e a capacidade de alcançar áreas de difícil acesso (tem uma configuração semelhante ao braço humano);
- Um *software* próprio e ferramentas próprias para cada tipo de soldadura: o *software* para soldadura robótica dependerá obviamente do processo que vai ser usado. Para a soldadura por resistência, a extremidade do robô precisa carregar uma pistola de soldadura por resistência portátil. É importante que a extremidade seja robusta para garantir uma operação repetível, mas também deve ser compacta e manobrável. O transformador de soldadura pode ser separado da cabeça de soldadura, mas isso envolve o uso de cabos secundários pesados e as potenciais perdas de energia. Para aplicações de soldadura a arco, é necessária uma fonte de energia com recursos para controlo remoto e estabilização de saída. Na maior parte dos sistemas GTAW, o robô simplesmente precisa levar uma tocha e os cabos bastante leves, enquanto nas aplicações GMAW e FCAW, o fio de enchimento deve ser alimentado na cabeça de soldadura. A alimentação de arame é essencial para evitar a falha do sistema. É desejável montar o alimentador de arame na parte traseira do braço do robô, com um tubo razoavelmente curto para conduzir o fio deste alimentador para a tocha. Alguns sistemas empregam um alimentador auxiliar imediatamente adjacente à tocha, para garantir a alimentação do arame e é comum o uso de *pay-off's* de grande capacidade. Instalações de corte de fio e limpeza da tocha também devem ser fornecidas e, em alguns casos, as cabeças de tocha intercambiáveis também são usadas; estes são armazenados num carrossel e podem ser substituídos automaticamente durante o ciclo do robô.

Em aplicações de soldadura a laser, o raio laser pode ser conduzido ao longo do braço do robô até à estação de trabalho por uma série de espelhos no caso de um laser de CO₂ ou por meio de cabos flexíveis de fibra ótica no caso de díodo Nd: YAG e lasers de fibra.

- Um sistema de controlo: sistema que permite a programação e a emissão de ordens para os diferentes motores do robô, conforme o estabelecido pelo programa.

2.2.8 Recentes avanços na automatização de processos de soldadura

Ao longo da sua existência, foram feitos avanços no desenvolvimento de sistemas e aplicações para automação de soldadura, em particular [50]:

- Controlo adaptativo;
- Sistemas flexíveis de fabrico;
- Simulação e programação *off-line*;
- Sistemas integrados de automação;
- Prototipagem rápida.

De seguida é realizada uma breve descrição destes desenvolvimentos.

Controlo adaptativo - As técnicas podem ser ajustadas para melhorar a tolerância dos sistemas de automação às variações normais nas dimensões dos componentes, posição da junta e características do material. Estas técnicas não devem, no entanto, ser consideradas como a primeira ou única solução para problemas deste tipo; o redesenho da preparação conjunta ou melhorada dos componentes, é muitas vezes mais rentável.

Sistemas flexíveis de fabrico (FMS) - São usados em muitas aplicações que não são de soldadura. Permitem que sejam feitas reduções no volume de trabalho em curso de execução, programando automaticamente as operações para se adequarem à disponibilidade e à procura dos componentes. Um exemplo simples, mas efetivo deste sistema, é o sistema de soldadura flexível *Autotech*. Neste sistema, é utilizado um transportador para deslocar paletes padrão de 750 mm × 1200 mm, contendo os componentes a serem soldados. Cada paleta tem um gabari adequado para o componente específico que vai ser montado nele, e é identificado por um arranjo exclusivo de cinco tomadas laterais. Quando a paleta entra na estação do robô, a posição das tomadas é lida por chaves de proximidade e alimentada ao controlador do robô, que seleciona o programa de soldadura apropriado. As paletes podem ser carregadas no sistema em qualquer sequência, e o rendimento pode variar de acordo com a disponibilidade de peças [50].

Esta abordagem foi estendida ao uso de AGVs (*Automatic Guided Vehicle*, veículos guiados automaticamente, em Português) para transportar a peça de trabalho e métodos alternativos de identificação de componentes. O uso de sistemas flexíveis de produção na fabricação de equipamentos pesados de construção, resultou numa economia de 28%. Esta abordagem não se restringe à soldadura robótica, podendo ser aplicada a sistemas dedicados e modulares, que são equipados com controladores programáveis adequados [50,51].

Simulação e programação off-line - A programação de sistemas robóticos pode consumir uma quantidade significativa de tempo, o que poderia resultar em perdas de produção. A programação *off-line* permite que o programa do robô seja desenvolvido numa estação de trabalho remota, e transferido para o controlador do robô quase instantaneamente. Vários sistemas estão disponíveis para programação *off-line*, os quais compartilham as seguintes características: um modelo gráfico e cinemático do robô é armazenado como um arquivo de biblioteca num computador (um *mainframe*, computador em grande porte dedicado ao processamento de um volume enorme de informação) ou um computador pessoal, dependendo do sistema [50]. A peça e a descrição da junta podem ser carregadas no programa e a operação de soldadura pode ser simulada usando o robô selecionado.

A programação dos equipamentos pode ser conseguida de forma direta a partir de desenho impresso; a partir de ficheiro DXF; a partir de modelo tridimensional; ou por programação direta em linguagem Máquina, linguagem ISO, ou por sistema de seguidor.

A simulação completa pode ser traduzida na linguagem de controlo do robô real e transmitida ao sistema por qualquer meio de transmissão de dados. Os pacotes de programação típicos de simulação *off-line* oferecem simulações rápidas e realistas de modelos sólidos da aplicação, permitindo que a instalação proposta seja totalmente avaliada e otimizada, sem incorrer em paragens de produção. Os ficheiros CAD de peças e acessórios podem ser lidos no *software* de simulação, que é equipado com uma grande biblioteca de definições de robôs. O desempenho da célula do robô pode ser testado e problemas potenciais (por exemplo, colisões e limitações de acesso) são prontamente identificados e exibidos no monitor. O sistema também oferece a facilidade de gerar desenhos CAD da célula de trabalho final e transferir o programa simulado para o sistema de controlo, usando a linguagem nativa do robô utilizado.

Um exemplo interessante da abordagem de programação *off-line* é a sua aplicação à construção naval. Um sistema típico consiste numa armação especial, na qual é suspenso um robô de braço articulado; a armação é aproximada da área de trabalho e um programa inicial de localização de juntas verifica a orientação do sistema e corrige as configurações de referência. A programação *off-line* é usada para preparar o programa e este, por sua vez, é transferido para o controlador de modo que, uma vez

que a unidade tenha estabelecido a sua posição exata, possa realizar as soldaduras prescritas [50].

Um sistema semelhante foi usado no estaleiro Odense, na Dinamarca, com um robô programável Hirobo NC. Os programas criados em computador pessoal são, neste caso, transferidos para o controlador do robô por meio de um *plug* na memória, e o robô deixa de produzir apenas 30 segundos [50].

Sistemas integrados de automação - Muitos dos sistemas de soldadura automatizada do tipo descrito acima, foram desenvolvidos em sistemas integrados, nos quais a célula de soldadura é autocontida, mas ligada a outros processos de fabrico por uma rede de comunicação de dados. Vários fabricantes oferecem agora "células" de soldadura robotizada configuradas para uma faixa específica de aplicações e são fornecidas com todos os componentes necessários, incluindo telas de segurança e extração de fumos [50].

Alternativamente, podem ser usados **sistemas dedicados ou modulares** com controlo por computador para construir a célula básica. A abordagem do sistema de soldadura integrado também pode ser usada com automação modular, controlada por computador ou sistemas dedicados. Projetos deste tipo foram avaliados para a produção de soldaduras GTAW de alta precisão numa variedade de componentes de *design* similar, dentro de uma mesma família de produtos. Para acomodar os diferentes tamanhos, as paletes do componente são equipadas com *tags* de identificação por radiofrequência (*tags Eureka*) que se comunicam com o controlador e reinicializam o sistema para o componente a ser soldado. Para garantir o posicionamento preciso da tocha neste tipo de instalação, a posição do eléctrodo pode ser medida antes de cada passagem, movendo-a entre um par de feixes de luz cruzados (isto é capaz de garantir a repetibilidade posicional em $\pm 0,025$ mm). A gestão geral do sistema pode ser controlada por um controlador CNC, que também pode atuar como uma interface para comunicação de dados para um *cluster* associado de estações de preparação e acabamento [50]. Sistemas deste tipo podem ser considerados como o equivalente a um centro de maquinaria e são facilmente integrados numa instalação de produção totalmente integrada. É claro que esta abordagem pode garantir uma melhoria significativa da qualidade, alta produtividade e flexibilidade de fornecimento.

Prototipagem Rápida - A soldadura automatizada pode ser usada para criar formas metálicas a partir do metal de soldadura depositado. Recentemente, os processos robotizados GMAW e GTAW têm sido utilizados para criar formas metálicas mais complexas. A abordagem robótica ajuda a traduzir projetos realizados em computador (CAD 3D) para a linguagem de programação nativa do robô. O robô segue o caminho prescrito para gerar a forma necessária. O processo é um meio muito rápido de preparar um objeto de metal sólido diretamente a partir de um desenho CAD e, desde que os parâmetros do processo sejam otimizados, o metal resultante terá

propriedades mecânicas que serão pelo menos equivalentes àquelas que foram requeridas.

Revestimentos superficiais – A robótica aplicada à soldadura permitiu também uma forte evolução na reconstituição de componentes desgastados, através de nova deposição de material por fusão nas zonas sujeitas a desgaste. Duas abordagens são possíveis:

- Pré-maquinar o componente desgastado para uma forma e tamanho uniformes;
- Medir o perfil de desgaste e programar o caminho do robô para depositar metal suficiente para restaurar o perfil original;
- Voltar a maquinar, para regularizar a superfície.

A primeira dessas abordagens foi aplicada ao desgaste de peças de equipamentos pesados de terraplenagem. Tem a vantagem de que um simples programa de robô pode ser usado sem qualquer necessidade de controlo adaptativo ou sensor de perfil. No entanto, exige uma operação de pré-maquinação. A segunda abordagem foi investigada para reparações em turbinas hidráulicas. Neste caso, a célula robotizada é integrada no controlo do computador e um levantamento preliminar da superfície fornece dados do perfil inicial, que são convertidos num programa de robô especificamente destinado a restaurar o perfil desgastado. A digitalização pode ser realizada usando sensores táteis (para simplificar) ou sistemas de visão artificial. Uma abordagem combinada tátil/sistema de visão provou ser eficaz na redução dos tempos de programação, para cerca de dez segundos [50]. Em outro trabalho, um robô antigo foi estudado e aplicado a um processo de soldadura GMAW para grandes estruturas, usadas em autocarros através do uso de pistas de deslocamento, mantendo as características de precisão definidas inicialmente para a célula de soldadura. Esta configuração permite o uso de técnicas reconfiguráveis, bem como a futura implementação de visão artificial, permitindo também a aplicação de RFID nos gabaritos que permitem a seleção do caminho correto do robô, programa (incluindo parâmetros de soldadura) e tempo de troca rápido. Além disso, o *layout* da célula é condicionado pela configuração e capacidade do robô relativamente às peças de maior porte necessárias produzir na célula [23].

Em outro trabalho referente a um verdadeiro caso de fabrico ferroviária, foi estudado, desenvolvido e implementado um sistema inovador de soldadura GMAW com um sistema de visão que consiste numa câmara de vídeo, cabeça de laser e um filtro passa-banda. O sistema desenvolvido é capaz de executar o ajuste automático dos parâmetros do processo de soldadura, através de um procedimento de *software* dedicado, de acordo com a informação recolhida pelo sistema de visão. Com referência ao estudo de caso industrial, que consiste na soldadura de um quadro lateral do bogie (*conjunto de rodas, sapatas de freio, rolamentos, molas, eixos, cilindros de freio*), o procedimento de *software* desenvolvido nas instalações do laboratório foi testado

experimentalmente no equipamento GMAW disponível. Para permitir a aplicabilidade do inovador sistema de soldadura ao estudo de caso industrial real, foi necessária uma reconfiguração adequada do sistema, devido às fortes limitações em termos de tamanho de peça e complexidade de juntas relacionadas com o dispositivo existente de três eixos de movimento [52]. Com base num sistema de detecção, foi estabelecido um equipamento automatizado de controlo de penetração de soldadura. Foi proposto um método especial de pré-processamento chamado “atenção auditiva”, o qual consiste na remoção de ruído baseado no algoritmo do *software Wavelet*. Os resultados mostraram que o controlador pode ajustar de forma rápida e precisa a corrente de soldadura, de acordo com a mudança do som do arco nas diferentes peças a trabalhar. Os resultados foram bons o suficiente para alcançar *online* a monitorização do índice de penetração de uma liga de alumínio no processo GTAW [53].

Em outro trabalho, foi desenvolvido um método para deteção e classificação automática de defeitos em imagens radiográficas de juntas soldadas. O método proposto localiza o cordão de soldadura nas imagens radiográficas, segmenta descontinuidades (defeitos potenciais) no cordão de soldadura detetado, e extrai características dessas descontinuidades. Esses recursos são usados posteriormente num algoritmo de retropropagação, para classificar descontinuidades em “defeito e ausência de defeito”. O classificador atingiu uma precisão de 88,6% para os dados testados [54].

A fim de realizar a soldadura automática de tubos num ambiente de operação complexo, foi desenvolvido um sistema de soldadura automática recorrendo a fios fluxados autoprottegidos em todas as posições, devido às suas vantagens, como soldabilidade em todas as posições, boa capacidade de remoção, estabilidade do arco, baixo nível de fusão incompleta, sem necessidade de soldadura com gás de proteção ou proteção contravento, quando a velocidade do mesmo é menor que 8 m/s. Este sistema consiste num transportador de soldadura, um trilho-guia, um sistema de controlo automático, uma fonte de soldadura e um alimentador de arame. Foram realizadas experiências de soldadura com este sistema no aço X-80 usado em tubagens, para determinar os parâmetros apropriados de soldadura [55].

Em outro trabalho, foi desenvolvida uma célula robotizada de soldadura híper-flexível com 9 graus de liberdade (unidade de braço robótico de 6 eixos, montado num pórtico XYZ de 3 eixos), adaptado para a fabrico de pequenos lotes. A célula pode ser programada em CAD (*Computer Aided Design*), permite implementar sequências de soldadura automáticas, até para um programador inexperiente. Os sistemas de visão localizam as peças e o utilizador parametriza as juntas que devem ser soldadas. Então, o programa e a trajetória do robô são gerados automaticamente. A produção pode ser completamente automatizada usando a célula híper-flexível, livre de operações manuais [56].

2.3 Tubagens

Os primeiros relatos de tubos metálicos datam de antes da era Cristã [57]. As tubagens têm diversas aplicações industriais, de entre as quais a ventilação industrial.

2.3.1 Especificidades das condutas para ventilação

Os sistemas de ventilação e de ar condicionado são indispensáveis para a qualidade do ar em zonas interiores. Para garantir o funcionamento correto dos sistemas de ventilação e de ar condicionado, deverá ser prestada especial atenção ao estado das condutas de ventilação. Se o caudal de ar que passa pelas condutas de ventilação for menor do que o previsto, a extração das cargas do interior (quente, frio e substâncias) pode ser insuficiente. Existem anemómetros compactos e instrumentos de medição da pressão diferencial com uma sonda integrada para medir o caudal volumétrico das condutas de ventilação [58]. As normas e diretivas que regem o fabrico de condutas retangulares e circulares são as seguintes [59]:

1. Normas SMACNA (Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association).
2. Norma Portuguesa para condutas metálicas e acessórios com secção circular NP EN 1506 de 1999.
3. Norma Portuguesa para condutas metálicas e acessórios com secção rectangular NP EN 1505 de 1999.
4. Norma Europeia - Requisitos de resistência e estanqueidade para condutas de secção rectangular. EN 1507 de 2006.
5. Norma Europeia - Requisitos de resistência e estanqueidade para condutas de secção circular. EN 12237.
6. Classificação mínima "B" no que respeita à estanqueidade para condutas de secção rectangular, "C" para conduta de secção circular e "D" para conduta de secção circular com vedante.

As condutas circulares são as mais utilizadas em instalações *standard*. Para todo o tipo de fluidos (gás, ar, água, etc.) são as condutas que oferecem menor atrito e maior facilidade no escoamento. Necessitam de menos material, e como tal, são mais leves, tornando a instalação mais económica em termos de acessórios de fixação. A opção pelos diferentes materiais e espessuras carece de uma análise cuidada das variantes envolventes como sejam: os fluidos que vão ser transportados e a sua agressividade, a redução do ruído pela diminuição da vibração da conduta e o isolamento exterior da conduta de forma a reduzir as perdas (ou ganhos) de calor entre o fluido que circula no interior e o meio exterior [60].

2.3.2 Produção de condutas

Atualmente, existem diversos processos industriais para a produção de tubos, que podem ser fabricados sem etapas de soldadura do material, ou seja, tubos sem costura (“*seamless*”) resultando em tubos sem o cordão de soldadura ao longo do comprimento, e tubos com costura (“*welded*”), que podem ser fabricados contendo etapas de soldadura do material. O tubo sem costura é mais resistente, pois tem uma estrutura homogênea em todo o seu comprimento. Os tubos sem costura são fabricados numa variedade considerável de tamanhos, geometrias e características. No entanto, existe uma restrição na fabricação de tubos de grande diâmetro e comprimento [57].

Atendendo ao âmbito deste trabalho, vão ser tratados apenas os tubos com costura, os quais poderão ser longitudinalmente fechados através de soldadura ou conformação plástica. Atendendo mais uma vez ao âmbito deste trabalho, apenas será tratado o processo de soldadura longitudinal de tubagens.

Os tubos com costura são fabricados a partir de chapa contínua, sob a forma de bobina ou tiras. Para fabricar tubo soldado, a primeira chapa ou bobina é enrolada na secção circular com a ajuda da calandra (maiores diâmetros) ou por perfilagem (diâmetros menores). Uma vez a secção circular estar enrolada, o tubo pode ser soldado com ou sem material de adição, dependendo da espessura da chapa. O tubo soldado pode ser fabricado em comprimentos significativos, sem qualquer restrição. Os tubos soldados são mais económicos que o tubo sem costura, mas também apresentam piores propriedades mecânicas, devido à soldadura.

Existem diferentes métodos de soldadura usados para soldar a costura dos tubos:

- EFW (*Electric Fusion Welding*) - Soldadura por fusão eléctrica;
- ERW (*Electric Resistance Welding*) – Soldadura por resistência eléctrica
- HFW (*High-Frequency Welding*) - Soldadura de alta frequência;
- SAW (*Submerged Arc Welding*) - Soldadura por arco submerso (costura longa e costura espiral).

Quando se pretende aplicar alguns dos processos acima indicados, a chapa é colocada sob a forma de virola e os bordos longitudinais dessa virola são soldados por resistência eléctrica ou soldadura por indução de alta frequência [58]. A figura 6 ilustra o processo de obtenção do tubo em contínuo, tendo por base chapa previamente perfilada que, através deste processo, assumiu a forma circular, partindo de uma chapa lisa.

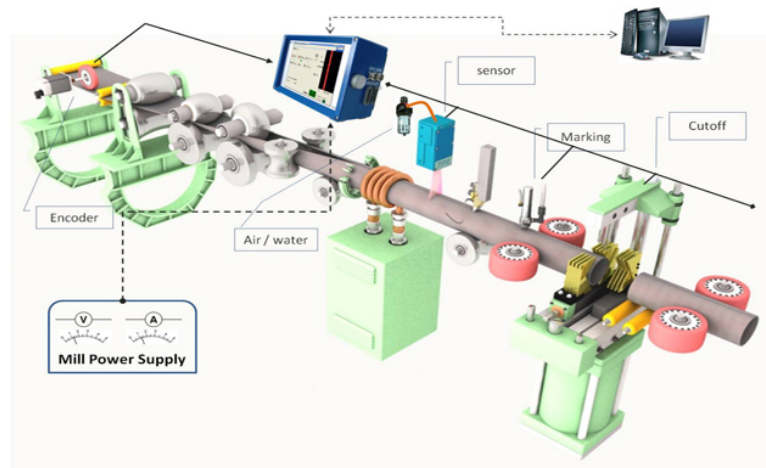


Figura 6 – Equipamento de conformação de tubo e respetiva soldadura por resistência ERW [60]

Em qualquer dos casos, carece de uma união transversal que pode ser realizada por deformação das extremidades, soldadura contínua por resistência ou soldada por arco elétrico.

2.3.3 Processos de Soldadura de Condutas

Soldadura por pontos

A figura 7 mostra a montagem de um topo, numa conduta em chapa de secção circular, através de soldadura por pontos.



Figura 7 – Soldadura por pontos [63]

A soldadura por pontos (RSW, do inglês *Resistance Spot Welding*) é um processo no qual os pontos de contacto da superfície do metal são unidos pelo calor obtido a partir da aplicação de uma corrente elétrica. O processo utiliza dois eletrodos fabricados em cobre electrolítico, que concentram corrente num pequeno "ponto" e, simultaneamente, prendem as chapas que se pretende unir [63].

Soldadura contínua por resistência

Na soldadura por resistência em costura (RSEW - *Resistance Seam Welding*), os elétrodos pontiagudos da soldadura por pontos são substituídos por rodas giratórias (Figura 8), sendo realizado um conjunto de pontos muito próximos uns dos outros, como resultado do fornecimento de impulsos de corrente a essas mesmas rodas, enquanto o movimento de rotação se vai efectuando ao longo da junta. A frequência das descargas de corrente é normalmente ajustada para que os pontos de soldadura fiquem ligeiramente sobrepostos. Mas se a frequência for reduzida, então haverá espaço entre os pontos de soldadura, e este método é denominado soldadura por ponto de rolo. Uma alternativa à soldadura por movimento contínuo é a soldadura por movimento intermitente, na qual a roda do elétrodo é parada periodicamente para fazer a soldadura por pontos.

O processo é capaz de produzir juntas herméticas, e as suas aplicações industriais incluem a produção de tanques de combustível, silenciadores de automóveis e vários outros recipientes constituídos por chapa metálica. Como a operação é geralmente realizada de forma contínua (Figura 9), em vez de discretamente, as costuras devem estar uniformemente distribuídos ao longo de uma linha reta ou curva. Cantos agudos e discontinuidades são difíceis de gerir neste processo. Além disso, as peças não deverão apresentar deformações, e são necessários acessórios para manter o trabalho em posição e minimizar a distorção.



Figura 8 – Máquina de soldadura contínua por resistência [64]

A figura 9 mostra a soldadura longitudinal de uma conduta em chapa pelo processo de soldadura contínua por resistência.

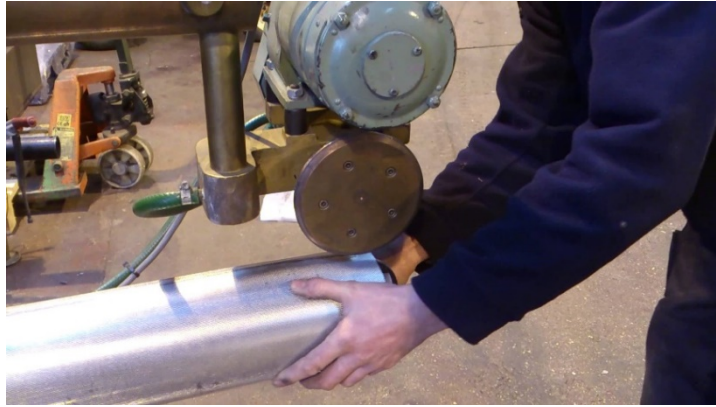


Figura 9 – União de conduta em chapa pelo processo de soldadura contínua por resistência [64]

Em determinados casos, as condutas unidas por soldadura de resistência ou por deformação plástica das suas juntas, não garantem uma perfeita vedação da conduta, algo estritamente necessário para, cumprir com os requisitos impostos pelas normas ambientais, cada vez mais rígidas. No caso da deformação plástica, a partir de 1 mm de espessura, o esmagamento não se faz convenientemente, o que leva a que a vedação ainda seja mais deficiente, para além do gasto de energia na prensagem da junta. Acresce ainda o facto de que materiais como o aço inoxidável se tornarem mais complicados de deformar.

A soldadura por fusão surge então como alternativa aos tradicionais processos de união de condutas, dada a garantia de vedação que normalmente oferece. A soldadura por fusão pode ser manual ou automática, a partir de máquinas concebidas para o efeito, como é a representada na figura 10.



Figura 10 – Máquina automática de soldadura longitudinal por fusão [64]

2.3.4 Formas de flexibilizar e incrementar a produtividade da soldadura de tubagens

Do descrito anteriormente, é possível vislumbrar uma série de limitações impostas por todo e qualquer processo, realidade essa que, não ajuda ao normal desenvolvimento

económico da indústria nesta área, mas que abre janelas de oportunidade no que ao I&D diz respeito.

As limitações mais evidentes são:

- As Calandras convencionais só enrolam convenientemente chapa até 2 m de comprimento e mesmo para esta dimensão, o fenómeno de retorno elástico proveniente da flexão dos rolos da calandra já é considerável provocando uma calandragem não uniforme;
- Máquinas de união longitudinal de condutas por conformação (deformação e esmagamento das juntas) só executam normalmente o processo até 1,5 m de comprimento e para chapas acima de 1 mm de espessura não é garantido a estanquidade dada a complexidade do processo (esforços envolvidos);
- A grande maioria de máquinas automáticas de soldadura longitudinal de costuras por fusão só realizam o processo até 2 m de comprimento porque, como neste conceito a conduta permanece estática e a tocha é que se movimenta, obriga a que os cabos sejam de grande comprimento, com as consequentes perdas de carga, o que faz com que, o processo de soldadura a arco seja oscilante provocando defeitos de soldadura;
- As condutas para serem soldadas nas máquinas de soldadura longitudinal carecem de serem “pingadas” (unidas por pequenos pontos de soldadura);
- Máquinas de soldar por resistência (pontos e costura) só permitem soldaduras até aproximadamente 1 metro de comprimento.

Outras existirão de certeza, mas as descritas são mais que suficientes para justificar o estudo e otimização dos processos, de forma a rentabilizar o produto.

Flexibilizar e incrementar a produtividade da soldadura de tubagens, passa por primeiramente, eliminar as limitações evidentes, mencionadas anteriormente. Assim, as premissas que estruturaram o estudo e desenvolvimento de um outro equipamento não existente no mercado, e que constituísse um avanço significativo para a área em causa foram:

- Não limitar o comprimento porque, quanto mais pequeno for, obriga a mais uniões transversais, o que potencia uma pior vedação, um acréscimo de operações sem valor acrescentado, um maior foco de problemas de transporte, alinhamento, consumo energético entre outros;
- Evitar a pingagem de condutas, algo que as atuais não permitem porque, impede operações desnecessárias e, conseqüente, consumo de recursos;
- Libertar os operadores de tarefas repetitivas e monótonas que estão na base de acidentes, falta de qualidade no produto, deixando-os livres para tarefas onde a mão humana ainda é insubstituível;
- Aumentar a produtividade pela diminuição de tempos mortos e variações de ritmo, inevitavelmente presentes com a intervenção do operador;

- Incrementar o valor do produto pela diminuição da mão-de-obra, tornando-o mais vendável, mas mais competitivo.

O desenvolvimento do equipamento de união longitudinal por soldadura pretende ser por agora, o primeiro passo, mas outros desenvolvimentos poderão ainda ser impulsionadores do incremento da produtividade, como os apresentados no ponto 4.2 - PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS.

2.4 Ferramenta FMEA

A análise FMEA (*Failure Modes, Effects Analysis*) tem como objetivo identificar potenciais modos de falha de um produto ou processo, de forma a avaliar o risco associado aos mesmos, para que sejam classificados em termos de importância, e então receber ações corretivas com o intuito de diminuir a incidência de falhas.

É um método importante que pode ser utilizado em diferentes áreas de uma organização como: projetos de produtos, análise de processos, área industrial e/ou administrativa, manutenção de ativos e confiabilidade, com o intuito de trazer importantes benefícios para o negócio.

Existem vários tipos de FMEAS utilizados universalmente, tais como:

- **FMEA do Produto:** Nela são analisadas falhas que poderão acontecer nas especificações do produto, focando em componentes e subsistemas. Também pode ser chamada de FMEA de projeto.
- **FMEA de Processos:** Tem como objetivo analisar falhas no planeamento e execução do processo e, conseqüentemente, melhorá-lo.
- **FMEA do Sistema:** Foca-se nas funções globais de sistemas.
- **FMEA de Serviço:** Foca-se em processos de manufatura e montagem.
- **FMEA de Software:** Foca-se em funções de *software* [75].

DESENVOLVIMENTO

- 3.1 Empresa de acolhimento
- 3.2 Caracterização do problema
- 3.3 Requisitos do equipamento a desenvolver
- 3.4 Tempestade de ideias, sua estimativa de custo e análise SWOT
- 3.5 Projeto
- 3.6 Manual de montagem
- 3.7 FMEA e análise de riscos
- 3.8 Manual de manutenção

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Empresa de acolhimento

A SERVENTAR é uma empresa que se dedica maioritariamente à produção de equipamentos para a ventilação industrial, mas numa ótica de desenvolvimento contínuo, procura estender a sua área de negócio e intervenção a outras áreas técnicas de oferta deficitária, com a produção de outros produtos como sejam, cabines de pintura e cabines de colagem.

Como equipamentos dedicados à ventilação industrial a SERVENTAR produz (Tabela 4):

Tabela 4 - Produtos fabricados pela SERVENTAR

DESIGNAÇÃO	IMAGEM	DESCRIÇÃO
Gerador de Ar Quente		Construídos em perfil de alumínio, aço tratado ou inox, com diversas capacidades e potências [14].
Ventilador Tipo EC		Ventilador Topo de Conduto, especial para churrasqueiras. Construção em chapa de aço ou inox, diversos modelos, capacidades e potências.
Filtro Húmido		Filtro com características de construção que permitem trabalhar com água, em situações em que o perigo de incêndio é grande. Totalmente construídos em chapa de aço inox.

Filtro automático

Equipamento com vários tipos de filtragem que, seleciona adequadamente o filtro a usar, de forma a tornar o processo mais eficiente.

Ventiladores especiais

Ventilador construído em chapa de aço St 37.2 ou em chapa de aço inoxidável. Turbina tipo gaiola. Diversos modelos e potências por consulta

Ventilador de reação

O ventilador centrífugo de pás ou aletas curvadas para trás. Como a velocidade do escoamento é a menor, é o que produz ruído menos intenso.

Cabine de Colagem

Cabine construída em chapa de aço ou aço inoxidável, com aspiração de gases. Dimensões por consulta.

Cabine de Pintura



Cabines de Pintura por via seca ou húmida com dimensões por pedido. Construídas em chapa de aço ou em chapa inox.

Para além destes produtos, a SERVENTAR produz ainda as condutas para o escoamento do ar e/ou gases.

3.2 Caracterização do problema

As condutas são um produto usado na ventilação industrial e a sua construção obedece a critérios perfeitamente estabelecidos por normas da especialidade.

As exigências ambientais e de estanqueidade, aliadas à dificuldade em conformar convenientemente chapas de espessura igual ou superior a 1 mm, levam a que as condutas cada vez mais tenham de ser soldadas, tarefa essa que, pela sua especificidade, consome recursos e encarece o produto final, sem lhe acrescentar qualquer valor, razão mais que suficiente para ser objeto de estudo.

A premissa de soldar as condutas, mantendo tanto quanto possível o seu custo, conduziu à necessidade do desenvolvimento de um equipamento que produza de forma autónoma esta operação, tendo em vista o ultrapassar das limitações impostas pela tarefa no que concerne aos processos de soldadura, materiais das condutas e suas espessuras.

É ainda propósito do futuro equipamento ir mais longe do que os já existentes no mercado, seja pela liberdade de aplicação, seja pela facilidade de operação, seja pela materialização descomplexada, mas também e não menos importante, pelo custo que se pretende extremamente competitivo.

A seguir podemos ver algumas situações já existentes no mercado que, representam um salto qualitativo na evolução do trabalho manual para o mecanizado, mas que necessitam de ir mais além num processo cada vez mais utilizado.

A *Schnelldorfer-Maschinenbau* oferece a marca “ELENA”, que pode ser observada na figura 11.



Figura 11 - Máquina de soldar longitudinalmente condutas da marca “ELENA ONE” [65]

No manual da máquina, nos dados técnicos, conseguimos observar (Tabela 5):

Tabela 5 - Dados técnicos da máquina “ELENA ONE” [65]

TECHNICAL DATA

ELENA ONE	600	1100	1300
Tube length max.	600 mm	1100 mm	1300 mm
Minimum tube diameter (inside)	60 mm	80 mm	100 mm
Maximum tube diameter	980 mm		
Material thickness	(0,3 mm optional) 0,5 mm – 1,5 mm		
Material Type	Stainless Steel, Mild Steel, Galvanised Steel		
Welding Process	TIG / GTAW		
Gas	Torch Gas, Backing Gas, Trailing Gas		
Torch travel speed	30 cm/min – 550 cm/min		
Mandrel Latch	Manual, Position controlled		
Backing Bar, Clamping Fingers	Hard Wearing Copper (CuCrZr)		
Clamping System	Pneumatic, Pre-clamp feature		
Arc Length	Constant (over whole welding length)		
Cooling Circuit	Backing Bar (Mandrel), Torch		
Control	Siemens S7-1200		
Operator Panel	Siemens Panel KP 400, 4”, colour display		
Motor	Schneider Electric LEXIUM (stepper motor)		
Welding Interface	2/4 stroke interface		
Standard	CE-Mark		
Electric Supply	400/230 Volt / 3 / N / PE; 50/60 Hz; TN-grid Also available: 220/127 V, 380/220 V, 400/230 V, 415/240 V		
Air Supply	6 bar, dry, filtered		
Ambient Temperature	+ 10°C to + 35°C		
Colour	RAL 5017 (traffic blue)		

Pela análise dos dados (Tabela 5), é possível observar algumas das limitações, do equipamento como por exemplo: o comprimento máximo permitido para as condutas (1300 mm), a espessura máxima da chapa a soldar (1,5 mm), e limitações no processo a usar que admite apenas e só o processo TIG.

A empresa *Jetline Engineering* oferece a marca “LW” (Figura 12):

A tabela 6 ilustra as potencialidades do equipamento.



Figura 12 - Máquina (Refª “LW”) de soldar longitudinalmente condutas [66]

A figura 13 mostra ainda a limitação de *setup*, aquando da troca de processo de soldadura.

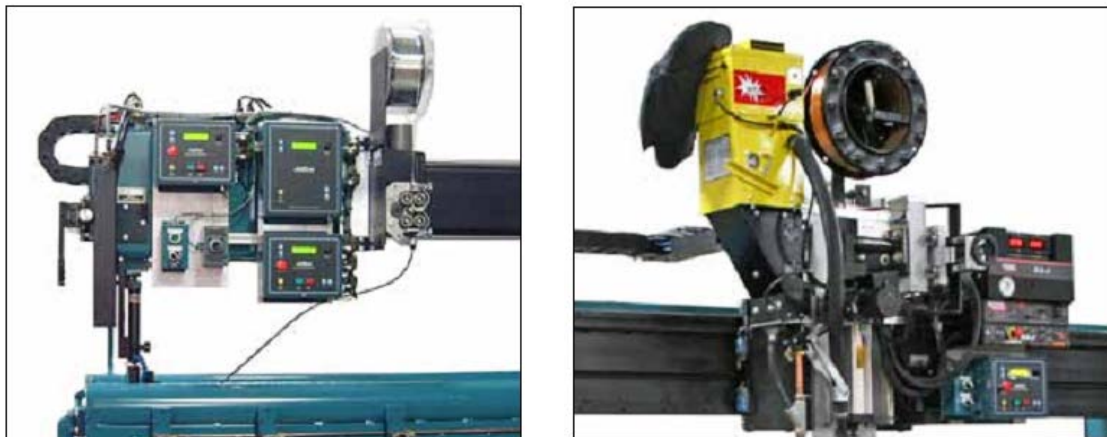


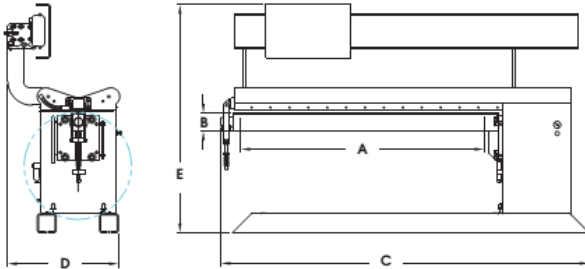
Figura 13 – Troca de processo de soldadura nas máquinas (Refª LW) [66]

A SERVENTAR na linha de progressão imposta pelas exigências do mercado e, uma vez ultrapassado o problema de fornecimento interno, pretende alargar horizontes para o mercado externo e, eventualmente, equacionar o fabrico deste equipamento para comercialização.

Tabela 6 - Dados técnicos da máquina "LW" [66]

EXTERNAL STYLE SEAM WELDERS

LWS - Standard
LWP - Precision
LWX- Ultra-Precision



Model Number	Welding Length "A" Inches (mm)	Min. Dia. Piecepart "B" Inches (mm)	Overall Length "C" Inches (mm)	Overall Width "D" Inches (mm)	Overall Height "E" Inches (mm)	Shipping Wt. (Approx) Lbs. (kg)
LW_ - 24	24 (610)	2 ⁵ / ₈ (67)	70 (1,780)	40 (1,000)	69 (1,750)	2,300 (1,040)
LW_ - 36	36 (915)	3 ¹ / ₂ (90)	82 (2,080)	40 (1,000)	69 (1,750)	2,600 (1,180)
LW_ - 48	48 (1,220)	4 ¹ / ₄ (108)	94 (2,390)	40 (1,000)	69 (1,750)	4,000 (1,815)
LW_ - 60	60 (1,525)	5 ¹ / ₄ (133)	106 (2,690)	40 (1,000)	69 (1,750)	4,700 (2,130)
LW_ - 72	72 (1,830)	6 (152)	118 (3,000)	40 (1,000)	69 (1,750)	5,300 (2,400)
LW_ - 84	84 (2,135)	6 ⁷ / ₈ (175)	130 (3,300)	40 (1,000)	69 (1,750)	5,900 (2,675)
LW_ - 96	96 (2,440)	7 ¹ / ₄ (184)	142 (3,605)	40 (1,000)	69 (1,750)	6,400 (2,900)
LW_ - 120	120 (3,050)	9 ¹ / ₂ (241)	176 (4,470)	42 (1,070)	76 (1,930)	12,000 (5,450)
LW_ - 144	144 (3,660)	12 ¹ / ₄ (311)	200 (5,080)	42 (1,070)	76 (1,930)	13,000 (5,900)
LW_ - 168	168 (4,270)	15 ¹ / ₄ (387)	224 (5,690)	42 (1,070)	76 (1,930)	14,000 (6,350)
LW_ - 192	192 (4,875)	18 ¹ / ₂ (470)	248 (6,300)	42 (1,070)	76 (1,930)	15,000 (6,800)
LW_ - 216	216 (5,485)	21 ¹ / ₄ (540)	272 (6,900)	42 (1,070)	76 (1,930)	16,000 (7,250)
LW_ - 240	240 (6,100)	24 ¹ / ₄ (616)	296 (7,500)	42 (1,070)	76 (1,930)	17,000 (7,700)

LW_ - Use S, P or X according to model

Maximum diameter part is 32" (810 mm)

LWS - Standard External Seam Welder

For all weldable metals
 For 0.020" to 3/8" (0.5 to 10 mm) thickness
 Rack and Pinion carriage drive
 Travel accuracy is ±0.015" (0.4 mm) per 10 ft (3 m)

LWP - Precision External Seam Welder

As standard but designed for thin materials
 For 0.005" to 3/8" (0.1 to 10 mm) thickness
 Continuous hold down strips are standard
 Travel accuracy is ±0.005" (0.1 mm) per 10 ft (3 m)

LWX - Ultra-Precision Seam Welder

As precision but for critical applications
 Linear drive replaces rack and pinion drive

Consult factory for:
 Mandrel modification for other diameters or shapes
 Installation of a riser for larger diameters

Carriages and Speeds

Model	Speed Range		Speed Holding
	ipm	mm/min	
For seam welders up to 16 ft (4.8 m) long			
SWCB-3AB	2 - 100	50 - 2540	±1%
SWCB-3D	0.2 - 188	5 - 4775	±0.1%
For seam welders over 16 ft (4.8 m) long			
SWC-6A	4 - 165	100 - 4190	±1%
SWC-6B	3 - 108	75 - 2750	±1%
SWC-6C	2 - 67	50 - 1700	±1%
SWC-6D	1 - 45	25 - 1150	±1%
For LWX Ultra-Precision seam welders			
SWC-4A	4 - 170	100 - 4300	±1%
SWC-4B	2 - 85	50 - 2160	±1%
SWC-4C	0.32 - 160	8 - 4060	±0.1%
SWC-4D	0.22 - 106	5 - 2700	±0.1%

3.2.1 Requisitos do equipamento a desenvolver

Como requisitos iniciais para o desenvolvimento do protótipo, foi definido:

- Soldadura de condutas de 100 a 800 mm de diâmetro;
- Utilização com chapas de 0,6 a 3 mm de espessura;
- Material das condutas: chapa galvanizada, chapa de inox AISI 304 - EN.1.4301, chapa de aço Fe360 - S 235 JR;
- Soldadura longitudinal contínua MIG-MAG, podendo ser utilizados outros processos (TIG, Plasma, Micro-plasma, Arco submerso, etc.);
- Refrigeração da soldadura interior a azoto e/ou exterior a ar comprimido;
- Comprimento ilimitado;
- Tração automática do tubo com rolos de borracha;
- Adaptação/ajuste dos roletes ao diâmetro do tubo;
- Transmissão por fusos e motorreductores inferior e superior, sincronizados;
- Veios apoiados em chumaceiras;
- Controlo automático através da consola;
- Intermutabilidade dos rolos;
- Fácil e rápida manutenção.

3.2.2 Tempestade de ideias, sua estimativa de custo e análise SWOT

Naturalmente ultrapassada a fase de discussão das necessidades, que levaram à definição dos requisitos, e ainda após uma pesquisa dos recursos disponíveis no mercado, foi-se desenvolvendo e aperfeiçoando soluções que respondessem de forma convincente ao processo pretendido.

Nesta fase, o custo não foi a primeira preocupação e, de uma forma geral, não pesou nas decisões porque, sabe-se da experiência que em mecanismos desta natureza cerca de 70% do custo geral da máquina é consumido no controlo da máquina que será assumido pela automação e comando. Contudo, far-se-á uma breve descrição em termos de comparação das opções tomadas em cada etapa.

Podemos definir a análise SWOT como uma ferramenta que permite fazer um diagnóstico estratégico do produto ou da empresa. Pela metodologia que utiliza, há quem lhe chame também o modelo de *Harvard*. Nesta análise SWOT, o que se faz não é mais do que diagnosticar os pontos fortes e os pontos fracos do produto ou da empresa, tendo em conta uma visão global. Será preciso relacioná-los com a envolvente, seja a nível de legislação, da conjuntura económica ou do mercado em que opera. Assim, a análise SWOT é feita a dois níveis: interno e externo. Internamente, são diagnosticados os pontos fortes e fracos. Já as oportunidades e as ameaças resultam de uma análise à envolvente externa à empresa [67].

Feita a introdução, a evolução das soluções foi a seguinte:

1ª Etapa

Na primeira etapa, a preocupação incidiu na modelação tridimensional do equipamento, com base num protótipo básico já concebido, que tornasse tudo mais claro, de forma a poder ser convenientemente estudado. A figura 14 mostra o protótipo básico e a figura 15 mostra o equipamento modelado em 3D.



Figura 14 – Protótipo pré-concebido pela SERVENTAR

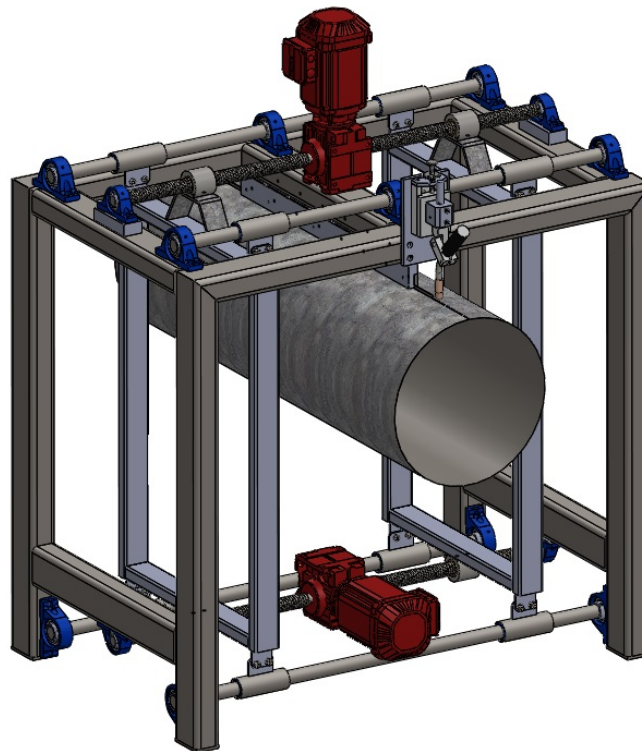


Figura 15 – Modelo 3D do protótipo pré-concebido (Etapa 1)

2ª Etapa

Na segunda etapa, a preocupação assentou na melhoria das fragilidades percecionadas de imediato (figuras 16 e 17), e que foram:

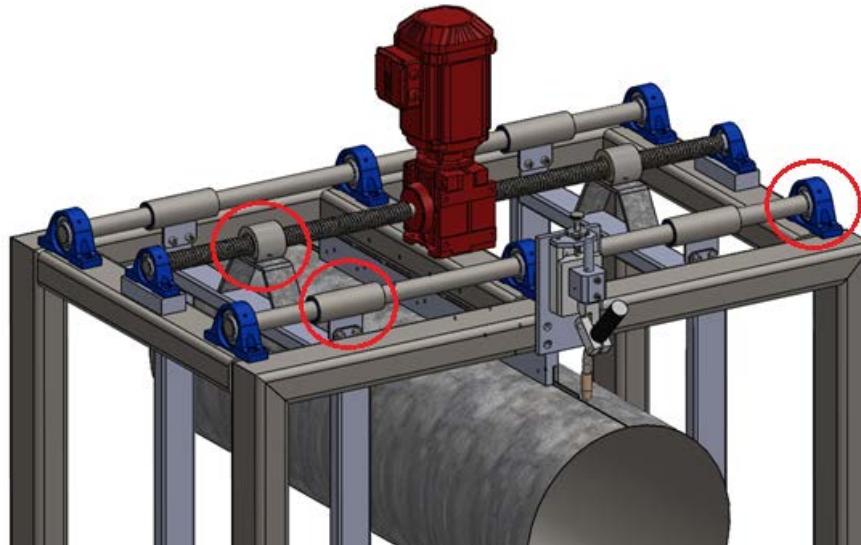


Figura 16 – Modelo 3D do protótipo pré concebido (Etapa 2) – Parte Superior

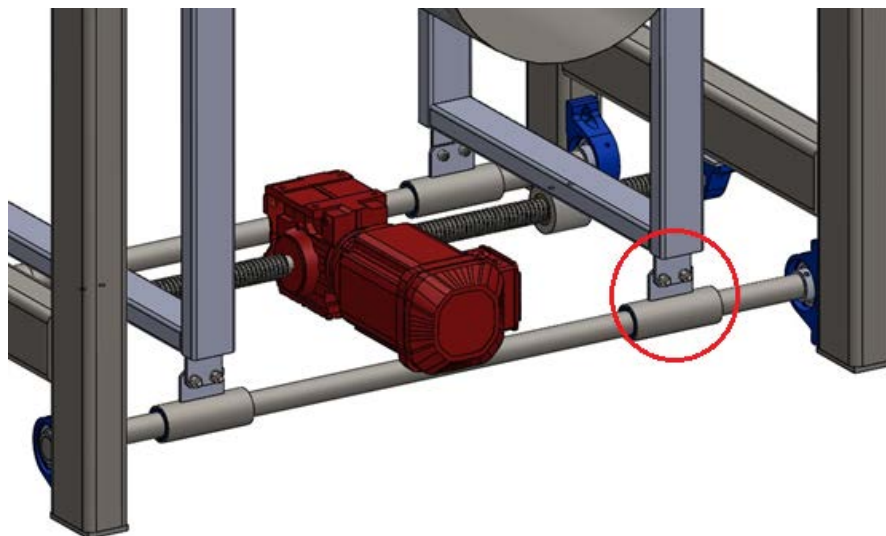


Figura 17 – Modelo 3D do protótipo pré concebido (Etapa 2) – Parte Inferior

- Eliminar as chumaceiras colocadas na extremidade da estrutura (Tabela 7), cuja ideia inicial era compensar a flexão dos veios pela sua liberdade de rotação, e substituí-las por apoios fixos normalizados que permitem maior estabilidade e mais fácil manutenção, no que concerne à compensação da deformação permanente obtida pela flexão;

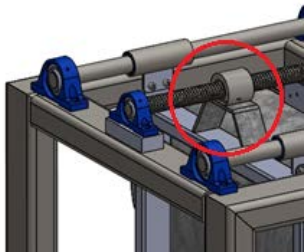
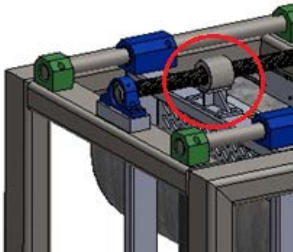
Tabela 7 – Análise swot da opção chumaceiras vs suporte de fixação dos veios

OPÇÕES	ANTES	DEPOIS
EVOLUÇÃO		
PREÇO ESTIMADO	≈56,58€	≈18,75€

PONTOS FORTES	PONTOS FRACOS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mais económico; ▪ Pode corrigir a flexão provocada no veio pela utilização. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Não permite a liberdade de rotação do veio, o que pode causar alguns constrangimentos de movimento da grade.

- Dar mais e melhor consistência mecânica aos suportes das fêmeas trapezoidais (Tabela 8), responsáveis pela transmissão dos aros que farão o acondicionamento da conduta;

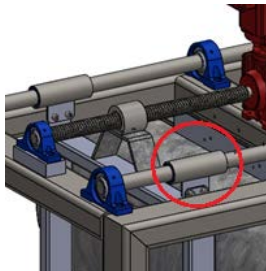
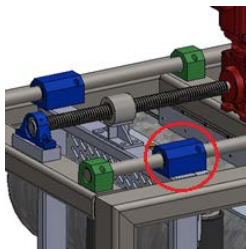
Tabela 8 - Análise swot da opção suportes das fêmeas trapezoidais

OPÇÕES	ANTES	DEPOIS
EVOLUÇÃO		
PREÇO ESTIMADO	110€	163,73€

PONTOS FORTES	PONTOS FRACOS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Maior robustez do suporte; ▪ Possibilidade de afinação pelo facto de ser aparafusado na estrutura. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mais dispendioso, porque obriga a uma maior mão-de-obra; ▪ Exigência de outros cuidados no fabrico (mão-de-obra cuidada).

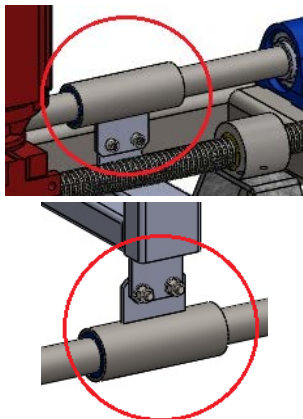
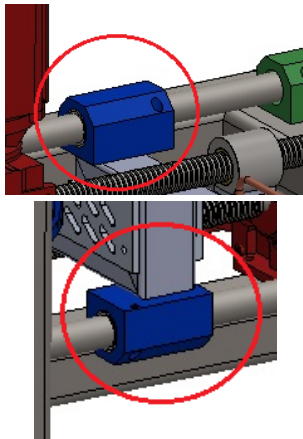
- Substituir as chumaceiras lineares fabricadas por produtos normalizados (Tabela 9), facilmente encontrados no mercado, com todas as vantagens que daí advêm: qualidade de fabrico, manutenção, garantia, etc.;

Tabela 9 - Análise swot da opção chumaceiras lineares fabricadas vs standard

OPÇÕES	ANTES	DEPOIS
EVOLUÇÃO		
PREÇO ESTIMADO	63€	51,55€

- Melhorar a fixação das chumaceiras lineares aos aros (Tabela 10), de forma a tornar o subequipamento mais robusto, estável e tecnicamente mais consistente;

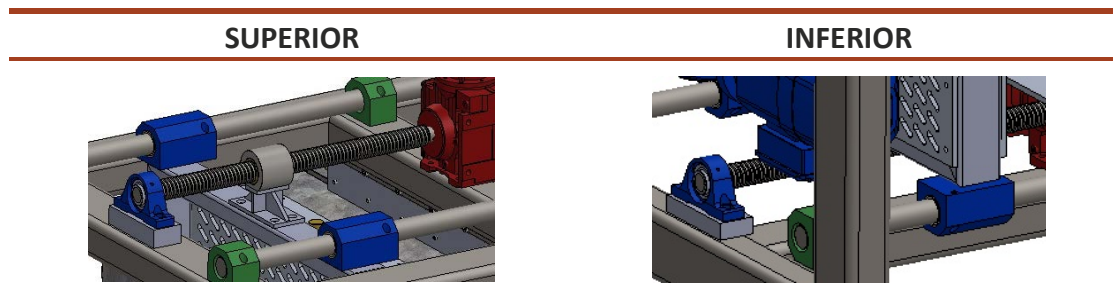
Tabela 10 - Análise swot da opção fixação das chumaceiras lineares

OPÇÕES	ANTES	DEPOIS
EVOLUÇÃO		
PREÇO ESTIMADO	Uma vez que não foi evidenciado na prática o consumo de tempo numa e noutra situação, não foi possível fazer uma estimativa de custo, contudo, prevê-se que a hipótese adotada seja mais económica, porque é a que envolve menos operações.	

PONTOS FORTES	PONTOS FRACOS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mais económico; ▪ Maior facilidade de montagem; ▪ Ausência de mão-de-obra no fabrico (produto normalizado). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Limitações de ajuste que permitam afinações.

- Implementar o sincronismo de movimento dos aros (tabela 11) pela adoção do par cinemático parafuso/fêmea, em vez de corrente/carreto de corrente que, pela sua essência (folga), iria criar problemas;

Tabela 11 - Análise swot da opção sincronismo de movimento

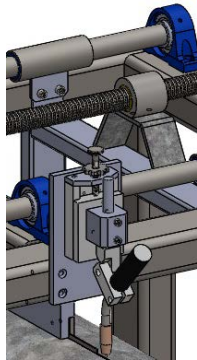
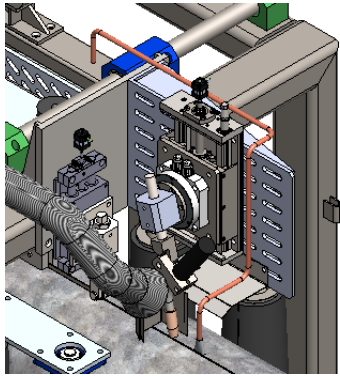


A utilização de mais um motorredutor na parte inferior, representa um incremento no preço, quando comparado com a utilização de uma hipotética transmissão, assumida por correntes de elos e carretos de corrente mas, cedo se percebeu que, em termos de sincronismo, seria a melhor opção técnica.

PONTOS FORTES	PONTOS FRACOS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mais fiável; ▪ Mais preciso; ▪ Mais fácil de comandar; ▪ Maior liberdade na obtenção de diferentes velocidades. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mais dispendioso em termos de investimento; ▪ Aumenta o consumo energético do equipamento.

- Conceber uma outra filosofia para suporte da tocha (Tabela 12), que permitisse que a mesma ganhasse graus de liberdade no seu posicionamento, o que levou a que fosse alterada a posição inicial, através de cantoneiras de posicionamento com ganhos no que concerne à fixação posterior de outros mecanismos;

Tabela 12 - Análise swot da opção suporte da tocha

OPÇÕES	ANTES	DEPOIS
EVOLUÇÃO		
PREÇO ESTIMADO	850€	3250,31€
PONTOS FORTES	PONTOS FRACOS	

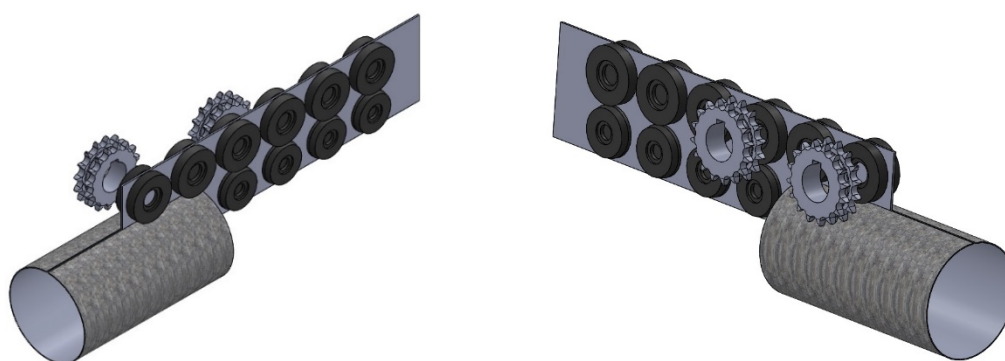
- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">▪ Mais fiável;▪ Mais preciso;▪ Permite movimento linear vertical e de rotação;▪ Controlo automático do posicionamento da tocha, em função das características do processo e da conduta. | <ul style="list-style-type: none">▪ Mais dispendioso em termos de investimento;▪ Aumenta o consumo energético do equipamento;▪ Sendo um acessório de precisão, implica um maior cuidado com a sua manutenção e proteção;▪ A sua afinação e manutenção requer profissionais qualificados. |
|--|---|

3ª Etapa

Na 3ª Etapa, e ultrapassados os desafios anteriores, o foco foi colocado no mecanismo de acondicionamento e arraste, cujos requisitos passavam por:

- Acondicionar e arrastar a conduta sem a deformar grandemente na sua geometria circular;
- Acompanhar a conduta em pontos estratégicos como, início, fim e imediatamente antes e depois do ponto de soldadura;
- Serem facilmente intermutáveis, tendo em vista o desgaste ou a decisão posterior por outra geometria em “V”;
- Serem tracionados de modo a terem a velocidade constante e adequada ao processo de soldadura em causa.

Como primeira hipótese para o acondicionamento e arraste da conduta, foi pensada uma solução, conforme ilustram as figuras 18 e 19, que passava por um suporte em chapa de 2 mm (para manter a folga da junta de soldadura) com roletes de borracha, tracionados pelo par cinemático carreto de corrente/corrente de elos.



a) Vista Direita

b) Vista Esquerda

Figura 18 – 1ª ideia de acondicionamento e arraste da conduta:



Figura 19 – Vista frontal da 1ª ideia de acondicionamento e arraste

Este mecanismo oferecia algumas dificuldades que contrariavam os requisitos iniciais, e que eram as seguintes:

- A folga entre os rolos superiores e inferiores seria de difícil ajuste, o que limitava a utilização de diferentes espessuras de chapa;
- Os roletes inferiores teriam que ter geometrias diferentes, em função das séries de diâmetros;
- A pressão exercida na conduta teria de ser substancial para acondicionar e arrastar materiais mais espessos e, por tal motivo, mais pesados;
- A refrigeração pelo lado oposto à deposição de material também seria de difícil aplicação.

As limitações descritas anteriormente promoveram o aparecimento da solução que viria a estar assente em rolos (figura 20), e que estes deveriam ser:

- Cilíndricos, porque seria a geometria que melhor se adaptava ao acondicionamento e arraste da conduta;
- Serem construídos/vulcanizados em borracha com elevado coeficiente de atrito, para facilitar a tração da conduta.

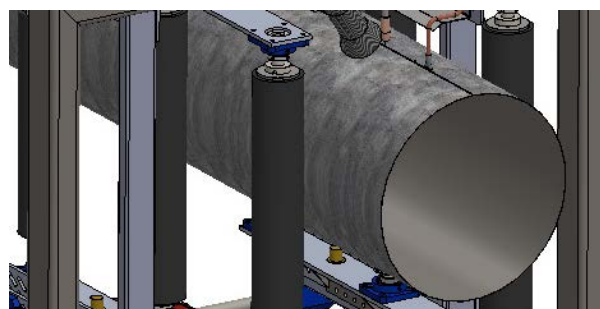


Figura 20 – Rolos cilíndricos como segunda opção para o mecanismo de arraste

Ultrapassada a questão de acondicionamento e arraste, foi relativamente simples chegar à solução de transmissão simultânea (Figura 21) dos rolos que, basicamente é assumida por:

- Motorreductores com variação de velocidade;
- Carretos de corrente - triplos, montados no motor e em todos os rolos;

- Correntes de elos, conjugadas alternadas (conforme se demonstra no projeto).

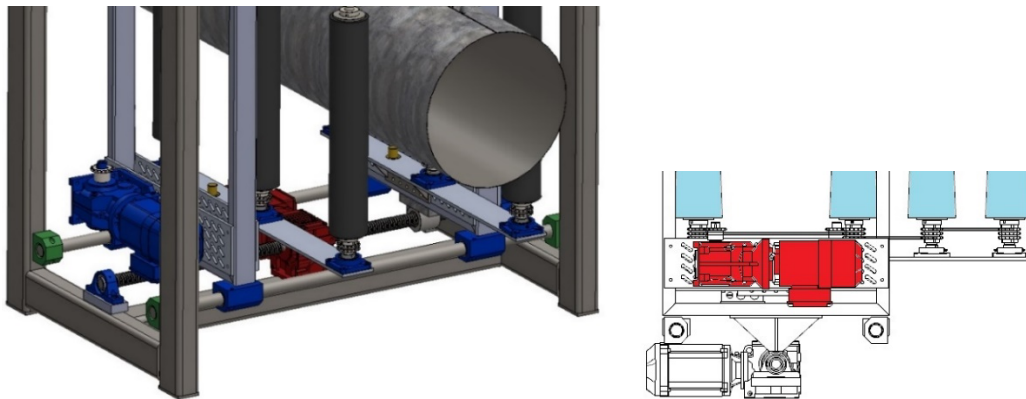
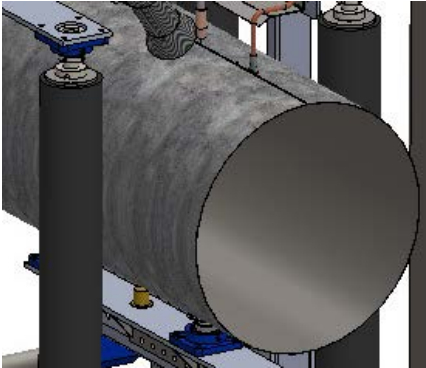
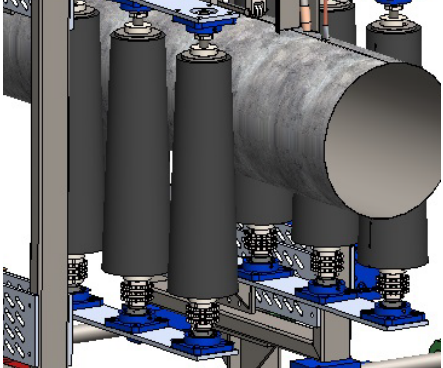


Figura 21 – Transmissão simultânea dos rolos

Uma análise mais aprofundada do acondicionamento da conduta, conduziu a uma ligeira alteração da geometria do cilindro (Tabela 13) que, deixou de ser cilíndrica para passar a ser cónica no sentido ascendente, de forma a promover alguma força no sentido vertical, que pressione a conduta contra o suporte de sujeição.

Tabela 13 - Análise swot da opção rolos de acondicionamento e tração

ANTES	DEPOIS
	
2673,25€	2994,52€

PONTOS FORTES	PONTOS FRACOS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ajuste longitudinal da conduta; ▪ Fácil manutenção e <i>setup</i>; ▪ Movimento suave e constante; ▪ Controlo automático da velocidade linear ajustada ao processo de soldadura e ao tipo de conduta. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ É o dispositivo mecânico que consome mais recursos económicos; ▪ Aumenta o consumo energético do equipamento; ▪ Sendo um dispositivo de importância capital para o equipamento, carece de mais e melhor manutenção; ▪ A sua afinação e manutenção requer

	profissionais qualificados.
--	-----------------------------

4ª Etapa

Na 4ª e última etapa, foram decididos os elementos de segurança e do aspeto final da máquina. Para a segurança foram adotadas as barreiras de proteção exteriores.

Para o “Design” adotou-se os quadros elétricos, necessários ao funcionamento da máquina, mas que em conjunto com a blindagem superior, fecham harmoniosamente o equipamento, conforme se mostra no Projeto.

3.3 Projeto

O equipamento semiautomático, que será designado por ESLC18V1, destina-se à soldadura longitudinal por arco elétrico (MIG, MAG, TIG ou Plasma), de condutas de secção circular, em chapa de espessura compreendida entre 0,6 e 3 mm, dos diversos materiais soldáveis por estes processos.

É semiautomática porque, a carga e descarga das condutas é, por enquanto, realizada manualmente, ficando todas as outras operações de acondicionamento, transporte a velocidade de deslocamento, calcador de juntas, posicionamento da tocha, respetiva soldadura e arrefecimento, entregues à máquina, através do grau de automatização imposto à mesma.

No seu aspeto final, a máquina ficará como mostra a figura 22.

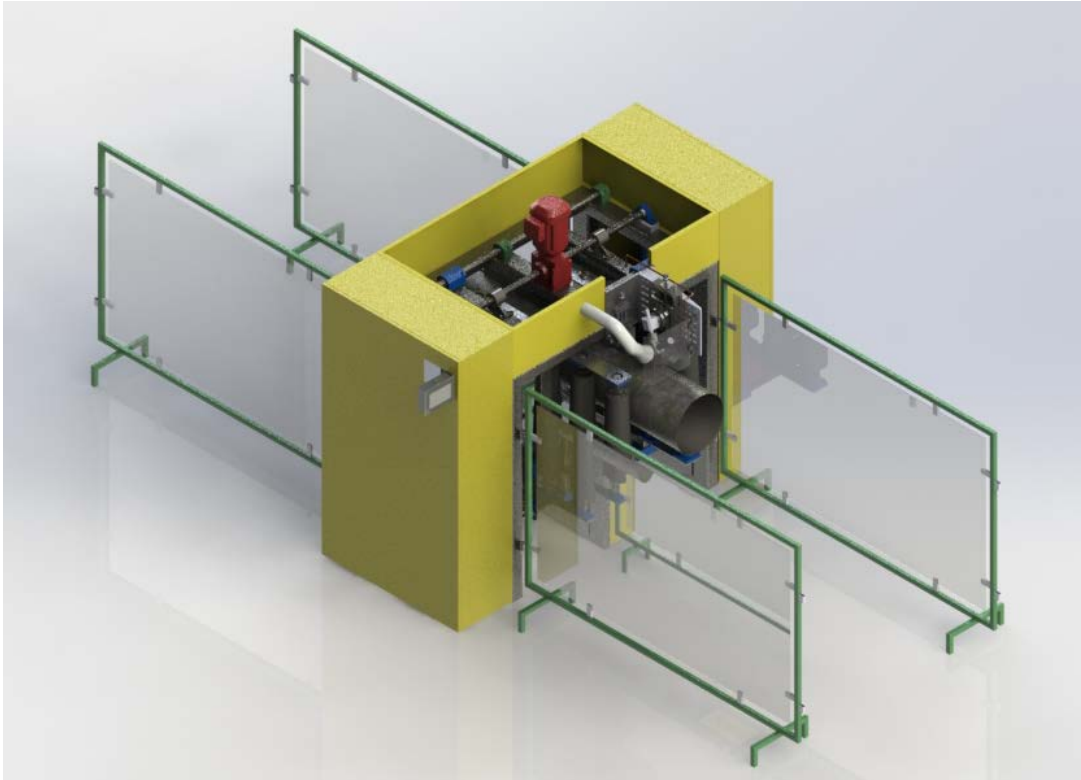


Figura 22 – Equipamento de soldadura longitudinal de condutas.

A modelação tridimensional dos componentes, montagem e respetivos desenhos técnicos a duas dimensões foram realizados no *software* de modelação paramétrica *Solidworks* – versão 2014.

A análise estrutural por elementos finitos foi apoiada pelos *softwares*: *Solidworks* – versão 2014 e *Autodesk Inventor* - versão 2016.

Na sua forma geral, o ESLC18V1 é constituído por uma estrutura tubular, que sustenta os mecanismos de: suporte acondicionador e arraste da conduta, calcador da zona a unir (costura), posicionador da tocha e mecanismo de arrefecimento. A máquina será ainda envolvida superiormente por uma blindagem de acabamento e protecção, e lateralmente pelos quadros eléctrico e de armazenamento dos tubos de Azoto, para o arrefecimento. O conjunto é fechado pelas barreiras laterais de protecção.

De salientar que o peso total do equipamento está estimado em 9501 N.

3.3.1 Projeto mecânico

Retirando as barreiras laterais de segurança e as proteções superior e laterais, o equipamento apresenta-se conforme ilustra a figura 23 e é composto pelos subconjuntos indicados nessa mesma figura 23.

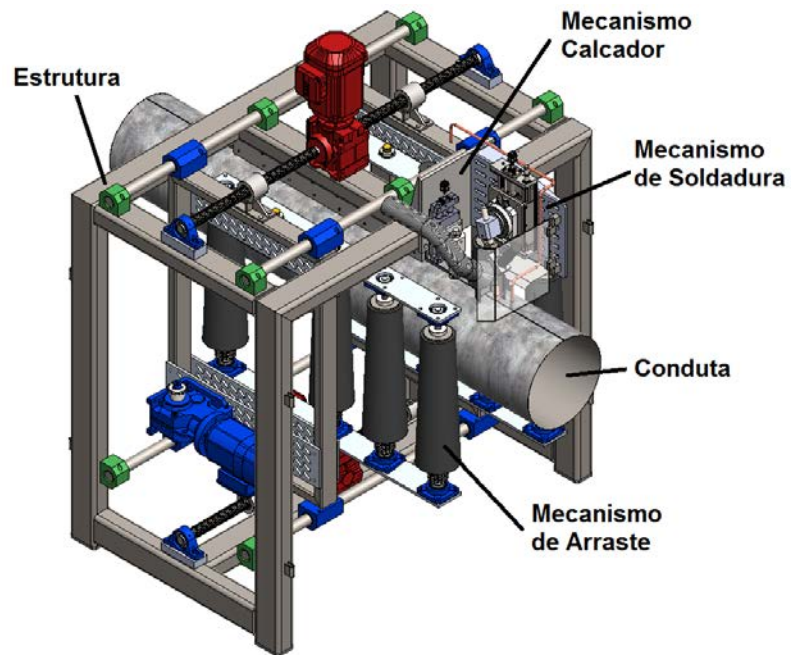


Figura 23 – Grupos constituintes do equipamento ESLC18V1

Ampliando o equipamento e fazendo uma representação em vista explodida, é possível pormenorizar e ter uma melhor perceção da constituição do equipamento em causa (figura 24):

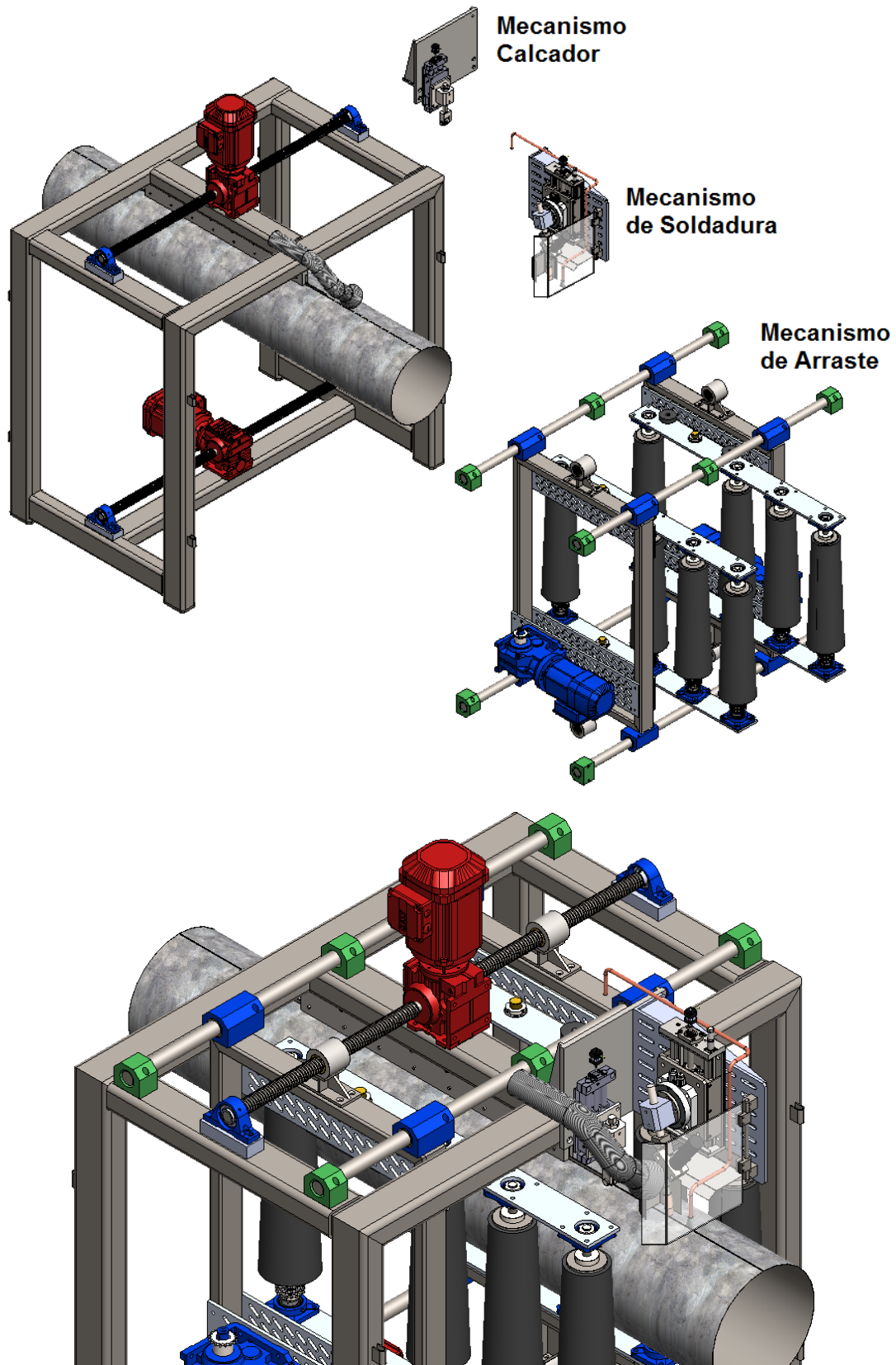


Figura 24 – Vista ampliada e explodida do equipamento mostrado na Figura 23

Na figura 25 conseguimos ter uma melhor representação dos: mecanismo calcador, mecanismo de suporte e posicionador da tocha, e do tubo por onde fluirá o ar comprimido do arrefecimento.

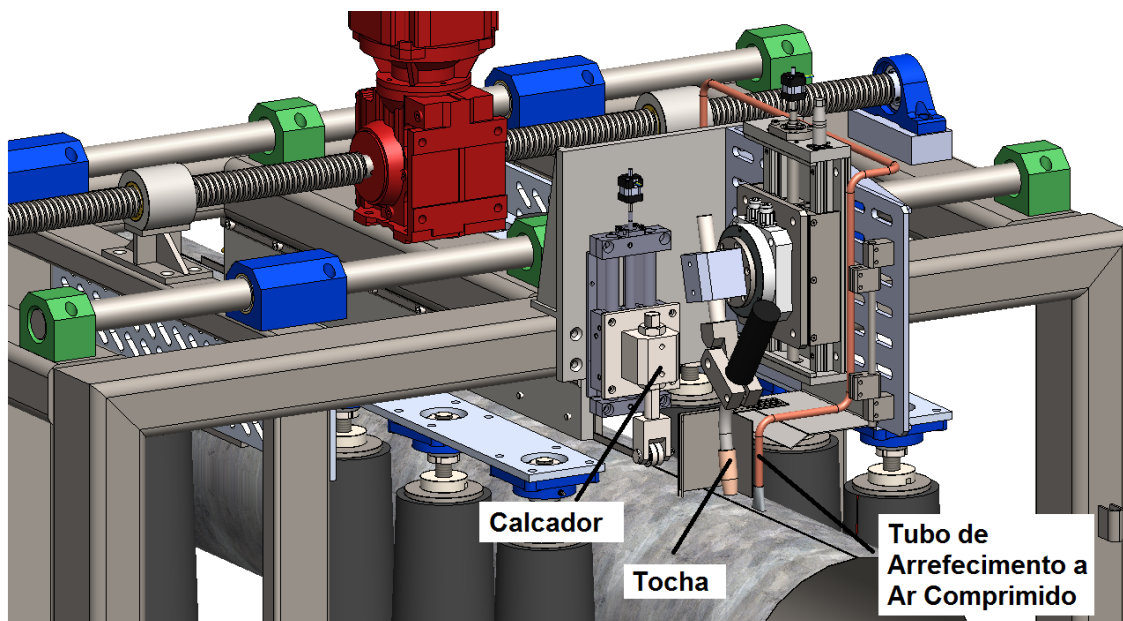


Figura 25 – Mecanismos de arraste, posicionador da tocha e tubo de arrefecimento

A figura 26 representa a parte traseira do equipamento, por onde será alimentada a máquina com as respetivas condutas.

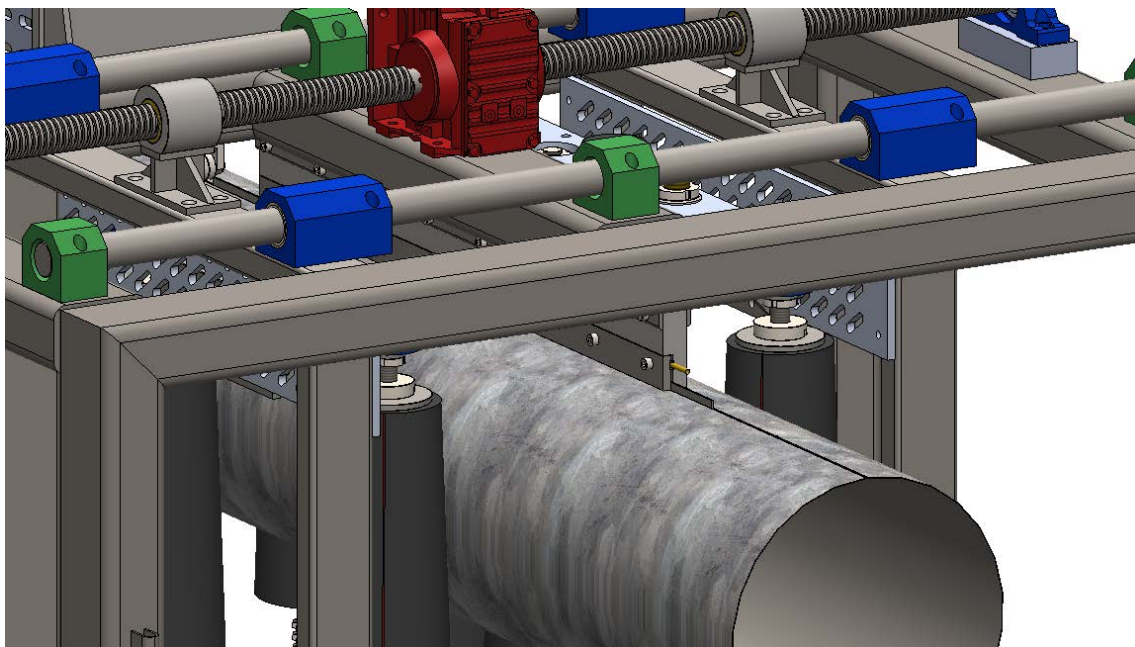


Figura 26 – Zona de alimentação da máquina

A figura 27 mostra a parte inferior da máquina, por onde será realizada a transmissão dos rolos responsáveis pelo arraste da conduta.

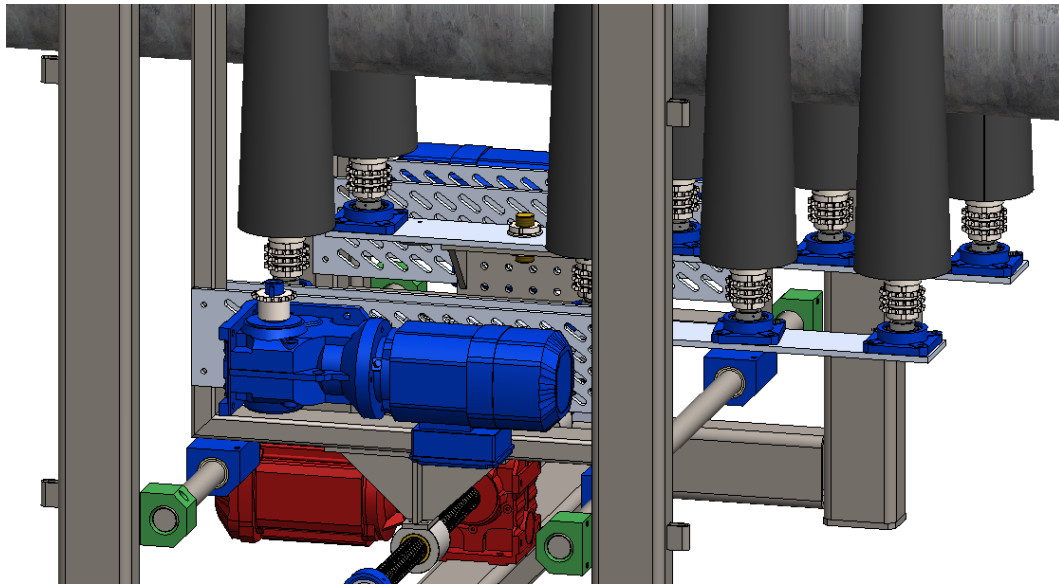


Figura 27 – Transmissão dos rolos do mecanismo de arraste

Uma vez realizada uma introdução genérica da constituição da máquina, vai de seguida ser descrito todo o equipamento na vertente de projeto mecânico.

De salientar que o peso do conjunto sem as blindagens se situa nos 7233 N.

Estrutura

A estrutura em construção soldada (figura 28), construída em tubo de 120 x 80 x 6 [mm] de aço S235, constituirá a base de sustentação de todo o equipamento. Da sua rigidez dependerá o perfeito funcionamento da máquina, já que serão montados todos os equipamentos que darão corpo à ideia.

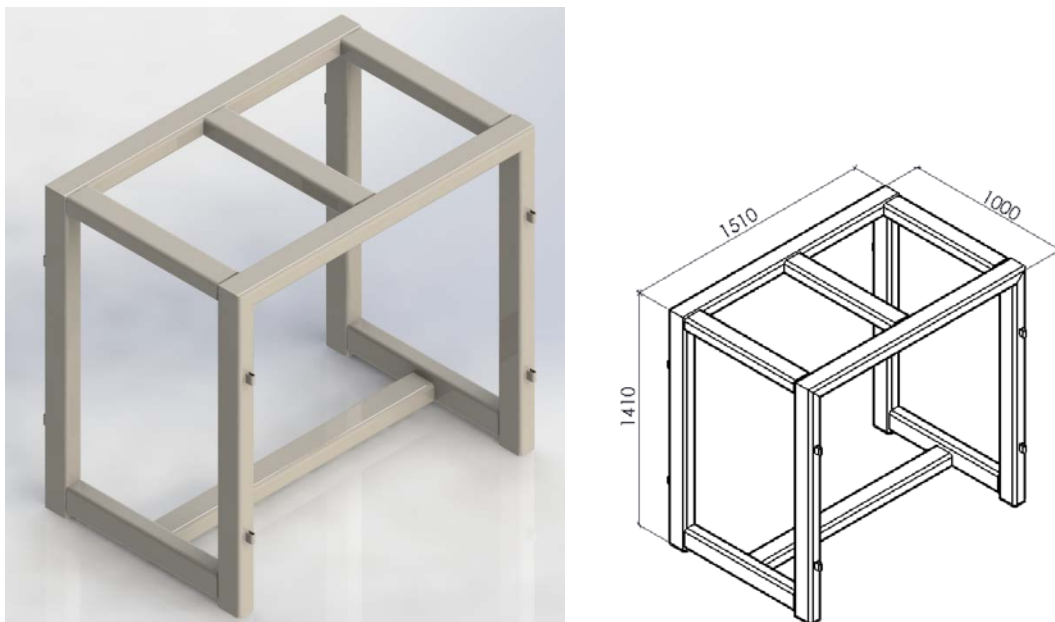


Figura 28 – Estrutura tubular do equipamento e seu atravancamento

As propriedades do aço em causa, no que concerne às tensões admissíveis, são as representadas na tabela 14.

Tabela 14 – Resistência mecânica de diferentes aços de construção [68]

Espessura (mm)	Tensão de Cedência (N/mm ²)		Tensão de Ruptura (N/mm ²)	
	≤ 40	> 40 ≤ 100	≤ 40	> 40 ≤ 100
Aço S235	235	215	360	340
Aço S275	275	255	430	410
Aço S355	355	335	490	470

A estrutura tem um peso de aproximadamente 2922 N, o que lhe garante o equilíbrio e estabilidade necessárias, estando previsto suportar uma solicitação externa de aproximadamente 4308 N, praticamente estática, tendo em conta as velocidades envolvidas.

Considerando as solicitações descritas anteriormente, e procedendo à simulação em computador, o resultado foi o representado na figura 29.

Resultados do estudo

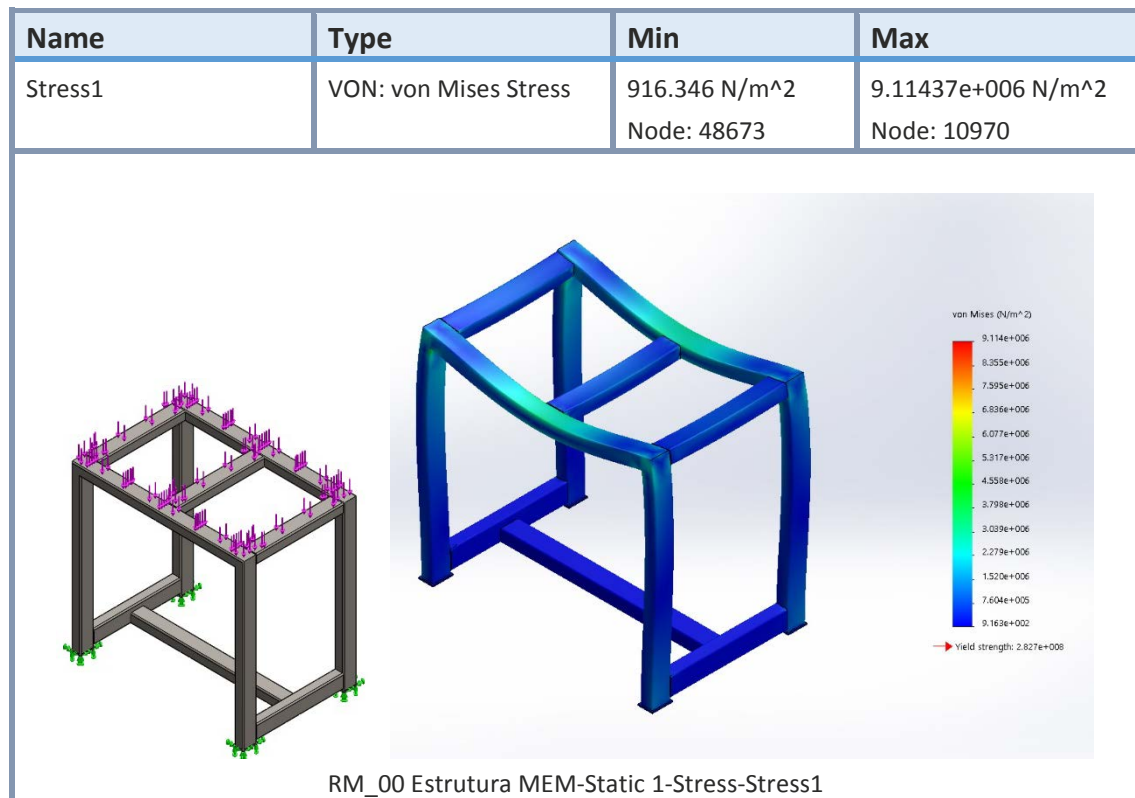


Figura 29 – Estado de tensão na estrutura

Da simulação de carga anterior, podemos observar que a maior sollicitação (Figura 29 - canto superior direito) corresponde a um valor de $9,11437 \times 10^6 \text{ N/m}^2 = 9,11437 \text{ N/mm}^2$.

Pela consulta da tabela 7, tiramos que a tensão de cedência para espessuras inferiores a 40 mm é 235 N/mm^2 .

Comparando os dois valores, será fácil notar que a estrutura vai suportar perfeitamente as sollicitações impostas, sem sofrer deformações permanentes.

Estudando os resultados da deformação, é possível constatar que (Figura 30 - canto superior direito), a deformação máxima é de 0,076 mm, valor pouco significativo, atendendo a que se trata de uma estrutura soldada, que vai suportar um equipamento cuja precisão de movimento em nada será afetada por este nível de deformação.

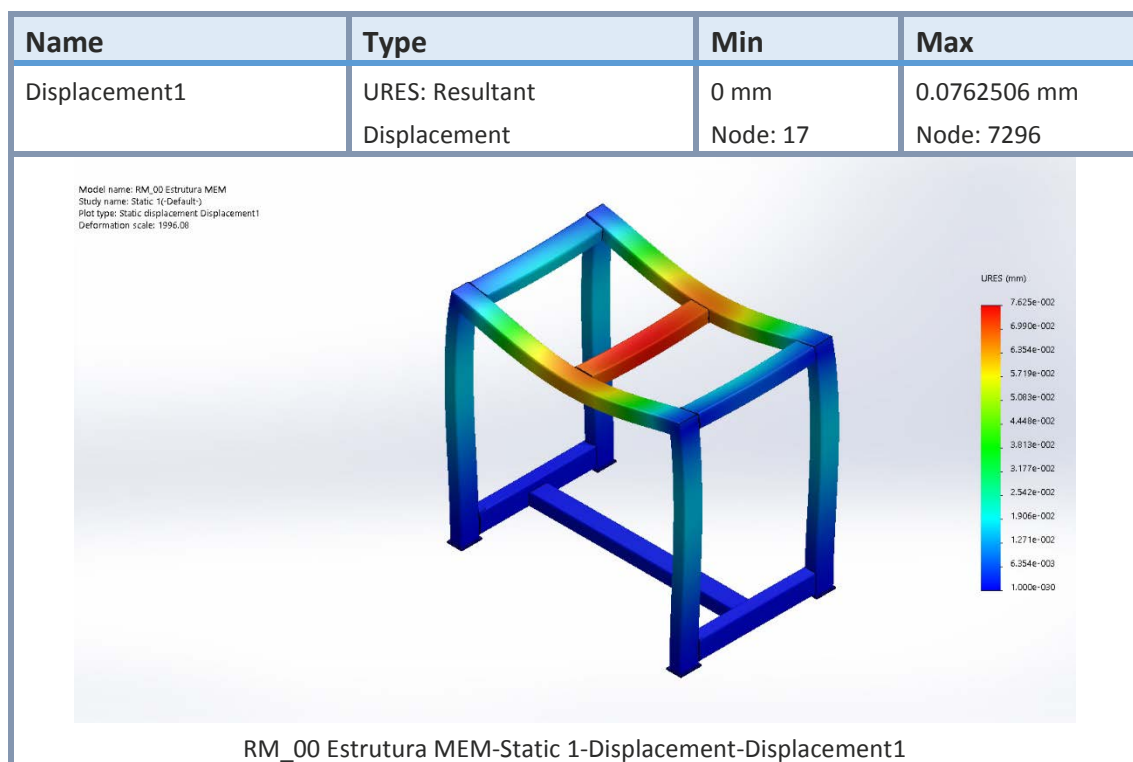


Figura 30 - Estado de deformação da estrutura

Os movimentos suportados pela estrutura são desprezáveis, na medida em que se resumem aos de acondicionamento e transporte da virola/conduto, com velocidades de aproximadamente 2 m/min, ou seja, muito lentas para promoverem vibrações dignas de qualquer estudo dinâmico.

Suporte da Conduta

É o subconjunto (figura 31) que vai receber e sustentar a virola/conduto, garantir a uniformidade da folga (2 mm) ao longo do percurso e auxiliar, em conjunto com o mecanismo de arraste, na sua movimentação em direção ao local de soldadura.

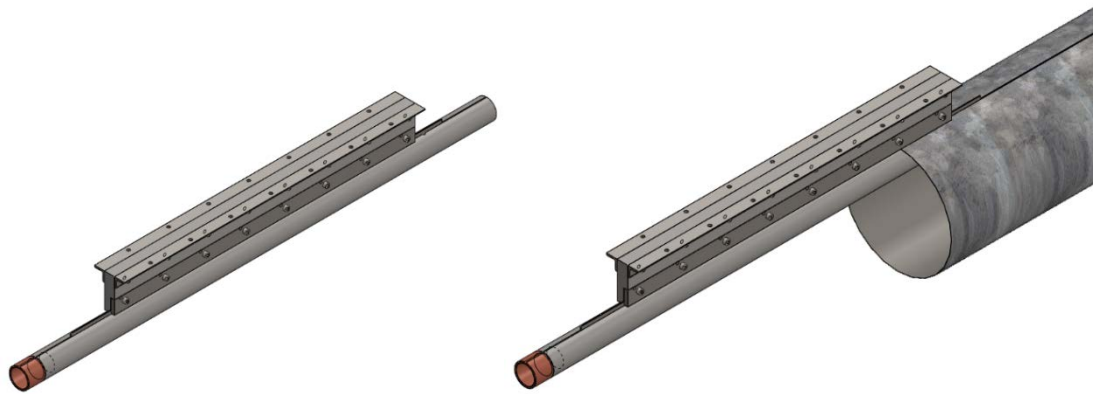


Figura 31 – Suporte da Conduta

Este suporte dispõe de duas cantoneiras que têm como missão suspender o subconjunto de suporte da virola/conduta na estrutura, conforme mostram as figuras 32 e 33.

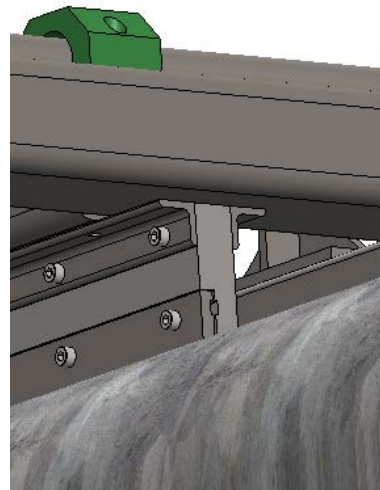


Figura 32 – Fixação do suporte à estrutura

A figura 33 mostra a máquina em corte, de forma a ser possível ver por onde entra a conduta. Ainda nesta figura, é possível ver um pequeno tubo cuja função é promover o arrefecimento do cordão de soldadura através de azoto, à frente do ponto de soldadura.

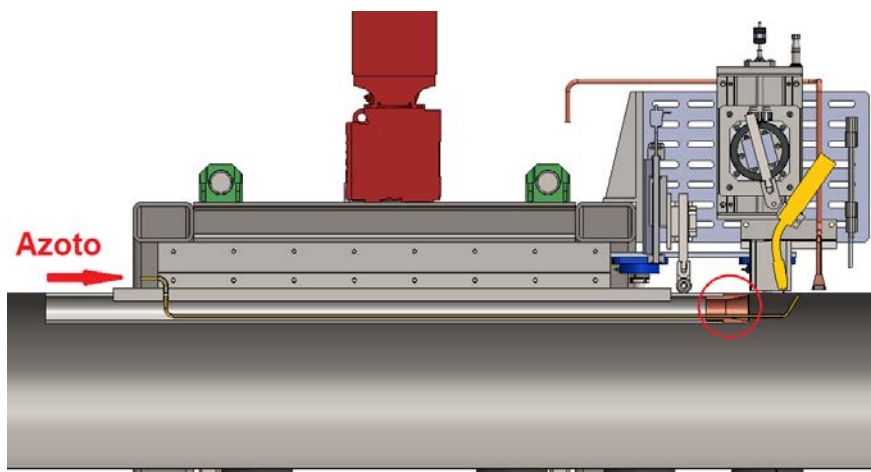


Figura 33 – Tubo interior de arrefecimento a Azoto

A extremidade frontal do suporte vai ser contemplada com um acessório em cobre, de forma a evitar a soldadura da conduta no suporte tubular.

A régua de 2 mm (figura 34) que vai conferir a folga da junta, será obtida em aço devidamente tratado termicamente, e posteriormente retificada, com o propósito de minimizar a rugosidade superficial, potenciando o deslizamento da virola através de um coeficiente de atrito relativamente baixo.

No limite, far-se-á a régua em bronze, cuja conjugação com o aço fornece excelentes resultados.

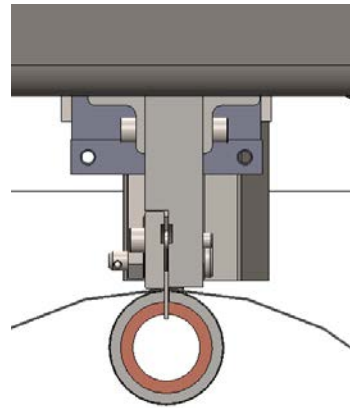


Figura 34 – Vista frontal da conduta suspensa

Mecanismo de arraste

O peso previsto para este subconjunto é de aproximadamente 2914 N.

O mecanismo de arraste (Figura 35) constitui a parte do equipamento de maior relevância para o processo, pois vai assumir as operações de acondicionamento e arraste da virola/conduta com a tensão e velocidade adequadas ao processo de união da conduta por soldadura.



Figura 35 – Mecanismo de arraste da conduta

Antes da descrição pormenorizada do mecanismo de arraste, torna-se necessário clarificar as designações dos processos de acondicionamento e arraste da conduta.

Considera-se como **acondicionamento**, o processo de envolver a conduta no seu diâmetro, com o propósito de unir as suas extremidades, de forma a constituir-se a junta a ser soldada (Figura 36).

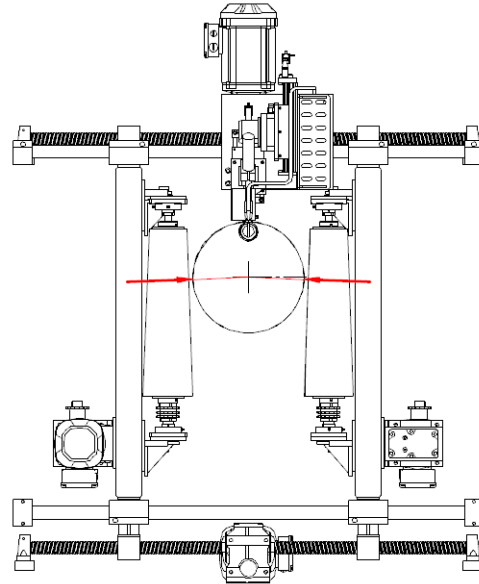


Figura 36 – Acondicionamento da conduta

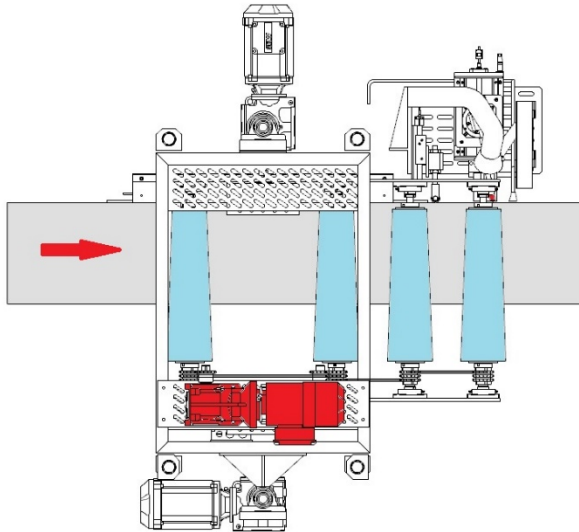


Figura 37 – Arraste da conduta

Como **arraste**, entende-se o deslocamento provocado pelo atrito tangencial entre os rolos e a conduta, de forma a provocar-lhe o movimento longitudinal com velocidade adequada à soldadura (Figura 37).

O mecanismo, na sua essência, é composto por dois aros em construção soldada de tubo de secção retangular de 80 x 40 x 3 milímetros de aço S235 RJ (Figura 38).

Nos topos superior e inferior, são alojadas chumaceiras de rolamento linear (refª *lbr40-2ls*), com as características apresentadas na tabela 15, que acopladas aos veios

retificados de 40 milímetros de diâmetro, vão permitir o deslocamento transversal alternativo de acondicionamento da conduta.

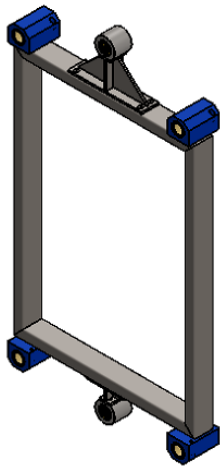


Figura 38 – Aro mecanismo de arraste

Ainda nos topos, superior e inferior estão montadas duas fêmeas em bronze, devidamente alojadas nos seus suportes, que vão ser acopladas aos fusos roscados responsáveis pelo deslocamento transversal.

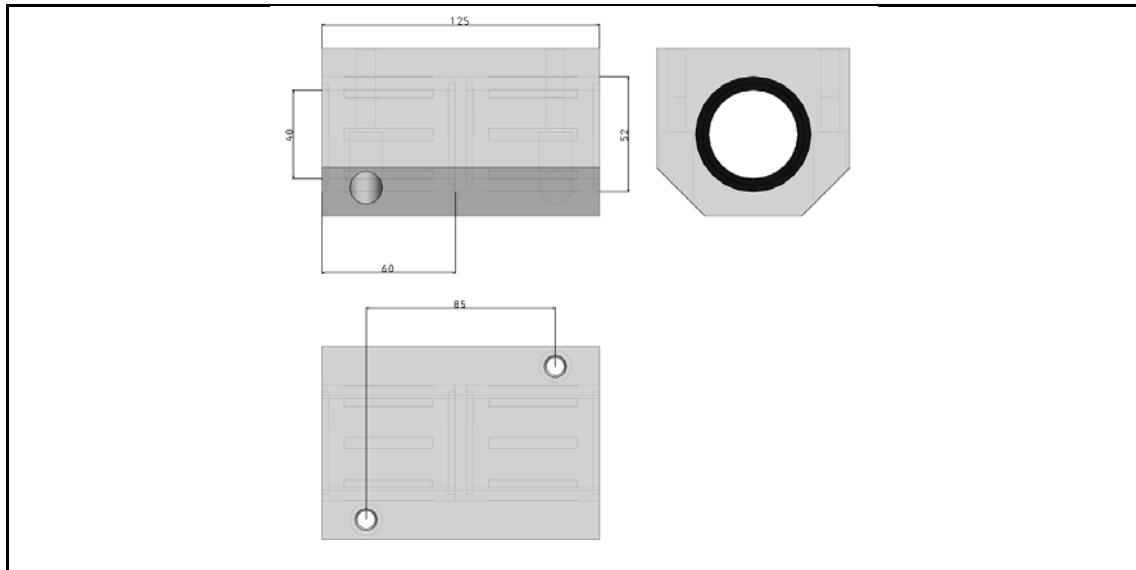
As fêmeas e os fusos são de rosca **trapezoidal de 6 milímetros** de passo.

O facto de a fêmea ser de bronze e o fuso de aço prende-se com o facto de a conjugação destes materiais ser a que oferece valores de atrito mais favoráveis, e sobejamente conhecidos por esse motivo.

Os dois pares parafuso/fêmea têm ainda a particularidade de terem rosca esquerda e direita, de forma a poder-se aproveitar a rotação do motorreductor para simultaneamente se obter movimentos de aproximação e afastamento dos aros.

Tabela 15 - Características da chumaceira ltbr40-2ls da SKF

Rolamento linear	Linear Ball Bearing LBBR
Material para esferas e placas de pista	Aço
Ordering key	LTBR 40-2LS
Fw[mm]	40
A[mm]	125
C1[mm]	60
Da[mm]	52
H +/-0,01[mm]	39
H1[mm]	76
H2[mm]	38
H3[mm]	22
L[mm]	87
J[mm]	69
J1[mm]	85
N[mm]	8.4
N1	M10
Classificações de carga básica - Dinâmica (C)[N]	9000
Classificações de carga básica - Estática (Co)[N]	9000
Massa[kg]	1.57



De forma a garantir um movimento uniforme e constante do aro evitando o seu empeno, optou-se por replicar a transmissão superior e colocá-la por debaixo do aro (Figura 39).

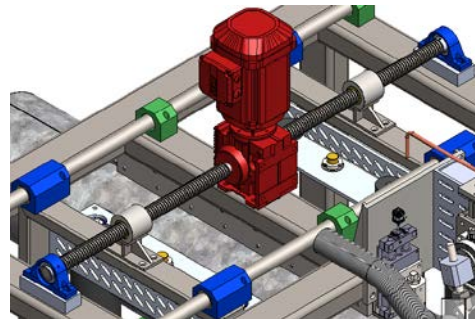


Figura 39 – Cinemática dos aros do mecanismo

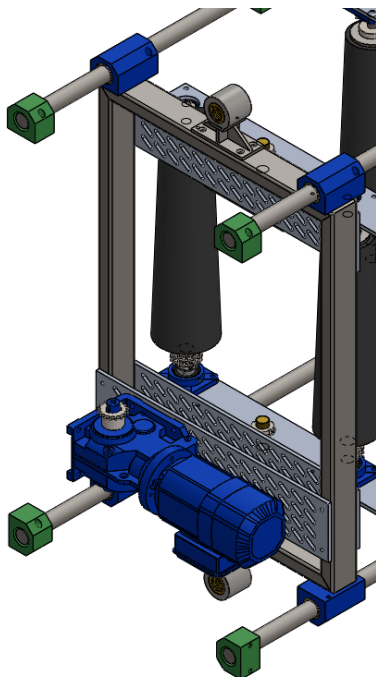


Figura 40 – Chapa suporte do motoreductor

Inicialmente, equacionou-se fazer a passagem do movimento dos fusos superiores para os inferiores através de transmissão por correntes (carreto de corrente e corrente de elos) mas, considerando que, aquando dos arranques e das paragens existe uma folga latente entre o elo da corrente e o dente do carreto, isso viria a implicar uma falha de sincronismo entre os fusos, pelo que se optou então pela solução descrita anteriormente.

Os aros comportam ainda quatro placas em chapa (Figura 40), previamente perfurada, que servem de suporte aos motoreductores responsáveis pela rotação dos rolos que contactam com a conduta, de forma a acondicioná-la e a arrastá-la no sentido da tocha de soldadura.

Estas chapas sujeitam ainda os suportes superior e inferior, que servem de apoio à grade que comporta o conjunto dos quatro rolos (Figuras 42, 43 e 44).

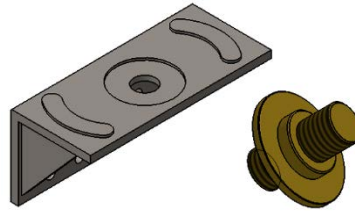


Figura 41 – Suporte de sujeição da grade de rolos

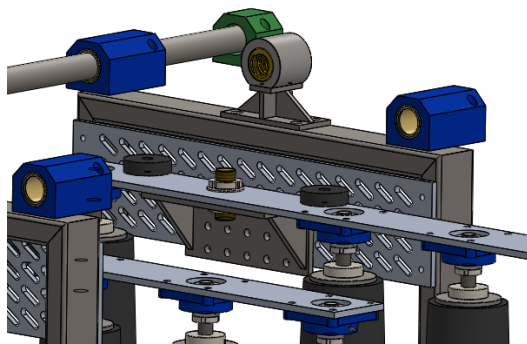


Figura 42 – Suporte superior de sujeição da grade

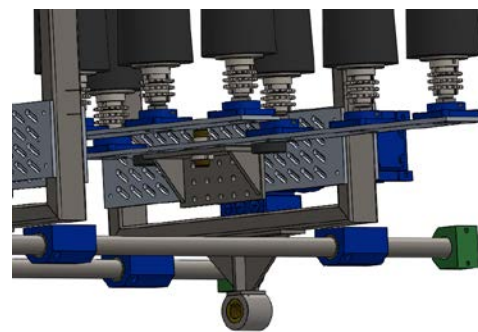


Figura 43 - Suporte inferior de sujeição da grade

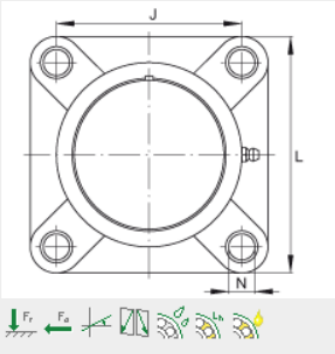
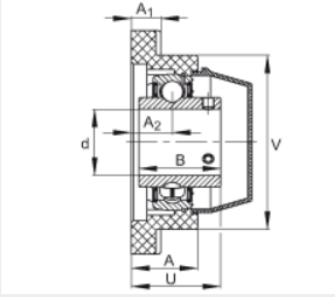
A grade (Figura 44) é composta por duas flanges, superior e inferior, que albergam as oito chumaceiras (refª *inafag_rcjy30-tv-va_5l20*) que alojam os quatro rolos revestidos a borracha.



Figura 44 – Grade de rolos

A tabela 16 apresenta as propriedades da chumaceira e justifica a sua escolha

Tabela 16 - Características da chumaceira rcjy30-tv-va

Housing units RCJY30-TV-VA																									
four-hole, plastic housing, radial insert ball bearing with grub screws in inner ring, corrosion-resistant design, R seals																									
→ Accessories																									
	<table border="1"> <tr><td>d</td><td>30 mm</td></tr> <tr><td>L</td><td>107 mm</td></tr> <tr><td>U</td><td>41,4 mm</td></tr> </table>	d	30 mm	L	107 mm	U	41,4 mm																		
d	30 mm																								
L	107 mm																								
U	41,4 mm																								
	<table border="1"> <tr><td>A</td><td>31,5 mm</td></tr> <tr><td>A₁</td><td>14,3 mm</td></tr> <tr><td>A₂</td><td>19,2 mm</td></tr> <tr><td>B</td><td>38,1 mm</td></tr> <tr><td>J</td><td>83 mm</td></tr> <tr><td>N</td><td>11 mm</td></tr> <tr><td>Q</td><td>1/4 - 28 UNF</td></tr> <tr><td>V</td><td>80 mm</td></tr> </table>	A	31,5 mm	A₁	14,3 mm	A₂	19,2 mm	B	38,1 mm	J	83 mm	N	11 mm	Q	1/4 - 28 UNF	V	80 mm								
A	31,5 mm																								
A₁	14,3 mm																								
A₂	19,2 mm																								
B	38,1 mm																								
J	83 mm																								
N	11 mm																								
Q	1/4 - 28 UNF																								
V	80 mm																								
	<table border="1"> <tr><td>m</td><td>0,55 kg</td><td>Mass</td></tr> <tr><td>C_r</td><td>18700 N</td><td>Basic dynamic load rating, radial</td></tr> <tr><td>C_{0r}</td><td>10700 N</td><td>Basic static load rating, radial</td></tr> <tr><td>C_{0rG}</td><td>17700 N</td><td>Load carrying capacity of housing, radial</td></tr> <tr><td></td><td>GEH.CJ06-TV</td><td>Designation of housing</td></tr> <tr><td></td><td>GYE30-KRR-B-FA107-VA</td><td>Designation of bearing</td></tr> <tr><td></td><td>KASK06-S-G</td><td>Bearing end cap, closed design. Each housing unit is supplied with an end cap.</td></tr> <tr><td></td><td>KASK06-S-R-NBR</td><td>Bearing end caps for housing units, open design, with integral rotary shaft seal. Available by agreement.</td></tr> </table>	m	0,55 kg	Mass	C_r	18700 N	Basic dynamic load rating, radial	C_{0r}	10700 N	Basic static load rating, radial	C_{0rG}	17700 N	Load carrying capacity of housing, radial		GEH.CJ06-TV	Designation of housing		GYE30-KRR-B-FA107-VA	Designation of bearing		KASK06-S-G	Bearing end cap, closed design. Each housing unit is supplied with an end cap.		KASK06-S-R-NBR	Bearing end caps for housing units, open design, with integral rotary shaft seal. Available by agreement.
m	0,55 kg	Mass																							
C_r	18700 N	Basic dynamic load rating, radial																							
C_{0r}	10700 N	Basic static load rating, radial																							
C_{0rG}	17700 N	Load carrying capacity of housing, radial																							
	GEH.CJ06-TV	Designation of housing																							
	GYE30-KRR-B-FA107-VA	Designation of bearing																							
	KASK06-S-G	Bearing end cap, closed design. Each housing unit is supplied with an end cap.																							
	KASK06-S-R-NBR	Bearing end caps for housing units, open design, with integral rotary shaft seal. Available by agreement.																							

Os rolos (Figuras 45, 46 e 47) são os elementos que entram em contacto com a conduta, e têm a responsabilidade da acondicionar e imprimir-lhe o movimento, com a velocidade adequada, através de forças de atrito. O seu peso, sem as chumaceiras, é de cerca de 137 N.



Figura 45 – Rolo assembled



Figura 46 - Rolo explodido

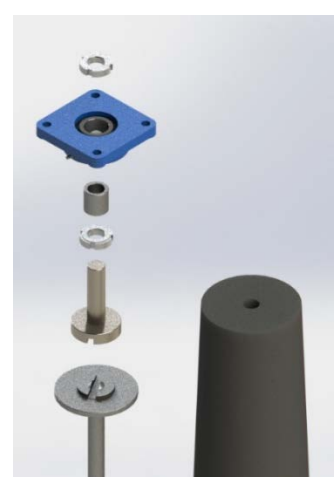


Figura 47 – Pormenor de montagem do rolo

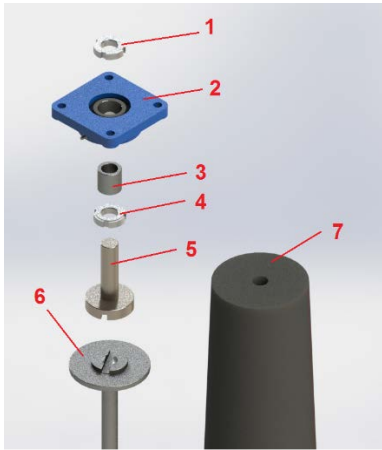


Figura 48 – Legenda do mecanismo de acoplamento do rolo

O conjunto de peças (Figura 48) que compõem o rolo tem como objetivo facilitar a intermutabilidade deste na grade, sem comprometer a transmissão e a sua função. O rolo 7, em borracha, vai ser vulcanizado no veio 6 previamente ranhurado para melhorar a fixação. O casquilho 3 vai ser inserido num ajustamento com aperto na chumaceira 2, de forma a receber num ajustamento deslizante o veio 5, roscado nas extremidades do diâmetro menor. As fêmeas ranhuradas DIN 1804 (1 e 4), destinam-se a fazer o ajuste necessário entre o veio 5 e o veio 6, de forma a fixá-lo nas extremidades e a transmitir-lhe o movimento de rotação proveniente dos motorreductores.

As figuras 49, 50 e 51 mostram a sequência de operações para libertar o rolo de borracha.

Na figura 49 pode-se ver o rolo acoplado com a chumaceira superior.

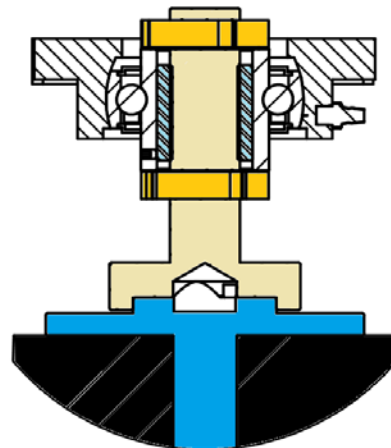


Figura 49 – Rolo fixado

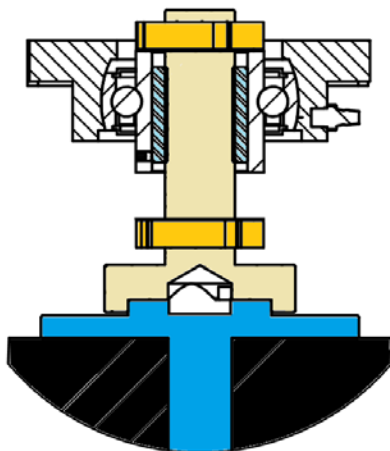


Figura 50 – Fêmea inferior aliviada

Começa-se por aliviar a fêmea inferior, de forma a ganharmos espaço de manobra no veio 5 (Figura 50).

Com o aperto da fêmea superior, fazemos deslocar o veio 5 na vertical, afastando-o do rolo, e promovendo assim a interrupção na transmissão de movimento e, conseqüentemente, a sua fácil e rápida intermutabilidade (Figura 51).

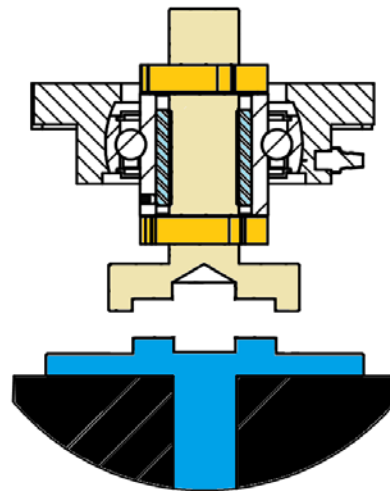


Figura 51 – Compensação da altura pela fêmea superior

Conforme o descrito anteriormente, as condutas são colocadas manualmente no suporte de sujeição, acondicionadas e arrastadas pelos rolos.

No acondicionamento, os rolos vão contactar com a conduta, de forma a corrigir a sua geometria circular (Figura 52), ovalizada por efeito do próprio peso, mantendo a folga necessária à junção por soldadura.

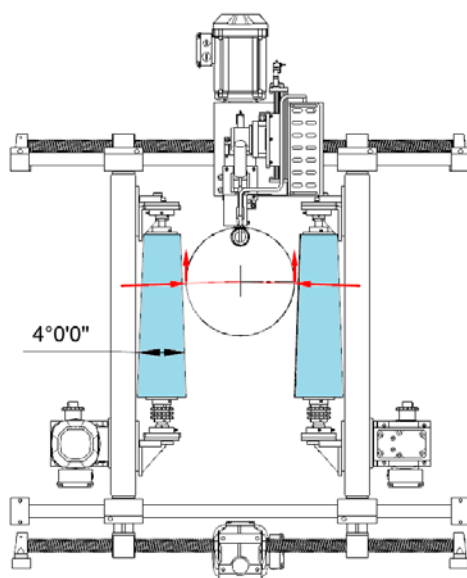


Figura 52 – Forças envolvidas no acondicionamento

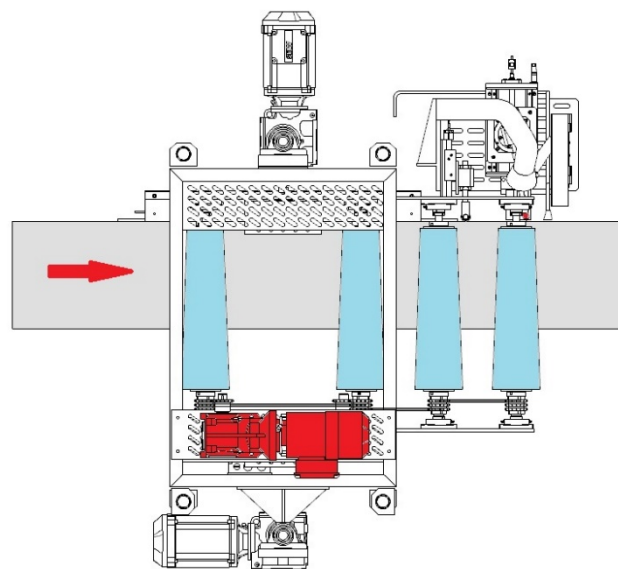


Figura 53 – Direção de arraste da conduta

A tensão aplicada à conduta será função do diâmetro, espessura e material da conduta. Na realidade, a principal função dos rolos é imprimir movimento à conduta, através do atrito gerado entre estes e a conduta (Figuras 53 e 54).

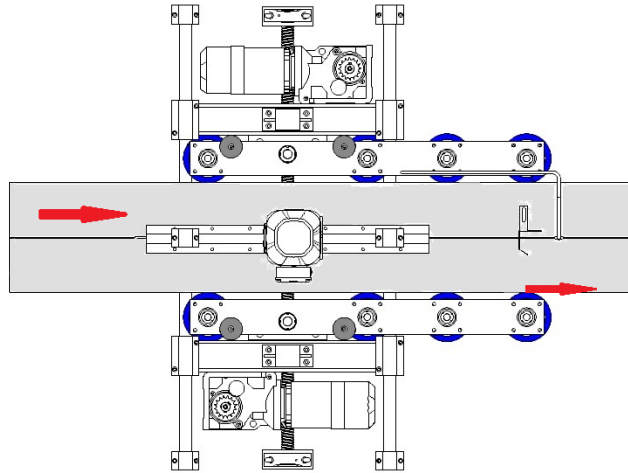


Figura 54 – Vista superior da máquina

O atrito é a força que se manifesta, em sentido contrário, à força que colocou o corpo em movimento. Na fase inicial, essa força de atrito é maior, e designa-se por **atrito estático**; com o objeto em movimento, essa força diminui e temos o chamado **atrito cinético**.

Entre outros fatores, a força de atrito depende do estado das superfícies em contacto – concretamente, da sua rugosidade. Se a superfície de deslizamento do corpo e/ou a superfície onde ele desliza for(em) muito rugosa(s), a força para o colocar em movimento será maior, bem como a força para o manter em movimento.

Existe proporcionalidade entre a força de atrito estático e a força que o objeto exerce sobre a superfície, ou seja, o seu peso. Temos então: [5]

$$F_{ae} = \mu_e \times N$$

Sendo (Figura 55):

F_{ae} a força de atrito estático em Newton (N)

μ_e o factor de proporcionalidade, chamado *coeficiente de atrito estático*;

N é o peso do objecto – a força que este exerce sobre a superfície em contacto em Newton (N)



Figura 55 – Forças de Atrito [70]

Deverá aqui ser referido que o peso de uma conduta com 500 x 2000 x 1 [mm] em chapa galvanizada é de 194,12 N.

Considerando a força normal da conduta (Figura 56) e o atrito estático (Tabela 17) entre a conduta (aço) e o suporte de conduta (aço), poderá considerar-se que:

$$\mu_e (\text{Aço} - \text{Aço}) = 0,7$$

Tabela 17 - Coeficientes de atrito de metais [69]

Bibliographic Entry	Result (w/surrounding text)		Standardized Result
Sullivan, James F. <i>Technical Physics</i> . USA: Wiley, 1988: 204.	<u>Materials</u> Steel on Steel	<u>Static Friction</u> 0.7	<u>Kinetic Friction</u> 0.6 μ_s μ_k 0.7 0.6
Encarta Encyclopedia 2004. Microsoft Corporation.	Steel on Steel (dry)	<u>Static Friction</u> 0.7	<u>Kinetic Friction</u> 0.6 μ_s μ_k 0.7 0.6
<i>CRC Handbook of Physical Quantities</i> . Boca Raton, FL: CRC Press, 1997: 145-156.	Steel on Steel	<u>Static Friction</u> 0.74	<u>Kinetic Friction</u> 0.57 μ_s μ_k 0.74 0.57
Weber, Robert L.; Manning, Kenneth V.; White, Marsh W. <i>College Physics-4th Edition</i> . USA: McGraw-Hill, 1965: 66	Steel on Steel (dry)	<u>Static Friction</u> 0.15	<u>Kinetic Friction</u> 0.09 μ_s μ_k 0.15 0.09
Determining the Coefficient of Friction - Succeed in Physical Science . School for Champions.	<u>Surfaces</u> Steel on steel (dry)	<u>Static Friction</u> 0.6	<u>Kinetic Friction</u> 0.4 μ_s μ_k 0.6 0.4

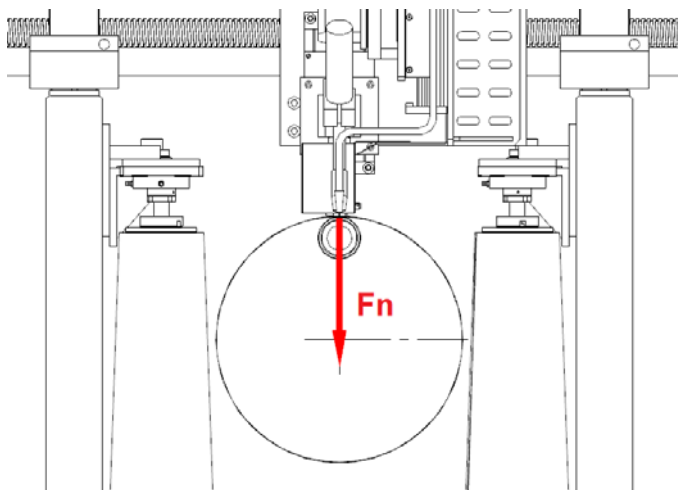


Figura 56 – Força Normal (FN) da conduta

$$F_{ae} = \mu_e \times N$$

$$F_{ae} = 0,7 \times 194,12N$$

$$F_{ae} = 135,88 N$$

Isto significa que, para imprimir movimento (arrastar) à conduta, os oito rolos têm de exercer uma força tangencial de 135,88 N, (Figura 57), pois:

$$\text{Força tangencial} = 135,88 N / 8 \text{ rolos} = 17 N / \text{rolo}$$

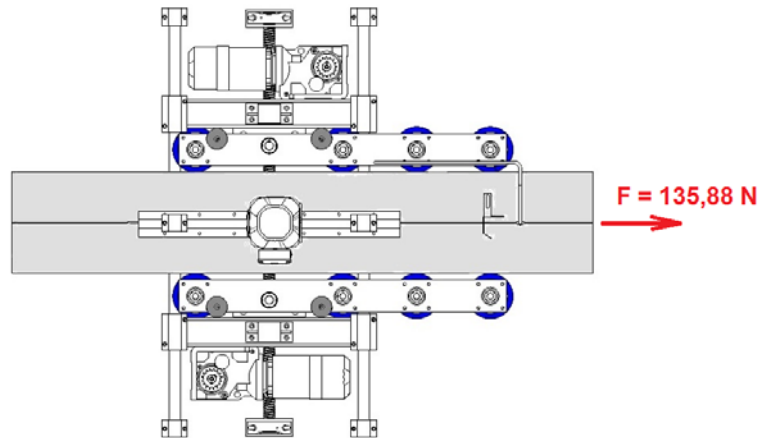
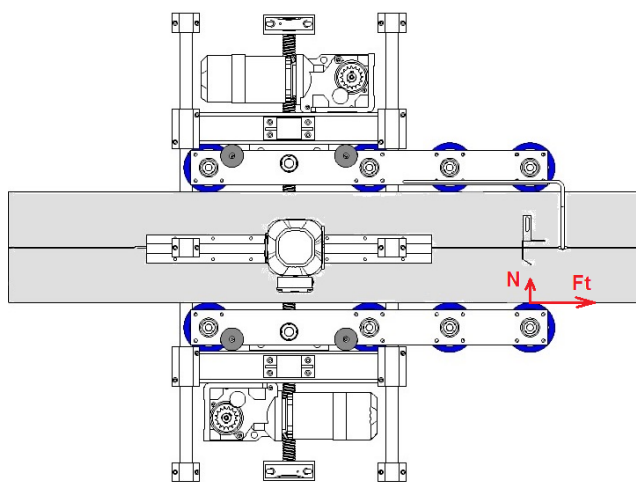


Figura 57 – Força de arraste da conduta

O elastómero selecionado para os rolos é o Poliuretano (40 Shore D), cujo coeficiente de atrito estático com o aço é de 1,9 [70].

Então, observando a Figura 58, temos que:



$$F_{ae} = \mu_e \times N$$

$$17N = 1,9 \times N$$

$$N = \frac{17N}{1,9}$$

$$N = 9 \text{ N}$$

Figura 58 – Força normal à conduta

Isto significa que, para arrastar a conduta em causa, o acondicionamento (Figura 58) será feito com uma tensão de 9 N na direção paralela ao eixo XX' mas, como os rolos têm uma conicidade de 2° (Figura 59), a força normal à conduta será;

$$F_N \times \cos 2^\circ = 9N$$

$$\operatorname{tg} 2^\circ = \frac{F_t}{9N}$$

$$F_N = \frac{9N}{\cos 2^\circ}$$

$$F_t = 9N \times \operatorname{tg} 2^\circ$$

$$F_N = 9,0054 \text{ N}$$

$$F_t = 0,31 \text{ N}$$

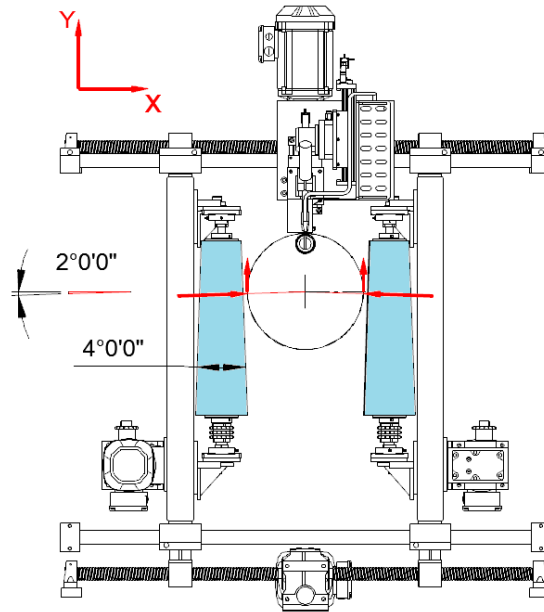


Figura 59 – Forças normal e tangencial na conduta

Considerando as solicitações descritas anteriormente, e procedendo ao estudo das tensões presentes na conduta, o resultado foi o seguinte:

Resultados do estudo

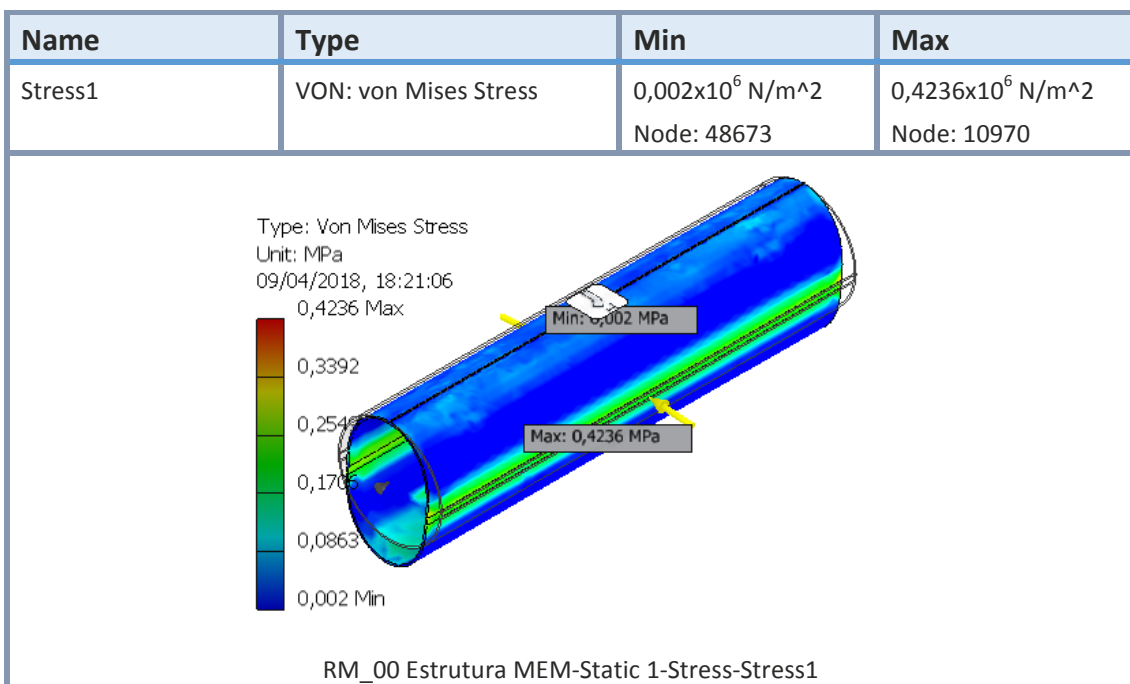


Figura 60 – Estado de tensão da conduta

Do estudo em computador (Figura 60 - canto superior direito) podemos observar que, a maior solicitação corresponde a um valor de $0,4236 \times 10^6 \text{ N/m}^2 = 0,4236 \text{ N/mm}^2$, resultado insignificante considerando a tensão de cedência para o material que é 235 N/mm^2 .

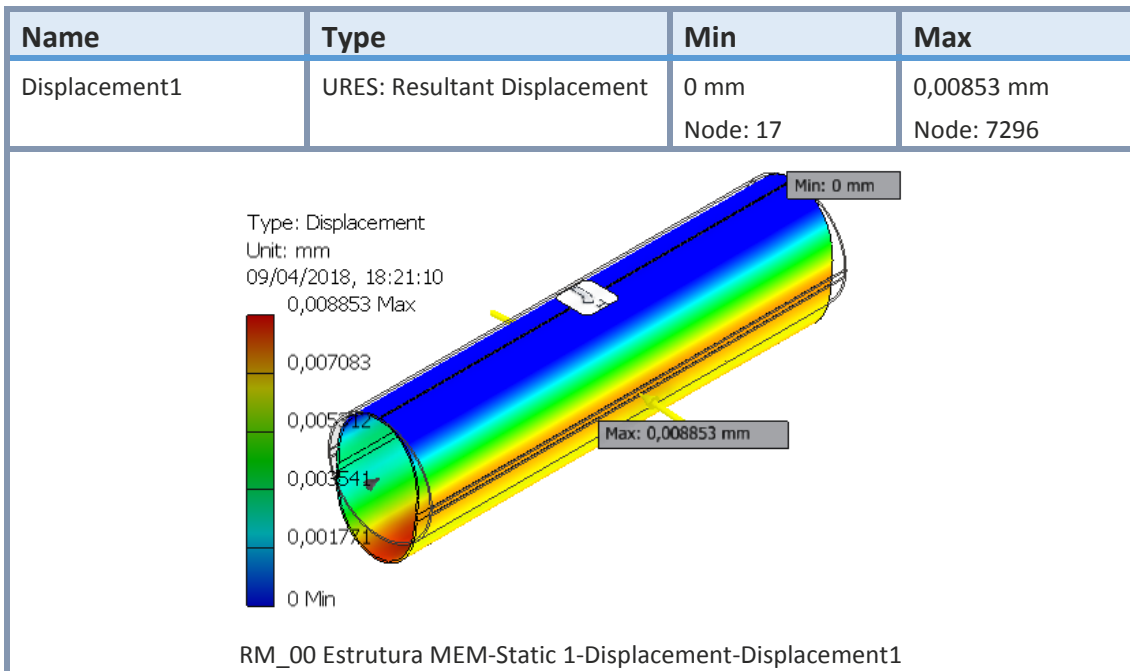


Figura 61 - Estado de deformação da conduta

Estudando os resultados da deformação (Figura 61 - canto superior direito), é possível constatar que a deformação máxima é de 0,0085 mm, manifestamente irrelevante para provocar uma deformação permanente na conduta conforme visto anteriormente.

Para combater o efeito da conicidade proveniente das deformações sofridas ao longo do processo, desde a entrada da conduta até à operação de soldadura, que provocará uma compressão da junta, as flanges serão apenas fixadas num eixo (Figuras 62 e 63), o que lhes vai permitir um grau de liberdade angular facilitador do acompanhamento de tais desníveis.



Figura 62 – Pormenor de fixação axial da grade

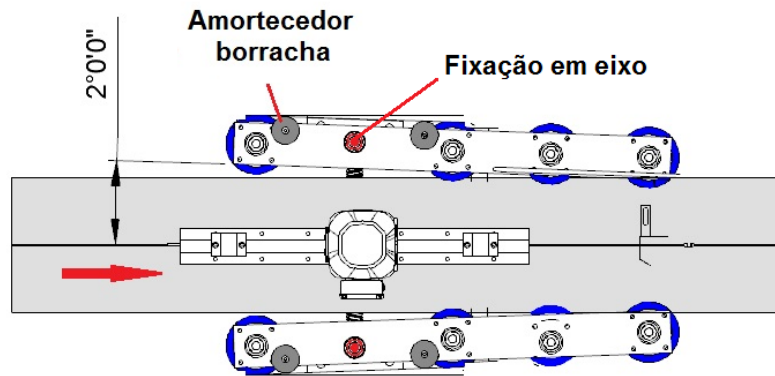


Figura 63 - Compensação do efeito da conicidade da conduta

Os amortecedores de borracha (Figuras 62 e 63) têm a grande função de manter tanto quanto possível as flanges e, conseqüentemente, a grade de rolos, paralelas ao eixo da conduta. A motorização do mecanismo de arraste será assumido pelos motorreductores, acompanhados de variadores de velocidade responsáveis pelo afastamento e aproximação das grades de rolos e pela rotação dos mesmos. Os motorreductores tem uma relação de transmissão $i=1:20$, 1 CV de potência e 1400 rpm. Para uma velocidade média de soldadura de 2 m/min e um diâmetro médio do rolo de 140 mm teremos:

$$\text{Perímetro} = \pi \times D \quad \text{Perímetro} = \pi \times 140\text{mm} \quad \text{Perímetro} = 439,8 \text{ mm}$$

Para uma velocidade média da soldadura de $2 \text{ m/min} = 2 \times 10^3 \text{ mm/min}$ então:

$$n = \frac{2000}{439,8} \Rightarrow n = 4,55 \text{ rpm}$$

Como dados para os motorreductores, temos:

$$n = 1400 \text{ rpm}$$

$$i = 1:20$$

$$P = 1 \text{ CV} = 735 \text{ W}$$

$$n = \frac{1400}{20} \Rightarrow n = 70 \text{ rpm}$$

$$P = M_t \times \frac{\pi \times n}{30}$$

$$M_t = \frac{P \times 30}{\pi \times n} \Rightarrow M_t = \frac{735 \times 30}{\pi \times 4,55} \Rightarrow M_t = 1548,58 \text{ Nm} = 1548 \times 10^3 \text{ Nmm}$$

Conforme visto atrás, a força tangencial (Figura 64) do rolo na conduta (500 x 2000 x 1 [mm]) é de **17 N /rolo**.

Como o diâmetro médio do rolo é de 140 mm, o raio é de 70 mm, pelo que:

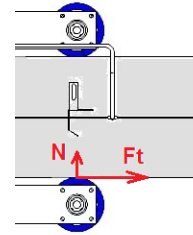


Figura 64 – Força tangencial e normal na conduta

$$M_t = F_t \times R$$

$$M_t = 17N \times 70mm$$

$$M_t = 1190 \text{ Nmm}$$

$$M_t = 1190 \times 10^{-3} \text{ Nm}$$

$$M_t = 1,190 \text{ Nm}$$

Para este valor de momento torsor e número de rotações à saída, teríamos uma infinidade de possibilidades mas, será realizada uma análise para os valores extremos da conduta, e que será de 800 mm de diâmetro por 2000 mm de comprimento e 3 mm de espessura. Uma conduta destas dimensões e fabricada em aço S235, pesa **1163,1 N**. Calculando a força de atrito estático teremos:

$$F_{ae} = \mu_e \times N$$

$$F_{ae} = 0,7 \times 1163,1N$$

$$F_{ae} = 814,17 \text{ N}$$

$$F_{ae} = \frac{814,17N}{8rolos}$$

$$F_{ae} = 101,8 \text{ N}$$

$$M_t = F_t \times R$$

$$M_t = 101,8N \times 70mm$$

$$M_t = 7126 \text{ Nmm}$$

$$M_t = 7126 \times 10^{-3} \text{ Nm}$$

$$M_t = 7,126 \text{ Nm}$$

Se analisarmos o catálogo da empresa *Bonfiglioli* [71], verificamos que as opções disponíveis são várias, mas a selecionada (0,75 KW) previne qualquer falha imprevista (Figura 65).







n₂ - Velocidade de saída (rpm)







M₂ - Momento torsor de saída (N.m)







S - Factor de Segurança







I - relação de transmissão

R_{n2} - Força radial admissível (N)

0.06 kW											
n ₂ min ⁻¹	M ₂ Nm	S	i	R _{n2} N							
4.5	59	1.0	300	2500				VFR 44_300	S44	BN44B4	112
5.8	50	1.2	230	2500				VFR 44_230	S44	BN44B4	112
7.7	42	1.5	175	2500				VFR 44_175	S44	BN44B4	112
9.6	36	1.4	140	2500				VFR 44_140	S44	BN44B4	112
13.4	29	1.8	100	2500				VFR 44_100	S44	BN44B4	112

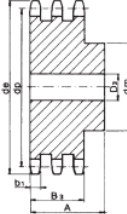
0.12 kW											
n ₂ min ⁻¹	M ₂ Nm	S	i	R _{n2} N							
4.2	116	1.8	315	5000				VFW 30/63_315	P63	BN63A4	125
4.4	108	1.2	300	5000				WR 63_300	P63	BN63A4	124
4.4	115	1.6	300	6200				WR 75_300	P63	BN63A4	128
4.4	129	2.1	300	7000				WR 86_300	P63	BN63A4	132
4.4	134	2.8	300	5750				VFW 44/75_300	P63	BN63A4	129
4.8	121	2.3	180	6200				WR 75_180	P63	BN63B6	128

0.25 kW											
n ₂ min ⁻¹	M ₂ Nm	S	i	R _{n2} N							
3.9	311	3.4	230	8000				VFW 49/110_230	P71	BN71B6	137
4.6	255	1.1	300	7000				WR 86_300	P71	BN71A4	132
4.6	266	1.4	300	5750				VFW 44/75_300	P71	BN71A4	129
4.6	266	2.1	300	8000				WR 110_300	P71	BN71A4	136
4.6	234	2.1	300	7000				VFW 44/86_300	P71	BN71A4	133
4.7	280	1.4	192	7000				WR 86_192	P71	BN71B6	132

0.37 kW										
n ₂ min ⁻¹	M ₂ Nm	S	i	R _{n2} N						

A rotação dos rolos é obtida através de transmissão por corrente de elos e carretos de corrente, triplos (Figura 66). Da tabela 18 tiramos que os carretos serão: 1/2" – 5/16" (16Z 08B-3).

Tabela 18 - Dados técnicos de Carretos de Corrente triplos

Carretos	Z	de	dp	S			D			T		
				dm	D ₁	A	dm	D ₂	A	dm	D ₃	A
<p>1/2" x 5/16" 12,7 x 7,75 mm (08B - 1 - 2 - 3)</p> <p>para corrente de rolo segundo DIN 8187 ISO/R 606</p> 	8	38,0	33,18	20	10	25	20	10	32	20	10	46
	9	42,0	37,13	24	10	25	24	10	32	24	12	46
	10	45,9	41,10	26	10	25	28	10	32	28	12	46
	11	49,9	45,07	29	10	25	32	12	35	32	16	50
	12	53,9	49,07	33	10	28	35	12	35	35	16	50
	13	57,9	53,06	37	10	28	38	12	35	38	16	50
	14	61,9	57,07	41	10	28	42	12	35	42	16	50
	15	65,9	61,09	45	10	28	46	12	35	46	16	50
	16	69,9	65,10	50	12	28	50	16	38	50	16	50
	17	74,0	69,11	52	12	28	54	16	38	54	16	50
	18	78,0	73,14	56	12	28	58	16	38	58	16	50
	19	82,0	77,16	60	12	28	62	16	38	62	16	50
	20	86,0	81,19	64	12	28	66	16	38	66	16	50
	21	90,1	85,22	68	14	28	70	16	40	70	16	55
	22	94,1	89,24	70	14	28	70	16	40	70	16	55
	23	98,1	93,27	70	14	28	70	16	40	70	16	55
	24	102,1	97,29	70	14	28	75	16	40	75	16	55
	25	106,2	101,33	70	14	28	80	16	40	80	16	55
	26	110,2	105,36	70	16	30	85	16	40	85	20	55
27	114,2	109,40	70	16	30	85	16	40	85	20	55	

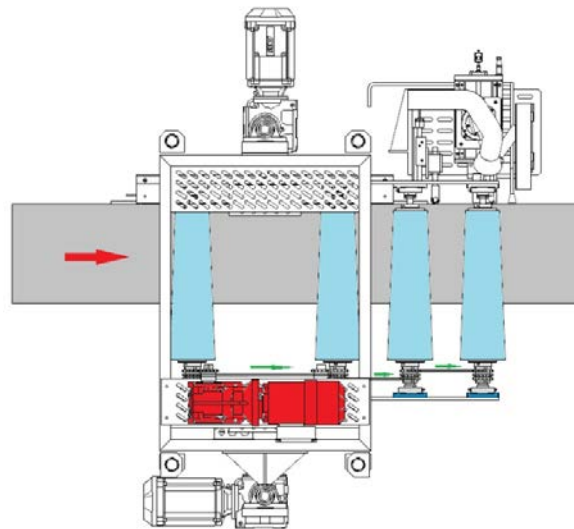


Figura 66 - Transmissão de movimento a partir de carretos triplos

Todo este subconjunto será apoiado e fixado na estrutura (Figura 67), através de caixas fixadoras LUHR da SKF ou equivalente, cujas características são exibidas na tabela 19.

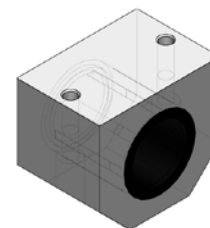
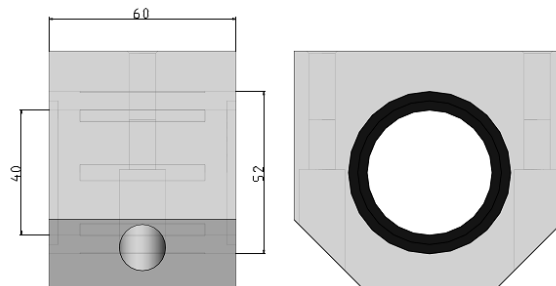


Figura 67 - Fixador de Veios

Tabela 19 - Características do fixador LUHR

Ordering key	LUHR 40
Fw[mm]	40
A[mm]	60
C1[mm]	-
Da[mm]	52
H +/-0,01[mm]	39
H1[mm]	76
H2[mm]	38
H3[mm]	22
L[mm]	87
J[mm]	69
N[mm]	8.4
N1	M10
Classificações de carga básica - Dinâmica (C)[N]	5500
Classificações de carga básica - Estática (Co)[N]	4500
Massa[kg]	0.74



Conforme se pode constatar na tabela 19, a carga estática admissível do fixador é de 4500 N. Como a carga a suportar é o peso do mecanismo de arraste (2914 N) e ainda o referido mecanismo vai estar apoiado em seis fixadores ($6 \times 4500 \text{ N} = 27000 \text{ N}$), pode ser concluído que o componente selecionado serve perfeitamente os objetivos.

Mecanismo da Tocha

Peso = 200,1 N

O mecanismo da tocha (Figura 68) é um subequipamento cuja função é suportar, aproximar ou afastar, e ainda posicionar angularmente a tocha de soldadura, de acordo com as especificidades da conduta a soldar.

A figura 69 mostra o conjunto em vista explodida.

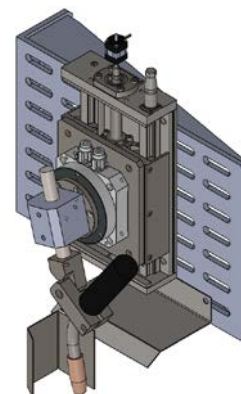


Figura 68 – Mecanismo Tocha

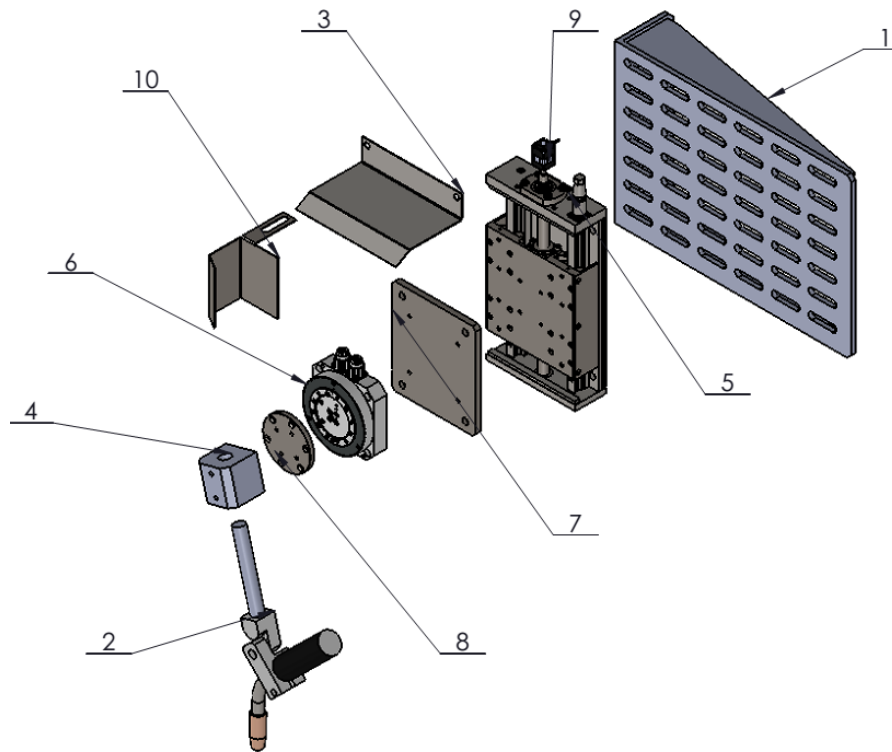


Figura 69 – Mecanismo da tocha explodido

Este subconjunto é constituído por um suporte em “L” (1) com um frontal em chapa, munido de diversos rasgos, cuja serventia é a posterior e necessária fixação de outros elementos importantes ao equipamento. O lado mais pequeno do “L”, dotado de rasgos equivalentes, vai facilitar o posicionamento e a união de todo o suporte à estrutura da máquina (Figura 70).

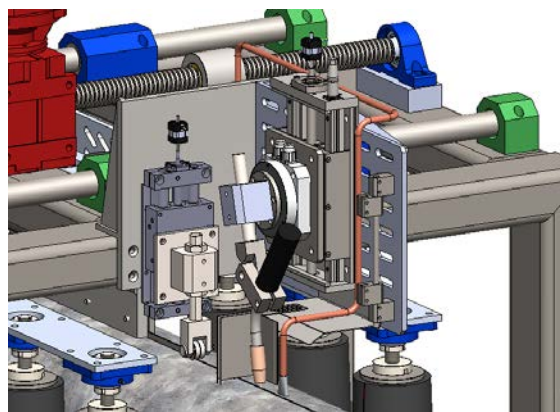


Figura 70 – Posicionamento do mecanismo de soldadura

Na parte frontal do suporte (1) vai ser fixada uma mesa de guiamento linear de precisão (5) (Figuras 69, 70 e 71), responsável pelo ajuste em altura da tocha, que vai permitir uma afinação adequada do comprimento do arco em função do material e espessura da conduta, bem como da seleção do processo de soldadura (MIG/MAG; TIG; Plasma).

A mesa linear LTB170.0280.TN1210 da SKF, ou semelhante, terá as dimensões e características mostradas na Figura 71. Terá um curso de 110 mm, mais do que suficiente para a finalidade em causa e que é o necessário posicionamento da tocha em relação à junta de soldadura. A tabela 20 mostra as características da mesa linear.

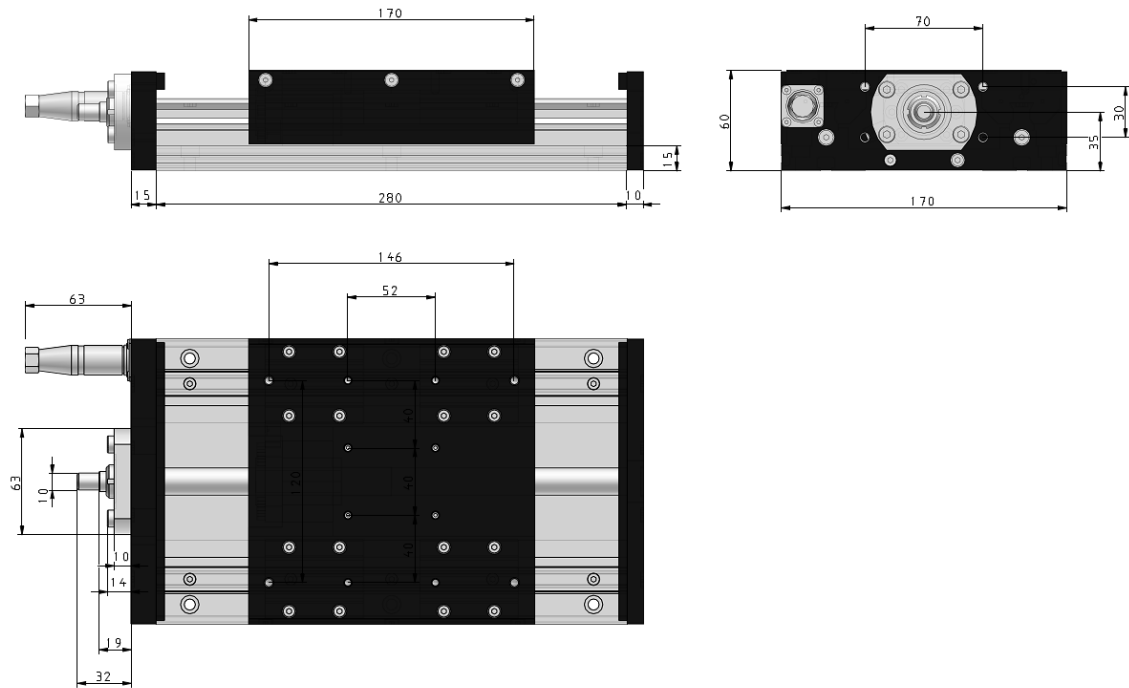


Figura 71 – Mesas deslizantes de guias de trilho perfilado – LTB

Tabela 20 - Dados técnicos da mesa deslizante – LTB

Technical Data

Largura deslizante[mm]	170
Comprimento L1 deslizante[mm]	280
Tipo de parafuso	Preloaded
Parafuso-guia	10
Tampa	Sem foles
Ordering key	LTB170.0280.TN1210
Adequado como eixo superior da mesa de montagem transversal central	Sem
Massa total do deslizante[kg]	6.4
Movimento linear da parte superior deslizante[kg]	2.3

As restantes peças que vão complementar o mecanismo da tocha e que ficarão acopladas à mesa linear, vão exercer sobre a mesma uma carga vertical de 50,5 N \approx 5,15 kg. Pela análise da tabela 20, é possível perceber que a mesa deslizante desenvolve uma carga de 2,3 kg, logo, o motor de passo, mais adequado para a precisão de movimento e velocidade requeridas, 0,6 m/min, terá de ser capaz de vencer o conjunto das forças envolvidas e que serão 5,15 kg + 2,3 kg = 7,45 kg. Assim, e utilizando o simulador da IGUS (Figura 72), disponível no sítio dessa empresa [72], é possível obter a selecção mostrada na figura 73. O simulador obriga a que as forças

sejam introduzidas em kg razão pela qual, as forças são apresentadas no texto em kg e não em N conforme o SI.

drylin® - configurador de mesas lineares Redefinir

Aplicação

Mesa linear

Sem motor

Com motor

Resultado

Tipo de aplicação:

Horizontal

Vertical

Lateral

Invertida

Configuração

Sistema de medição

métrica

imperial

Carga até kg

Velocidade até m/min

Aceleração até m/s²

Comprimento do curso até mm

Temperatura °C

Classe de precisão:

Peso próprio

Robustez

Resistente à corrosão Subaquático

Aço inox Reversível

Compatibilidade de FDA

Tempo de trabalho por ciclo %

Centro de gravidade

Coordenadas

Sx mm

Sy mm

Sz mm

Figura 72 – Variáveis em jogo na escolha do motor de passo [72]

drylin® - configurador de mesas lineares Redefinir

Aplicação

Resultado

Configuração

Combinções de motor

Todos Mais económicos 24 V 48 V

Para ordenar, clique no título da coluna

Modelo	Acionamento	Tamanho da mesa Ø	Veios Suporte de veio	Versão	Motor	Carga do motor	Duração de vida [Ciclos]	Preço total a partir de EUR*
<input checked="" type="checkbox"/> SAW	8x1,5	6	Alumínio Plástico	BB	3 NEMA17 24V	71%	26.655	393,24
<input checked="" type="checkbox"/> SLW-BB	8x1,5	6	Alumínio Alumínio	BB	3 NEMA17 24V	71%	26.655	408,77
<input checked="" type="checkbox"/> SHTC	10x2	12	Alumínio Alumínio		4 NEMA23 24V	99%	28.800	441,99
<input checked="" type="checkbox"/> ZLW-B	66 mm/U	10	Alumínio Plástico		2 DC-Motor31-15 24V	94%	31.818.182	464,06
<input checked="" type="checkbox"/> SHT	10x2	12	Alumínio Alumínio		4 NEMA23 24V	69%	50.549	466,47
<input checked="" type="checkbox"/> SAW	10x2	10	Alumínio Alumínio	BB	3 NEMA23 24V	39%	53.874	470,41
<input checked="" type="checkbox"/> ZLW-S	54 mm/U	6	Alumínio Plástico		3 DC-Motor31-15 24V	82%	31.818.182	480,74
<input checked="" type="checkbox"/> SLW	14x4	16	Alumínio Alumínio		2 NEMA23 24V	75%	138.252	490,98
<input checked="" type="checkbox"/> SHTC	10x2	12	Alumínio Alumínio		4 NEMA23XL 24V	74%	28.800	499,36
<input checked="" type="checkbox"/> SLW	10x2	10	Alumínio Alumínio		2 NEMA23 24V	64%	54.058	505,01

Figura 73 – Resultado da seleção do motor de passo [72]



Figura 74 – Motor de passo IGUS com a Refª NEMA23 24 V [72]

Da análise da figura 73, pode-se concluir que o motor a aplicar é o NEMA23 de 24 V (Figura 74), cujas dimensões e características estão representadas na figura 75, conjuntamente com as características do motor de passo.

Informação Técnica

Distância entre furos	56mm (NEMA23)	
Motor		
Tensão máxima	[VDC]	60
Voltagem nominal	[VDC]	24-48
Corrente nominal	[A]	4,2
Binário	[Nm]	2
Binário de retenção	[Nm]	0,068
Ângulo de passo	°	1,8
Resistência / fase	[Ω]	0,5±10%
Indutância / fase	[mH]	1,90±20%
Momento de inércia / rotor	[kgcm] ²	0,48
Carga axial máxima	[N]	15
Carga radial máxima	[N]	52

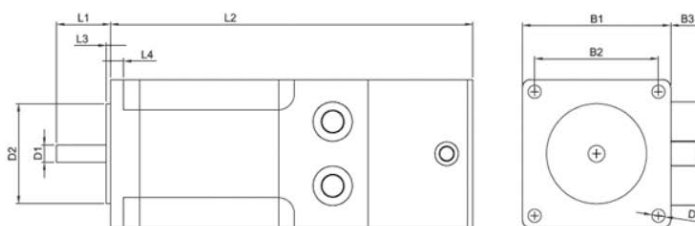


Figura com encoder e travão

Dimensões:

Modelo	B1	B2	B3	D1	D2	D3	L1	L2	L3	L4
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
		±0,2		-0,013	±0,025		±0,5	±0,8		
							AAAD ±1,0			
MOT-AN-S-060-020-056-L-A-AAAA	56,4	47,14	0	6,35	38,1	5	20,6	98	1,6	5

Figura 75 – Características do motor de passo NEMA23

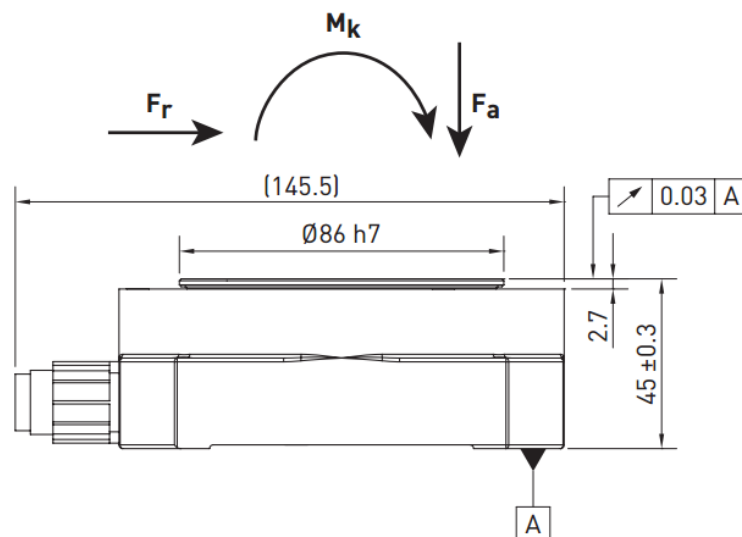
A mesa rotativa (6) (Figura 69) vai ser acoplada à mesa linear (5), de forma a poder ter simultaneamente movimento angular e linear (Figura 76) [73]. A tabela 21 mostra algumas características importantes do equipamento.



Figura 76 – Mesa rotativa [73]

Tabela 21 - Características das mesas rotativas [73]

Model	Continuous torque [Nm]	Peak torque [Nm]	Outer diameter [mm]	Height [mm]	Weight [kg]
TMN42E	1,4	4,2	118	45	2
TMN71E	3,7	11,1	179	50	3,5
TMN93E	13,2	39,6	230	55	7,5



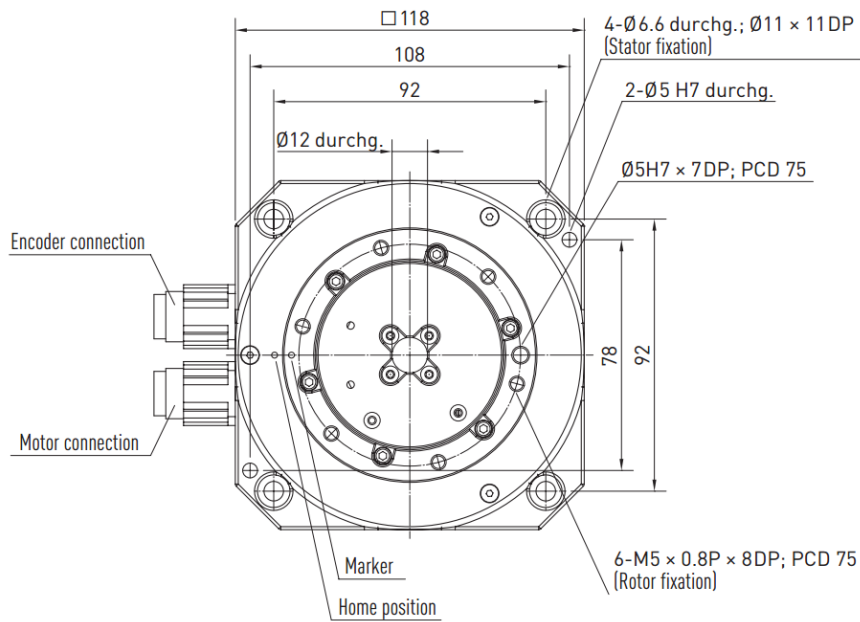


Figura 77 - Representação gráfica e dimensional da mesa rotativa [73]

A figura 77 representa o desenho 2D com as dimensões essenciais da mesa rotativa. A tabela 22 apresenta com maior profundidade as características do produto, em termos de momentos torses momentâneos e contínuos. O movimento rotativo da mesa destina-se apenas a dar a inclinação à tocha necessário ao processo de soldadura da conduta, pelo que o valor do momento torsk 4,2 Nm é o adequado atendendo a que, a tocha pesa aproximadamente 20 N e será fixada no máximo a 200 mm do centro da mesa rotativa. O cálculo em baixo demonstra isso mesmo. As restantes peças, (8) e (7), destinam-se apenas a facilitar a intermutabilidade entre os elementos. Já os componentes (3) e (10) têm como função proteger a zona da soldadura, evitando que os salpicos possam danificar os acessórios vizinhos, afetando assim a sua prestação (Figura 78).

O veio 1 da figura 79 tem 150 mm de comprimento conforme desenho técnico em Anexo 3. Admitindo que a tocha é fixada a 200 mm do centro da tocha e que o seu peso é 20 N então:

$$M_t = F \times d$$

$$M_t = 20N \times 0,2m$$

$$M_t = 4 Nm$$

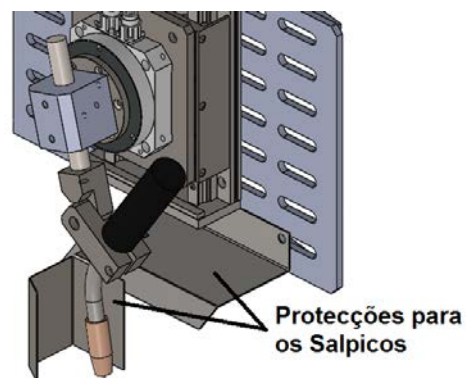


Figura 78 – Blindagens de proteção dos salpicos

Tabela 22 - Características técnicas da mesa rotativa [73]

Technical data for TMN42 HIWIN rotary tables			
	Symbol	Unit	TMN42
Technical data of rotary table			
Peak torque (for 1 sec.)	T_p	Nm	4.2
Continuous torque	T_c	Nm	1.4
Stall torque	T_s	Nm	0.98
Inertia of rotating parts	J	kgm ²	0.003
Weight	M_m	kg	2
Max. axial load	F_a	N	600
Max. radial load	F_r	N	600
Max. moment of tilt	M_k	Nm	30
Nominal speed (at 400 VAC)	n	1/min	700
Position accuracy		arc sec	± 45
Repeating accuracy		arc sec	± 2.5
Radial run-out		mm	0.03
Axial run-out		mm	0.03
Height	H	mm	45
Protection class			IP40

A tocha será fixada numa articulação (Figura 79) que ainda incrementará os graus de liberdade no seu posicionamento, para além da versatilidade em adaptar-se a diversos tipos de tocha, consoante o processo de soldadura adotado.

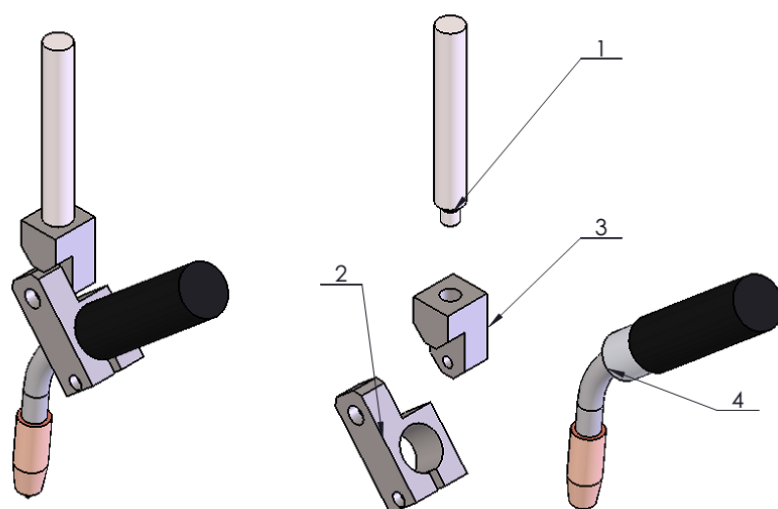


Figura 79 – Suporte articulado da tocha

Mecanismo do calcador

O dispositivo calcador (Figura 80) cumprirá a importante tarefa de manter as abas da conduta, que darão forma à junta, niveladas no mesmo plano (Figura 81), de forma a uniformizar a geometria circular da conduta. Para dar cumprimento ao referido anteriormente, será constituída por uma mesa de guiamento linear de precisão, acionada por um motor de passo, que desenvolverá o movimento e forças necessárias ao nivelamento das abas. O dispositivo de calcamento ainda prevê um veio facetado para, em conjunto com os parafusos frontais, manter os rolamentos (montados na extremidade) alinhados com o plano da junta.



Figura 80 – Dispositivo calcador

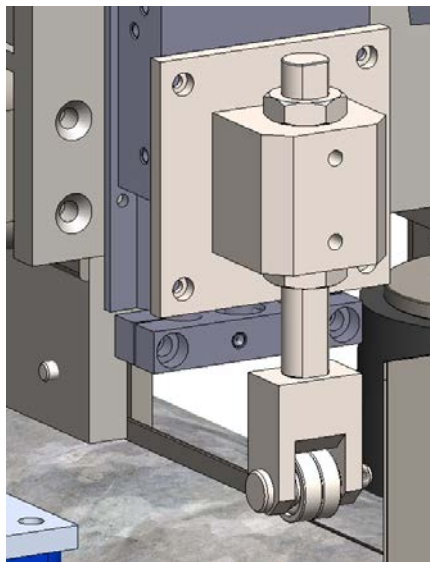


Figura 81 – Representação gráfica da zona de calcamento da junta

A mesa linear de precisão selecionada é a de refª **lts16-100-1204-m-0** da INA/FAG, ou equivalente, com 85 mm de curso, cujas características técnicas se adequam ao fim a que se destina, e que é ajustar o calcador com a força suficiente para ajustar as abas, qualquer que seja a sua espessura.

Os pesos envolvidos no conjunto são descritos seguidamente.

O peso total do conjunto é de 56,4 N.

O peso do conjunto sem a mesa é de 25,3 N.

A força requerida no êmbolo é de até 100 N.

$$M_t = F \times d$$

$$M_t = 100N \times 33mm \quad M_t = 3300 \text{ Nmm}$$

$$M_t = 3300 / 1000Nm$$

$$M_t = 3,3 \text{ Nm}$$

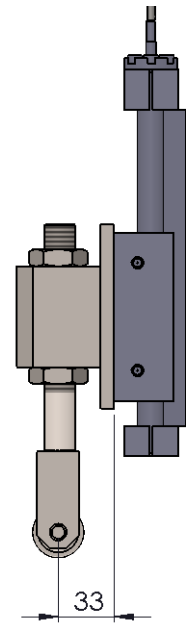


Figura 82 – Vista lateral do calçador

Ao consultar os dados da mesa linear (Figura 83), vê-se que a mesa pode suportar, um momento (M_z) de 32 Nm, bastante superior ao necessário, conforme o demonstrado atrás.

	M_{0x} per	29 Nm	<p>Momentos estáticos admissíveis (por carro)</p> <p>Valores, quando a carga é distribuída uniformemente nos quatro rolamentos lineares.</p> <p>Os valores se referem a cargas individuais. No caso de cargas combinadas, estas devem ser reduzidas.</p> <p>Consulte os critérios de projeto do guia linear no catálogo WF1.</p>
	M_{0y} per	50 Nm	<p>Momentos estáticos admissíveis (por carro)</p> <p>Valores, quando a carga é distribuída uniformemente nos quatro rolamentos lineares.</p> <p>Os valores se referem a cargas individuais. No caso de cargas combinadas, estas devem ser reduzidas.</p> <p>Consulte os critérios de projeto do guia linear no catálogo WF1.</p>
	M_{0z} per	32 Nm	<p>Momentos estáticos admissíveis (por carro)</p> <p>Valores, quando a carga é distribuída uniformemente nos quatro rolamentos lineares.</p> <p>Os valores se referem a cargas individuais. No caso de cargas combinadas, estas devem ser reduzidas.</p> <p>Consulte os critérios de projeto do guia linear no catálogo WF1.</p>

Figura 83 – Dados da mesa INA tirados de catálogo [74]

Pela análise da tabela 20 é possível perceber que a mesa deslizante desenvolve uma carga de 2,3 kg, logo, o motor de passo mais adequado para a precisão de movimento e velocidade requerida 0,6 m/min terá de ser capaz de vencer o conjunto das forças envolvidas e que serão (peso do conjunto sem a mesa é de 25,3 N \approx 2,53 kg) 2,53 kg + 2,3 kg = 4,83 kg, assim, e utilizando o simulador da IGUS disponível no seu sítio [72] e apresentado na figura 84, é possível verificar que a melhor escolha recai sobre o motor com a referência NEMA23XL24 V, conforme poderá ser observado na figura 85. O simulador IGUS obriga a que as forças sejam introduzidas em kg razão pela qual, as forças são apresentadas no texto em kg e não em N conforme o SI.

Para transmitir a rotação necessária ao fuso de esferas que compõe a mesa linear de precisão, e com isto dar corpo ao movimento da mesa, optou-se por acoplar um motor de passo, tendo em conta as variáveis envolvidas: Aceleração = 0,6 m/s²; Força vertical = 10 kg.

drylin® - configurador de mesas lineares ↻ Redefinir








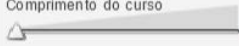
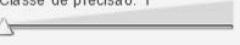


Aplicação	Resultado	Configuração
Mesa linear <input type="radio"/> Sem motor  <input checked="" type="radio"/> Com motor 	Tipo de aplicação: <input type="radio"/> Horizontal  <input type="radio"/> Lateral  <input checked="" type="radio"/> Vertical  <input type="radio"/> Invertida 	Sistema de medição <input checked="" type="radio"/> métrica <input type="radio"/> imperial
Carga  até <input type="text" value="10"/> kg Velocidade  até <input type="text" value="0"/> m/min Aceleração  até <input type="text" value="0.6"/> m/s ² Comprimento do curso  até <input type="text" value="85"/> mm	Temperatura  20 °C Classe de precisão: 1  Peso próprio  Robustez 	<input type="checkbox"/> Resistente à corrosão <input type="checkbox"/> Subaquático <input type="checkbox"/> Aço inox <input type="checkbox"/> Reversível <input type="checkbox"/> Compatibilidade FDA
Tempo de trabalho por ciclo <input type="text" value="10"/> %	Centro de gravidade Coordenadas Sx <input type="text" value="0"/> mm Sy <input type="text" value="0"/> mm Sz <input type="text" value="0"/> mm 	

Figura 84 - Variáveis em jogo na escolha do motor (2) de passo [72]

drylin® - configurador de mesas lineares Redefinir

Aplicação Resultado Configuração

Combinções de motor
 Todos Mais económicos 24 V 48 V

Para ordenar, clique no título da coluna

Modelo	Acionamento	Tamanho da mesa Ø	Veios Suporte de veio	Versão	Motor	Carga do motor	Duração de vida [Ciclos]	Preço total a partir de *
SLW	10x2	10	Alumínio Alumínio		2 NEMA23XL 24V	32%	53.109	sob consulta
SHT	10x2	12	Alumínio Alumínio		4 NEMA23XL 24V	34%	49.870	sob consulta
SHT	10x2	12	Alumínio Alumínio		4 NEMA23-IP65 24V	62%	49.870	sob consulta
SHT	10x2	12	Alumínio Alumínio		4 DC-Motor31-15 24V	59%	49.870	sob consulta
SHT	10x2	12	Alumínio Alumínio		4 DC-Motor35-10 24V	35%	49.870	sob consulta
SHT	10x2	12	Alumínio Alumínio		4 DC-Motor35-18 24V	35%	49.870	sob consulta
SHT-PL	10x2	12	Alumínio Alumínio	PL	5 NEMA23 24V	84%	36.946	sob consulta
SHT-PL	10x2	12	Alumínio Alumínio	PL	5 NEMA23XL 24V	46%	36.946	sob consulta
SHT-PL	10x2	12	Alumínio Alumínio	PL	5 NEMA23-IP65 24V	84%	36.946	sob consulta
SHT-PL	10x2	12	Alumínio Alumínio	PL	5 DC-Motor31-15 24V	79%	36.946	sob consulta

Figura 85 - Resultado da seleção do motor (2) de passo [72]

As dimensões e características do motor NEMA23XL de 24V estão representadas na figura 86.

Os subequipamentos referidos anteriormente, quando montados, darão corpo à máquina de união de condutas por soldadura, conforme o representado na figura 87.

O equipamento será ainda complementado com:

- Um conjunto denominado “visor” (Figura 88), que é basicamente uma placa em policarbonato escurecido, munida de dobradiças, que vai permitir controlar visualmente o processo de soldadura, durante e após o *setup* do equipamento;
- Um tubo de aspiração (Figura 88), posicionado junto do arco para fazer a correta sucção dos fumos e gases libertados no processo de soldadura.

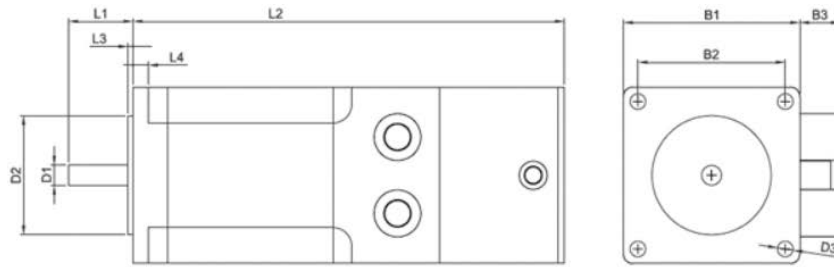


Figura com encoder e travão

Dimensões dos motores

Modelo	B1	B2	B3	ØD1	ØD2	ØD3	L1	L2	L3	L4
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
		±0,2		-0,013	±0,025		±1,0	±1,0		
MOT-AN-S-060-035-060-L-A-AAAA	60	47,14	9	8	38,1	4,5	20,6	88	1,6	7

Informação Técnica

Distância entre furos 60 mm (NEMA23XL)

Motor

Tensão máxima	[VDC]	60
Voltagem nominal	[VDC]	24-48
Corrente nominal	[A]	4,2
Binário	[Nm]	3,5
Ângulo de passo	°	1,8
Resistência / fase	[Ω]	0,65±10%
Indutância / fase	[mH]	3,20±20%
Carga axial máxima	[N]	15
Carga radial máxima	[N]	63

Figura 86 – Características do motor de passo NEMA23XL

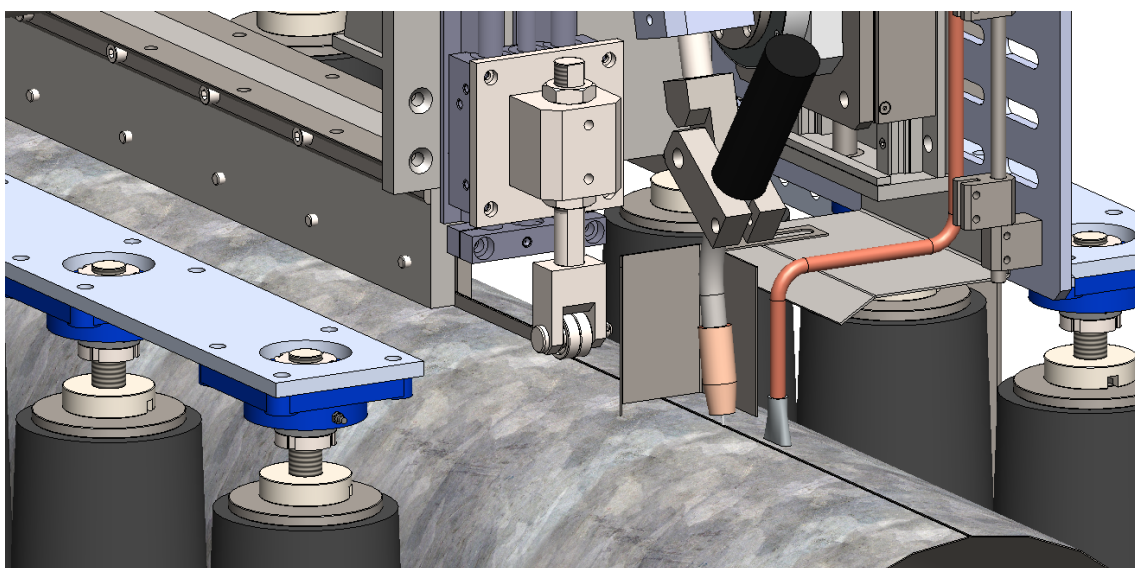


Figura 87 – Representação parcial da máquina de soldar condutas

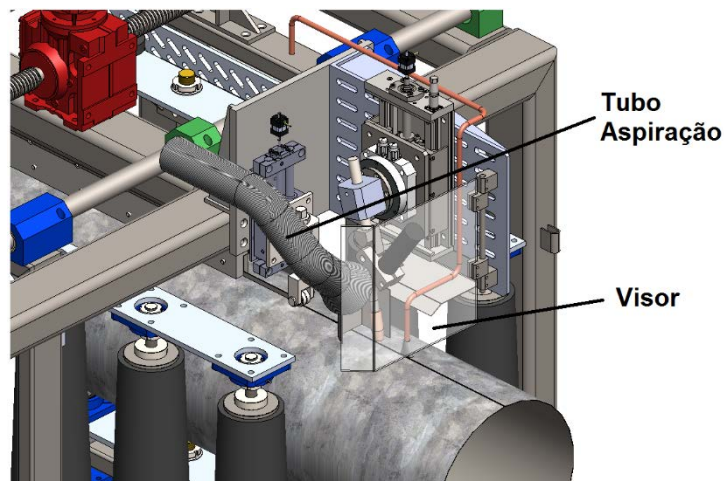


Figura 88 – Pormenor do visor e do tubo de aspiração

No sentido de facilitar o *setup* da máquina, foi ainda previsto que a localização da consola de controlo seja realizada do lado esquerdo da máquina (Figura 89), local onde é possível ver e intervir nos subequipamentos de soldadura e calcamento.

Ainda no sentido de facilitar a intervenção humana, a consola vai permitir a sua rotação para que, aquando do *setup*, esteja voltada para o operador e, finda a operação, possa ficar na sua posição lateral e embutida no quadro elétrico.

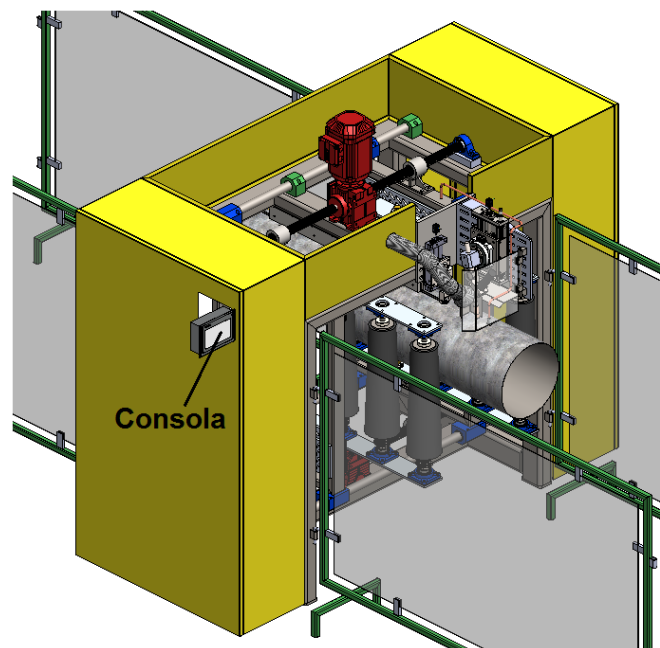


Figura 89 – Consola de controlo e seu posicionamento

As barreiras laterais são estruturas em construção soldada, construídas em tubo quadrado de 30 mm de aço S235, que vão suportar painéis de policarbonato (resistente ao choque) escurecidos para proteger a visão dos operadores e restantes trabalhadores.

Serão ligadas ao equipamento por engate rápido (Figura 90) e permitem a sua fácil rotação ou até mesmo a remoção para facilitar novos *setups*.

Os quadros elétricos e restantes blindagens serão fabricados pela empresa proponente do projecto, de acordo com as especificações e os desenhos anexos.

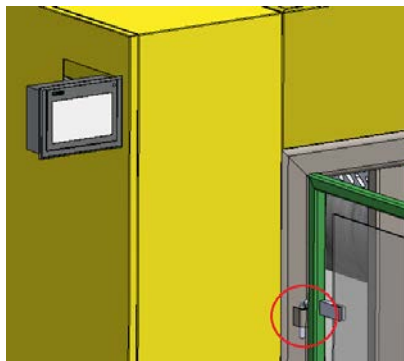


Figura 90 – Pormenor do engate dos painéis laterais

Todos os componentes em aço serão submetidos a tratamentos superficiais anti-corrosão e pintura electrostática.

3.3.2 Projeto elétrico e de automação

A automação e o controlo da máquina assumem uma importância determinante no funcionamento requerido. Na sua génese, o que se pretende é que, após a colocação da conduta no respetivo suporte, e seleccionados os parâmetros necessários à sua união por soldadura, o processo se desenrole de forma automática. A seleção dos parâmetros será feita em consola cujo aspeto rondará o *layout* representado na figura 91.

PROCESSO	CONDUTA DIÂMETRO	ESPESSURA	MATERIAL
MIG	100 mm	0,6 mm	Aço 235JR
MAG	150 mm	1,0 mm	Galvanizado
TIG	200 mm	1,5 mm	Inox 304
PLASMA	250mm	2,0 mm	
LASER	300mm	2,5 mm	
	350mm	3,0 mm	

Figura 91 - Aspeto do *layout* da consola

Selecionados os parâmetros e cumpridos os procedimentos de segurança, o mecanismo desenvolve de forma automática a sequência apresentada na figura 92.

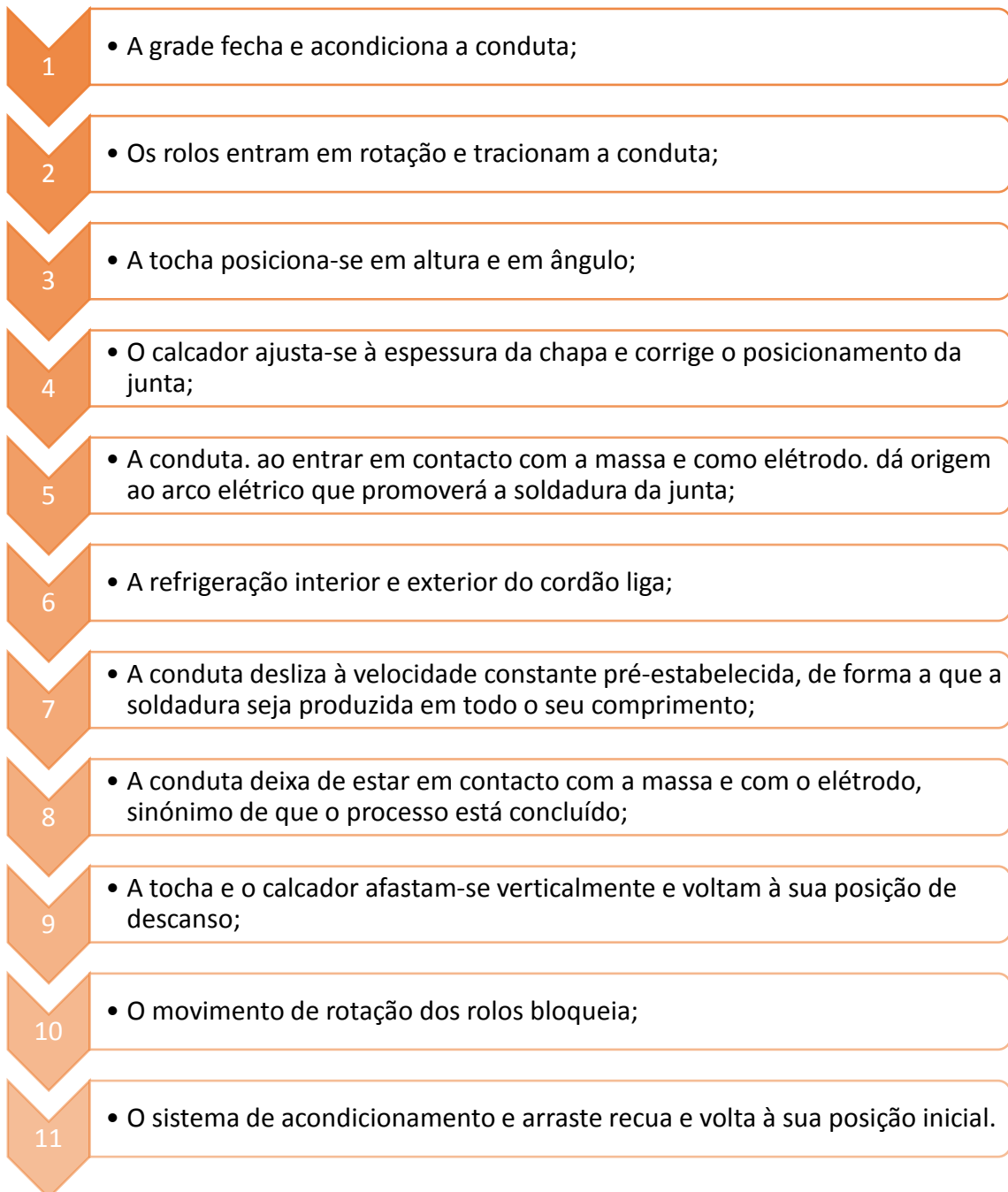


Figura 92 – Esquema de sequência de operações

A figura 93 ilustra o Grafcet que, traduz a sequência de funcionamento do equipamento e fornece a informação relevante para a programação do Autómato.

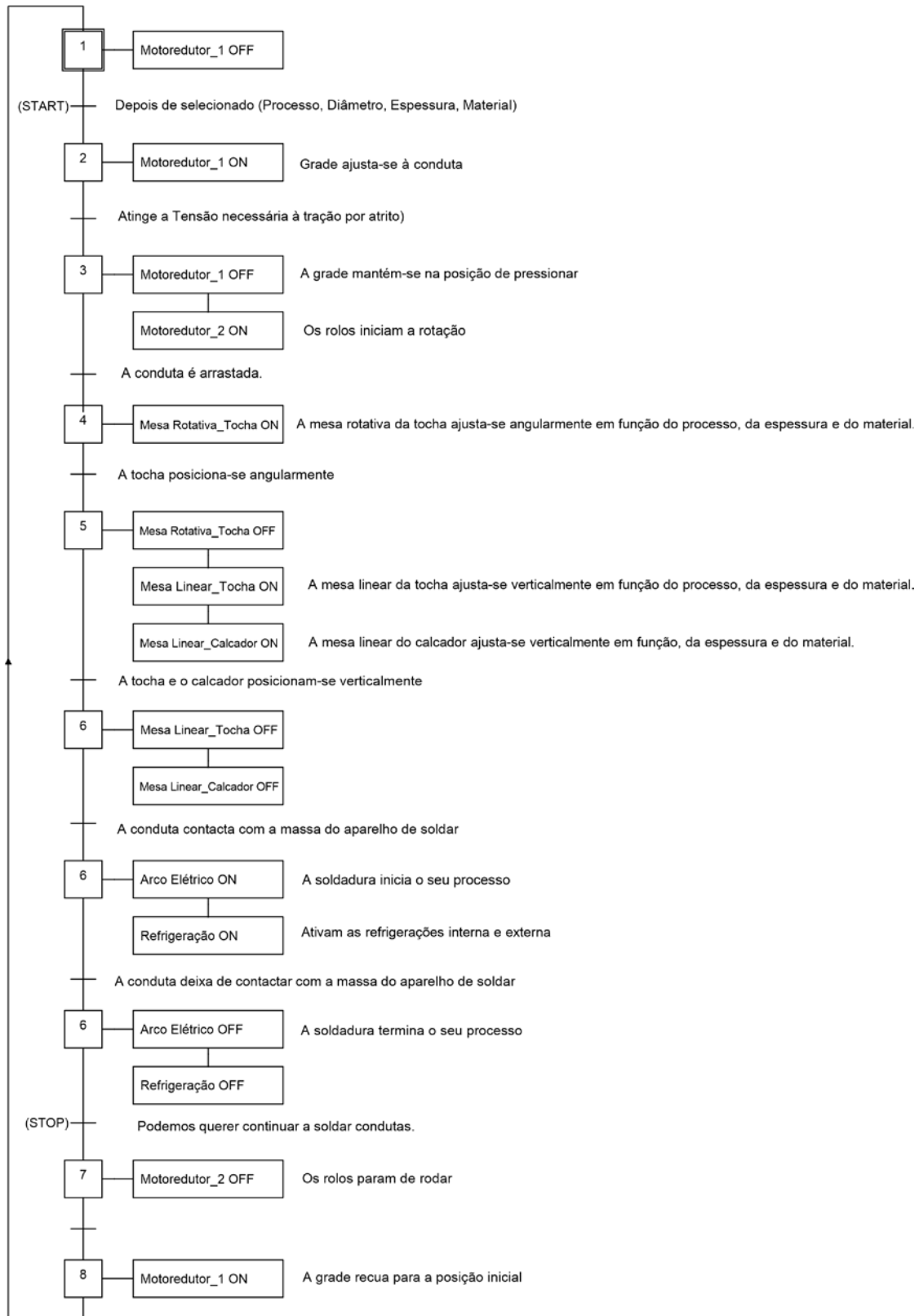


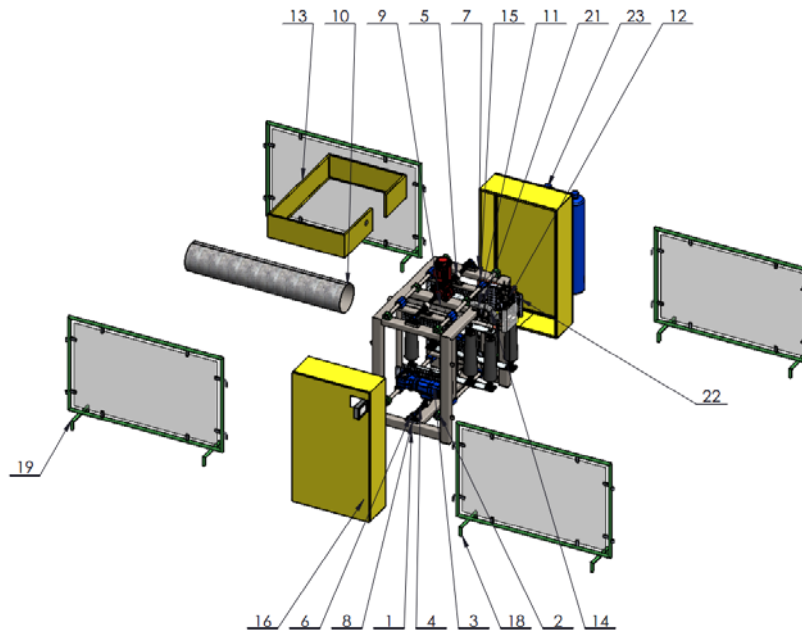
Figura 93 – *Graficet* do funcionamento do equipamento

Os esquemas elétricos que suportam o funcionamento da máquina no que concerne à potência e ao comando, estão patentes no Anexo 4.

3.3.3 Listagem de componentes normalizados e a produzir

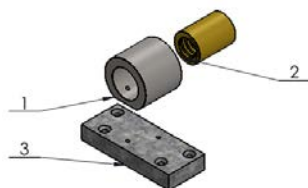
Seguidamente, o equipamento é dividido em subconjuntos e é descrita a listagem de peças por subconjunto, com a indicação da respectiva norma a cumprir, se serão fabricadas internamente ou adquiridas externamente (Tabela 23 a 36).

Tabela 23 – Listagem geral de componentes do equipamento



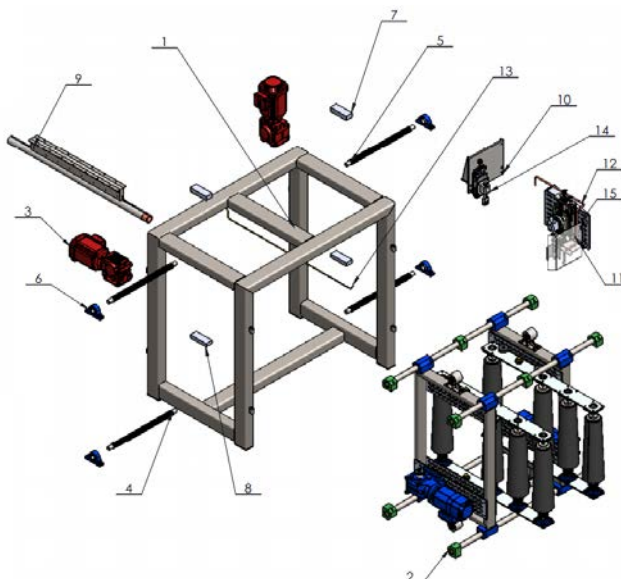
Q.	Designação	Procedimento	Posição
2	999 Tubo Azoto	Adquirir	23
1	09 Visor UV MEM		22
1	08 Calcador Junta MEM		21
1	602 Tubo_2 Arrefecimento MEM		20
1	700 Proteção Ext MEM	Fabricar	19
3	700 Proteção Ext MEM	Fabricar	18
1	960 Quadro Elétrico MeM	Fabricar	17
1	960 Quadro Elétrico MeM	Fabricar	16
1	600 Tubo Arrefecimento MEM		15
1	601 Tubo Aspiração MEM		14
1	501 Blindagem_1 Sup MEM	Fabricar	13
1	06 Mecanismo_2 Tocha		12
1	107 Suporte Solda MEM		11
1	D350 x 1 x 2000		10
1	01 Suporte_ Conduta MEM		9
2	050 Calço_1 MEM		8
2	050 Calço_1 MEM		7
4	Bearing_sy_30_tr_0		6
2	Motoredutor	Standard/adquirir	3
1	04 Mecanismo Aperto_2 MEM		2
1	000 Estrutura MEM	Fabricar	1

Tabela 24 – Listagem de componentes dos suportes inferiores de transmissão



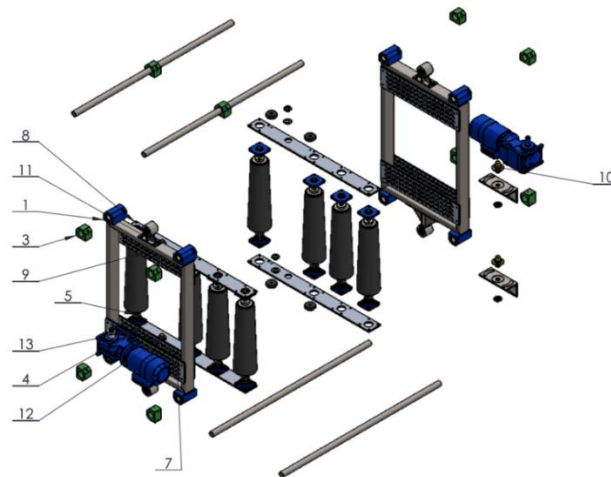
Q.	Designação	Procedimento	Posição
1	106 Suporte 3 Fêmea MEM	Fabricar	3
1	104 Fêmea Esq Transmissão MEM	Fabricar	2
1	105 Suporte Fêmea MEM	Fabricar	1

Tabela 25 – Listagem dos componentes dos subconjuntos que compõem o equipamento



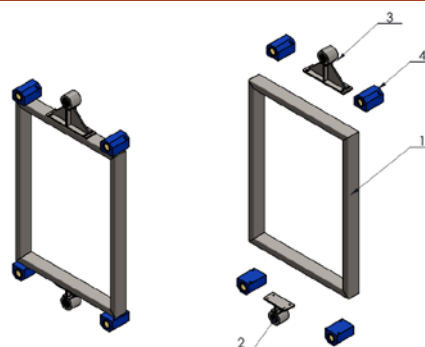
Q.	Designação	Procedimento	Posição
1	09 Visor UV MEM		15
1	08 Calcador Junta MEM	Assemblagem	14
1	602 Tubo_2 Arrefecimento MEM	Fabricar	13
1	600 Tubo Arrefecimento MEM	Fabricar	12
1	06 Mecanismo 2 Tocha	Assemblagem	11
1	107 Suporte Solda MEM	Fabricar	10
1	01 Suporte Conduta MEM	Assemblagem	9
2	050 Calço 1 MEM	Fabricar	8
2	050 Calço 1 MEM	Fabricar	7
4	bearing_sy 30 tr 0	Standard/adquirir	6
2	102 Fuso Esq Transmissão MEM	Standard/adquirir	5
2	100 Fuso Transmissão MEM	Standard/adquirir	4
2	Motoredutor	Standard/adquirir	3
1	04 Mecanismo Aperto 2 MEM	Assemblagem	2
1	000 Estrutura MEM	Fabricar	1

Tabela 26 – Listagem de componentes da grade de acondicionamento e arraste



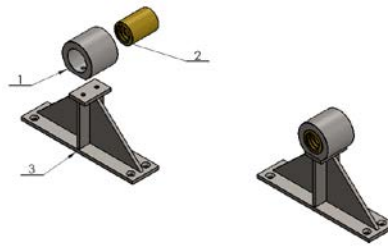
Q.	Designação	Procedimento	Posição
8	112 Amortecimento Rolos MEM	Adquirir	13
4	Washer ISO 7090 - 30	Standard/adquirir	12
8	DIN 1804 - M30x1.5 - N	Standard/adquirir	11
4	111 Suporte_4 Rolos MEM	Fabricar	10
4	110 Suporte_3 Rolos MEM	Fabricar	9
4	109 Suporte_2 Rolos MEM	Fabricar	8
6	108 Suporte_1 Motoredutor MEM	Fabricar	7
2	Chain wheel ISO - 16Z 08B-1 - -16SB75H40L30.0R1	Standard/adquirir	6
8	07 Mecanismo Arraste	Assemblagem	5
2	User Library-MOTOR COM MOTOREDUTOR	Standard/adquirir	4
10	Fix_Veios 40 MEM	Standard/adquirir	3
4	101 Veio Guia MEM	Standard/adquirir	2
2	03 Aro Ajuste Lateral v3 MEM	Fabricar	1

Tabela 27 – Listagem de componentes dos aros da grade



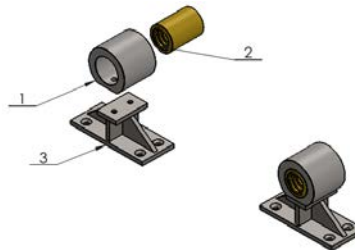
Q.	Designação	Procedimento	Posição
4	Itbr40-2Is	Standard/adquirir	4
1	05 Suporte Fêmea_Drt	Assemblagem	3
1	05 Suporte Fêmea_Drt	Assemblagem	2
1	001 Estrutura MEM	Fabricar	1

Tabela 28 – Listagem de componentes dos suportes inferiores (1) de transmissão



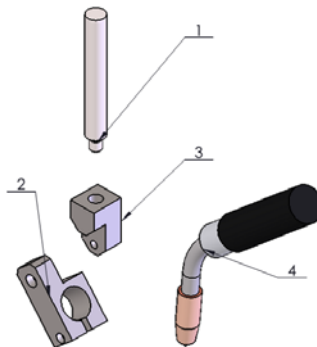
Q.	Designação	Procedimento	Posição
1	106 Suporte 4a Fêmea MEM	Fabricar	3
1	103 Fêmea Transmissão MEM	Fabricar	2
1	105 Suporte Fêmea MEM	Fabricar	1

Tabela 29 – Listagem de componentes dos suportes inferiores (2) de transmissão



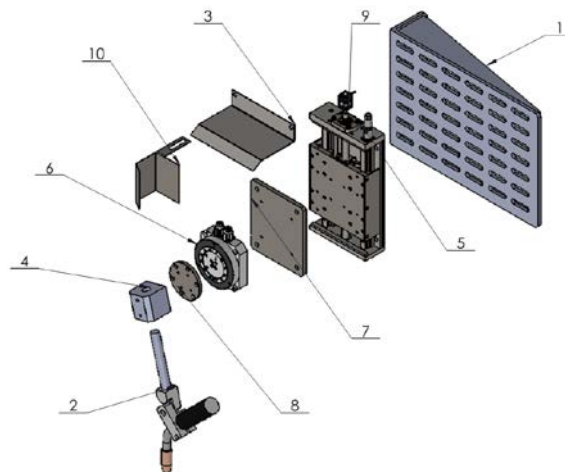
Q.	Designação	Procedimento	Posição
1	106 Suporte 4b Fêmea MEM	Fabricar	3
1	103 Fêmea Transmissão MEM	Fabricar	2
1	105 Suporte Fêmea MEM	Fabricar	1

Tabela 30 – Listagem de componentes do suporte da tocha



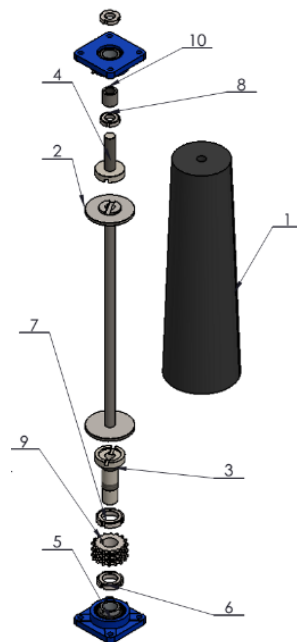
Q.	Designação	Procedimento	Posição
1	Imported3	Adquirir	4
1	923 Articulação_2 tocha	Fabricar	3
1	923 Articulação_1 tocha	Fabricar	2
1	222 Veio Tocha	Fabricar	1

Tabela 31 – Listagem de componentes do mecanismo da tocha



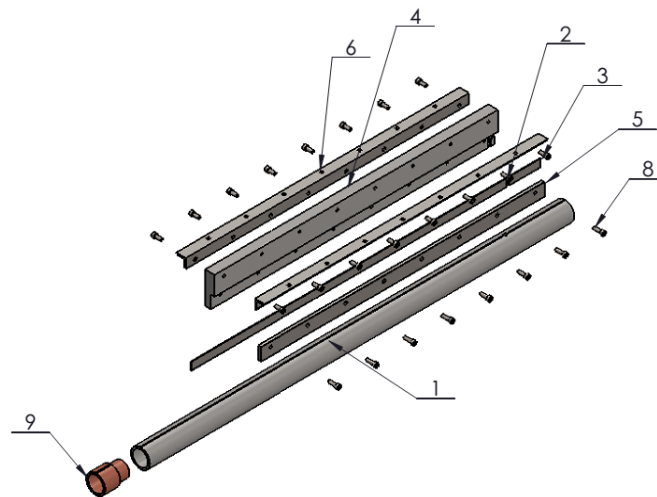
Q.	Designação	Procedimento	Posição
1	502 Blindagem 2 tocha MEM	Fabricar	10
1	Autonics-AO2K-S523Wx	Standard/adquirir	9
1	107 Suporte Solda_4 MEM	Fabricar	8
1	107 Suporte Solda_3 MEM	Fabricar	7
1	TMN42E_1	Standard/adquirir	6
1	LTB170.0280.TN1210	Standard/adquirir	5
1	Part12	Fabricar	4
1	500 Blindagem_1 tocha MEM	Fabricar	3
1	sup_tocha	Assemblagem	2
1	107 Suporte Solda_2 MEM	Fabricar	1

Tabela 32 – Listagem de componentes do rolo



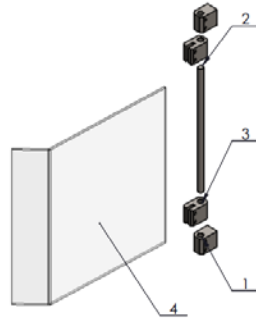
Q.	Designação	Procedimento	Posição
1	955 Casquilho Rolo Sup MEM	Fabricar	10
1	Chain wheel DIN 8192 - A 16Z 08B-3 --16SA32R1	Standard/adquirir	9
2	DIN 1804 - M22x1.5 - N	Standard/adquirir	8
1	DIN 1804 - M35x1.5 - N	Standard/adquirir	7
1	DIN 1804 - M32x1.5 - N	Standard/adquirir	6
2	inafag_rcjy30-tv-va_5I20	Standard/adquirir	5
1	954 Sup_Rolo Sup MEM	Fabricar	4
1	951 Sup_Rolo Inf MEM	Fabricar	3
1	952 Haste Rolo MEM	Fabricar	2
1	953 Rolo 2 MEM	Fabricar	1

Tabela 33 – Listagem de componentes do suporte da conduta



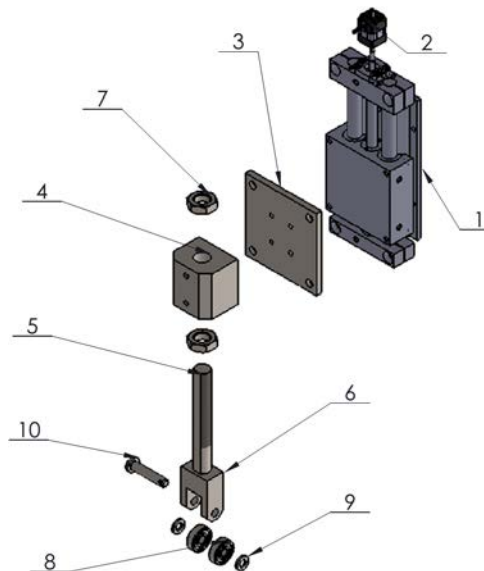
Q.	Designação	Procedimento	Posição
1	007 Tubo Extremo_1 MEM	Fabricar	9
8	ISO 4762 M8 x 25 --- 25N	Standard/adquirir	8
16	ISO 4762 M8 x 20 --- 20N	Standard/adquirir	7
2	002 Cantoneira_1 MEM	Fabricar	6
1	004 Barra Suporte_2 MEM	Fabricar	5
1	003 Barra Suporte_1 MEM	Fabricar	4
1	005Barra Suporte_3 MEM	Fabricar	3
1	005Barra Suporte_3 MEM	Fabricar	2
1	006Tubo Suporte_1 MEM	Fabricar	1

Tabela 34 – Listagem de componentes do Visor



Q.	Designação	Procedimento	Posição
1	936 Visor 1 MEM	Adquirir	4
2	935 Dobradiça_2 MEM	Fabricar	3
1	935 Veio Dobradiça_3 MEM	Fabricar	2
2	935 Dobradiça_1 MEM	Fabricar	1

Tabela 35 – Listagem de componentes do mecanismo calcador



Q.	Designação	Procedimento	Posição
1	Clevis Pin ISO 2341 - B - 10 x 50 x 3.2 - St	Fabricar	10
2	Washer ISO 8738 - 10	Standard/adquirir	9
2	DIN 625 - 6200 - 8,SI,NC,8 68	Standard/adquirir	8
2	Hexagon Thin Nut ISO - 4035 - M20 - N	Standard/adquirir	7
1	942 Acessório Calcador	Fabricar	6
1	941 Veio Calcador	Fabricar	5
1	943 Acessório_2 Calcador	Fabricar	4
1	944 Base_1 Calcador	Fabricar	3
1	Autonics-AO2K-S523Wx	Standard/adquirir	2
1	inafag_lts16-100-1204-m-0 enip86n2pwq0moq1cwby3w7zb	Standard/adquirir	1

3.3.4 Estimativa de custos

A tabela 36 ilustra o resumo do custo final previsível do equipamento, contudo é possível encontrar com maior detalhe o orçamento no anexo I

Tabela 36 - Custo final previsível do equipamento

DESCRIÇÃO	CUSTO (€ EUROS)
Estruturas Metálicas	554,00€
Componentes Mecânicos Fabricados	2401,77€
Componentes Mecânicos Standard	7967,56€
Quadros Elétricos	2510,00€
Fabrico, Montagem Mecânica e Afinação	7875,00€
Automação	7000,00€
Aparelho de Soldar	5552,71€
Custo Final	33861,04€

3.3.5 Estudo de Payback

O custo médio atual do m² de conduta circular em chapa galvanizada (Tabela 37) é:

Tabela 37 – Custo médio do m² de conduta circular em chapa galvanizada

Espessura (mm)	Custo (Euro €)
0,6	13,73
0,8	17,84
1	25,42

O custo médio atual do m² de chapa galvanizada (Tabela 38) é:

Tabela 38 – Custo médio do m² de chapa galvanizada

Espessura (mm)	Custo (Euro €)
0,6	4,71
0,8	6,28
1	7,85

O custo médio atual do fabrico do m² de conduta circular em chapa galvanizada (Tabela 39) é:

Tabela 39 – Custo médio do fabrico do m² de conduta circular em chapa galvanizada

Espessura (mm)	Custo (Euro €)
0,6	9,02

0,8	11,56
1	17,57

Estima-se que o custo da mão-de-obra no fabrico da conduta corresponda a uma percentagem 60% do custo total de fabrico da conduta e a operação de união por soldadura corresponda a 72% dos 60% do custo total de fabrico, assim, e para a conduta de 0,6 mm de espessura temos;

$$9,02\text{€} \times 0,6 = 5,41\text{€} \text{ de mão de obra}$$

$$5,41\text{€} \times 0,72 = 3,90\text{€} \text{ da operação de soldadura}$$

No sistema atual de fabrico da conduta soldada longitudinalmente, como a conduta tem de ser pingada anteriormente é necessário, um operador com conhecimento prático de soldadura cujo encargo para a empresa é 1150 €/mês.

Com o desenvolvimento e materialização do novo equipamento e apesar do mesmo ainda não dispensar totalmente o operador, a qualificação do mesmo baixa substancialmente, uma vez que, não é necessária a prévia operação de pingar, ficando a operação restringida ao simples ato de carga e armazenamento da conduta. Um operador para esta função representará um encargo para a empresa de 866 €/mês.

Esta diferença de encargo para o custo do produto representa um ganho de 33%

$$866 \text{ €/mês} \times 1,33 = 1150 \text{ €/mês}$$

Se para o custo da operação de soldadura (chapa de 0,6 mm de espessura) temos 3,90 €/m² e um ganho de 33% com o facto da alteração do nível de qualificação do operador, então o preço da operação ficará com o custo de:

$$\frac{3,90\text{€} / \text{m}^2}{1,33} = 2,94\text{€} / \text{m}^2$$

O novo equipamento representa um ganho de: $3,90 - 2,94 = 0,96 \text{ €/m}^2$

Como o custo do equipamento está estimado em 33861,04€ (tabela 36) a recuperação do investimento inicial será conseguida com a produção dos primeiros 35272 m² de conduta pois:

$$\frac{33861,04\text{€}}{0,96\text{€} / \text{m}^2} = 35272\text{m}^2$$

No momento, não é possível traduzir este valor em tempo porque, a empresa não tem a noção dos m² produzidos anualmente, mais, o objetivo é também produzir para o

mercado interno e externo pelo que, o tempo de retorno do investimento poderá ser manifestamente inferior e ainda, se a comercialização do equipamento acontecer então a recuperação far-se-á num curtíssimo espaço de tempo.

3.4 Manual de montagem

A montagem da totalidade do equipamento não oferecerá dúvidas, com uma leitura atenta das vistas explodidas patentes nos desenhos técnicos, contudo, neste ponto, vai ser feita uma resenha da sequência de operações. Nesta fase de criação da máquina, a sequência de montagem será a que, à partida, poderá conduzir a melhores e mais rápidos resultados. Assim, começar-se-á por fazer a descrição da montagem dos subconjuntos envolvidos, pela sequência numérica das peças.

Mecanismo da tocha

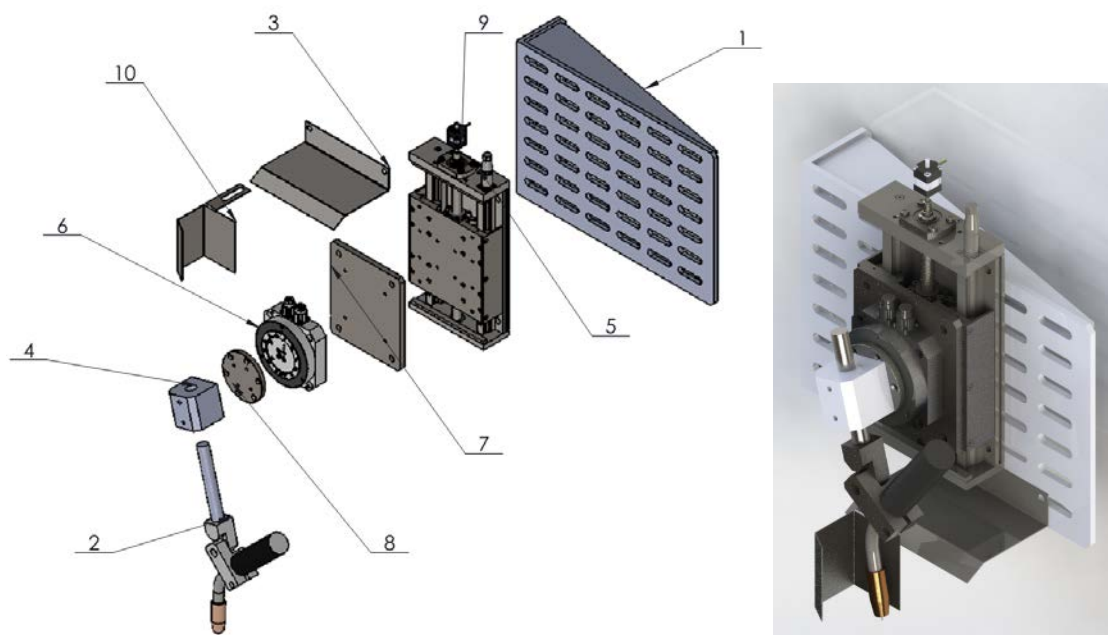


Figura 94 – Mecanismo da tocha, representado em vista isométrica explodida e assemblada

Sequência numérica de montagem do mecanismo da tocha (Figura 94):

Suporte (1) ⇒ Mesa Linear (5) ⇒ Motor de Passo (9) ⇒ Placa (7) ⇒ Mesa Rotativa (6)
⇒ Placa circular (8) ⇒ Suporte Fixador (4) ⇒ Tocha e Articulação (2)

Encerram este conjunto as blindagens (3) e (10).

Mecanismo Calçador

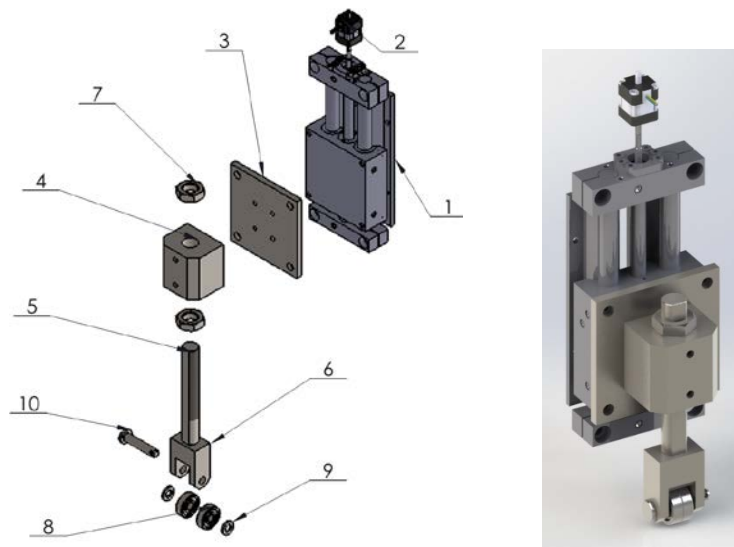


Figura 95 – Mecanismo calçador, representado em vista isométrica explodida e montada

Sequência numérica da montagem do mecanismo calçador (Figura 95):

Mesa Linear (1) ⇒ Motor de Passo (2) ⇒ Placa (3) ⇒ Suporte fixador (4) ⇒ Veio (5) ⇒ Fêmeas de ajuste vertical (7) ⇒ Suporte de rolamentos (6) ⇒ Rolamentos (8) ⇒ Anilhas de ajuste (9) ⇒ Pino Cilíndrico (10) fixado com um freio.

Mecanismo suporte da conduta

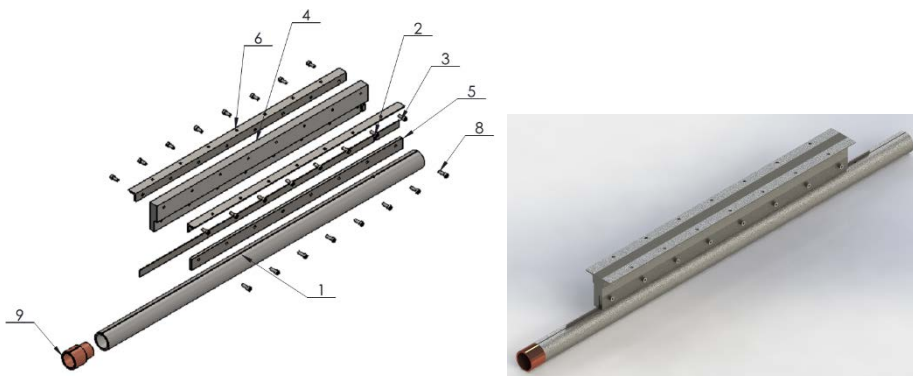


Figura 96 – Mecanismo suporte da conduta, representado em vista isométrica explodida e montada

Sequência numérica da montagem do mecanismo de suporte da conduta (Figura 96):

Barra (4) ⇒ Barra (2) ⇒ Barra (5) para fixar por aperto a barra (2) ⇒ Tubo suporte (1) fixado por aperto com parafusos à barra (2) ⇒ Cantoneiras (6) ⇒ Tubo extremo (9)

Depois de montado o conjunto, far-se-á a sua fixação à estrutura através de parafusos ISO 4762 M8 x 20 mm.

Mecanismo de arraste

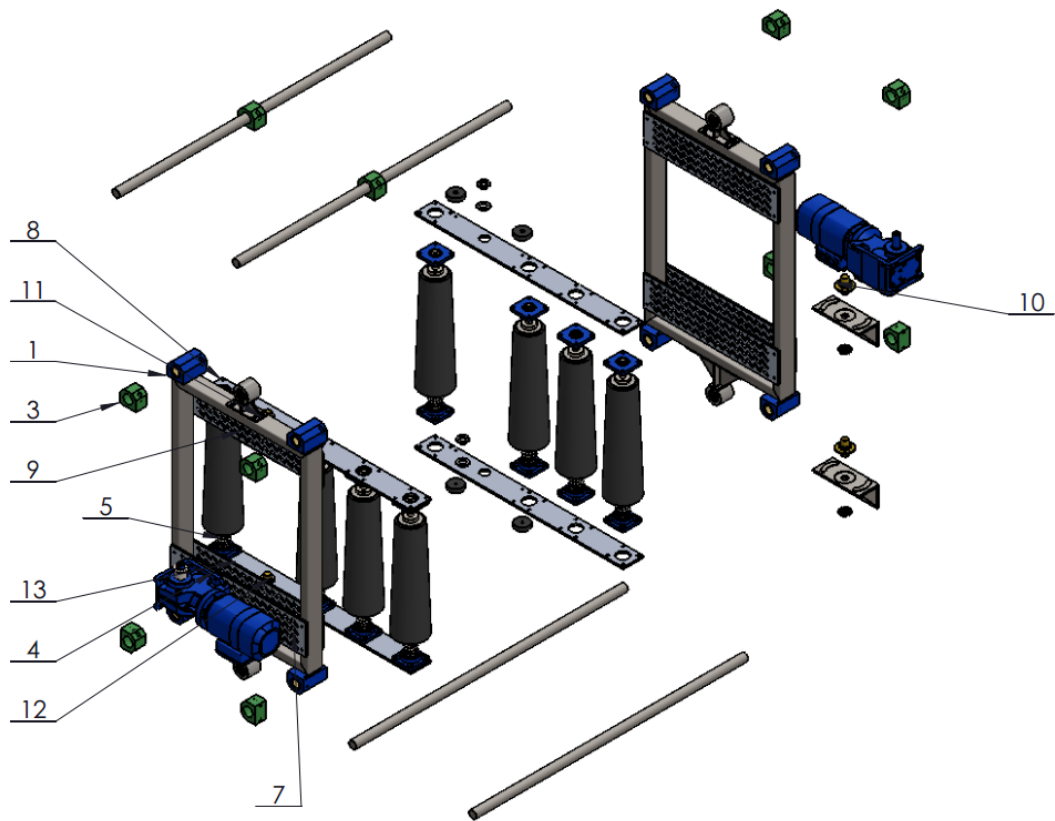


Figura 97 – Mecanismo de arraste, representado em vista isométrica explodida e assemblada

Rolo do mecanismo de arraste



Figura 98 – Rolo do mecanismo de arraste, representado em vista isométrica explodida e assembled

Sequência numérica da montagem do mecanismo de arraste da conduta (Figura 97):

O suporte (2) com o rolo (1) vulcanizado dão origem a uma peça única (Figura 98).

No veio (3) serão montadas por sequência uma fêmea (7), o carreto de corrente (9) e outra fêmea (7). As duas fêmeas farão o ajuste vertical do carreto de corrente.

No veio (4) serão montadas por sequência uma fêmea (8), um casquilho (10) e outra fêmea (8). As duas fêmeas farão o ajuste vertical do casquilho.

Na presença destes subconjuntos, a sequência de montagem a ser seguida será:

Chumaceira (5) ⇒ Veio (3) com os componentes referidos anteriormente assembled
 ⇒ Suporte (2) com rolo (1) vulcanizado ⇒ Chumaceira (5) a fechar o conjunto.

Aros do mecanismo de arraste

Os aros previamente soldados, recebem as quatro chumaceiras com rolamentos lineares (5), os suportes com fêmeas roscadas (2) e os painéis perfurados (35) que vão servir de apoio aos moto-redutores (10) e aos suportes da grade (37) (Figura 99).

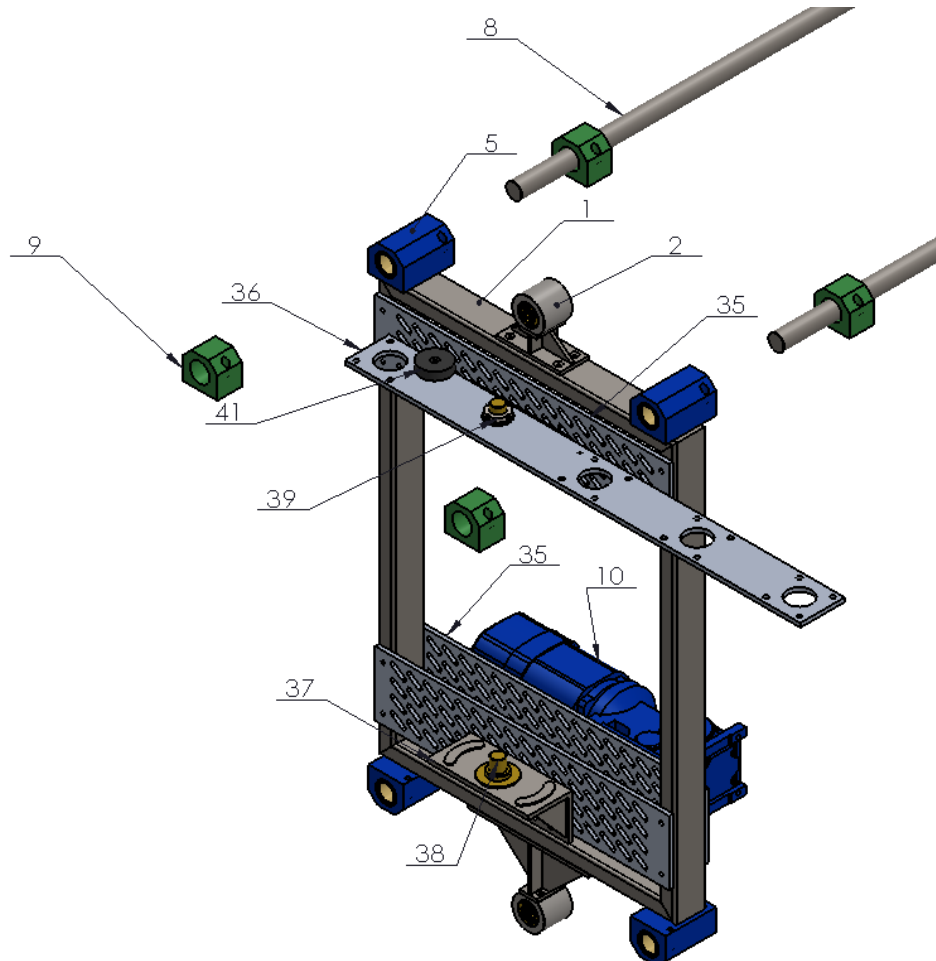


Figura 99 – Aro do mecanismo de arraste, representado em vista isométrica explodida e assembled

Uma vez fixados e posicionados os suportes da grade colocamos as falanges (36), inferior e superior e ajustamo-las por intermédio de fêmeas ranhuradas (38);

A montagem dos rolos será feita com alguma facilidade fruto do conceito de intermutabilidade descrito nas páginas 96 e 97 (Figuras 48, 49, 50 e 51).

Para facilitar a montagem o restante do mecanismo de arraste (Figura 97) deverá ser levado a cabo em conjunto com a estrutura.

As chumaceiras (9) são fixadas na estrutura. Os aros são colocados no interior da estrutura, para receberem os veios (8) que suportarão todo o mecanismo.

Equipamento de soldadura

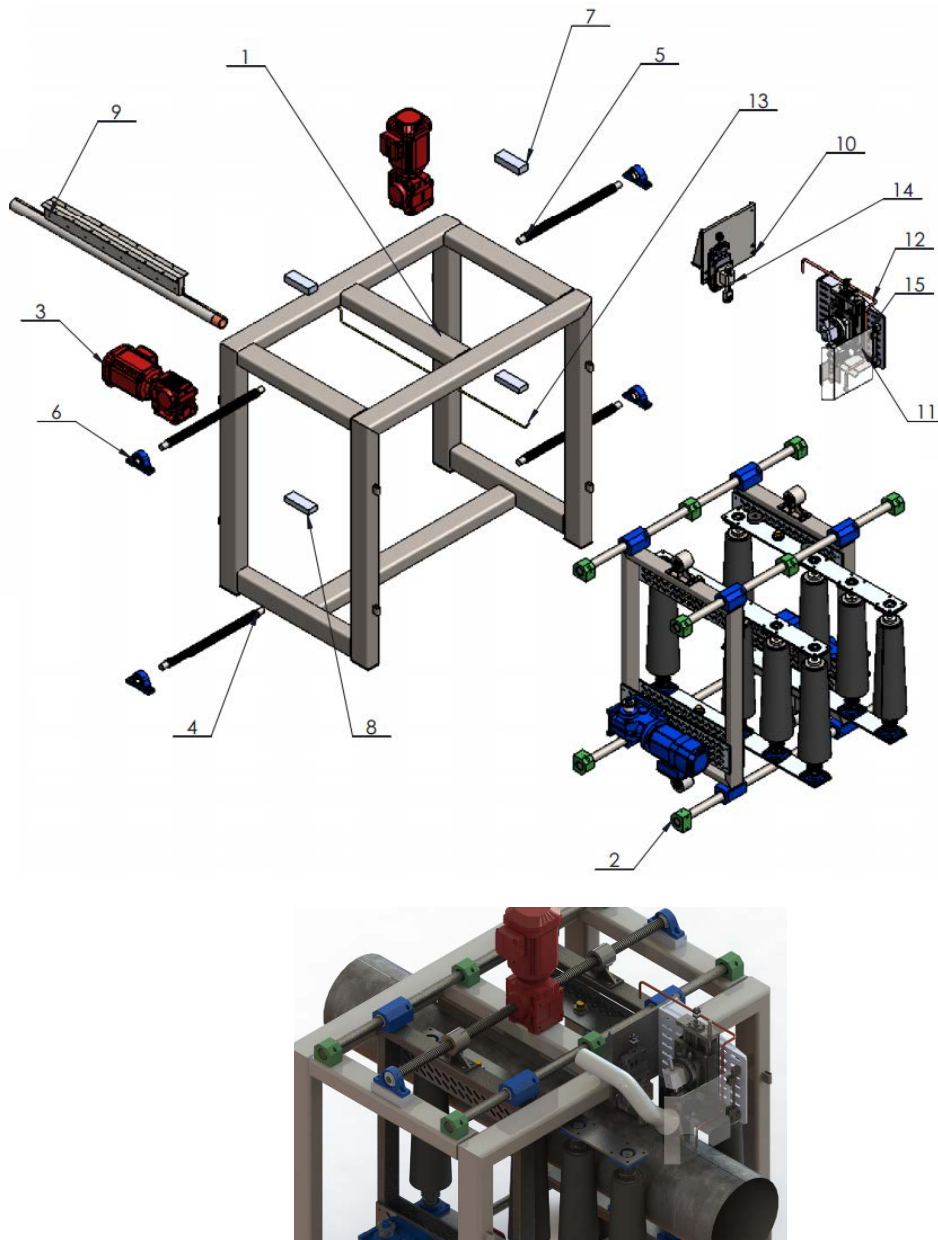


Figura 100 – Equipamento de soldadura, representado em vista isométrica explodida e assemblada

Colocado o mecanismo de aperto e arraste na estrutura (Figura 100), será realizada a restante montagem na seguinte sequência:

São acoplados os motorreduzores (3) superior e inferior, ao que se segue o acoplamento dos fusos (4) e (5), que passam pelas fêmeas roscadas presentes nos aros do mecanismo de arraste e assentam as suas extremidades nas chumaceiras (6), que por sua vez se apoiam nos calços (8).

Nesta fase da montagem, é importante fazer a afinação das grades do mecanismo de aperto, de forma que fiquem com a mesma distância em relação ao plano imaginário que passa pelo centro da máquina.

Uma vez posicionadas as grades do mecanismo de aperto e arraste, procede-se à colocação das correntes de elos e respetiva afinação do mecanismo.

O mecanismo de suporte da conduta (9), já com o tubo de arrefecimento interno (13) montado, vai ser posicionado e fixado por aparafusamento na estrutura.

É ainda acoplado o suporte (10), onde vão ser montados: o mecanismo da tocha (15), o tubo de arrefecimento externo (12), o visor (11) e, por fim, o mecanismo calcador (14).

Blindagens e acabamentos

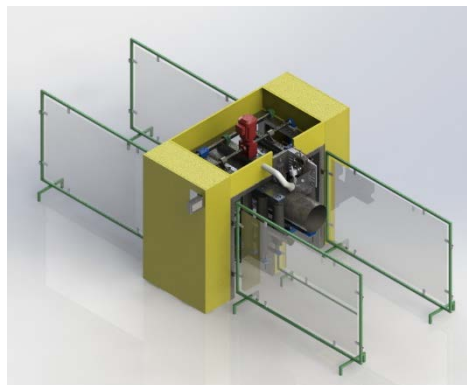
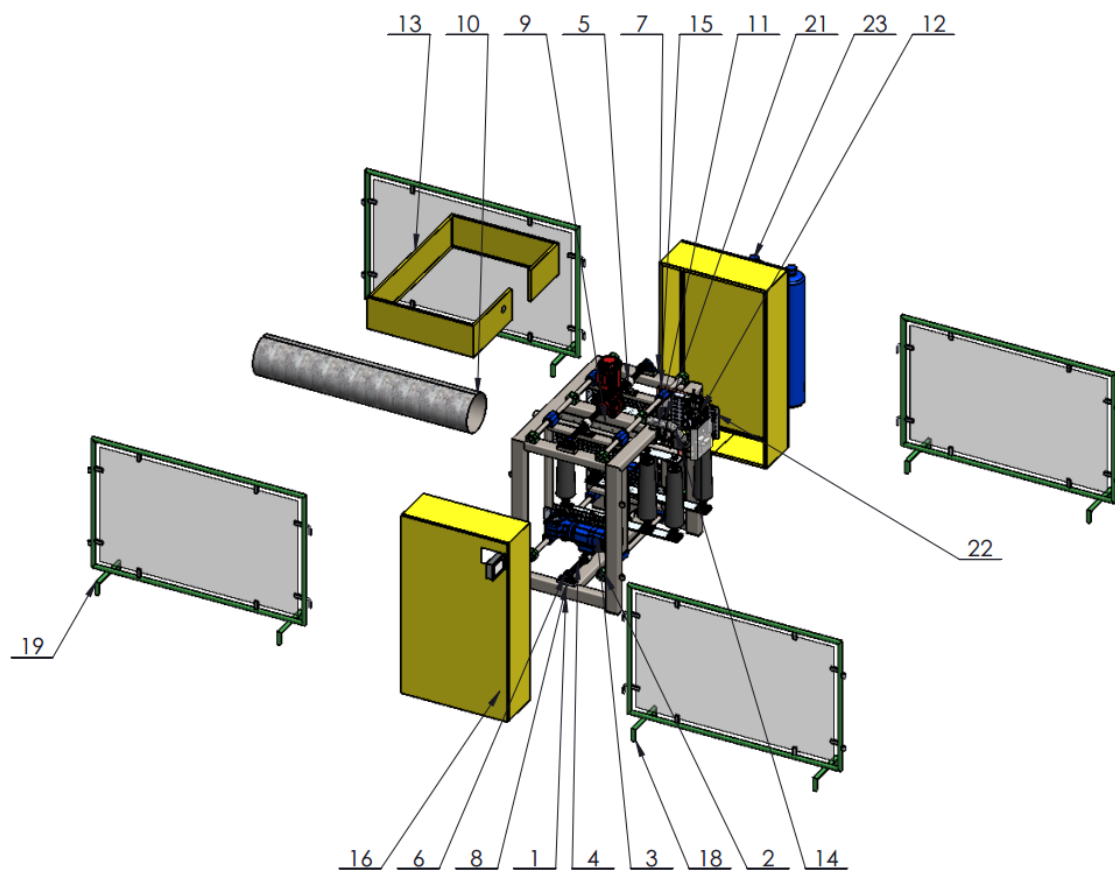


Figura 101 – Equipamento de soldadura completo, representado em vista isométrica explodida e assemblada

Com a parte mecânica do equipamento montada e afinada, encerra-se o equipamento com a colocação das blindagens, quadros elétricos e barreiras de proteção (Figura 101) pela seguinte ordem:

Blindagem (13) \Rightarrow Sistema de aspiração \Rightarrow Quadros elétricos (16) \Rightarrow Barreiras de proteção (19).

3.5 FMEA e análise de riscos do equipamento

No caso particular deste equipamento, o FMEA necessita ser direccionado para o projecto, nomeadamente para alguns dos mais importantes subconjuntos como sejam: mecanismo de aperto e arraste, mecanismo da tocha e mecanismo calcador.

Inicialmente são definidos alguns termos que serão utilizados no documento FMEA e que são:

- Função: Qual o contributo do equipamento para o produto
- Modo de Falha: Como se verifica o dano.
- Efeito da falha: Resultado ou consequência da falha.
- Gravidade de falha: O quão grave é a falha quando a mesma ocorre?
- Causas da falha: O que pode estar na base do acontecimento.
- Ocorrência de falha: Quantas vezes isso acontece.
- Controlo do processo: Qual o processo para a detecção da falha?
- Detecção: Qual a frequência de acompanhamento da hipotética anomalia?

Antes de ser desenvolvido e registado o FMEA, vão ser dados valores (de 1 a 7) aos níveis de Gravidade, Ocorrência e Detecção, para o mecanismo de aperto e de arraste (Tabelas 40, 41 e 42)

Tabela 40 - Níveis de gravidade de deformação da conduta

Gravidade	(G)	Significado
Muito Baixo	1	Ovalização da conduta até 1%
Baixo	2	Ovalização da conduta $1\% \leq x \leq 2\%$
Médio Baixo	3	Ovalização da conduta $2\% \leq x \leq 3\%$
Médio	4	Ovalização da conduta 3%
Médio Alto	5	Ovalização da conduta $3\% \leq x \leq 4\%$
Alto	6	Ovalização da conduta $4\% \leq x \leq 5\%$
Muito Alto	7	Ovalização da conduta $\geq 5\%$

Tabela 41 - Índices de ocorrência


Ocorrência	(G)	Significado
Muito Baixo	1	De 0 a 1 vez por semana
Baixo	2	De 2 a 3 vezes por semana
Médio Baixo	3	De 3 a 4 vezes por semana
Médio	4	1 vez por dia
Médio Alto	5	De 1 a 2 vezes por dia
Alto	6	De 2 a 3 vezes por dia
Muito Alto	7	Acima de 3 vezes por dia

Tabela 42 - Índice de detecção

Deteção	(G)	Significado
Muito Baixo	1	Impercetível
Baixo	2	Percetível com aparelhos de medida - Paquímetro
Médio Baixo	3	Percetível com aparelhos de medida – Fita métrica
Médio	4	Percetível visualmente – com algum foco
Médio Alto	5	Percetível visualmente
Alto	6	Perfeitamente Percetível visualmente
Muito Alto	7	Sem dificuldades em visualizar

A tabela 43 mostra o FMEA e a análise de riscos do mecanismo de aperto e arraste da conduta.

Tabela 43 – FMEA e análise de riscos do Mecanismo de aperto e arraste

ITEM	<p>Mecanismo de aperto e arraste</p> 
FUNÇÃO	Acondicionar a conduta e imprimir-lhe a velocidade necessária (arraste) ao processo de soldadura.
MODO DE FALHA 1	A tensão normal à conduta excede os valores necessários ao acondicionamento e arraste da conduta.
EFEITO DA FALHA 1	Deformação da geometria circular (ovalização).

GRAVIDADE DA FALHA 1	(Nível 4) se a espessura da chapa for fina. (recuperável) (Nível 5) se a espessura for superior a 1 mm (pode ser irrecoverável).
CAUSAS DA FALHA 1	Parâmetros deficientemente introduzidos; Desafinação dos motorreductores; Desgaste dos fusos.
OCORRÊNCIA	(Nível 4)
CONTROLO DO PROCESSO	Medir vários diâmetros (cruzados) com fita métrica.
DETEÇÃO	(Nível 5)

As tabelas seguintes expressam os níveis de Gravidade, Ocorrência e Detecção para o mecanismo da tocha (Tabelas 44, 45 e 46).

Tabela 44 - Níveis de gravidade de inutilização da conduta devido ao posicionamento da tocha

Gravidade	(G)	Significado
Muito Baixo	1	Imperfeições visualmente inexistentes ou impercetíveis
Baixo	2	Imperfeições percetíveis com aparelhos de aumento de visão (lupa)
Médio Baixo	3	Imperfeições visualmente percetíveis com algum foco
Médio	4	Imperfeições visualmente percetíveis
Médio Alto	5	Imperfeições visualmente percetíveis - corrigíveis
Alto	6	Imperfeições visualmente percetíveis - irreparáveis
Muito Alto	7	Imperfeições visualmente percetíveis - irrecoveráveis

Tabela 45 - Índices de Ocorrência

Ocorrência	(G)	Significado
Muito Baixo	1	De 0 a 1 vezes por metro linear
Baixo	2	De 2 a 3 vezes por metro linear
Médio Baixo	3	De 3 a 4 vezes por metro linear
Médio	4	5 vezes por metro linear
Médio Alto	5	De 6 a 7 vezes por metro linear
Alto	6	De 7 a 8 vezes por metro linear
Muito Alto	7	Acima de 8 vezes por metro linear

Tabela 46 - Índice de detecção

Deteção	(G)	Significado
Muito Baixo	1	Impercetível
Baixo	2	Percetível com aparelhos de medida – Apalpa folgas
Médio Baixo	3	Percetível com aparelhos de medida – Paquímetro
Médio	4	Percetível visualmente – com algum foco
Médio Alto	5	Percetível visualmente
Alto	6	Perfeitamente Percetível visualmente
Muito Alto	7	Sem dificuldades em visualizar

A tabela 47 mostra o FMEA e a análise de riscos do mecanismo de posicionamento da tocha.

Tabela 47 – FMEA e análise de riscos do Mecanismo de aperto e arraste

ITEM	Mecanismo da tocha
	
FUNÇÃO	Dar a inclinação e a distância da tocha à conduta necessárias ao processo de soldadura.
MODO DE FALHA	A distância da tocha à conduta sofreu alterações em relação ao programado.
EFEITO DA FALHA	Soldadura deficiente e inutilizada.
GRAVIDADE DA FALHA	Pode variar do Nível 1 ao 7, de acordo com o desalinhamento da tocha.
CAUSAS DA FALHA	Desafinação do motor de passo. Sujidade nas guias da mesa de precisão (salpicos).
OCORRÊNCIA	Pode variar do Nível 1 ao 7, de acordo com o desalinhamento da tocha.
CONTROLO DO PROCESSO	Controlo visual e com escantilhões de medida.
DETECÇÃO	(Nível 5) Para desalinhamentos consideráveis.

Os níveis de Gravidade, Ocorrência e Detecção para o mecanismo calcador são os mesmos aplicados anteriormente no mecanismo da tocha.

A tabela 48 mostra o FMEA e a análise de riscos do mecanismo de posicionamento da tocha.

Tabela 48 – FMEA e análise de riscos do Mecanismo calcador da conduta

ITEM	Mecanismo calcador 
FUNÇÃO	Exercer a força necessária nas abas da conduta, de forma a que fiquem com o posicionamento correto (uma em relação à outra) para receberem o material de adição.
MODO DE FALHA	O calcamento feito pelos rolamentos não é suficiente para nivelar as juntas.
EFEITO DA FALHA	Deformação nas juntas – Soldadura de qualidade inferior.
GRAVIDADE DA FALHA	Pode variar do Nível 1 ao 7 de acordo com o desalinhamento das abas da junta.
CAUSAS DA FALHA	Desafinação do motor de passo. Sujidade nas guias da mesa de precisão (salpicos).
OCORRÊNCIA	Pode variar do Nível 1 ao 7, de acordo com o desalinhamento das abas da junta.
CONTROLO DO PROCESSO	Controlo visual e com escantilhões de medida.
DETECÇÃO	(Nível 5) Para desalinhamentos consideráveis.

3.6 Manual de manutenção

A manutenção preventiva deverá ser prevista, tendo em atenção a durabilidade e o perfeito funcionamento do equipamento. Assim, deverão ser levadas a cabo operações de manutenção que variam periodicamente de acordo com o seu grau de importância.

3.6.1 Plano de Manutenção Diário

No final de cada dia, ou durante o período de laboração, se assim o justificar a qualidade da soldadura, o operador deve:

- retirar os bocais das tochas, limpá-las com escova de arame e pulverizá-las com *spray* de silicone, de forma a evitar “a colagem” dos salpicos da soldadura;
- limpar convenientemente com um pincel o mecanismo calcador e posicionador da tocha;
- Limpar com ar comprimido o suporte de apoio da conduta, de forma a garantir um apoio isento de irregularidades;
- Limpar os rolos com produto anti-gorduras, para que o atrito não saia prejudicado, assim como a velocidade constante pretendida;
- Limpar e lubrificar com *spray* as mesas lineares de precisão;
- Verificar o estado dos vidros de soldadura colocados no Visor. Caso o vidro de soldadura impeça ou ofusque a visualização da soldadura, deve ser trocado por um novo, tendo em atenção a respetiva norma NF-S11-004, que rege a sua escolha de acordo com a intensidade de soldadura.

3.6.2 Plano de Manutenção Semanal

Para além das operações mencionadas anteriormente, o operador deve limpar convenientemente, e com produtos adequados, as guias e os fusos do mecanismo de acondicionamento e arraste das condutas, para posteriormente os lubrificar. A lubrificação das guias e dos fusos deve ser feita com *spray* de silicone, de forma a ser mais fácil remover os salpicos remanescentes da soldadura.

A manutenção das tochas (bicos, difusores e bichas) deve ser realizada segundo as instruções do fornecedor. À equipa de manutenção cabe verificar o aperto dos parafusos, a tensão das correntes de transmissão e o seu estado de conservação. Esta verificação pode ser feita expeditamente não sendo necessário recorrer a equipamentos eletrónicos para verificação da vibração da correia e o seu alinhamento.

MANUTENÇÃO DAS CORRENTES

Para a perfeita manutenção das correntes, deverão ser tomados os seguintes cuidados:

- Lubrificar as correntes (Figura 102) com óleo, por meio de gotas, banho ou jato;

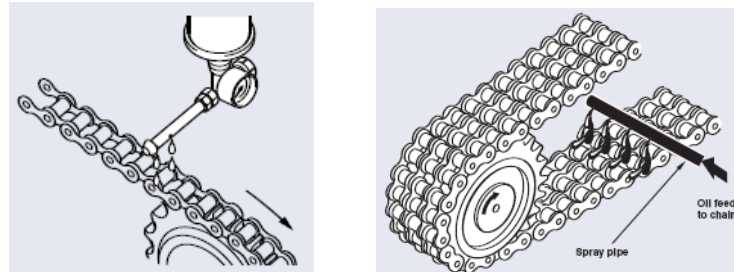


Figura 102 – Lubrificação de correntes de elos [76]

- Inverter a corrente, a cada 420 horas de trabalho, para prolongar a sua vida útil;
- Nunca colocar um elo novo no meio dos elos gastos;
- Não usar corrente nova em rodas dentadas desgastadas.

Para efetuar a limpeza da corrente (Figura 103), deve-se lavá-la com produtos próprios, segundo instruções do fornecedor.

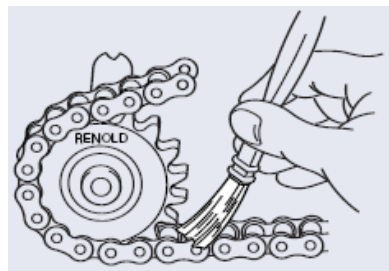


Figura 103 – Lavagem da corrente [76]

- Enxugar a corrente e mergulhá-la em óleo, deixando escorrer o excesso;
- Armazenar a corrente coberta com uma camada de massa e embrulhada em papel;
- Medir ocasionalmente o aumento do passo causado pelo desgaste de pinos e buchas;
- Medir o desgaste das rodas dentadas;
- Verificar periodicamente o alinhamento (Figura 104).

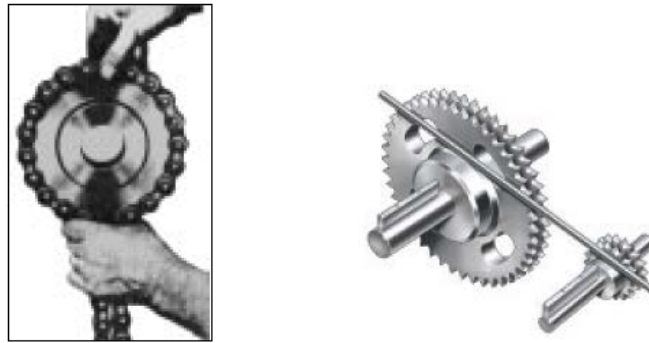


Figura 104 – Alinhamento da corrente [76]

3.6.3 Plano de Manutenção Anual

Para além de todas as operações registadas anteriormente, a equipa de manutenção deve desmontar as chumaceiras e todos os elementos móveis, e limpar e secar convenientemente (com produtos adequados), de modo a avaliar o estado de conservação ou o grau de degradação dos elementos em causa. Após esta análise, deve-se lubrificar novamente os elementos cujo estado assim o permita, e substituir todos aqueles que apresentem uma degradação que ponha em causa o bom funcionamento da máquina.

Os lubrificantes devem corresponder ao exigido pelos fabricantes. Se os rolamentos apresentarem algum tipo de desgaste, devem ser imediatamente substituídos e lubrificados, de acordo com as instruções do fabricante.

3.6.4 Outras operações de Manutenção

O suporte da conduta sofre um desgaste prematuro, que advém da corrosão galvânica, provocada pela passagem de corrente necessária ao processo de soldadura.

A manutenção deste suporte deve ser feita, sempre que as condições de posicionamento alterem a qualidade final da soldadura. Neste caso, deve ser substituído por um em condições de laborar.

Os motorreductores são auto-lubrificados, não estando prevista qualquer intervenção de manutenção, sem que seja em caso de avaria. Em caso de avaria, deve-se consultar o respectivo fornecedor.

CONCLUSÕES

4.1 CONCLUSÕES

4.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 CONCLUSÕES

Os valores movimentados pela soldadura no panorama mundial fazem com que, a área se revista de importância capital para o desenvolvimento industrial e, conseqüentemente, das sociedades.

A automação cada vez mais presente em todas as áreas de atividade e, por inerência, também na soldadura, é uma realidade incontornável e em franco desenvolvimento, à qual, não é mais possível fugir.

A indústria moderna exige um corte total com as filosofias passadas e uma aposta cabal na total eliminação das tarefas monótonas, repetitivas e sem qualquer valor acrescentado, que acrescentam custos ao produto final e lhe retiram as cada vez mais reduzidas margens de lucro e, por tal, diminuem a competitividade.

O desenvolvimento do equipamento de união de condutas por soldadura aparece na linha das mais recentes filosofias de produção, e vem colmatar uma lacuna do mercado, no que à construção de tubagem em chapa fina diz respeito.

As filosofias de produção orientam-nos numa determinada direção, mas os objetivos materializados nos requisitos entretanto definidos, são as linhas mestras que deram corpo ao projeto.

O objetivo inicial, e que era o desenvolvimento de um equipamento automático de soldadura longitudinal de condutas, que fosse capaz, de realizar as “costuras” em tubagens de vários diâmetros, espessuras e materiais, pelos normais processos de soldadura a arco elétrico, foi integralmente cumprido, tendo em conta os mais variados critérios de construção de máquinas deste tipo.

O custo envolvido na sua produção é perfeitamente comportável e recuperável pelo incremento da produção e qualidade do produto final, bem como, pela melhor e mais eficiente gestão dos recursos humanos.

Como é óbvio, todos os produtos têm as fases de nascimento, crescimento, amadurecimento, envelhecimento e desaparecimento, e este está só e apenas a nascer, pelo que está longe de estar fechado e tem grande margem de crescimento que se espera venha a acontecer, quanto mais não seja, pela via do sustento de novas teses.

O advento de novos equipamentos, ao contrário do que é ventilado, não obriga ao despedimento de trabalhadores, mas tão-somente à reconversão dos mesmos pelo aumento das qualificações. Por outro lado, o aparecimento de novos equipamentos, com tecnologias mais evoluídas, abre janelas de oportunidade para técnicos mais e melhor habilitados, que acrescentam valor ao produto final. Os técnicos menos habilitados não terão margem para a estagnação, e serão forçados a investir na sua evolução, sob pena de ficarem num mundo que já não existe.

Por último, é importante registar que, com este trabalho e a sua desejável materialização, é esperado um pequeno, mas real contributo para a evolução tecnológica da área da soldadura e, por tal motivo, da tão nobre área da Engenharia.

4.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

Futuramente, e ultrapassando a primeira fase, que consiste em construir, eliminar erros e otimizar o processo de soldadura das condutas, independentemente do diâmetro, da espessura, do material que a constitui e do processo soldadura, há que pensar e desenvolver:

- O processo automático de alimentação, extração e primeiro armazenamento da conduta;
- Tratamento posterior da soldadura, por pintura ou envernizamento, após a respetiva limpeza do cordão;
- Um tipo de rolo em V que envolva mais eficientemente a conduta;
- Adaptar a soldadura de condutas a outras geometrias transversais, como seja a quadrada, retangular, etc.;
- Colocar fusíveis mecânicos nos veios dos motores, por forma a proteger a jusante toda a máquina;
- Um sistema de ajuste do comprimento do tubo de arrefecimento a azoto em função da posição da tocha;
- Um sistema de fusível mecânico na oscilação angular da tocha;
- Uma solução permanente de proteção e limpeza para os rolos de arraste.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES
DE INFORMAÇÃO**

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- [1] Serope Kalpakjian, Steven R. Schmid, Hamidon Musa (2009). Manufacturing Engineering and Technology, 6th Edition, Pearson, USA. ISBN: 978-0134290553.
- [2] John W. Priest, Jose M. Sánchez (2001). Product development and Design for Manufacturing - A Collaborative Approach to Producibility and Reliability, Marcel Dekker Inc., USA. ISBN: 978-0824799359.
- [3] G. Swift and J. D. Boone (2003). Process Selection - From design to manufacture, Butterworth-Heinemann, Burlington MA, USA. ISBN: 978-0750654371.
- [4] R. J. S. Costa, F. J. G. Silva, R. D. S. G. Campilho (2017). A novel concept of agile assembly machine for sets applied in the automotive industry, International Journal of Advanced Manufacturing Technology 91, 9-12, 4043-4054.
- [5] B. Almannai, R. Greenough, J. Kay (2008). A decision support tool based on QFD and FMEA for the selection of manufacturing automation technologies, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 24, 501–507.
- [6] M. J. R. Costa, R. M. Gouveia, F. J. G. Silva, R. D. S. G. Campilho (2018). How to solve quality problems by advanced fully-automated manufacturing systems, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 94, 3041–3063.
- [7] L.M.B. Araújo, F.J.G. Silva, R.D.S.G. Campilho, J.A. Matos (2016). A novel dynamic holding system for thin metal plate shearing machines, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 44, 242–252.
- [8] B. M. D. N. Moreira, Ronny M. Gouveia, F. J. G. Silva, R. D. S. G. Campilho (2017). A Novel Concept Of Production And Assembly Processes Integration, Procedia Manufacturing 11 (2017) 1385 – 1395.
- [9] Jon Stenerson, Industrial Automation Process and Control, Prentice Hall, New Jersey, USA, 2002. ISBN: 978-0130330307.
- [10] M. Savař (2000). Reliability analysis of a flexible manufacturing cell, Reliability Engineering and System Safety, 67, 147–152.
- [11] Mikell P. Groover (2007). Fundamentals of Modern Manufacturing – Materials, Processes and Systems, Third Edition, John Wiley and Sons, USA. ISBN: 978-1118987643.
- [12] W. Araújo, F. J. G. Silva, R. D. S. G. Campilho (2016). Manufacturing cushions and suspension mats for vehicle seats: a novel cell concept. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 90, 1539–1545.

- [13] Kerstin Dencker, Åsa Fasth, Johan Stahre, Lena Mårtensson, Thomas Lundholm, Hakan Akillioglu (2009). Proactive assembly systems-realising the potential of human collaboration with automation, *Annual Reviews in Control*, 33, 230–237.
- [14] E. Carpanzano, F. Jovane (2007). Advanced Automation Solutions for Future Adaptive Factories, *Annals of the CIRP*, 56(1), 435-438.
- [15] Bruno Siciliano, Oussama Khatib, Frans Groen (2007). *Cells and Robots: Modeling and Control of Large-Size Agent Populations*, Springer, UK. ISBN: 978-3-540-71981-6.
- [16] Edwin Wise (2005). *Robotics Demystified*, McGraw-Hill, New York, USA. ISBN: 978-0-07-148786-7.
- [17] Pauline Maurice, Vincent Padois, Yvan Measson, Philippe Bidaud (2017). Human-oriented design of collaborative robots, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 57, 88-102.
- [18] Andrea Cherubini, Robin Passama, André Crosnier, Antoine Lasnier, Philippe Fraise (2016). Collaborative manufacturing with physical human–robot interaction, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 40, 1-13.
- [19] Luis Ribeiro, Jose Barata (2011). Re-thinking diagnosis for future automation systems: An analysis of current diagnostic practices and their applicability in emerging IT based production paradigms, *Computers in Industry*, 62, 639–659.
- [20] Antonsson Grote (Eds.) (2008). *Handbook of Mechanical Engineering*, Springer, UK. ISBN: 978-3-540-49131-6.
- [21] Yumin He, Milton L. Smith, Richard A. Dudek (2010). Robotic material handler scheduling in flexible manufacturing systems for mass customization, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 26, 671–676.
- [22] R. Shah, A. B. Pandey (2018). Concept for Automated Sorting Robotic Arm, *Procedia Manufacturing*, 20, 400-405.
- [23] André F. Castro, M. F. Silva, F. J. G. Silva (2017). Designing a robotic welding cell for bus body frame using a sustainable way, *Procedia Manufacturing*, 11, 207 – 214.
- [24] Francisco J. G. Silva (2016). *Tecnologia da Soldadura – Uma abordagem Técnico-Didáctica*, 2ª Edição, Pubblindústria, Porto, Portugal. ISBN: 978-9897231704.
- [25] Torgny Brogårdh (2007). Present and future robot control development—An industrial perspective, *Annual Reviews in Control*, 31, 69–79.
- [26] Debra A. Elkins, Ningjian Huanga, Jeffrey M. Alden (2004). Agile manufacturing systems in the automotive industry, *International Journal of Production Economics*, 91, 201–214.
- [27] Alessandro Farinelli, Nicolo’ Boscolo, Elena Zanotto, Enrico Pagello (2017). Advanced approaches for multi-robot coordination in logistic scenarios, *Robotics and Autonomous Systems*, 90, 34-44.

- [28] Thiago Cantos Lopes, C. G. S. Sikora, Rafael Gobbi Molina, Daniel Schibelbain, Leandro Magatão (2017). Balancing a robotic spot welding manufacturing line: An industrial case study, *European Journal of Operational Research*, 263(3), 1033-1048.
- [29] Loris Roveda, Nicola Pedrocchi, Manuel Beschi, Lorenzo Molinati Tosatti (2018). High-accuracy robotized industrial assembly task control schema with force overshoots avoidance, *Control Engineering Practice*, 71, 142-153.
- [30] Hesheng Wang, Jingchuan Wang, Weidong Chen, Lifei Xu (2018). Automatic illumination planning for robot vision inspection system, *Neurocomputing*, 275, 19-28.
- [31] Simplicable.com, [ONLINE]. <https://simplicable.com/new/automation-vs-robotics>, Consultado em 14 de Fevereiro de 2018.
- [32] Waguih ElMaraghy, Hoda ElMaraghy, Tetsuo Tomiyama, Laszlo Monostori (2012). Complexity in engineering design and manufacturing, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 61, 793–814.
- [33] Tan Zhang, Wenjun Zhang, Madan M. Gupta (2018). An underactuated self-reconfigurable robot and the reconfiguration evolution, *Mechanism and Machine Theory*, 124, 248-258.
- [34] João Maurício Rosário (2010). *Robótica Industrial I* –Editora Baraúna, S. Paulo, Brasil. ISBN: 978-8579231452.
- [35] Rafaela da Rosa Cardoso, Edson Pinheiro de Lima, Sergio E. Gouvea da Costa (2012). Identifying organizational requirements for the implementation of Advanced Manufacturing Technologies (AMT), *Journal of Manufacturing Systems*, 31, 367– 378.
- [36] P. M. S. Nunes, F. J. G. Silva (2013). Increasing Flexibility and Productivity in Small Assembly Operations: A Case Study, A. Azevedo (Eds), *Advances in Sustainable and Competitive Manufacturing Systems*, Lecture Notes in Mechanical Engineering, DOI: 10.1007/978-3-319-00557-7_27, Springer International Publishing Switzerland, 2013, pp. 329 – 340.
- [37] Dávid Losonci, Krisztina Demeter, István Jenei (2011). Factors influencing employee perceptions in lean transformations, *International Journal of Production Economics*, 131, 30–43.
- [38] A. Ollero, S. Boverie, R. Goodall, J. Sasiadek, H. Erbe, D. Zuehlke (2006). Mechatronics, robotics and components for automation and control IFAC milestone report, *Annual Reviews in Control*, 30, 41–54.
- [39] Dal Koshal (1993). *Manufacturing Engineer's Reference Book*, 13th Edition, Butterworth-Heinemann, Oxford. ISBN: 0 7506 1154 5.
- [40] Jian Le, Hua Zhang, Xiao Qi Chen (2018). Realization of rectangular fillet weld tracking based on rotating arc sensors and analysis of experimental results in gas metal arc welding, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 49, 263-276.

- [41] Peter R. N. Childs (2004). Mechanical Design, 2nd edition, Elsevier, Butterworth-Heinemann. ISBN: 978-0750657716.
- [42] Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke (1996). Standard Handbook of Machine Design, 2nd Edition, McGraw-Hill, New York, USA. ISBN: 978- 0-07-056958-4.
- [43] Grand View Research [ONLINE]. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/global-welding-products-market>. Consultado em 09 de Fevereiro de 2018.
- [44] Zion Market Research [ONLINE]. <https://www.zionmarketresearch.com/report/welding-products-market>. Consultado em 10 de Fevereiro de 2018.
- [45] AWS [ONLINE]. <https://app.aws.org/research/vision.pdf>. Consultado em 10 de Fevereiro de 2018.
- [46] Mikell P. Groover (2010). Fundamentals of Modern Manufacturing – Materials, Processes and Systems, Fourth Edition, John Wiley and Sons, USA. ISBN: 978-0470-467002.
- [47] Ceweld [ONLINE]. http://www.ceweld.com/sites/default/files/Proces%20nummer-%204063%202009_0.pdf. Consultado em 10 de Fevereiro de 2018.
- [48] Mig-o-mat [ONLINE] <http://www.mig-o-mat.com/en/products/automation/flexible-pipe-and-tank-welding-system/>. Consultado em 11 de Fevereiro de 2018.
- [49] Mig-o-mat [ONLINE] <https://awo.aws.org/2014/07/i-welding-robots/>. Consultado em 11 de Fevereiro de 2018.
- [50] John Norrish (2006). Advanced welding processes - Technologies and process control, Woodhead Publishing Limited, England. ISBN-13: 978-1-84569-130-1.
- [51] Vítor Ferreira Romano (2002). Robótica Industrial, Editora Edgard Blucher, Brasil. ISBN: 85-212-0315-2.
- [52] Alessandra Caggiano, Luigi Nele, Emanuele Sarno, Roberto Teti (2014). 3D Digital Reconfiguration of an Automated Welding System for a Railway Manufacturing Application, Procedia CIRP, 25, 39-45.
- [53] Na Lv, Yanling Xu, Sichen Li, Xinwen Yu, Shanben Chen (2017). Automated control of welding penetration based on audio sensing technology. Journal of Materials Processing Technology, 250, 81-98.
- [54] Neury Boaretto and Tania Mezzadri Centeno (2017). Automated detection of welding defects in pipelines from radiographic images DWDI, NDT and E International, 86, 7-13.
- [55] Zeng Huilin, Wang Changjiang, Yang Xuemei, Wang Xinsheng, Liu Ran (2014). Automatic welding technologies for long-distance pipelines by use of all position self-shielded flux cored wires, Natural Gas Industry B, 1(1), 113-118.

- [56] L. Alonso Ferreira, Y. Lapido Figueira, I. Fernández Iglesias, M. Álvarez Souto (2017). Offline CAD-based robot programming and welding parametrization of a flexible and adaptive robotic cell using enriched CAD/CAM system for shipbuilding, *Procedi Manufacturing*, 11, 215-223.
- [57] Kássie Vieira Farias (2013). Uso de aços em dutos para indústria de petróleo, Seminário, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil.
- [58] Testo [ONLINE]. https://www.testo.com/pt-PT/medicao-de-velocidade/conduitas-deventilacao/c/applications_operations_maintenance_service_air_conditioning_system_velocity_measurement_duct. Consultado em 13 de Fevereiro de 2018.
- [59] Hardhatengineer [ONLINE]. <https://hardhatengineer.com/pipe-class-piping-specifications-pipeend/pipe-manufacturing-process/>. Consultado em 12 de Fevereiro de 2018.
- [60] Invisuale [ONLINE]. <http://www.invisuale.com/solutions/thermal-welding-inspection/tube-and-pipe.html>. Consultado em 12 de Fevereiro de 2018.
- [61] Conducar [ONLINE]. <https://www.conducar.pt/wp-content/uploads/2013/08/C-at%C3%A1logo-T%C3%A9cnico.pdf>. Consultado em 13 de Fevereiro de 2018.
- [62] Polleri Pires de Campos (1984). Manual de Corte e Quinagem de Chapa Metálica, Cetop, Portugal. ISBN- 5602072120065.
- [63] José María Carpintero Pino (2011). Manual Práctico De Soldadura Básico, Starbook, Espanha. ISBN- 9788492650545.
- [64] Dajieco [ONLINE]. <http://www.dajieco.com/cht/seam-welding-machines/DJ-C250-0.html>. Consultado em 14 de Fevereiro de 2018.
- [65] Westermans [ONLINE]. <https://www.westermans.com/new-longitudinal-seam-welder---various-lengths-from-600mm-900mm-1200mm-and-1800mm.aspx..> Consultado em 15 de Fevereiro de 2018.
- [66] Schnelldorfer [ONLINE]. https://www.schnelldorfer-maschinenbau.de/files/inhalte/produkte/datenblaetter/en/ELENA%20ONE_Konfig_20170731_EN.pdf. Consultado em 15 de Fevereiro de 2018.
- [67] Jetline [ONLINE]. <http://www.jetline.com/downloads.aspx?c=69>. Consultado em 15 de Fevereiro de 2018.
- [68] Economias [ONLINE]. <https://www.economias.pt/analise-swot-o-que-e-e-para-que-serve/>. Consultado em 15 de Fevereiro de 2018.
- [69] Tecnico.ulisboa [ONLINE]. https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779578-381967/DimEst%202011_12%205%20Dimensionamento%20de%20estruturas%20metalicas.pdf. Consultado em 16 de Fevereiro de 2018.

- [70] Hypertextbook [ONLINE]. <https://hypertextbook.com/facts/2005/steel.shtml/>. Consultado em 16 de Fevereiro de 2018.
- [71] Ctborracha [ONLINE]. https://ctborracha.com/?page_id=1467. Consultado em 16 de Fevereiro de 2018.
- [72] Docsbonfiglioli [ONLINE]. http://www.docsbonfiglioli.com/pdf_documents/catalogue/BR_CAT_VF-W_IE2-IE3_ENG_R07_2.pdf. Consultado em 17 de Fevereiro de 2018.
- [73] Iigus [ONLINE]. <https://www.igus.pt/wpck/7237/DryLinProductfinderSHT>. Consultado em 17 de Fevereiro de 2018.
- [74] Hiwin [ONLINE]. https://www.hiwin.de/en/Products/Motors_Drives_and_Accessories/Rotary_tables/TMN/21452. Consultado em 17 de Fevereiro de 2018.
- [75] Schaeffler [ONLINE]. http://medias.schaeffler.com/medias/pt!hp.ec.br.pr/LTS..-KGT..-M-0*LTS16-100-1204-M-0;a50V7rRuRHEb. Consultado em 17 de Fevereiro de 2018.
- [76] Citisystems [ONLINE]. <https://www.citisystems.com.br/fmea-processo-analise-modos-falhas-efeitos/>. Consultado em 18 de Fevereiro de 2018.
- [77] Fuvestibular [ONLINE]. <http://fuvestibular.com.br/apostilas/telecurso-2000/#Telecurso-2000-Profissionalizante-Metal-Mecanica>. Consultado em 18 de Fevereiro de 2018

ANEXOS

6.1 ANEXO 1 – Listagem de Processos de Soldadura

6.2 ANEXO 2 – Orçamento

6.3 ANEXO 3 – Desenhos Técnicos

6.4 ANEXO 4 – Esquemas elétricos

6.5 ANEXO 5 – Catálogos dos componentes

6 ANEXOS

Os anexos estão divididos em 5:

Anexo 1 – Listagem dos diferentes Processos de Soldadura

Anexo 2 – Orçamento;

Anexo 3 – Desenhos técnicos;

Anexo 4 – Esquemas elétricos;

Anexo 5 – Catálogos dos componentes

6.1 ANEXO 1 – Listagem de Processos de Soldadura

Nº	PROCESSOS
1	Soldadura elétrica por arco: soldadura por arco
11	Soldadura por arco com elétrodo fusível sem proteção gasosa
111	Soldadura por arco, por gravidade com elétrodo revestido
112	Soldadura por arco com elétrodo revestido
113	Soldadura por arco com fio nu
114	Soldadura por arco com fio recheado
115	Soldadura por arco com fio revestido
118	Soldadura com elétrodo capeado
13	Soldadura por arco sob proteção gasosa com fio-elétrodo fusível
131	Soldadura MIG: soldadura por arco sob proteção de gás inerte com fio - elétrodo fusível
135	Soldadura MAG: soldadura por arco sob proteção de gás ativo com fio – elétrodo fusível
136	Soldadura por arco sob proteção de gás ativo com fio - elétrodo recheado
14	Soldadura sob proteção gasosa com elétrodo refratário
141	Soldadura TIG: soldadura por arco em atmosfera Inerte com elétrodo de tungsténio
149	Soldadura com hidrogénio atómico
16	Soldadura com plasma
18	Outros processos de soldadura por arco
181	Soldadura por arco com elétrodo de carbono
185	Soldadura por arco girante
2	Soldadura por resistência
21	Soldadura por pontos (por resistência)
23	Soldadura por botões
24	Soldadura por faíscas
25	Soldadura a topo por resistência pura
29	Outros processos de soldadura por resistência
291	Soldadura por resistência em alta-frequência
3	Soldadura a fogo com gases
31	Soldadura oxigás
311	Soldadura oxiacetilénica
312	Soldadura oxipropano
313	Soldadura oxídrica
32	Soldadura aerogás
321	Soldadura aeroacetilénica
322	Soldadura aeropropano

4	Soldadura por pressão: soldadura no estado sólido
41	Soldadura por ultrassons
42	Soldadura por fricção
43	Soldadura em forja
44	Soldadura por altas energias mecânicas
441	Soldadura por explosão
45	Soldadura por difusão
47	Soldadura a gases por pressão
48	Soldadura a frio
7	Outros processos de soldadura
71	Soldadura aluminotérmica: soldadura por aluminotermia
73	Soldadura electro gás; soldadura vertical em molde sob proteção gasosa
74	Soldadura por indução
75	Soldadura por radiação luminosa
751	Soldadura por laser
752	Soldadura por Imagem de arco
753	Soldadura por Infravermelhos
76	Soldadura por feixe eletrónico: soldadura por bombardeamento eletrónico
77	Soldadura elétrica com percussão
78	Soldadura de pernos
781	Soldadura de pernos por arco
782	Soldadura de pernos por resistência
9	Soldadura com soldas
91	Soldadura forte
911	Soldadura forte por infravermelhos
912	Soldadura forte por gases
913	Soldadura forte em forno
914	Soldadura forte por imersão
915	Soldadura forte em banho de sal
916	Soldadura forte por Indução
911	Soldadura forte por ultrassons
918	Soldadura forte por resistência
919	Soldadura forte por difusão
923	Soldadura forte por fricção
924	Soldadura forte no vácuo
93	Outros processos de soldadura forte
94	Soldadura branda

941	Soldadura branda por Infravermelhos
942	Soldadura branda com gases
943	Soldadura branda em forno
944	Soldadura branda por Imersão
945	Soldadura branda em banho de sal
948	Soldadura branda por indução
947	Soldadura branda por ultrassons
948	Soldadura branda por resistência
949	Soldadura branda por difusão
951	Soldadura branda por vagas
952	Soldadura branda com ferro
953	Soldadura branda por fricção
954	Soldadura branda no vácuo
96	Outros processos de soldadura branda
97	Soldadura mista
971	Soldadura mista com gases
972	Soldadura mista por arco

6.2 ANEXO 2 – Orçamento

Custo total com componentes standardizados e fabricados

Q.	DESIGNAÇÃO	NORMA/DES	P.	CUSTO UNIT	Custo Total Compon.	Custo Total Fabr/Mont.
					6 165,60 €	1 400,00 €
2	999 Tubo Azoto	Adquirir	23	565,00 €	1 130,00 €	
1	09 Visor UV MEM		22			
1	08 Calcador Junta MEM		21			
1	602 Tubo_2 Arrefecimento MEM		20			
1	700 Proteção Ext MEM	Fabricar	19	275,00 €	275,00 €	
3	700 Proteção Ext MEM	Fabricar	18	275,00 €	825,00 €	
1	960 Quadro Elétrico MeM	Fabricar	17	387,00 €	387,00 €	
1	960 Quadro Elétrico MeM	Fabricar	16	2 123,00 €	2 123,00 €	
1	600 Tubo Arrefecimento MEM		15			
1	601 Tubo Aspiração MEM		14			
1	501 Blindagem_1 Sup MEM	Fabricar	13	136,00 €	136,00 €	
1	06 Mecanismo_2 Tocha		12			
1	107 Suporte Solda MEM		11			
1	D350 x 1 x 2000		10			
1	01 Suporte_Conduta MEM		9			
2	050 Calço_1 MEM		8			
2	050 Calço_1 MEM		7			
4	bearing_sy_30_tr_0		6			
2	102 Fuso Esq Transmissão MEM	Standard/adquirir	5	22,40 €	44,80 €	
2	100 Fuso Transmissão MEM	Standard/adquirir	4	22,40 €	44,80 €	
2	Motoredutor	Standard/adquirir	3	385,00 €	770,00 €	

1	04 Mecanismo Aperto_2 MEM		2		
1	000 Estrutura MEM	Fabricar	1	430,00 €	430,00 €
					13,68 €
					140,00 €
1	106 Suporte_3 Fêmea MEM	Fabricar	3	3,20 €	3,20 €
1	104 Fêmea Esq Transmissão MEM	Fabricar	2	6,30 €	6,30 €
1	105 Suporte Fêmea MEM	Fabricar	1	4,18 €	4,18 €
					1 594,52 €
					1 400,00 €
1	09 Visor UV MEM		15		
1	08 Calcador Junta MEM	Assemblagem	14		
1	602 Tubo_2 Arrefecimento MEM	Fabricar	13	8,00 €	8,00 €
1	600 Tubo Arrefecimento MEM	Fabricar	12	8,00 €	8,00 €
1	06 Mecanismo_2 Tocha	Assemblagem	11		
1	107 Suporte Solda MEM	Fabricar	10	56,00 €	56,00 €
1	01 Suporte_Condução MEM	Assemblagem	9		
2	050 Calço_1 MEM	Fabricar	8	1,65 €	3,30 €
2	050 Calço_1 MEM	Fabricar	7	1,65 €	3,30 €
4	bearing_sy_30_tr_0	Standard/adquirir	6	56,58 €	226,32 €
2	102 Fuso Esq Transmissão MEM	Standard/adquirir	5	22,40 €	44,80 €
2	100 Fuso Transmissão MEM	Standard/adquirir	4	22,40 €	44,80 €
2	Motoredutor	Standard/adquirir	3	385,00 €	770,00 €
1	04 Mecanismo Aperto_2 MEM	Assemblagem	2		
1	000 Estrutura MEM	Fabricar	1	430,00 €	430,00 €
					1 531,58 €
					2 800,00 €
8	112 Amortecimento Rolos MEM	Adquirir	13	0,31 €	2,48 €

4	Washer ISO 7090 - 30	Standard/adquirir	12	0,24 €	0,96 €	
8	DIN 1804 - M30x1.5 - N	Standard/adquirir	11	1,48 €	11,84 €	
4	111 Suporte_4 Rolos MEM	Fabricar	10	3,41 €	13,64 €	
4	110 Suporte_3 Rolos MEM	Fabricar	9	32,29 €	129,16 €	
4	109 Suporte_2 Rolos MEM	Fabricar	8	24,38 €	97,52 €	
6	108 Suporte_1 Motoredutor MEM	Fabricar	7	19,67 €	118,02 €	
2	Chain wheel ISO - 16Z 08B-1 - -16SB75H40L30.0R1	Standard/adquirir	6	6,87 €	13,74 €	
8	07 Mecanismo Arraste	Assemblagem	5			
2	User Library-MOTOR COM MOTOREDUTOR K47DRE80S4BE1	Standard/adquirir	4	385,00 €	770,00 €	
10	Fix_Veios 40 MEM	Standard/adquirir	3	18,75 €	187,50 €	
4	101 Veio Guia MEM	Standard/adquirir	2	15,68 €	62,72 €	
2	03 Aro Ajuste Lateral v3 MEM	Fabricar	1	62,00 €	124,00 €	
					268,20 €	280,00 €
4	Itbr40-2ls	Standard/adquirir	4	51,55 €	206,20 €	
1	05 Suporte Fêmea_Drt	Assemblagem	3			
1	05 Suporte Fêmea_Drt	Assemblagem	2			
1	001 Estrutura MEM	Fabricar	1	62,00 €	62,00 €	
					23,73 €	140,00 €
1	106 Suporte_4 Fêmea MEM	Fabricar	3	13,25 €	13,25 €	
1	103 Fêmea Transmissão MEM	Fabricar	2	6,30 €	6,30 €	
1	105 Suporte Fêmea MEM	Fabricar	1	4,18 €	4,18 €	
					25,63 €	140,00 €
1	106 Suporte_4 Fêmea MEM	Fabricar	3	15,15 €	15,15 €	
1	103 Fêmea Transmissão MEM	Fabricar	2	6,30 €	6,30 €	

1	105 Suporte Fêmea MEM	Fabricar	1	4,18 €	4,18 €	
					2 690,31 €	560,00 €
1	502 Blindagem_2 tocha MEM	Fabricar	10	4,12 €	4,12 €	
1	Autonics-AO2K-S523Wx	Standard/adquirir	9	490,00 €	490,00 €	
1	107 Suporte Solda_4 MEM	Fabricar	8	2,86 €	2,86 €	
1	107 Suporte Solda_3 MEM	Fabricar	7	2,91 €	2,91 €	
1	TMN42E_1	Standard/adquirir	6	1 837,00 €	1 837,00 €	
1	LTB170.0280.TN1210	Standard/adquirir	5	285,00 €	285,00 €	
1	Part12	Fabricar	4	3,67 €	3,67 €	
1	500 Blindagem_1 tocha MEM	Fabricar	3	2,75 €	2,75 €	
1	sup_tocha	Assemblagem	2			
1	107 Suporte Solda_2 MEM	Fabricar	1	62,00 €	62,00 €	
					53,85 €	105,00 €
1	Imported3	Adquirir	4	38,68 €	38,68 €	
1	923 Articulação_2 tocha	Fabricar	3	6,17 €	6,17 €	
1	923 Articulação_1 tocha	Fabricar	2	7,15 €	7,15 €	
1	222 Veio Tocha	Fabricar	1	1,85 €	1,85 €	
					267,87 €	210,00 €
1	955 Casquilho_Rolo Sup MEM	Fabricar	10	1,45 €	1,45 €	
1	Chain wheel DIN 8192 - A 16Z 08B-3 --16SA32R1	Standard/adquirir	9	9,47 €	9,47 €	
2	DIN 1804 - M22x1.5 - N	Standard/adquirir	8	1,63 €	3,26 €	
1	DIN 1804 - M35x1.5 - N	Standard/adquirir	7	1,48 €	1,48 €	
1	DIN 1804 - M32x1.5 - N	Standard/adquirir	6	1,48 €	1,48 €	
2	inafag_rcjy30-tv-va_5I20	Standard/adquirir	5	57,68 €	115,36 €	

1	954 Sup_Rolo Sup MEM	Fabricar	4	11,35 €	11,35 €
1	951 Sup_Rolo Inf MEM	Fabricar	3	12,67 €	12,67 €
1	952 Haste_Rolo MEM	Fabricar	2	67,00 €	67,00 €
1	953 Rolo_2 MEM	Fabricar	1	44,35 €	44,35 €
				819,51 €	210,00 €
1	Clevis Pin ISO 2341 - B - 10 x 50 x 3.2 - St	Fabricar	10	1,15 €	1,15 €
2	Washer ISO 8738 - 10	Standard/adquirir	9	0,20 €	0,40 €
2	DIN 625 - 6200 - 8,SI,NC,8_68	Standard/adquirir	8	14,91 €	29,82 €
2	Hexagon Thin Nut ISO - 4035 - M20 - N	Standard/adquirir	7	0,37 €	0,74 €
1	942 Acessório Calcador	Fabricar	6	4,72 €	4,72 €
1	941 Veio Calcador	Fabricar	5	1,15 €	1,15 €
1	943 Acessório_2 Calcador	Fabricar	4	3,67 €	3,67 €
1	944 Base_1 Calcador	Fabricar	3	2,86 €	2,86 €
1	Autonics-AO2K-S523Wx	Standard/adquirir	2	490,00 €	490,00 €
1	inafag_lts16-100-1204-m-0_enip86n2pwq0moq1cwby3w7zb	Standard/adquirir	1	285,00 €	285,00 €
				67,64 €	140,00 €
1	936 Visor_1 MEM	Adquirir	4	46,75 €	46,75 €
2	935 Dobradiça_2 MEM	Fabricar	3	5,18 €	10,36 €
1	935 Veio Dobradiça_3 MEM	Fabricar	2	1,85 €	1,85 €
2	935 Dobradiça_1 MEM	Fabricar	1	4,34 €	8,68 €
				341,21 €	350,00 €
1	007 Tubo Extremo_1 MEM	Fabricar	9	8,75 €	8,75 €
8	ISO 4762 M8 x 25 --- 25N	Standard/adquirir	8	0,09 €	0,72 €
16	ISO 4762 M8 x 20 --- 20N	Standard/adquirir	7	0,09 €	1,44 €

2	002 Cantoneira_1 MEM	Fabricar	6	6,15 €	12,30 €
1	004 Barra Suporte_2 MEM	Fabricar	5	18,00 €	18,00 €
1	003 Barra Suporte_1 MEM	Fabricar	4	35,00 €	35,00 €
1	005Barra Suporte_3 MEM	Fabricar	3	21,00 €	21,00 €
1	005Barra Suporte_3 MEM	Fabricar	2	178,00 €	178,00 €
1	006Tubo Suporte_1 MEM	Fabricar	1	66,00 €	66,00 €

Custo total com componentes standardizados

Q.	DESIGNAÇÃO	NORMA/DES	P.	CUSTO UNIT	Custo Total
					7 967,56 €
2	999 Tubo Azoto	Adquirir	23	565,00 €	1 130,00 €
2	102 Fuso Esq Transmissão MEM	Standard/adquirir	5	22,40 €	44,80 €
2	100 Fuso Transmissão MEM	Standard/adquirir	4	22,40 €	44,80 €
2	Motoredutor	Standard/adquirir	3	385,00 €	770,00 €
4	bearing_sy_30_tr_0	Standard/adquirir	6	56,58 €	226,32 €
2	102 Fuso Esq Transmissão MEM	Standard/adquirir	5	22,40 €	44,80 €
2	100 Fuso Transmissão MEM	Standard/adquirir	4	22,40 €	44,80 €
2	Motoredutor	Standard/adquirir	3	385,00 €	770,00 €
8	112 Amortecimento Rolos MEM	Adquirir	13	0,31 €	2,48 €
4	Washer ISO 7090 - 30	Standard/adquirir	12	0,24 €	0,96 €
8	DIN 1804 - M30x1.5 - N	Standard/adquirir	11	1,48 €	11,84 €
2	Chain wheel ISO - 16Z 08B-1 - -16SB75H40L30.0R1	Standard/adquirir	6	6,87 €	13,74 €
2	User Library-MOTOR COM MOTOREDUTOR K47DRE80S4BE1	Standard/adquirir	4	385,00 €	770,00 €

10	Fix_Veios 40 MEM	Standard/adquirir	3	18,75 €	187,50 €
4	101 Veio Guia MEM	Standard/adquirir	2	15,68 €	62,72 €
4	ltbr40-2ls	Standard/adquirir	4	51,55 €	206,20 €
1	Autonics-AO2K-S523Wx	Standard/adquirir	9	490,00 €	490,00 €
1	TMN42E_1	Standard/adquirir	6	1 837,00 €	1 837,00 €
1	LTB170.0280.TN1210	Standard/adquirir	5	285,00 €	285,00 €
1	Imported3	Adquirir	4	38,68 €	38,68 €
1	Chain wheel DIN 8192 - A 16Z 08B-3 --16SA32R1	Standard/adquirir	9	9,47 €	9,47 €
2	DIN 1804 - M22x1.5 - N	Standard/adquirir	8	1,63 €	3,26 €
1	DIN 1804 - M35x1.5 - N	Standard/adquirir	7	1,48 €	1,48 €
1	DIN 1804 - M32x1.5 - N	Standard/adquirir	6	1,48 €	1,48 €
2	inafag_rcjy30-tv-va_5l20	Standard/adquirir	5	57,68 €	115,36 €
2	Washer ISO 8738 - 10	Standard/adquirir	9	0,20 €	0,40 €
2	DIN 625 - 6200 - 8,SI,NC,8_68	Standard/adquirir	8	14,91 €	29,82 €
2	Hexagon Thin Nut ISO - 4035 - M20 - N	Standard/adquirir	7	0,37 €	0,74 €
1	Autonics-AO2K-S523Wx	Standard/adquirir	2	490,00 €	490,00 €
1	inafag_lts16-100-1204-m-0_enip86n2pwq0moq1cwby3w7zb	Standard/adquirir	1	285,00 €	285,00 €
1	936 Visor_1 MEM	Adquirir	4	46,75 €	46,75 €
8	ISO 4762 M8 x 25 --- 25N	Standard/adquirir	8	0,09 €	0,72 €
16	ISO 4762 M8 x 20 --- 20N	Standard/adquirir	7	0,09 €	1,44 €

Custo total com componentes fabricados

Q.	DESIGNAÇÃO	NORMA/DES	P.	CUSTO UNIT	Custo Total
					5 895,77 €
1	700 Proteção Ext MEM	Fabricar	19	275,00 €	275,00 €
3	700 Proteção Ext MEM	Fabricar	18	275,00 €	825,00 €
1	960 Quadro Elétrico MeM	Fabricar	17	387,00 €	387,00 €
1	960 Quadro Elétrico MeM	Fabricar	16	2 123,00 €	2 123,00 €
1	501 Blindagem_1 Sup MEM	Fabricar	13	136,00 €	136,00 €
1	000 Estrutura MEM	Fabricar	1	430,00 €	430,00 €
1	106 Suporte_3 Fêmea MEM	Fabricar	3	3,20 €	3,20 €
1	104 Fêmea Esq Transmissão MEM	Fabricar	2	6,30 €	6,30 €
1	105 Suporte Fêmea MEM	Fabricar	1	4,18 €	4,18 €
1	602 Tubo_2 Arrefecimento MEM	Fabricar	13	8,00 €	8,00 €
1	600 Tubo Arrefecimento MEM	Fabricar	12	8,00 €	8,00 €
1	107 Suporte Solda MEM	Fabricar	10	56,00 €	56,00 €
2	050 Calço_1 MEM	Fabricar	8	1,65 €	3,30 €
2	050 Calço_1 MEM	Fabricar	7	1,65 €	3,30 €
1	000 Estrutura MEM	Fabricar	1	430,00 €	430,00 €
4	111 Suporte_4 Rolos MEM	Fabricar	10	3,41 €	13,64 €
4	110 Suporte_3 Rolos MEM	Fabricar	9	32,29 €	129,16 €
4	109 Suporte_2 Rolos MEM	Fabricar	8	24,38 €	97,52 €
6	108 Suporte_1 Motoredutor MEM	Fabricar	7	19,67 €	118,02 €
2	03 Aro Ajuste Lateral v3 MEM	Fabricar	1	62,00 €	124,00 €
1	001 Estrutura MEM	Fabricar	1	62,00 €	62,00 €
1	106 Suporte_4 Fêmea MEM	Fabricar	3	13,25 €	13,25 €

1	103 Fêmea Transmissão MEM	Fabricar	2	6,30 €	6,30 €
1	105 Suporte Fêmea MEM	Fabricar	1	4,18 €	4,18 €
1	106 Suporte_4 Fêmea MEM	Fabricar	3	15,15 €	15,15 €
1	103 Fêmea Transmissão MEM	Fabricar	2	6,30 €	6,30 €
1	105 Suporte Fêmea MEM	Fabricar	1	4,18 €	4,18 €
1	502 Blindagem_2 tocha MEM	Fabricar	10	4,12 €	4,12 €
1	107 Suporte Solda_4 MEM	Fabricar	8	2,86 €	2,86 €
1	107 Suporte Solda_3 MEM	Fabricar	7	2,91 €	2,91 €
1	Part12	Fabricar	4	3,67 €	3,67 €
1	500 Blindagem_1 tocha MEM	Fabricar	3	2,75 €	2,75 €
1	107 Suporte Solda_2 MEM	Fabricar	1	62,00 €	62,00 €
1	923 Articulação_2 tocha	Fabricar	3	6,17 €	6,17 €
1	923 Articulação_1 tocha	Fabricar	2	7,15 €	7,15 €
1	222 Veio Tocha	Fabricar	1	1,85 €	1,85 €
1	955 Casquilho_Rolo Sup MEM	Fabricar	10	1,45 €	1,45 €
1	954 Sup_Rolo Sup MEM	Fabricar	4	11,35 €	11,35 €
1	951 Sup_Rolo Inf MEM	Fabricar	3	12,67 €	12,67 €
1	952 Haste_Rolo MEM	Fabricar	2	67,00 €	67,00 €
1	953 Rolo_2 MEM	Fabricar	1	44,35 €	44,35 €
1	Clevis Pin ISO 2341 - B - 10 x 50 x 3.2 - St	Fabricar	10	1,15 €	1,15 €
1	942 Acessório Calcador	Fabricar	6	4,72 €	4,72 €
1	941 Veio Calcador	Fabricar	5	1,15 €	1,15 €
1	943 Acessório_2 Calcador	Fabricar	4	3,67 €	3,67 €
1	944 Base_1 Calcador	Fabricar	3	2,86 €	2,86 €
2	935 Dobradiça_2 MEM	Fabricar	3	5,18 €	10,36 €
1	935 Veio Dobradiça_3 MEM	Fabricar	2	1,85 €	1,85 €
2	935 Dobradiça_1 MEM	Fabricar	1	4,34 €	8,68 €

1	007 Tubo Extremo_1 MEM	Fabricar	9	8,75 €	8,75 €
2	002 Cantoneira_1 MEM	Fabricar	6	6,15 €	12,30 €
1	004 Barra Suporte_2 MEM	Fabricar	5	18,00 €	18,00 €
1	003 Barra Suporte_1 MEM	Fabricar	4	35,00 €	35,00 €
1	005 Barra Suporte_3 MEM	Fabricar	3	21,00 €	21,00 €
1	005 Barra Suporte_3 MEM	Fabricar	2	178,00 €	178,00 €
1	006 Tubo Suporte_1 MEM	Fabricar	1	66,00 €	66,00 €

Custo total com Automação: 7000€

Custo com aparelho de Soldadura: 5552,71€ - Mig Lincoln Powertec 425C Pro (refrigerada a Ar)

6.3 ANEXO 3 – Desenhos Técnicos

6.4 ANEXO 4 – Esquemas elétricos

SINÓTICO DO SISTEMA

MOTOR M1 – Motoredutor 1 de aperto da conduta

MOTOR M2 – Motoredutor 2 de movimentação da conduta

MESA – Mesa de ajuste da tocha (motor passo a passo)

CALCADOR -motor passo-a-passo (aperta a junta)

TOCHA – Equipamento de soldar

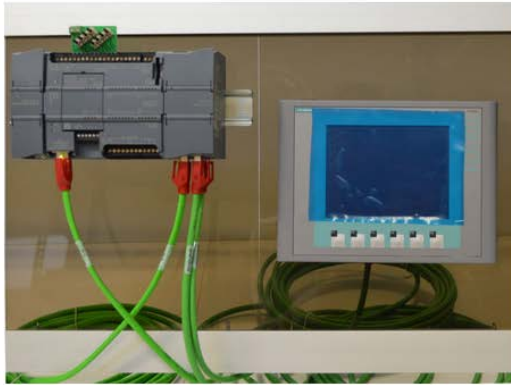
REFRIGERAÇÃO AR – Eletroválvula 1

REFRIGERAÇÃO GÁS – Eletrovalvula 2

MAPA DE ENTRADAS E SAÍDAS DO AUTÓMATO

Indicador	Designação	Código
S1	Botoneira Stop	I0.0
S2	Botoneira Start	I0.1
SE	Botoneira de Emergência	I0.2
Térmico 1	Disparo Térmico de Q1 (M1) e Q2 (M2)	I0.4
Térmico 3	Disparo Térmico de Q3 (Mesa)	I0.3
M1	Motoredutor 1	Q0.0
M2	Motoredutor 2	Q0.1
Eq Soldar		Q0.2
Mesa	Mesa de Ajuste	Q0.4
Calcador	Aperto de Junta	Q0.5
Ref Ar	Electroválvula 1	Q1.4
Ref Gás	Electroválvula 1	Q1.5

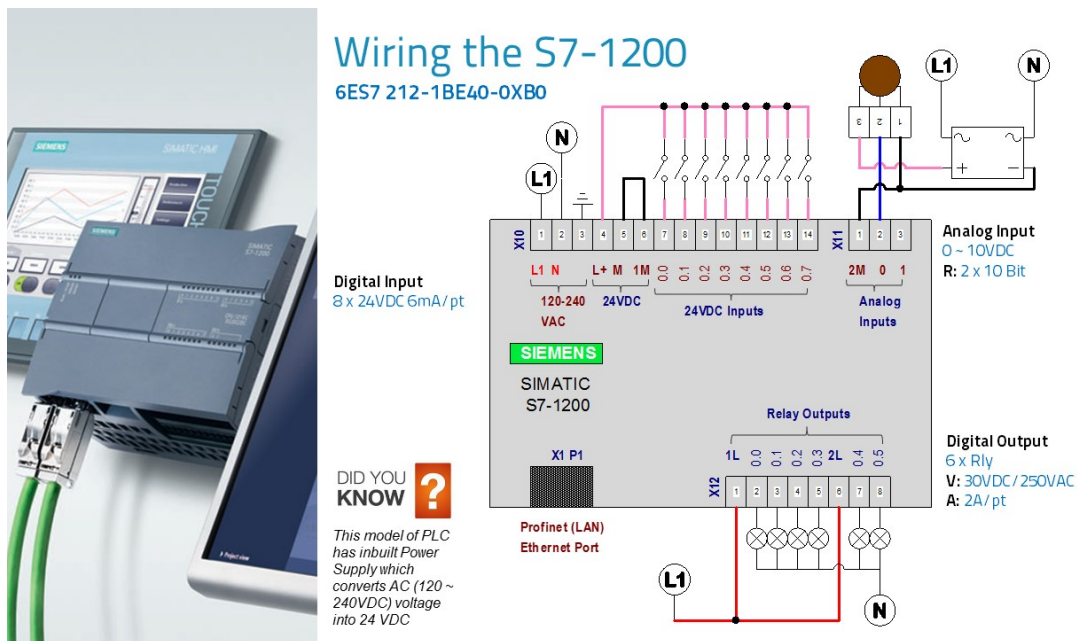
Simatic S7-1200



10 Starter Kits com:

- CPU 1214C AC/DC/RLY com: 12 entradas digitais, 10 saídas digitais e 2 entradas analógicas,
- Carta de comunicação Profibus-DP (CM1243-5 ou CM1242-5),
- Switch Profinet com 4 entrada (CSM 1277)
- HMI touch a cores com ligação Profinet (KTP600),
- Simulador digital de entradas (SIM 1274).

Com extensão de saídas



6.5 ANEXO 5 – Catálogos dos componentes