



DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO FLEXÍVEL DE ALTA CADÊNCIA PARA DOBRAGEM DE ARAME

MANUEL ANDRÉ DE SOUSA GASPAR

julho de 2022

DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO FLEXÍVEL DE ALTA CADÊNCIA PARA DOBRAGEM DE ARAME

Manuel André de Sousa Gaspar

1100754

2021-2022

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Engenharia Mecânica

DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO FLEXÍVEL DE ALTA CADÊNCIA PARA DOBRAGEM DE ARAME

Manuel André de Sousa Gaspar

1100754

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 Doutor Francisco José Gomes da Silva e Coorientação do Doutor Arnaldo Manuel Guedes Pinto, do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP.

2021-2022

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

JÚRI

Presidente

Doutora Sandra Cristina de Faria Ramos

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Doutor Francisco José Gomes da Silva

Professor Coordenador com Agregação, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Co-orientador

Doutor Arnaldo Manuel Guedes Pinto

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

Doutor António Manuel de Bastos Pereira

Professor Associado com Agregação, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero agradecer ao Doutor Francisco Silva pela sua orientação, mas também pela sua dedicação e disponibilidade demonstrada durante toda a realização deste trabalho.

À FicoCables, por me ter proporcionado um crescimento sustentável profissionalmente, pessoalmente, e academicamente na realização deste trabalho.

À minha família, pela confiança demonstrada durante a realização deste trabalho, e de outros projetos desenvolvidos nesta longa caminhada.

PALAVRAS CHAVE

Equipamento de dobragem de arame, Projeto mecânico, Automação, Indústria automóvel.

RESUMO

A indústria automóvel necessita de constante inovação, para manter a elevada competitividade e rigor que a caracteriza. Neste sector, todas as empresas que dele fazem parte, têm de apostar na automação dos processos, com o objetivo de os tornar mais rentáveis economicamente, a longo prazo.

O conforto no automóvel também é assegurado pelos bancos. Estes são constituídos por uma estrutura metálica soldada, molas, espumas e tecidos. Os coxins são molas constituídas por arame conformado e sobreinjetado que se situam na parte inferior dos bancos.

Existe uma grande variedade de equipamentos de dobragem de arame no mercado, dependendo do produto a ser produzido, apresentando características técnicas específicas para cada tipo de arame. Os equipamentos podem ser capazes de produzir arames conformados 2D ou 3D com maior ou menor nível de produtividade.

A dissertação aqui apresentada, foi realizada em contexto industrial na empresa FicoCables, na área da Engenharia de Processos e Equipamentos, onde se desenvolveu e construiu um novo equipamento de dobragem de arame para o processo de fabrico dos coxins.

Os requisitos para o equipamento desenvolvido implicavam possuir elevada flexibilidade e produtividade na conformação dos arames utilizados nos coxins. Este equipamento é fundamental para a competitividade da empresa, atendendo a que irá permitir uma diminuição do custo de implementação de novos projetos de grande volume.

O projeto foi concluído e implementado com sucesso, tendo este equipamento sido adotado pela empresa como o novo *standard* de equipamentos para a dobragem de arame. Este trabalho apresenta todas as etapas pelas quais passou o desenvolvimento deste projeto.

KEYWORDS

Wire bending machine, Mechanical design, Automation, Automotive industry.

ABSTRACT

The automotive industry needs constant innovation to maintain the high competitiveness and rigor that characterizes it. In this sector, all companies that are part of it, must invest in the automation of processes, with the aim of making them more economically profitable in the long term.

The comfort of the car is assured by the seats, which are made up of a welded metal structure, springs, foams, and fabrics. The cushions are springs made of shaped and over-injected wire that are located at the bottom of the seats.

There is a wide variety of wire bending equipment on the market, which, depending on the product to be produced, have specific technical characteristics for each type of wire. Equipment may be capable of producing 2D or 3D shaped wire with higher or lower productivity levels.

The dissertation presented here was conducted in an industrial context at the company FicoCables, in the area of Process and Equipment Engineering, where a new wire working equipment for the manufacturing process of the cushions was developed and built.

The developed equipment would have to be flexible, and with high productivity in the production of the wires used in the cushions. This equipment is essential for the company's competitiveness in this product and should lower the cost of implementing new large-volume projects in future.

The project was successfully completed and implemented, and this equipment was adopted by the company as the new standard in wire bending equipment. This work presents all the stages through which the development of this project passed.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

Termo	Designação
2D	Duas Dimensões
3D	Três Dimensões
CIM	<i>Computer-integrated manufacturing</i>
CNC	Controlo numérico por computador
HMI	<i>Human–Machine Interface</i>
IA	Indústria automóvel
OEE	Overall Equipment Efficiency
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PHH	Peças Hora Homem
PIB	Produto Interno Bruto
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
SWOT	<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats</i>

Lista de Unidades

Termo	Designação
g	Grama
m	Metro
MPa	Mega Pascal
m/s	Metro por segundo
m/s ²	Metro por segundo quadrado
N	Newton
Nm	Newton metro
s	Segundo
W	Watt
°	Grau

Lista de Símbolos

Termo	Designação
US\$	Dólares Americanos
€	Euros

GLOSSÁRIO DE TERMOS

Termo	Designação
Fabricos	Área de produção de espiral

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - NOVO EDIFÍCIO FICOCABLES [1]	4
FIGURA 2 - PRODUÇÃO ANUAL NA ÚLTIMA DÉCADA [3]	10
FIGURA 3 - RECEITA DOS PRINCIPAIS CONSTRUTORES MUNDIAIS EM 2019 [4]	10
FIGURA 4 - ESTIMATIVA DE EMPREGO GLOBAL NO SETOR DE "VEÍCULOS AUTOMOTORES, REBOQUES, SEMIRREBOQUES", 2009-17 [6, 7]	11
FIGURA 5 - PRODUÇÃO AUTOMÓVEL POR TIPO DE VEÍCULO EM PORTUGAL[11].....	12
FIGURA 6 - PRODUÇÃO DE VEÍCULOS AUTOMÓVEIS EM PORTUGAL[12]	13
FIGURA 7 - VOLUME DE NEGÓCIOS DAS FÁBRICAS DE VEÍCULOS AUTOMÓVEIS EM PORTUGAL EM 2018 [12].....	13
FIGURA 8 - PESO DA INDÚSTRIA DE COMPONENTES PARA AUTOMÓVEIS NA ECONOMIA NACIONAL [13]	14
FIGURA 9 - LOCALIZAÇÃO DAS EMPRESAS DE FABRICO DE COMPONENTES PARA AUTOMÓVEIS [13].....	14
FIGURA 10 - FATORES DE COMPETITIVIDADE DO FORNECEDORES DA IA [17]	16
FIGURA 11 - OPORTUNIDADES DE AUTOMAÇÃO E INFORMATIZAÇÃO NUM SISTEMA DE PRODUÇÃO [18]	17
FIGURA 12 - TRÊS TIPOS DE AUTOMAÇÃO EM FUNÇÃO DA QUANTIDADE DE PRODUÇÃO E VARIEDADE DE PRODUTOS [18].....	18
FIGURA 13 - RELAÇÃO ENTRE OS TRÊS ELEMENTOS NUM SISTEMA AUTOMATIZADO [18]	20
FIGURA 14 - CONTROLO DO SISTEMA EM MALHA FECHADA [18]	21
FIGURA 15 - CONTROLO DO SISTEMA EM MALHA ABERTA [18].....	21
FIGURA 16 - EQUIPAMENTO PARA CABOS BOWDEN[19]	27
FIGURA 17 - EQUIPAMENTO DE SOLDADURA POR ULTRASSOM E PUNÇONAR TERMINAIS[20]	28
FIGURA 18 - EQUIPAMENTO DE ORIENTAÇÃO DOS ARAMES DOBRADOS[21]	29
FIGURA 19 - POSTO DE INSPEÇÃO E EMBALAGEM AUTOMÁTICA DE SUSPENSION MAT[22]	30
FIGURA 20 - GRAFISMO DA MARCAÇÃO CE	33
FIGURA 21 - SEDE DA EMPRESA E CENTRO DE P&D EM BARCELONA (ESPANHA)	37
FIGURA 22 - PRESENÇA GLOBAL DO GRUPO FICOSA	37
FIGURA 23 - UNIDADES DE NEGÓCIO DO GRUPO FICOSA.....	38
FIGURA 24 - PORTFÓLIO DE PRODUTOS FICOCABLES	38
FIGURA 25 - COMPONENTES DE UM BANCO AUTOMÓVEL [23].....	39

FIGURA 26 - SISTEMA DE SUSPENSÃO DE UM BANCO AUTOMÓVEL.....	40
FIGURA 27 - FLUXO A DO PROCESSO DOS COXINS.....	41
FIGURA 28 - FLUXO B DO PROCESSO DOS COXINS.....	41
FIGURA 29 - MÁQUINA DE DOBRAGEM DE ARAME CNC.....	43
FIGURA 30 - VISTA 3D DO ARAME NA CONSOLA DO EQUIPAMENTO.....	43
FIGURA 31 - MÁQUINAS DE DOBRAGEM DE ARAME COM DUAS CABEÇAS CNC.....	44
FIGURA 32 - MÁQUINA DE DOBRAGEM DE ARAME ESPECIFICA (ARAMES EM U).....	45
FIGURA 33 - MÁQUINA DE ENDIREITAR E CORTAR ARAME.....	45
FIGURA 34 - MÁQUINA DE DOBRAGEM DE ARAME ESPECIFICA COM <i>TRANSFER</i>	46
FIGURA 35 - FORNO.....	46
FIGURA 36 - CONSOLA DO FORNO.....	47
FIGURA 37 - MÁQUINAS DE INJEÇÃO VERTICAL.....	47
FIGURA 38 - PLANTA DE CÉLULA DE INJEÇÃO E DIAGRAMA DE MOVIMENTAÇÃO.....	48
FIGURA 39 - ARAME DO PROJETO EM ESTUDO.....	56
FIGURA 40 - EQUIPAMENTO DE DOBRAGEM DH4012 VGP[24].....	61
FIGURA 41 - PARTE CENTRAL DO EQUIPAMENTO DH4012.....	61
FIGURA 42 - EQUIPAMENTO DE DOBRAGEM TWF-C0 A D.....	62
FIGURA 43 -EQUIPAMENTO DE DOBRAGEM BT 5.2.....	62
FIGURA 44 - DETALHES DO EQUIPAMENTO BT 5.2.....	63
FIGURA 45 - EQUIPAMENTO DE DOBRAGEM GEMINI 7.....	63
FIGURA 46- <i>TRANSFERS</i> SUPERIORES DA GEMINI 7.....	63
FIGURA 47 - EQUIPAMENTO DE DOBRAGEM 3D-CN-8-M.....	64
FIGURA 48 - CONCEITO 1.....	65
FIGURA 49 – ESBOÇO DO CONCEITO 1.....	65
FIGURA 50 - CONCEITO 2.....	66
FIGURA 51 - CONCEITO 2 DO SISTEMA DE ROTAÇÃO.....	66
FIGURA 52 - CONCEITO 3.....	67
FIGURA 53 - POSTOS DE DOBRAGEM RELATIVOS AO CONCEITO 3.....	67
FIGURA 54 - CONCEITO 4.....	68
FIGURA 55 - POSTO DE DOBRAGEM ADICIONADOS NO CONCEITO 4.....	68
FIGURA 56 - ANÁLISE SWOT RELATIVA AO CONCEITO 1.....	69
FIGURA 57 - ANÁLISE SWOT RELATIVA AO CONCEITO 2.....	70

FIGURA 58 - ANALISE SWOT RELATIVA AO CONCEITO 3	71
FIGURA 59 - ANALISE SWOT RELATIVA AO CONCEITO 4	71
FIGURA 60 - EQUIPAMENTO DE DOBRAGEM DE ARAME, NOVO CONCEITO	75
FIGURA 61 - LAYOUT DO EQUIPAMENTO DE DOBRAGEM	75
FIGURA 62 - POSTO CENTRAL	76
FIGURA 63 - POSTO ESQUERDO E DIREITO	76
FIGURA 64 - SAÍDA DE ARAME CONFORMADO DO EQUIPAMENTO	77
FIGURA 65 - DESBOBINADOR DO EQUIPAMENTO DE DOBRAGEM	77
FIGURA 66 - BRAÇO MÓVEL DO DESBOBINADOR DE ARAME	78
FIGURA 67 - VISTA EXPLODIDA DO SISTEMA DA PLATAFORMA GIRATÓRIA	79
FIGURA 68 - ENDIREITADOR DO EQUIPAMENTO DE DOBRAGEM	80
FIGURA 69 - ARRASTO DO EQUIPAMENTO DE DOBRAGEM	80
FIGURA 70 - DISPOSITIVO GANCHO+PRÉ-DOBRA+CORTE	81
FIGURA 71 - SISTEMA DE DESLOCAMENTO DO DISPOSITIVO GANCHO+PRÉ-DOBRA+CORTE	81
FIGURA 72 - SISTEMA DE CORTE DO DISPOSITIVO GANCHO+PRÉ-DOBRA+CORTE	82
FIGURA 73 - SEQUÊNCIA DE DOBRAGEM DO SISTEMA DE DOBRAGEM DO GANCHO E PRÉ-DOBRA	82
FIGURA 74 - VISTA EXPLODIDA DO SISTEMA DE DOBRAGEM DO GANCHO E PRÉ DOBRA	83
FIGURA 75 - GARRAS DE APOIO DO POSTO CENTRAL	83
FIGURA 76 - MANIPULADOR DO EQUIPAMENTO DE DOBRAGEM	84
FIGURA 77 - PINÇA DO MANIPULADOR	84
FIGURA 78 - DISPOSITIVO DE DOBRAGEM CNC DO EQUIPAMENTO DE DOBRAGEM	85
FIGURA 79 - VISTA EXPLODIDA DO DISPOSITIVO DE DOBRAGEM CNC	85
FIGURA 80 - DISPOSITIVO DO CASTELO DO MEIO DO EQUIPAMENTO DE DOBRAGEM	86
FIGURA 81 - EXTRAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE DOBRAGEM	86
FIGURA 82 - NOMENCLATURA POSTO CENTRAL	87
FIGURA 83 - NOMENCLATURA POSTO ESQUERDO	88
FIGURA 84 - NOMENCLATURA POSTO DIREITO	88
FIGURA 85 - GRAFCET DO POSTO CENTRAL	89
FIGURA 86 - GRAFCET DO POSTO CENTRAL (CONTINUAÇÃO)	89
FIGURA 87 - GRAFCET DO POSTO LATERAL	90
FIGURA 88 - GRAFCET DO POSTO LATERAL (CONTINUAÇÃO)	91
FIGURA 89 - GRAFCET DO POSTO LATERAL (CONTINUAÇÃO)	91

FIGURA 90 - GRAFCET DO POSTO LATERAL (CONTINUAÇÃO)	92
FIGURA 91 - GRAFCET DA EXTRAÇÃO DIREITA	92
FIGURA 92 - GRAFCET DA EXTRAÇÃO DIREITA (CONTINUAÇÃO)	93
FIGURA 93 - GRAFCET DA EXTRAÇÃO ESQUERDA	93
FIGURA 94 - GRAFCET DA EXTRAÇÃO ESQUERDA (CONTINUAÇÃO)	94
FIGURA 95 - GRAFCET DOS AUTO POSTOS.....	94
FIGURA 96 - GRAFCET DOS AUTO POSTOS (CONTINUAÇÃO).....	95
FIGURA 97 - TABELA DA CONSOLA DO POSTO CENTRAL	96
FIGURA 98 - TABELA DA CONSOLA DO POSTO ESQUERDO	96
FIGURA 99 - TABELA DA CONSOLA DO POSTO DIREITO	97
FIGURA 100 - DIAGRAMA DE CORPO LIVRE DO DESBOBINADOR	98
FIGURA 101 - DIAGRAMA DE CORPO LIVRE DO SISTEMA DE CORTE	100
FIGURA 102 - DIAGRAMA DE CORPO LIVRE DO SISTEMA DE DESLOCAMENTO	101
FIGURA 103 - DIAGRAMA DE CORPO LIVRE DO SISTEMA DE DOBRAGEM CNC	102
FIGURA 104 - DIAGRAMA DE CORPO LIVRE VEIO CNC	103
FIGURA 105 - DIAGRAMA DE CORPO LIVRE DO SISTEMA DE DESLOCAMENTO DO DISPOSITIVO DE DOBRAGEM CNC.....	104
FIGURA 106 - DIAGRAMA DE CORPO LIVRE DA PIÇA DO MANIPULADOR E FERRAMENTA DE DOBRAGEM	105
FIGURA 107 – DIAGRAMA DE CORPO LIVRE DO MANIPULADOR.....	106
FIGURA 108 - DIAGRAMA DE CORPO LIVRE DO DISPOSITIVO DO CASTELO DO MEIO	107
FIGURA 109 - LAYOUT DO EQUIPAMENTO.....	117

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - PRODUÇÃO DE VEÍCULOS EM 2019 [3]	9
TABELA 2 - TIPOS DE ATUADORES MAIS UTILIZADOS EM SISTEMAS AUTOMATIZADOS [25]	22
TABELA 3 - DISPOSITIVOS DE MEDIDA MAIS UTILIZADOS EM SISTEMAS AUTOMATIZADOS [25]	23
TABELA 4 - FLUXO DE PROCESSO DO COXIM	42
TABELA 5 - CARACTERIZAÇÃO DOS DESBOBINADORES DOS EQUIPAMENTOS DE DOBRAGEM DA FICOCABLES.....	48
TABELA 6 - CARACTERIZAÇÃO DOS ENDIREITADORES DOS EQUIPAMENTOS DA FICOCABLES.....	49
TABELA 7 - CARACTERIZAÇÃO DOS ARRASTOS DOS EQUIPAMENTOS DA FICOCABLES	50
TABELA 8 - CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE CORTE DOS EQUIPAMENTOS DA FICOCABLES	51
TABELA 9 - CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE DOBRAGEM DOS EQUIPAMENTOS DA FICOCABLES	52
TABELA 10 - CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE ROTAÇÃO DO ARAME/FERRAMENTA DOS EQUIPAMENTOS DA FICOCABLES	54
TABELA 11 - CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE TRANSPORTE DO ARAME DOS EQUIPAMENTOS DA FICOCABLES.....	55
TABELA 12 - CARACTERÍSTICAS DOS ARAMES DOS PROJETOS EM PRODUÇÃO (NO ANEXO 7.1 AS RESTANTES REFERÊNCIAS)	57
TABELA 13 - QUADRO RESUMO DOS EQUIPAMENTOS DE DOBRAGEM	58
TABELA 14 - CRITÉRIOS DE IMPORTÂNCIA RELATIVA.....	72
TABELA 15 - COMPARAÇÃO ENTRE OS DIFERENTES CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO	73
TABELA 16 - ESCALA DE PONTUAÇÃO DOS DIFERENTES CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO	73
TABELA 17 - MATRIZ FINAL DE SELEÇÃO	74
TABELA 18 - CÁLCULOS NO DIMENSIONAMENTO DO DESBOBINADOR	99
TABELA 19 - CÁLCULOS NO DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE CORTE.....	100
TABELA 20 - CÁLCULOS NO DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DESLOCAMENTO DO DISPOSITIVO DE GANCHO + PRÉ-DOBRA + CORTE	101
TABELA 21 - CÁLCULOS DO DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DOBRAGEM CNC	103
TABELA 22 - CÁLCULOS NO DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DESLOCAMENTO DO SISTEMA DE DOBRAGEM CNC.....	104
TABELA 23 - CÁLCULOS NO DIMENSIONAMENTO DA PINÇA DO MANIPULADOR	105

TABELA 24 - CÁLCULOS NO DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DESLOCAMENTO E ROTAÇÃO DO MANIPULADOR	106
TABELA 25 - CÁLCULOS NO DIMENSIONAMENTO DO DISPOSITIVO DO CASTELO DO MEIO	107
TABELA 26 - COMPONENTES SELECIONADOS PARA O DESBOBINADOR	108
TABELA 27 - COMPONENTES SELECIONADOS PARA O DISPOSITIVO GANCHO + PRÉ-DOBRA + CORTE ...	109
TABELA 28 - COMPONENTES SELECIONADOS PARA O SISTEMA DE DOBRAGEM CNC.....	110
TABELA 29 - COMPONENTES SELECIONADOS PARA O MANIPULADOR	111
TABELA 30 - COMPONENTES SELECIONADOS PARA O DISPOSITIVO DO CASTELO DO MEIO	112
TABELA 31 – CUSTO TOTAL DO EQUIPAMENTO.....	113
TABELA 32 – COMPARAÇÃO DO CUSTO PEÇA DO NOVO EQUIPAMENTO COM A TEC.....	114
TABELA 33 - ALTERAÇÕES E MELHORIAS IMPLEMENTADAS NO ARRANQUE DO NOVO EQUIPAMENTO	115
TABELA 34 - CARACTERÍSTICAS DO EQUIPAMENTO	117
TABELA 35 - PROCEDIMENTO DE UTILIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO	118
TABELA 36 - DESCRIÇÃO DE POSSÍVEL MÁ UTILIZAÇÃO PREVISTA PARA O EQUIPAMENTO	121
TABELA 37 - PLANO DE MANUTENÇÃO 1º NÍVEL	122
TABELA 38 – PLANO DE MANUTENÇÃO 2º NÍVEL	123

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	3
1.1	Enquadramento	3
1.2	Objetivos	3
1.3	Metodologia.....	4
1.4	Empresa de acolhimento	4
1.5	Estrutura da dissertação	5
2	ENQUADRAMENTO TEÓRICO	9
2.1	Indústria automóvel.....	9
2.1.1	Importância da indústria automóvel na economia mundial	9
2.1.2	Importância da indústria automóvel na economia nacional.....	12
2.1.3	A indústria de componentes para automóvel em Portugal	14
2.1.4	Pilares fundamentais da indústria automóvel.....	15
2.2	Automatização de processos industriais.....	17
2.2.1	Tipos de automatização	17
2.2.2	Elementos básicos de um sistema automatizado	20
2.2.3	Sistemas de acionamento	21
2.2.4	Sistemas de controlo	22
2.2.5	Flexibilidade e agilidade nos processos produtivos	25
2.3	Automatização de processos no fabrico na FicoCables	27
2.3.1	Automatização de processos no fabrico de cabos de comando	27
2.3.1.1	Novo conceito de fabricação de cabos Bowden flexíveis	27
2.3.1.2	Novo conceito de Integração dos processos de produção e montagem.....	28
2.3.2	Automatização de processos no fabrico de sistemas de conforto.....	29
2.3.2.1	Novo conceito de orientação de arames dobrados.....	29
2.3.2.2	Solução robotizada para manuseio de peças complexas em inspeção e embalagem...30	
2.4	Diretiva Máquinas	31

3	CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA, DO PRODUTO, DO PROCESSO E DO PROBLEMA	37
3.1	Caracterização da empresa	37
3.2	Caracterização do produto.....	39
3.3	Caracterização do processo	41
3.3.1	Fluxo na produção de coxins	41
3.3.2	Equipamentos.....	43
3.3.2.1	Equipamento de dobragem de arame	43
3.3.2.2	Equipamento de tratamento térmico.....	46
3.3.2.3	Equipamento de injeção de plástico.....	47
3.3.3	Dispositivos dos equipamentos de dobragem	48
3.3.3.1	Desdobinadores	48
3.3.3.2	Endireitadores.....	49
3.3.3.3	Arrastos.....	50
3.3.3.4	Sistemas de corte.....	51
3.3.3.5	Sistemas de dobragem.....	52
3.3.3.6	Sistemas de rotação do arame/ferramenta.....	54
3.3.3.7	Sistemas de transporte do arame.....	55
3.4	Caracterização do problema	56
3.4.1	Caracterização do tipo de arames produzidos	56
3.4.2	Caracterização dos equipamentos de dobragem.....	57
4	DESENVOLVIMENTO	61
4.1	Conceitos de dobragem no mercado	61
4.2	Tempestade de ideias	65
4.2.1	Conceito 1.....	65
4.2.2	Conceito 2.....	66
4.2.3	Conceito 3.....	67
4.2.4	Conceito 4.....	68
4.3	Análise SWOT e seleção do conceito	69
4.3.1	Análise crítica das possíveis soluções (SWOT).....	69

4.3.2	Matriz de seleção da melhor opção	72
4.4	Descrição detalhada do conceito	74
4.5	Descrição dos subconjuntos.....	77
4.6	Programação	87
4.6.1	Nomenclatura usada dos eixos e cilindros	87
4.6.2	Diagrama de ações (<i>Grafsets</i>)	88
4.6.3	Consola	96
4.7	Dimensionamento.....	98
4.8	Seleção de componentes normalizados.....	108
4.9	Orçamentação.....	113
4.10	Estudo de retorno do investimento	114
4.11	Alterações efetuadas na implementação	115
4.12	Manual do equipamento.....	117
4.12.1	Características e dados do equipamento	117
4.12.2	Descrição da utilização prevista da máquina.....	118
4.12.3	Descrição da má utilização prevista do equipamento.....	121
4.12.4	Planos de manutenção	122
5	CONCLUSÕES.....	127
5.1	Objetivos alcançados.....	127
5.2	Contributo para a empresa	127
5.3	Contributo pessoal	128
5.4	Trabalhos futuros	128
6	BIBLIOGRAFIA	131
7	ANEXOS.....	137
7.1	Recolha de dados	137
7.2	Fichas técnicas.....	139

7.3 Manual do equipamento..... 140

INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

1.2 Objetivos

1.3 Metodologia

1.4 Empresa de acolhimento

1.5 Estrutura da dissertação

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

A indústria automóvel é um dos motores da economia mundial, estando assim em constante inovação. Caracteriza-se por elevados níveis de produtividade e qualidade, o que implica que todas as empresas do setor tenham fortes investimentos em novas tecnologias com vista a aumentar a produtividade e a qualidade.

O automóvel é por excelência um meio de transporte, mas nos tempos mais recentes, tem-se vindo a juntar a este produto características que se tornaram indispensáveis, tais como segurança, *design*, conectividade, respeito pelo ambiente e conforto, características essas que atualmente são muito apreciadas pelos consumidores.

O conforto do automóvel é assegurado essencialmente pelos bancos. Estes são constituídos por uma estrutura soldada, molas (*Suspension mat, Coxim*), espumas e tecidos. Ultimamente, possuem mais constituintes, nomeadamente reguladores lombares, sistemas de aquecimento e sistemas de massagem.

Os Coxins são as “molas” que se posicionam na parte inferior dos bancos, sendo normalmente constituídos por arames sobreinjectados.

Este trabalho centra-se no processo de dobragem de arame para estes produtos, processo que tem que ser flexível e com elevada produtividade para ser suficientemente competitivo no mercado.

1.2 Objetivos

O presente trabalho surgiu da necessidade de tornar mais competitiva a empresa na dobragem de arame.

A empresa possui 23 equipamentos de dobragem de arame que possuem as suas vantagens e desvantagens. Com base neste conhecimento que possui, sentiu a necessidade de desenvolver um novo equipamento.

O equipamento de dobragem de arame tem de possuir as seguintes características:

- Alta produtividade (mais de 800 peças por hora);
- Capaz de produzir a maioria das referências de arame;
- *Setup* de fácil execução (tempo de *setup* entre 15 a 60 min);
- Baixo custo do equipamento (custo do equipamento menor que 160 000 €);

- Baixo custo de ferramentas (custo menor que 15 000 €);
- Corte integrado do arame.

1.3 Metodologia

A estratégia adotada para cumprir os objetivos atrás enumerados foi a seguinte:

- Definir planeamento do equipamento;
- Estudar os equipamentos e sistemas existentes na empresa;
- Estudar equipamentos e sistemas no mercado;
- Elaborar um esboço para apresentar à empresa;
- Desenvolver os sistemas constituintes do equipamento;
- Consultar fornecedores de material normalizado (principalmente servomotores);
- Finalizar sistemas com ideias provenientes dos fornecedores;
- Finalizar projeto do equipamento;
- Consultar fornecedores;
- Adjudicar peças mecânicas e normalizadas;
- Acompanhar montagem dos sistemas (retificações e melhorias);
- Acompanhar montagem do equipamento;
- Acompanhar o desenvolvimento do programa da máquina;
- Realizar o manual de instruções.

1.4 Empresa de acolhimento

A Ficocables é uma empresa do grupo Ficosa Internacional que se dedica à investigação, desenvolvimento, produção e comercialização de sistemas e peças para a indústria automóvel. Está situada em Vermoin-Maia (ver Figura 1 - Novo Edifício Ficocables [1]Figura 1). A descrição mais aprofundada será apresentada no Capítulo 3.



Figura 1 - Novo Edifício Ficocables [1]

1.5 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está dividida em quatro capítulos: a Introdução, que pretende contextualizar o leitor no tema da dissertação, suas motivações e objetivos, a Revisão bibliográfica, que explora a importância do sector e os temas que vão sustentar o trabalho desenvolvido, a Caracterização da Empresa, que enquadra o leitor através de uma descrição mais pormenorizada do contexto da fábrica, o Desenvolvimento, que descreve as várias etapas para a resolução do problema e, por fim, a Conclusão, que analisa se os objetivos propostos no início do trabalho foram atingidos e como foram alcançados.

ENQUADRAMENTO TEÓRICO

2.1 Indústria automóvel

2.2 Automatização de processos industriais

2.3 Automatização de processos no fabrico na FicoCables

2 ENQUADRAMENTO TEÓRICO

2.1 Indústria automóvel

2.1.1 Importância da indústria automóvel na economia mundial

A IA (indústria automóvel) é um dos setores mais importantes a nível mundial. Na última década esteve em constante crescimento, tendo fechado 2019 com 91,8 milhões de veículos produzidos [2]. Na tabela 1 podemos ver a distribuição desta produção, tendo a Ásia e Oceânia registado 54% da produção mundial, a Europa produziu 23 %, a América 22%, e África 1%. Estes dados refletem o desenvolvimento industrial em termos mundiais [3].

Tabela 1 - Produção de veículos em 2019 [3]

Produção de veículos		
Continentes	2019	Porcentagem
Europa	21 312 082	23%
América	20 102 759	22%
Ásia e Oceânia	49 266 873	54%
África	1 105 147	1%
Total	91 786 861	100%

Esta última década apresenta valores de produção anual impressionantes, e em constante crescimento, tendo nos últimos anos estabilizado e evidenciado uma tendência de queda nos últimos dois anos, como podemos ver na Figura 2. Estes dados são particularmente importantes para perspetivarmos os próximos anos, os quais não se avizinham fáceis. Além desta tendência, em 2020 o mundo ficou a braços com uma pandemia, pelo que se perspetiva uma crise sem precedentes, acrescida agora com o impacto da guerra na Ucrânia e a inflação galopante em todos os produtos, destacando-se dentro destes os combustíveis e a energia. Mas esta indústria tem revelado capacidade de se reinventar. Com a primeira metade do ano com números preocupantes, em setembro de 2020 até superou os números de 2019 em termos de vendas.

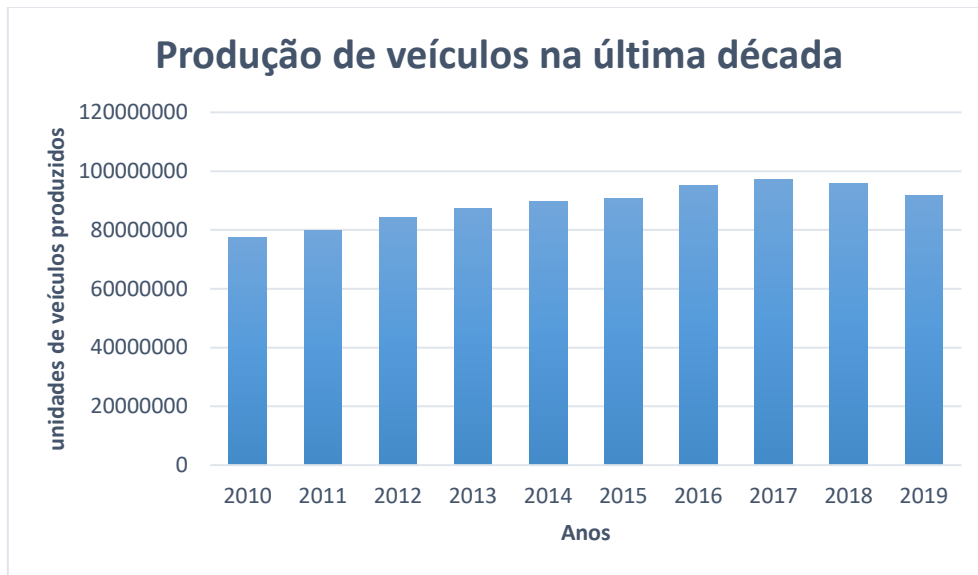


Figura 2 - Produção anual na última década [3]

As vendas de 2019 geraram receitas dos principais construtores na ordem dos 1803.6 bilhões de dólares americanos, sendo o gigante nipônico Toyota, o líder mundial registando 280.5 bilhões de US\$ (Dólares Americanos) em receitas [4], como podemos constatar na Figura 3 nas receitas em 2019 dos principais construtores mundiais. Este valor ganha particular relevância quando comparado com o PIB (Produto Interno Bruto) dos países, Portugal em 2019 registou 237.7 bilhões de US\$ de PIB [5], o qual é inferior às receitas da Toyota nesse mesmo ano.

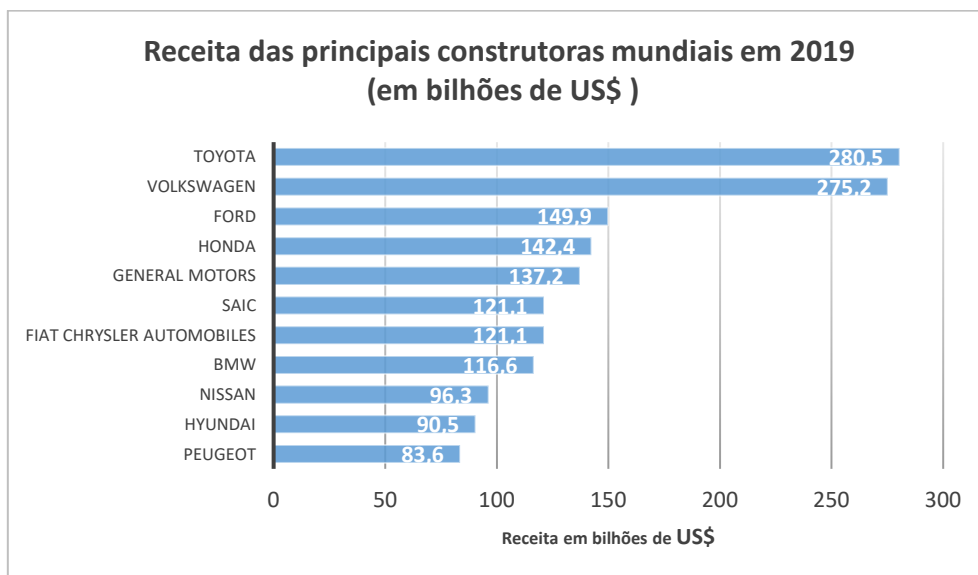


Figura 3 - Receita dos principais construtores mundiais em 2019 [4]

A dimensão das receitas da IA também se reflete na empregabilidade, sendo um dos mais importantes a nível global. Segundo o *United Nations Industrial Development Organization*, o

emprego no setor aumentou 35% a nível global desde a crise financeira de 2009. Na Figura 4 podemos verificar que em 2017 o número de trabalhadores na IA estima-se que tenha atingido os 14 milhões [6,7] Mas este crescimento não foi igual em todo o mundo. A China captou mais de 2 milhões de trabalhadores, representado um aumento de 68%. Em sentido inverso, na Austrália, Bélgica, Brasil, França, Itália, Federação Russa e África do Sul, diminuiu [6, 7].

Mas, além de empregos diretos, a IA também cria um elevado número de empregos indiretos, estando estes relacionados com a própria cadeia de abastecimento. Em 2015, um estudo nos Estados Unidos revela que por cada emprego criado diretamente na IA, são criados quatro empregos em outras indústrias [8]. Na União Europeia os números são semelhantes. Segundo a Comissão Europeia, a IA emprega direta e indiretamente 13.8 milhões de pessoas, sendo destas 2,6 milhões trabalhadores diretos [9].

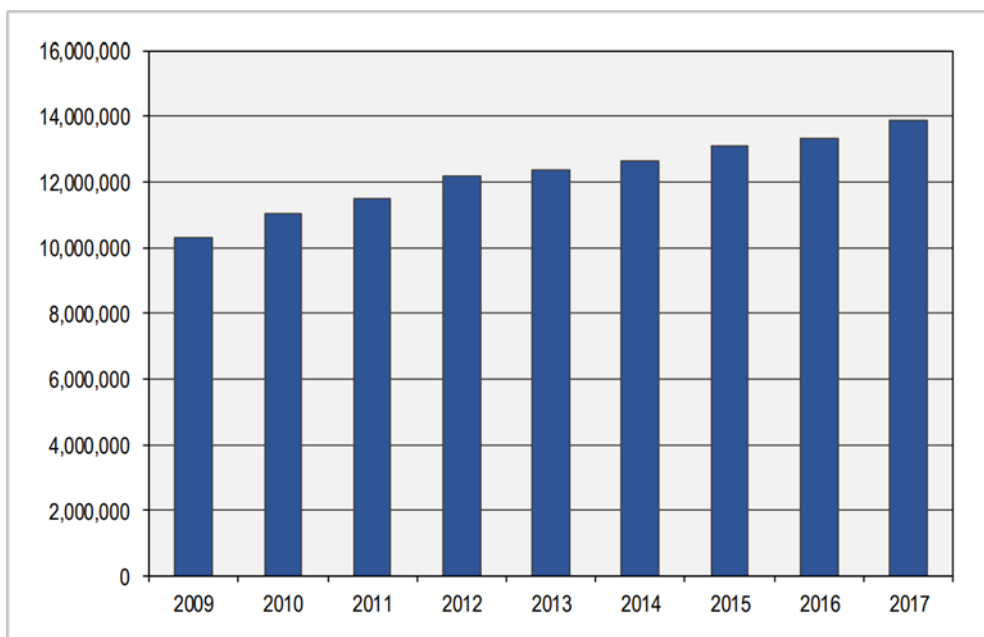


Figura 4 - Estimativa de emprego global no setor de "Veículos automotores, reboques, semirreboques", 2009-17 [6,7]

2.1.2 Importância da indústria automóvel na economia nacional

A IA portuguesa integra cinco fábricas de montagem de veículos e mais de 240 empresas de produção de componentes [10]. A produção portuguesa de veículos é sustentada pela Autoeuropa, Peugeot Citroen, Mitsubishi Fuso Truck Europe, Toyota Caetano e CaetanoBus. Em 2019, em Portugal, produziram-se 345 704 unidades de veículos. A produção de 2019 regista assim um crescimento de 17% face a 2018, verificando-se assim a tendência de crescimento que pode ser vista na Figura 5. A produção nacional é essencialmente para exportação, 97% dos veículos tiveram como destino os mercados internacionais, com 23.3% para a Alemanha, seguido de 15.5 % para França, 13.3% para Itália e 11.1% para Espanha [11].

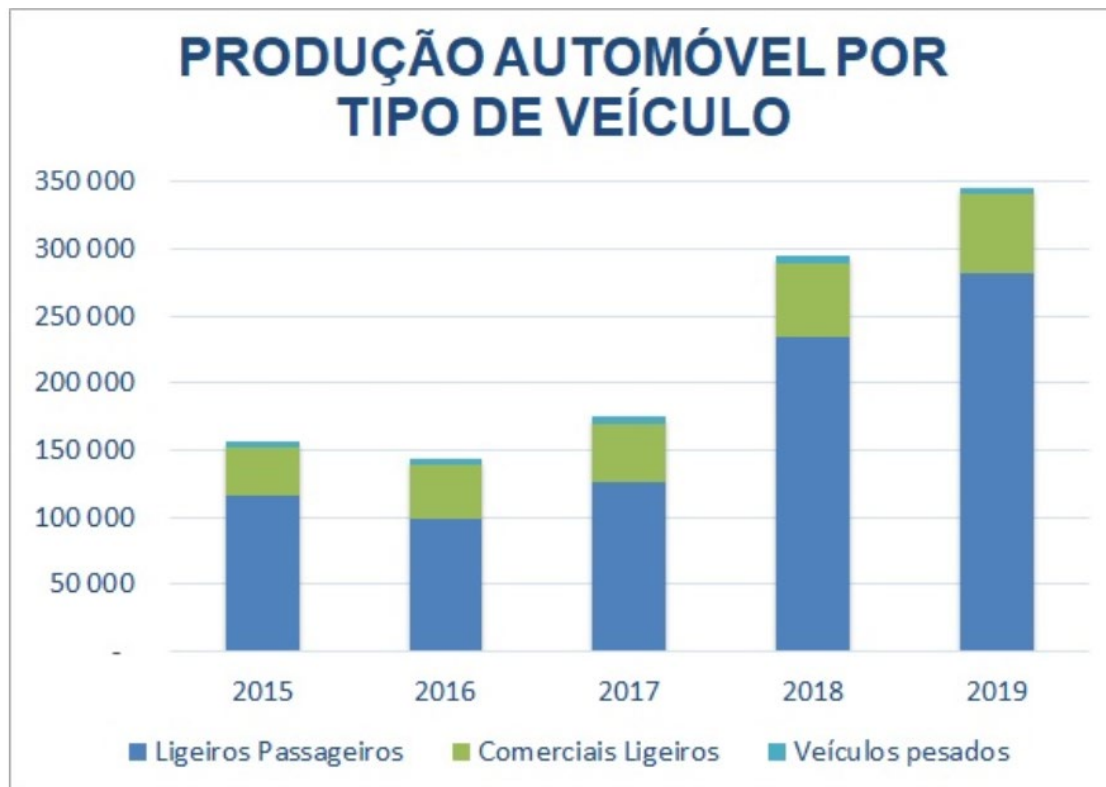


Figura 5 - Produção automóvel por tipo de veículo em Portugal [11]

A Autoeuropa é a maior produtora nacional de veículos, registando em 2018 a produção de 220 922 unidades de veículos, correspondendo a 75.1% da produção nacional, como podemos ver na Figura 6.

Produção de Veículos Automóveis em Portugal
(Total geral por fábricas)

Fábricas	2017		2018		Evolução 18/17	
	Unidades	% Total	Unidades	% Total	Unidades	% Var.
Volkswagen Autoeuropa	110 256	62,8	220 922	75,1	110 666	100,4
Peugeot Citroën	53 645	30,6	63 073	21,4	9 428	17,6
Mitsubishi Fuso Truck Europe	9 730	5,5	8 233	2,8	-1 497	-15,4
Toyota Caetano Portugal SA	1 913	1,1	2 114	0,7	201	10,5
CaetanoBus Fabricação de Carroçarias SA		0,0	24	0,0	24	—
Total Geral	175 544	100,0	294 366	100,0	118 822	67,7

Fonte: ACAP.

Figura 6 - Produção de veículos automóveis em Portugal[12]

Com o volume de produção de 2018, o volume de negócios atingiu o valor de 4149.9 milhões de euros, representando 2% do PIB de Portugal, empregando 8232 pessoas. Na Figura 7 podemos ver a distribuição do volume de negócios das empresas sediadas em Portugal, em que a Autoeuropa em 2018 teve um volume de negócios de 3247.4 milhões de euros [12].

Fábricas de Veículos Automóveis em Portugal, em 2018

Fábricas	Volume de Negócios (milhões de euros)	Produção	Montagem	Nº Trabalhadores	Área (m ²)
Volkswagen Autoeuropa	3.247,4	220 922		5804	1 100 000
Peugeot Citroën	552,0	63 073		818	87 300
Mitsubishi FusoTruck Europe	220,0	8 233	1 867	470	40 558
Toyota Caetano	56,5	2 114		179	39 000
CaetanoBus	74,0	24	433	961	26 000

Fonte: ACAP.

Figura 7 - Volume de negócios das fábricas de veículos automóveis em Portugal em 2018 [12]

2.1.3 A indústria de componentes para automóvel em Portugal

A indústria de componentes para automóvel tem uma forte presença no nosso país, tendo vindo a ganhar mais importância na última década. Na Figura 8 apresentam-se os principais indicadores desta indústria para o ano de 2019. De realçar que tinha 240 empresas que empregavam 59 000 trabalhadores. À imagem da produção de automóveis, o principal destino da sua produção é o estrangeiro, representando 16% das exportações de bens transacionáveis. O volume negócios é bastante significativo em 2019, representando 6% do PIB [13].

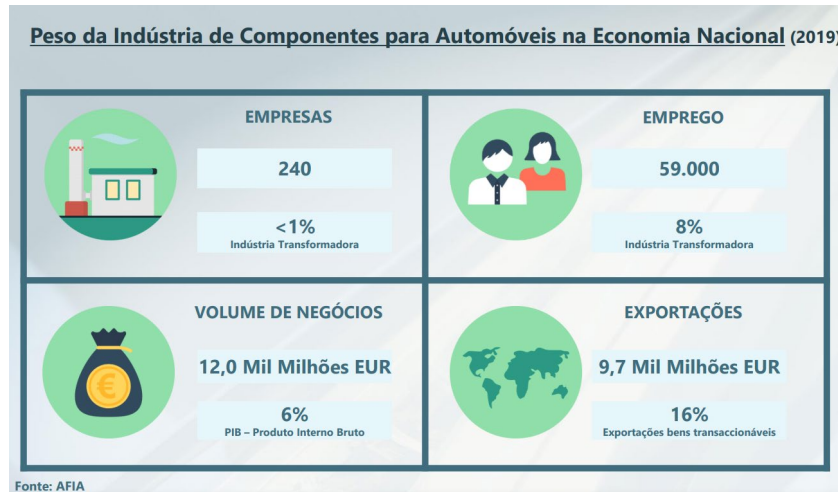


Figura 8 - Peso da indústria de componentes para automóveis na economia nacional [13]

As empresas estão distribuídas por todo o país, mas nos distritos do Porto e Aveiro é onde tem mais empresas sediadas, como podemos ver na Figura 9, destacando-se Aveiro com 60 empresas.

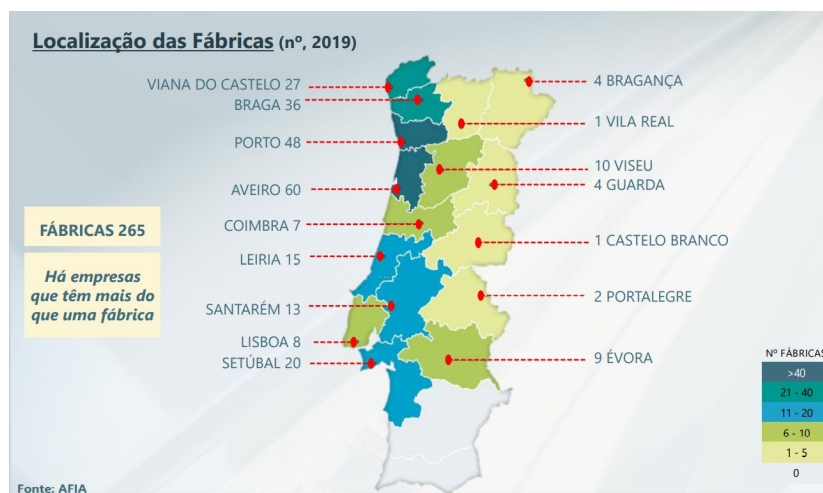


Figura 9 - Localização das empresas de fabrico de componentes para automóveis [13]

2.1.4 Pilares fundamentais da indústria automóvel

Os pilares fundamentais da IA são a qualidade e a competitividade, os quais são vitais para o crescimento desta indústria, bem como para importância que tem a nível mundial.

Qualidade

A qualidade é importante em qualquer indústria para garantir que o produto que sai da fábrica obedece sempre aos padrões de qualidade requeridos pelo mercado. Mas, na IA é ainda mais vital para os fabricantes de componentes para automóveis, pois mantém os custos baixos do produto ao longo da vida sua vida útil, evitando *recalls* que são muito caros [14].

A qualidade de um produto está presente em várias dimensões, umas objetivas e outras subjetivas. Garvin [15] definiu oito dimensões básicas para um produto:

- Desempenho (características principais do produto);
- Características (atributos secundários);
- Confiabilidade (frequência de falha);
- Conformidade (corresponder às especificações);
- Durabilidade (vida útil do produto);
- Facilidade de manutenção;
- Estética (acabamentos);
- Perceção de qualidade (reputação).

Competitividade

A competitividade no setor automóvel é muito elevada. Isto deve-se à existência de muitas marcas com um número cada vez maior de modelos, a requisitos cada vez mais exigentes (por exemplo, emissões) e à dimensão global da rede de fornecedores [16]. A competitividade de uma empresa não é só medida pelo preço mais baixo que apresenta para um produto, mas sim por variados fatores. Os fatores que tornam as empresas competitivas vão desde a qualidade do produto, prazo de entrega, flexibilidade de produção, inovação no produto e na produção, impostos, e localização, entre outros [17-19].

Os fornecedores da IA distinguem-se pelo meio envolvente e pela capacidade instalada na empresa. Na Figura 10 temos os fatores mais importantes que diferenciam as empresas. No meio envolvente temos os apoios governamentais, as universidades e centros de pesquisa que acrescentam conhecimento e capacidade aos seus fornecedores. A empresa necessita ter qualidade, inovação nos seus produtos, processos tecnologicamente avançados, formação atualizada, capital humano qualificado e competência [20].

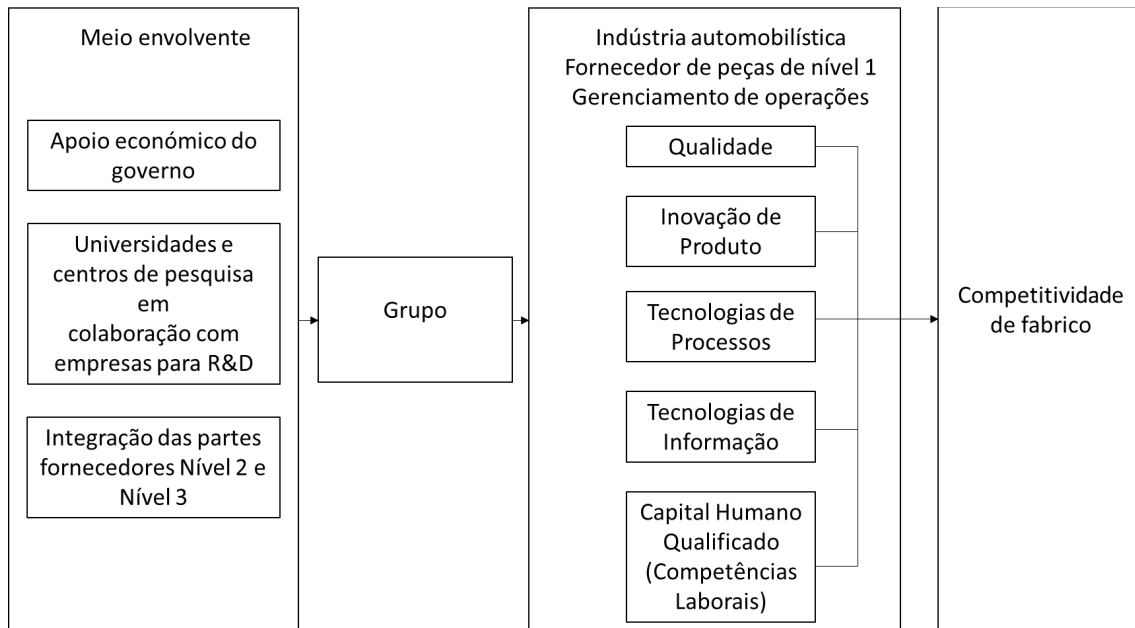


Figura 10 - Fatores de competitividade dos fornecedores da IA [20]

Um dos fatores para as empresas que as torna mais competitivas é ter um processo tecnologicamente avançado, sistemas automatizados e/ou robotizados [21,22]. Isso permite às empresas tempos de resposta mais rápidos, pois permite maior flexibilidade nos processos e tempos de ciclo mais baixos [23,24].

2.2 Automação de processos industriais

2.2.1 Tipos de automação

As empresas podem possuir diversos sistemas automatizados, podendo ser divididos em duas categorias:

- Sistemas de produção automatizados;
- Sistemas de apoio à produção.

Estas duas categorias atualmente estão em constante comunicação, pois nos sistemas modernos de produção os sistemas de produção estão em constante comunicação com os sistemas de apoio, capacitando as empresas para tomadas de decisão mais atempadas e eficazes. Na Figura 11 estão as oportunidades de informatização e automação no sistema de produção [25].

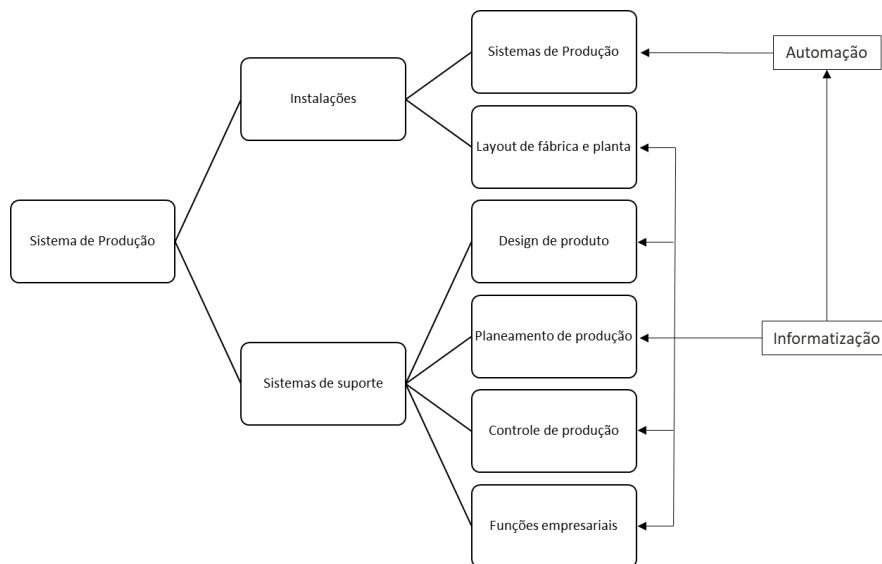


Figura 11 - Oportunidades de automação e informatização num sistema de produção [25]

Sistemas de produção automatizados

Os sistemas de produção automatizados trabalham diretamente com o produto. Realizam operações como processamento, montagem, inspeção e manuseamento de materiais. Em muitos casos realizam mais do que uma destas operações no mesmo sistema. Os sistemas altamente automatizados, virtualmente não têm participação humana [26]. Seguidamente são enumerados alguns exemplos de sistemas de produção automatizada [25]:

- Máquinas de produção (Máquinas de dobragem de arame, Máquinas de injeção) [27,28];
- Máquinas com controlo numérico por computador (CNC) [29];
- Robôs integrados em operações de montagem (linha de montagem de um carro) [30,31];
- Sistemas de inspeção automática [30];
- Etc.

Os sistemas de produção automatizados podem ser classificados em três tipos: automação fixa, automação programável e automação flexível. Geralmente são sistemas totalmente automatizados, mas na automação programável é possível termos sistemas semiautomáticos. Dependendo da quantidade de produção e da variedade de produtos, é aplicada um dos três tipos de automatização [31-36]. Na Figura 12 é apresentado um diagrama onde se enquadra cada um dos três tipos [25,28].

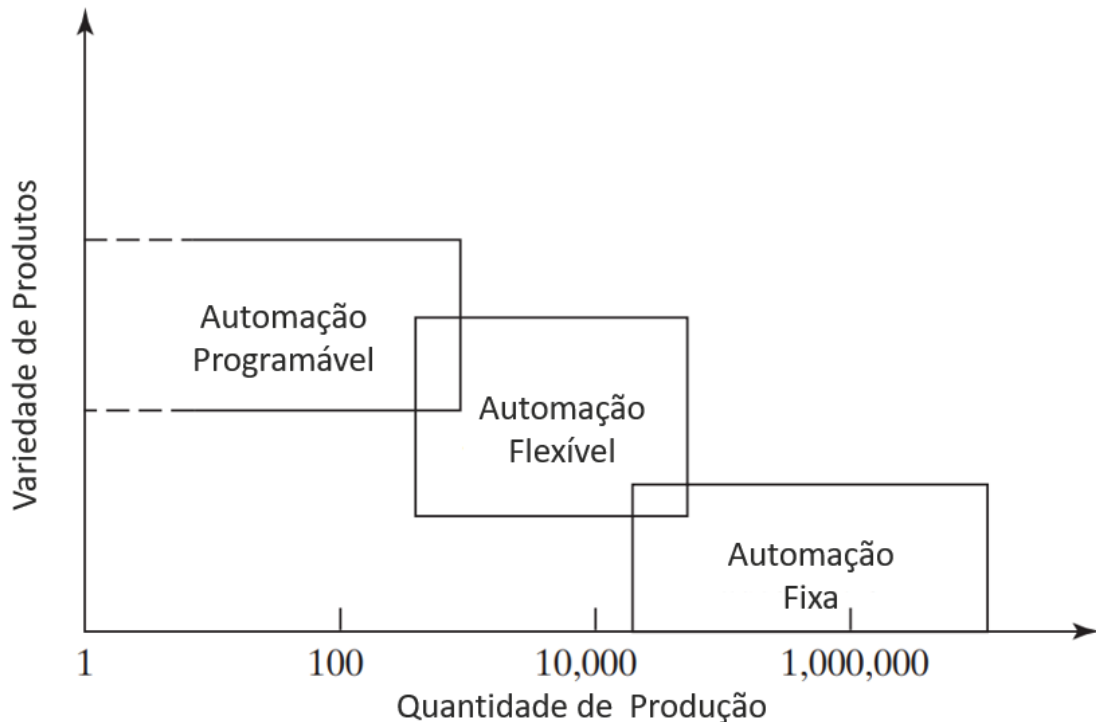


Figura 12 - Três tipos de automação em função da quantidade de produção e variedade de produtos [18,28]

Automação fixa

A sequência de processamento ou montagem é fixa pela configuração do equipamento. As sequências de operações são essencialmente simples, envolvem movimentos lineares ou rotativos, ou então os dois em simultâneo, com comunicação simples entre eles. As características típicas da automação fixa são [25]:

- Alto investimento no projeto do equipamento;
- Altas taxas de produção;
- Inflexibilidade dos equipamentos em produzir uma grande variedade de produtos.

O alto investimento inicial que um equipamento com automação fixa possui é justificado para grandes quantidades de produção, pois o custo é diluído por um número elevado de unidades, minimizando o custo unitário em relação a métodos alternativos [25].

Automação programável

O equipamento de produção é projetado com capacidade para modificar a sequência de operações de modo a poder suportar diferentes configurações do produto. A sequência de operações é controlada por um programa com o código da sequência de operações. Permite que novos programas sejam criados, para que diferentes configurações de produtos sejam produzidas no equipamento. As características típicas da automação programável são [25]:

- Alto investimento em equipamentos de uso geral;
- Taxas de produção menores que a automação fixa;
- Flexibilidade para absorver variação dos produtos;
- É mais adequada para a produção por lote.

Os produtos são normalmente produzidos por lotes. Cada lote produz um produto com diferentes características. Para cada mudança de produto no equipamento é necessária uma mudança física na máquina (ferramentas) e no programa, o que tem um acréscimo de tempo na produção do lote [25].

Automação flexível

A automação flexível é a extensão da programável. Torna o sistema capaz de produzir peças ou produtos com elevada variedade, sem perder tempo na mudança de projeto. Não há perda de tempo na programação para novos projetos, conseqüentemente não obriga que a produção seja feita por lotes. As características típicas da automação flexível são [25,37,38]:

- Alto investimento no projeto do equipamento;
- Produção contínua de diferentes produtos;
- Flexibilidade para absorver variação dos produtos;
- Taxas de produção médias.

Sistemas de apoio à produção

A automação dos sistemas de apoio à produção visa reduzir o esforço administrativo no projeto de um produto, no planeamento e controlo de produção e nas funções empresariais. *Computer-integrated manufacturing* (CIM) é o termo indicado para a utilização de sistemas computacionais para projeto do produto, controlo da produção, planeamento da produção e outros. Quando o CIM integra todas as funções num sistema que funciona em toda a empresa, as empresas obtêm melhores resultados [25].

2.2.2 Elementos básicos de um sistema automatizado

Um sistema automatizado consiste em três elementos básicos:

- **Potência** para realizar o processo e operar o sistema;
- **Programa de instruções** para direcionar o processo;
- **Sistema de controle** para acionar as instruções.

Todos os sistemas automatizados incluem esses três elementos, os quais estão presentes nos três tipos de automatização, fixa, programável e flexível. Na Figura 13 está ilustrada a relação entre eles [25].

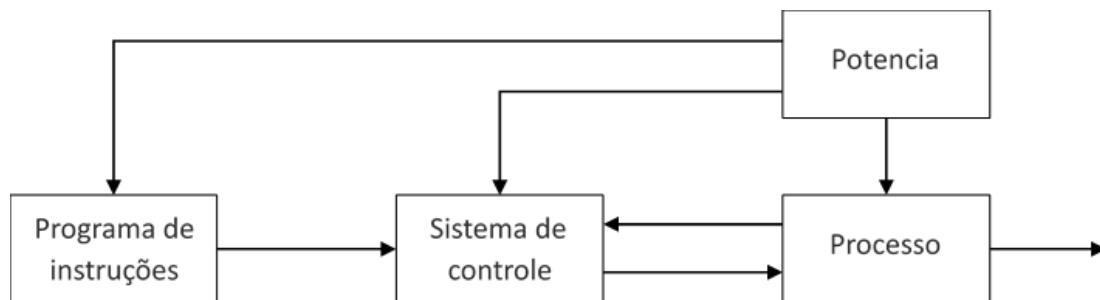


Figura 13 - Relação entre os três elementos num sistema automatizado [25]

A Potência é a energia necessária para conduzir o processo, bem como o seu controle. A principal fonte de energia em sistemas automatizados é a energia elétrica. No entanto, não é exclusivo o seu uso, pois em muitos casos usam-se outras fontes de energia para o processo, enquanto a energia elétrica é usada essencialmente para os controles que automatizam a operação. Por exemplo, na fundição ou tratamento térmico, o forno pode ser aquecido por combustíveis fósseis (Gás), mas o sistema de controle para regular a temperatura e o ciclo de tempo é elétrico [25].

As ações executadas por um processo automatizado são definidas por um programa de instruções. Quer o fabrico envolva uma produção baixa, média ou alta, cada peça ou produto requer uma ou mais etapas de processamento que são exclusivas para cada peça. Essas etapas de processamento são executadas durante um ciclo de trabalho. Uma nova peça é concluída no final de cada ciclo de trabalho. As etapas de processamento particulares para o ciclo de trabalho são definidas num programa de ciclo de trabalho, denominado programa da peça em controle numérico [25].

O sistema de controle faz com que o processo cumpra a função definida, que é realizar a operação de fabrico. Os controles de um sistema automatizado podem ser de malha fechada ou malha aberta. Um sistema de controle de *loop* fechado, também conhecido como sistema de controle de *feedback*, é aquele em que a variável de saída é comparada com um parâmetro de entrada, e qualquer diferença entre os dois é usada para conduzir a saída de acordo com a entrada, conforme mostrado na Figura 14 [25].

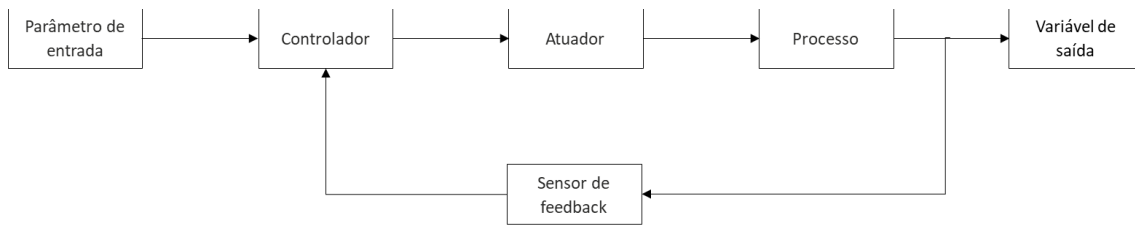


Figura 14 - Controle do sistema em malha fechada [25]

Ao contrário do sistema anteriormente descrito, o sistema de controle de malha aberta opera sem a malha de *feedback*, como na Figura 15. Neste caso, os controles operam sem medir a variável de saída, portanto, nenhuma comparação é feita entre o valor real da saída e o parâmetro de entrada desejado [25]. No entanto, com um sistema de malha aberta, há sempre o risco de o atuador não ter o efeito pretendido no processo, e essa é a desvantagem principal. De qualquer forma, apresenta como principal vantagem ser geralmente mais simples e menos caro do que um sistema de malha fechada [25].

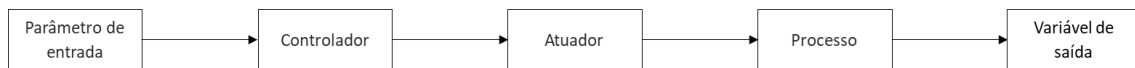


Figura 15 - Controle do sistema em malha aberta [25]

Além de executar programas de ciclo de trabalho, um sistema automatizado pode ser capaz de executar funções avançadas que não são específicas do processo produtivo. No geral estas funções são:

- Monitorização da segurança;
- Diagnósticos de avarias;
- Detecção e recuperação de erros.

2.2.3 Sistemas de acionamento

Nos sistemas automatizados, os sistemas de acionamento são aqueles que convertem em movimento os sinais de comando. Um motor elétrico converte um sinal físico, como a eletricidade, num outro sinal físico, como é o caso da velocidade de rotação de um motor elétrico. Assim, existem três grandes categorias de atuadores [27,39]:

- Atuadores Elétricos – são os mais usados, usam a corrente elétrica para realizar trabalho através do efeito eletromagnético;
- Atuadores Hidráulicos – usam um fluido hidráulico para realizar trabalho. São usados em tarefas que requerem grandes forças;
- Atuadores Pneumáticos – usam o ar comprimido para realizarem trabalho. Não utilizados para tarefas de grandes forças, mas sim de maior velocidade.

Os atuadores mais usados na indústria podem efetuar movimentos lineares e rotativos. Na Tabela 2 são apresentados os mais utilizados.

Tabela 2 - Tipos de atuadores mais utilizados em sistemas automatizados [25]

Tipo de atuador	Atuador	Descrição
Elétrico	Motor de corrente contínua	Motor eletromagnético de rotação, de corrente contínua. Muito utilizado como servomotor.
	Motor de Indução Rotativo	Motor eletromagnético de rotação de corrente alternada. Motor de menor custo, de construção mais simples e com fonte de alimentação mais comum
	Motor de Indução Linear	Motor eletromagnético com movimento linear. Alimentado por corrente alternada, com grande precisão de posicionamento, alta velocidade, e longo curso.
	Interrupor-Relé	Interruptor de abrir e fechar mediante comando eletromagnético.
	Solenóide	Consiste numa bobina que possui duas posições eletromecânicas. Tem uma posição normal fixada por uma mola. Quando é energizada, muda de posição. O mais comum é o solenóide linear, mas existe também o rotativa
	Motor "Stepping"	Motor eletromagnético de rotação. Movimento proporcional aos impulsos recebidos. Possui como grandes vantagens a alta precisão e facilidade de implementação, sendo compatível com sinais digitais.
Hidráulico	Cilindro Hidráulico	Pistão exerce força em resposta à pressão hidráulica. Possui alta capacidade de carga.
Pneumático	Cilindro Pneumático	Pistão no interior do cilindro exerce força em resposta à pressão realizada por ar comprimido.

2.2.4 Sistemas de controlo

A recolha de informação de um sistema é importantíssima para sabermos em que ponto se encontra o sistema. Existe uma enorme variedade destes dispositivos, cuja missão é recolher a informação do sistema. Normalmente, estes dispositivos são compostos por dois componentes:

- Sensor – deteta variáveis físicas com interesse (pressão, temperatura, força, etc.);
- Transdutor – converte uma variável física num sinal (tensão elétrica), quantificando-a.

Em alguns casos, o sensor e transdutor podem ser um só dispositivo. Um exemplo disso são os fins de curso que aproveitam o movimento mecânico da alavanca para fechar o contacto elétrico.

Os dispositivos de medida mais utilizados em sistemas automatizados (Tabela 3) podem ler dois tipos de variáveis:

- Variáveis analógicas – um aparelho de medida analógico produz um sinal contínuo analógico, como a tensão elétrica (termopares, extensómetros e potenciômetros). O sinal de saída analógico é convertido em sinal digital, através de um conversor analógico-digital;
- Variáveis discretas – um aparelho de medida digital produz dois tipos de sinais:
 - Sinal binário – Produz um sinal *on/off*. A maioria destes dispositivos funciona ao fecharem um contacto elétrico que está normalmente aberto (fins de curso, sensores fotoelétricos, interruptores de proximidade);
 - Sinal digital – Produz um sinal digital quantificador da medida (série de impulsos que são contados por um *encoder* ótico).

Tabela 3 - Dispositivos de medida mais utilizados em sistemas automatizados [25]

Aparelho de medida	Descrição
Acelerómetro	Dispositivo analógico usado para medir vibrações e choques.
Amperímetro	Aparelho analógico que mede a intensidade da corrente elétrica.
Interruptor bimetálico	Interruptor binário que usa energia elétrica para abrir e fechar um contacto elétrico mediante alteração de temperatura. O sistema bimetálico é constituído por duas tiras de metal, ligadas, com diferentes coeficientes de expansão.
Termómetro bimetálico	Dispositivo analógico composto por um sistema metálico que muda de forma em função de alteração de temperatura. Esta alteração de forma pode ser calibrada para indicar a temperatura.
Tacómetro DC	Dispositivo analógico que consiste num gerador de corrente contínua, que produz uma tensão elétrica proporcional a uma velocidade angular.
Dinamómetro	Dispositivo analógico usado para medir força, potência e binário. Pode ser baseado em vários fenómenos físicos (Ex.: extensómetros, efeito piezoelétrico).
Transdutor de nível	Boia ligada a um braço de alavanca. O movimento basculante da alavanca pode ser usado para medir o nível de um líquido num recipiente (dispositivo analógico) ou para atuar num interruptor (dispositivo binário).
Sensor de fluxo para líquidos	Medição analógica de fluxo de um líquido, normalmente baseado na diferença de pressão em dois tubos de diâmetros diferentes.
Interruptor de fluxo para líquidos	Interruptor binário idêntico ao interruptor fim de curso, ativado pelo aumento da pressão do fluido, em vez do contacto com o objeto.

Transformador diferencial variável linear	Sensor de posição analógico, que consiste numa bobina primária, em oposição a duas secundárias. Quando a bobina primária é energizada, é induzida uma tensão nas secundárias em função da posição do núcleo. Também pode ser adaptado para medir força ou pressão.
Interruptor fim de curso	Sensor de contacto binário, em que a alavanca abre ou fecha um contacto elétrico.
Manómetro	Dispositivo analógico usado para medir pressão de gás ou líquido. É baseado na comparação de pressões conhecidas e desconhecidas. Um barómetro é um tipo específico de manómetro usado para medir a pressão atmosférica.
Ohmímetro	Dispositivo analógico que mede a resistência elétrica.
Encoder ótico	Dispositivo digital que mede a posição e/ou velocidade, e que consiste num disco perfurado, que divide uma fonte de luz proveniente de uma célula fotoelétrica. No movimento do disco, a célula fotoelétrica recebe a luz através de rasgos, como uma série de impulsos. A quantidade e a frequência de impulsos são proporcionais à posição e velocidade do veio ligado ao disco. É adaptável a medidas lineares e angulares.
Sensor fotoelétrico	Sensor binário sem contacto, que consiste num emissor (feixe de luz) e recetor (fotocélula), e que é desencadeado pela interrupção do feixe de luz. Existem dois tipos comuns: tipo transmitido, no qual o objeto interrompe o feixe de luz entre o emissor e o recetor, e o tipo retrorrefletor, em que o emissor e o recetor estão localizados num dispositivo e o feixe de luz é refletido por um refletor, exceto quando o objeto interrompe o feixe de luz refletido.
Sensor fotoelétrico (matriz)	Sensor digital constituído por uma série linear de sensores fotoelétricos. É concebido para medir a altura ou o tamanho do objeto, interrompendo alguns, mas não todos os feixes de luz.
Fotómetro	Sensor analógico que mede a iluminação e a intensidade da luz.
Transdutor piezoelétrico	Dispositivo analógico baseado no efeito piezoelétrico de certos materiais (por exemplo, o quartzo) em que uma carga elétrica é produzida quando o material é sujeito a uma deformação. A carga pode ser medida e é proporcional à deformação obtida. Pode ser usado para medir força, pressão e aceleração.
Potenciómetro	Sensor analógico de posição, consistindo numa resistência e um contacto deslizante. A posição deste contacto na resistência determina a medida obtida. Realiza medições lineares e de rotação.

Interrutor de proximidade	Sensor binário sem contacto que é despoletado quando um objeto próximo induz alterações no campo eletromagnético. Existem dois tipos: o indutivo e o capacitivo.
Pirómetro de radiação	Dispositivo analógico de medição de temperatura que deteta radiação eletromagnética na gama do campo visível e dos infravermelhos do espectro de luz.
Termo resistência	Dispositivo de medição analógico que consiste no aumento de resistência elétrica do material metálico em função do aumento de temperatura.
Extensómetro	Sensor analógico amplamente usado para medir a força, binário ou pressão. Baseia-se no princípio da alteração da resistência elétrica em função da deformação do material condutor.
Termístor	Dispositivo analógico de medição de temperatura baseado no decréscimo da resistência elétrica de um material semiconductor em função do aumento de temperatura.
Termopar	Dispositivo analógico de medição de temperatura baseado no efeito termoelétrico, em que a junção de dois materiais dissimilares emite uma pequena tensão elétrica que é função da temperatura da junta.
Sensor de ultrassons	O sensor mede o intervalo de tempo entre a emissão e a reflexão (do objeto) dos impulsos de alta frequência do som. Pode ser usado na medida da distância, ou apenas para indicar a presença de um objeto.

2.2.5 Flexibilidade e agilidade nos processos produtivos

As empresas mais competitivas têm nos seus processos produtivos duas características fundamentais, a flexibilidade e a agilidade, que lhes permite estarem preparadas para as constantes mudanças que o mercado atualmente sofre.

Flexibilidade industrial

A flexibilidade industrial é a capacidade que uma empresa apresenta para lidar com variações nas peças ou produtos que produz, tais como alteração de matéria-prima, tamanho e peso do produto, geometria da peça e alteração da complexidade do produto [29,36,37]. A flexibilidade, além de permitir que o sistema absorva variações do produto, também tem de ser capaz de minimizar as interrupções na troca de produtos [40-42]. Estes sistemas podem produzir diferentes tipos de peças ou, quando se tornam obsoletos, serem facilmente convertíveis [43]. Para ser flexível, o sistema deve ser capaz de possuir as seguintes características:

Identificação correta das unidades de trabalho para executar as operações adequadas ao produto a produzir. Em sistemas manuais ou semiautomáticos, esta tarefa é normalmente fácil de realizar para o trabalhador. Em sistemas automáticos, esta identificação na unidade de trabalho é automática.

Mudança rápida das instruções de operação. No caso de máquinas controladas por computador, a mudança é realizada no próprio sistema. No caso de ser um sistema operado manualmente, isto significa que os operadores estão qualificados para a variedade de operações a executar para cada tipo de peça.

Mudança rápida de configuração física. O sistema de produção deve ser capaz de fazer qualquer troca de ferramenta no menor tempo possível.

Estes sistemas geralmente são difíceis de projetar devido à sua complexidade. Em sistemas manuais, estão muito sujeitos ao erro humano. Nos sistemas automáticos ou semiautomáticos, a troca de ferramentas é o ponto mais crítico.

Agilidade industrial

A agilidade industrial é a capacidade que a empresa tem de introduzir novos produtos nos mercados que mudam rapidamente, e a capacidade das empresas resistirem num meio competitivo em que ocorrem constantes mudanças e por vezes imprevistas [25].

Os princípios de empresas ágeis podem enumerar-se da seguinte forma:

Organizar-se para dominar a mudança. Os recursos humanos e físicos podem ser rapidamente reconfigurados.

Potencializar a importância das pessoas. O conhecimento é valorizado, a inovação é recompensada e a autoridade é distribuída.

Cooperar para aumentar a competitividade. Usar as várias competências de todos os recursos e desenvolver parcerias com outras empresas.

Enriquecer o cliente. Os produtos têm de ser entendidos pelo cliente como soluções para problemas. O preço do produto é dado pelo valor da solução, e não pelo custo de fabricação.

Tendo em conta os princípios para uma empresa ser ágil, verificamos que não depende só dos processos produtivos. Envolve toda a estrutura organizacional [25].

2.3 Automação de processos no fabrico na FicoCables

Nesta secção são descritos alguns dos desenvolvimentos mais recentes realizados na FicoCables na automação dos processos, tanto na área de cabos de comando, como na área de sistemas de conforto. Os desenvolvimentos apresentados, foram documentados em artigos científicos publicados.

2.3.1 Automação de processos no fabrico de cabos de comando

2.3.1.1 Novo conceito de fabricação de cabos Bowden flexíveis

No artigo de Martins *et al.* [44], foi desenvolvido um novo conceito de equipamento para cabos *Bowden*, baseado no conceito atual.

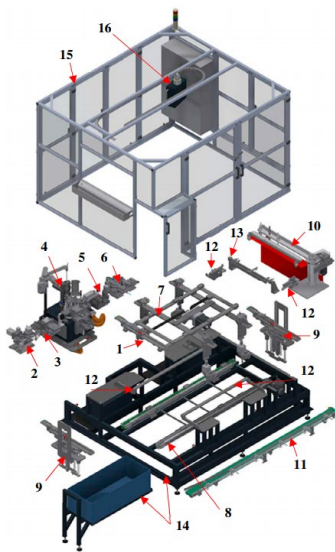


Figura 16 - Equipamento para cabos Bowden [44]

Objetivos:

- Reduzir mão de obra associada à inspeção e embalagem
- Incluir novas operações
- Reduzir o tempo de ciclo (25%)
- Garantir a qualidade

Conclusões:

Nesse trabalho, com a utilização da automação e melhoria dos processos, bem como a integração de novos sistemas, conseguiu-se reduzir a mão de obra, assim como aumentar a produtividade e a flexibilidade do processo em estudo [44].

2.3.1.2 Novo conceito de Integração dos processos de produção e montagem

No artigo de Moreira et al. [39], foi desenvolvido um novo conceito de produção integrando dois processos em simultâneo, o de puncionar terminais metálicos dos cabos e soldar por ultrassom o tubo esponja.

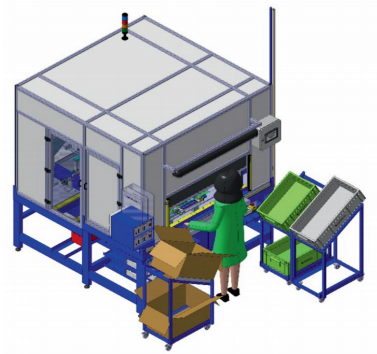


Figura 17 - Equipamento de soldadura por ultrassom e puncionar terminais [39]

Objetivos:

- Incrementar a taxa de produção;
- Resolver problemas de qualidade no processo inicial;
- Facilitar o processo de montagem;
- Utilizar novas ou atualizar as tecnologias existentes aplicadas no processo inicial;
- Cumprir todas as especificações técnicas de segurança e ergonomia.

Conclusões:

Com a utilização da automação e melhoria dos processos, conseguiu-se reduzir fluxos logísticos e mão de obra. Apesar do processos serem complexos, a sua integração tornou-se possível.

O passo do *transfer* é fundamental para o tempo de ciclo, sendo igualmente muito importante para garantir as acessibilidades necessárias a uma possível intervenção da manutenção [39].

2.3.2 Automação de processos no fabrico de sistemas de conforto

2.3.2.1 Novo conceito de orientação de arames dobrados

No artigo de Magalhães et al. [27], foi desenvolvido um novo sistema de organização de arames dobrados, utilizando um sistema automatizado e com tapetes de transporte, sendo a forma mais económica para estes sistemas reduzirem o tempo de ciclo.

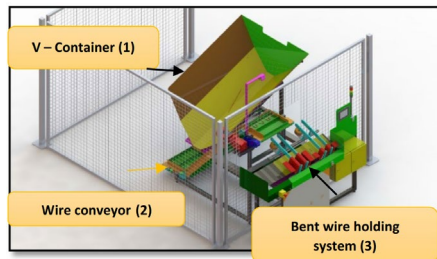


Figura 18 - Equipamento de orientação dos arames dobrados [27]

Objetivos:

- Reduzir o tempo do ciclo de produção de arame para cerca de 1–1,5 s
- Evitar danificar os arames na sua manipulação
- Organizar o arame automaticamente no final da operação de dobragem
- Permitir um rápido ajuste para novas referências

Conclusões:

Este trabalho, com a utilização da automação e uma abordagem diferente da existente, tornou possível retirar operações que não acrescentavam valor aos produtos, tornando-os mais competitivos e rentáveis.

Com este novo conceito, o fluxo das peças torna-se contínuo e rápido, o tempo do ciclo de produção foi reduzido para cerca de 1,5 s, evitam-se atrasos na receção do material. O equipamento é flexível, não danifica os arames e a empresa poupa cerca de € 1200 por mês [27].

2.3.2.2 Solução robotizada para manuseio de peças complexas em inspeção e embalagem

No artigo de Swertvaegher et al. [30], foi desenvolvido um novo sistema de inspeção e embalagem automática, retirando assim operações que eram desempenhadas por operadores que não acrescentavam valor ao produto.

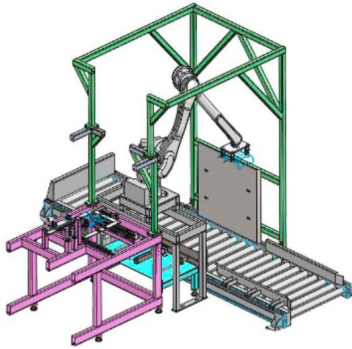


Figura 19 - Posto de inspeção e embalagem automática de suspension mat [30]

Objetivos:

- Realizar as operações de inspeção e embalagem automaticamente
- Limitar tempo de ciclo a 10 s
- Alterar apenas o último posto da linha.

Conclusões:

Neste trabalho, com a utilização da automatização e robotização das operações, foi possível retirar operações complexas que anteriormente eram realizadas por operadores.

Neste projeto são usadas tecnologias que são fundamentais para o sucesso destes desafios, a visão artificial e os robôs [30].

2.4 Diretiva Máquinas

A Diretiva 2006/42/CE de 17 de maio, elaborada pelo Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia, tem o objetivo de regular a segurança das máquinas, dentro do mercado europeu.

Os Estados-Membros são responsáveis por assegurar, no seu território, a aplicação desta diretiva. Cada Estado-Membro deverá efetuar uma vigilância do mercado, seguindo as orientações do Parlamento Europeu, para que a aplicação da diretiva seja realizada de uma forma eficaz. Na Diretiva estão descritos os requisitos essenciais de saúde e de segurança de alcance geral, podendo ser complementados por requisitos mais específicos para determinadas máquinas. A Diretiva estabelece que os fabricantes são plenamente responsáveis pela certificação das máquinas, sendo que para máquinas que apresentem um potencial de risco elevado, deve ser seguida uma certificação mais exigente. O fabricante, ou seu mandatário, deverá assegurar a realização de uma avaliação de riscos em relação à máquina que deseja colocar no mercado s [45].

Só a marcação “CE” deverá ser reconhecida como a que garante a conformidade da máquina com os requisitos desta Diretiva. Esta marcação deve ser colocada na máquina de forma absolutamente legível e indelével [45].

A diretiva 2006/42/CE de 17 de maio é aplicável aos seguintes produtos:

- Máquinas;
- Equipamento intermutável;
- Componentes de segurança;
- Acessórios de elevação;
- Correntes, cabos e correias;
- Dispositivos amovíveis de transmissão mecânica;
- Quase-máquinas.

A Diretiva estabelece princípios que devem ser seguidos na construção de equipamentos ao nível da segurança. De seguida serão apresentados os pontos mais relevantes, presentes na diretiva [45].

Princípios de integração de segurança

- As máquinas devem ser concebidas e construídas para cumprirem a função a que se destinam, devidamente reguladas e sempre alvo de manutenção, para não colocar as pessoas em risco sempre que o seu uso seja realizado nas condições definidas, mesmo prevendo a sua má utilização;
- Os materiais utilizados no fabrico da máquina ou os produtos por esta utilizados, não devem criar riscos para a segurança e saúde das pessoas;
- A máquina deve possuir iluminação. Sempre que a falta desta provoque riscos para as pessoas, na ausência de iluminação natural, a iluminação na máquina deve ser de ambiente e intensidade normal;

- As máquinas devem seguir princípios de ergonomia, de forma a reduzir ao mínimo possível o incómodo, a fadiga e a tensão física do operador.

Sistemas de comando

- Os sistemas de comando devem ser concebidos e fabricados de modo a evitarem situações de perigo;
- A máquina não deve ser impedida de parar, sempre que é dada uma ordem de paragem.
- A paragem automática ou manual de qualquer elemento móvel não deve ser impedida;
- A máquina não deve arrancar de forma intempestiva;
- Os dispositivos de comando devem ser claramente visíveis e identificáveis;
- Os elementos da máquina devem ser fabricados de forma a resistir a esforços previsíveis;
- O arranque só deve poder ser efetuado por ação voluntária, num dispositivo de comando previsto para o efeito;
- A máquina deve estar equipada com um dispositivo de comando que possibilite a sua paragem total em condições de segurança;
- A máquina deve estar equipada com um ou vários dispositivos de paragem de emergência, nos quais possam ser evitadas situações de perigo iminente ou existente.

Medidas de proteção contra perigos de natureza mecânica

- A máquina, bem como todos os seus componentes e equipamentos, deve possuir estabilidade suficiente que evite o seu capotamento, queda ou movimentos descontrolados durante transporte, montagem e desmontagem;
- Os materiais utilizados devem possuir resistência suficiente, em especial no que toca a fenómenos de fadiga, envelhecimento, corrosão e abrasão;
- Devem ser tomadas medidas no sentido de evitar a queda ou projeção de objetos que possam ser um risco;
- Os elementos móveis de transmissão devem possuir dispositivos de proteção.

Riscos devidos a outros perigos

- Vibrações
- Energia elétrica;
- Erros de montagem;
- Explosão;
- Ruído.

Manutenção

- Os pontos de manutenção e de regulação devem estar situados fora das zonas perigosas;
- A máquina deve ser concebida e fabricada com meios de acesso que permitam atingir, com segurança, todos os locais em que se torne necessária uma intervenção durante o funcionamento, regulação ou manutenção da máquina;

- A máquina deve ser equipada com dispositivos que possibilitem isolá-la de todas as fontes de energia;
- A máquina deve ser concebida de forma a reduzir a necessidade de intervenção dos operadores;
- A máquina deve ser concebida de forma a permitir a limpeza das partes internas que produzam substâncias perigosas.

Informações

Cada máquina deve ser acompanhada de um manual de instruções nas línguas oficiais do Estado-Membro em que a máquina for colocada em serviço. O manual deve conter um conjunto completo de informações, das quais se mencionam algumas a seguir:

- Firma e endereço completo do fabricante e do seu mandatário;
- Designação da máquina;
- Declaração CE de conformidade, ou documento que assinale o conteúdo da Declaração CE de conformidade;
- Descrição geral da máquina.

A marcação «CE» de conformidade é constituída pelas iniciais «CE» de acordo com o grafismo mostrado na Figura 20.



Figura 20 - Grafismo da marcação CE [44].

No caso de redução ou de ampliação da marcação «CE», devem ser respeitadas as proporções resultantes do grafismo acima inserido.

Os diferentes elementos da marcação «CE» devem ter sensivelmente a mesma dimensão vertical, que não pode ser inferior a 5 mm. Em relação às máquinas de pequena dimensão, pode prescindir-se desta dimensão mínima.

A marcação «CE» deve ser aposta na proximidade imediata do nome do fabricante ou do seu mandatário, segundo a mesma técnica [45].

CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA, DO PRODUTO, DO PROCESSO E DO PROBLEMA

- 3.1 Caracterização da empresa
- 3.2 Caracterização do produto
- 3.3 Caracterização do processo
- 3.4 Caracterização do problema

3 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA, DO PRODUTO, DO PROCESSO E DO PROBLEMA

3.1 Caracterização da empresa

Grupo FICOSA

O Grupo FICOSA é um fornecedor global de componentes para a indústria automóvel, ou seja, para quase todos os principais OEMs. A empresa foi fundada em 1949 em Barcelona. Uma das grandes apostas da companhia é a pesquisa e desenvolvimento, que atingiu cerca de 7,8% do volume de vendas em 2019. Na Figura 21, está representada a sede da empresa e o seu centro de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) em Barcelona.



Figura 21 - Sede da empresa e centro de P&D em Barcelona (Espanha)

O grupo tem, em média, 1190 milhões de euros de vendas anuais, com a colaboração de mais de 10 000 funcionários por todo mundo. Tem presença em 19 países e em quatro continentes. Na Figura 22 está representada a sua presença global.

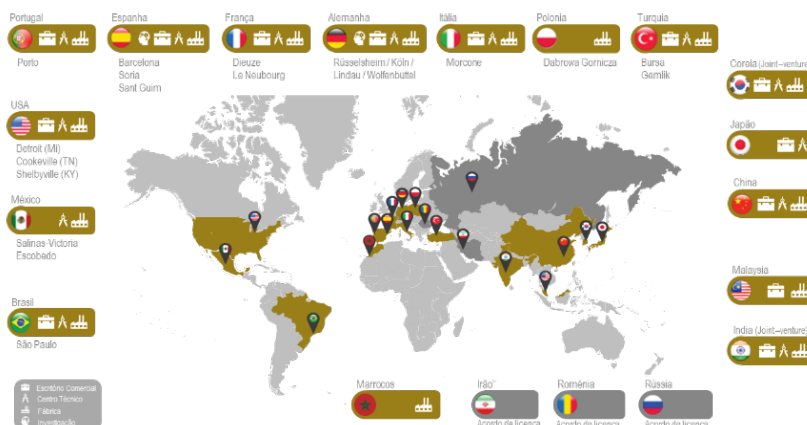


Figura 22 - Presença global do grupo FICOSA

O grupo possui negócios em várias áreas da indústria automóvel, desde sistemas de acionamento de portas e assentos, até à mobilidade elétrica. Na Figura 23, estão descritas as oito grandes unidades de negócios, assim como os produtos associados a cada unidade.



Figura 23 - Unidades de negócio do grupo FICOSA

Em Portugal, as unidades de negócio presentes são as unidades de sistemas de acionamento de portas e assentos, comando e controlo, sendo que a unidade de sistemas de acionamento de assentos só está presente em Portugal.

FICOSA em Portugal

A FicoCables, Lda., tem apresentado um valor crescente de vendas, tendo em 2019 faturado cerca de 63 milhões de euros, emprega cerca de 900 trabalhadores, dos quais 20 trabalham no desenvolvimento de novos produtos, tendo assim presente nos seus quadros um elevado número de trabalhadores qualificados.

O portefólio de produtos presente na fábrica da Maia são cabos de porta, de capô e de assento na área de cabos de acionamento, *coxins*, *suspension mat* e reguladores lombares na área dos sistemas de conforto. Estes produtos podem ser observados na Figura 24.

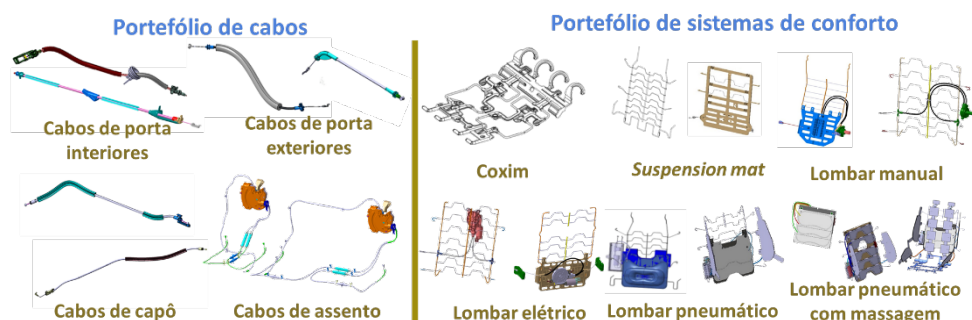


Figura 24 - Portefólio de produtos FicoCables

Esta variedade de produtos implica uma variedade de processos instalados na empresa, tais como:

- Injeção zamak;
- Injeção plástica;
- Fabrico de espiral;
- Revestimento de espiral;
- Extrusão;
- Conformação de arame;
- Tratamento térmico de arame;
- Montagens.

3.2 Caracterização do produto

O automóvel é constituído por diversos componentes que se complementam. Um desses componentes é o banco, um dos elementos-chave na segurança e conforto dos ocupantes. Este permite garantir que os ocupantes permanecem solidários com a estrutura do carro, em caso de acidentes ou manobras bruscas. Além de todos os requisitos de segurança que um banco tem de garantir, tem de assegurar o conforto dos seus ocupantes, tanto em viagens curtas como longas, reduzindo ao máximo as vibrações causadas pela via, bem como pelos diversos componentes que constituem o automóvel.

A Figura 25 ilustra os principais componentes que constituem o banco de um automóvel:

1. Capas/Forras;
2. Espumas;
3. Encosto de cabeça;
4. Estrutura da suspensão: Coxim e *Suspension mat*;
5. Estrutura de plástico;
6. Estrutura de interface entre o veículo e os mecanismos.

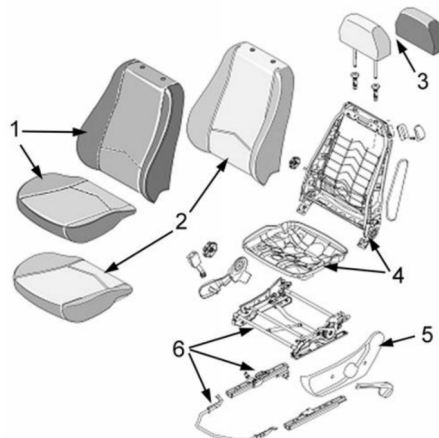


Figura 25 - Componentes de um banco automóvel [23]

O sistema de suspensão de um banco (Figura 26), possui espumas e estruturas de mola, que têm a capacidade de filtrar as vibrações. O nível de isolamento das vibrações varia com o tipo de veículo. Nos carros desportivos, os condutores procuram ter uma ligação mais direta com o carro, com o objetivo de sentirem melhor as sensações que o carro transmite, sendo assim concebidos com bancos mais rígidos, ou seja, com menos amortecimento. Com objetivo oposto temos os carros de luxo, em que, além de sistemas de suspensão elementares, possuem sistemas adicionais que permitem uma adaptação aos diferentes ocupantes [23].

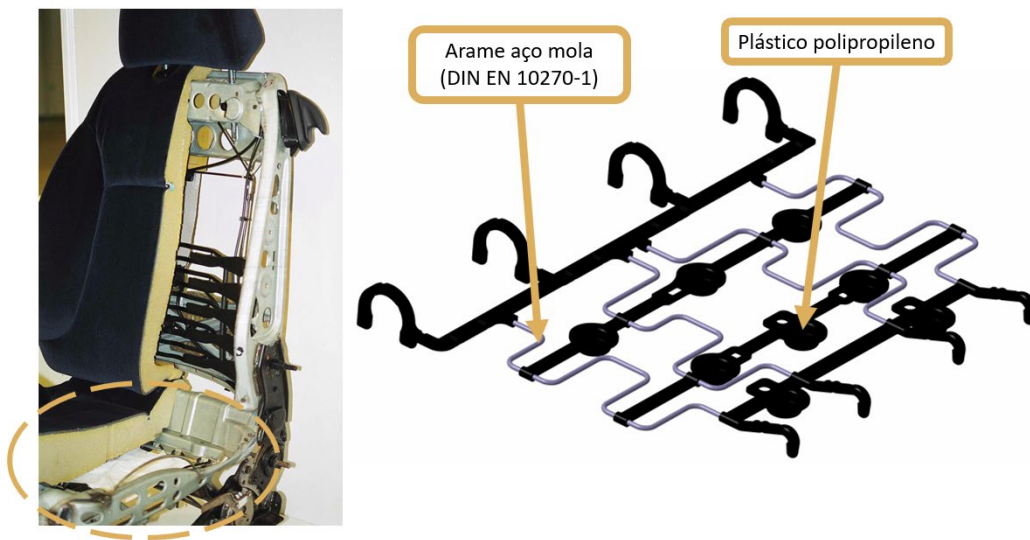


Figura 26 - Sistema de suspensão de um banco automóvel

Atendendo aos constituintes do sistema de suspensão de um banco, na Figura 26, o constituinte assinalado é o que se encontra inserido no âmbito deste trabalho. Trata-se do coxim, que é concebido a partir da sobreinjeção de plástico em arames previamente conformados. O plástico utilizado é normalmente polipropileno e o arame é aço mola.

3.3 Caracterização do processo

3.3.1 Fluxo na produção de coxins

A produção de coxins assenta em duas grandes áreas, a área de conformação de arames e a de sobreinjeção de plástico, mas, dependendo das particularidades dos diferentes coxins, estes vão passar por diferentes tipos de equipamentos. Este facto pode dever-se ao *design* da peça, à quantidade de peças do projeto, ou requisitos do cliente a cumprir.

Atendendo às particularidades das peças e dos equipamentos, podemos dividir o fluxo do processo dos coxins em dois grandes grupos:

- Fluxo A do processo dos coxins (Figura 27): os equipamentos de dobragem de arame usam diretamente a matéria-prima em:

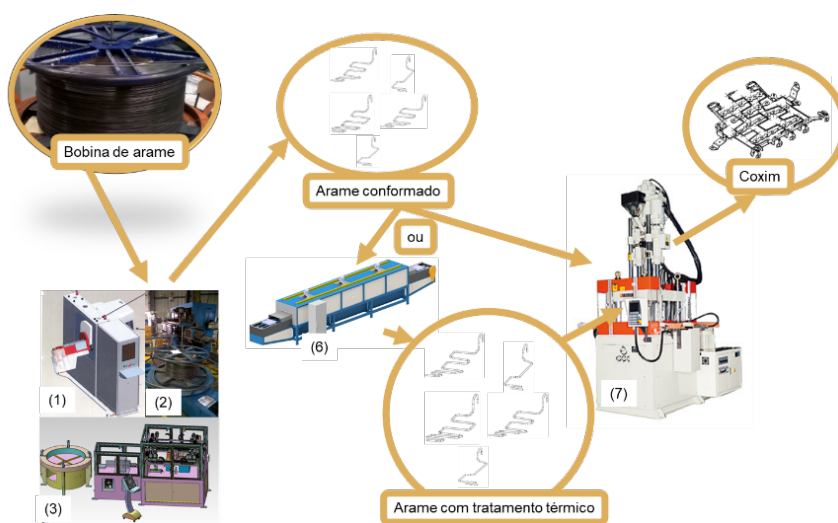


Figura 27 - Fluxo A do processo dos coxins

- Fluxo B do processo dos coxins (Figura 28): os equipamentos de dobragem de arame usam a matéria-prima em segmentos previamente cortados:

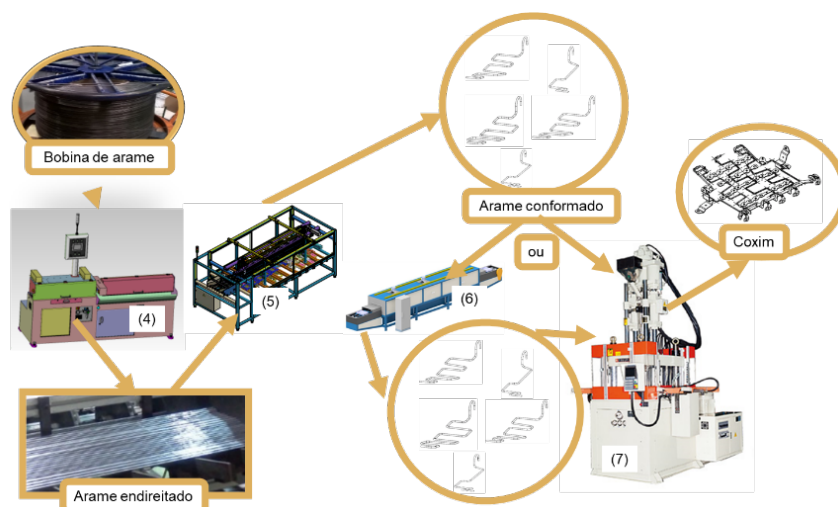


Figura 28 - Fluxo B do processo dos coxins

Os fluxos A e B apresentam várias particularidades ao longo de todo o processo, que estão descritas na Tabela 4.

Tabela 4 - Fluxo de processo do coxim

Processo/ operação	Equipamentos	Fluxo
Dobragem de arame	Máquina de dobragem de aramé CNC (1)	No fluxo A (Figura 26), podem ser usados três tipos de equipamentos de dobragem de arame: CNC de uma cabeça, CNC de duas cabeças, ou CNC específica para arame em “U”. Nestes equipamentos, a matéria-prima é fornecida em bobina, sendo os equipamentos capazes de endireitar, cortar e conformar o arame. O arame, após conformado, é dispensado em rampas ou tapetes de extração, sendo acondicionado em caixas de <i>stock</i> intermédio por um operador. Estas caixas, dependendo do coxim, vão diretamente para a injeção, ou vão para o forno. No caso de irem para o forno, um operador retira os arames conformados das caixas e coloca em tabuleiros específicos para o forno. Após os tabuleiros passarem no forno, os arames são novamente acondicionados em caixas de <i>stock</i> intermédio. Por fim, na sobreinjeção de plástico, os arames são colocados no molde por um operador e são sobreinjetados. No final da injeção, são extraídos por um manipulador para um tapete transportador. A peça, antes de ser embalada, é inspecionada a 100% por um operador.
	Máquina de dobragem de aramé com duas cabeças CNC (2)	
	Máquina de dobragem de aramé específica (arames em U) (3)	
Tratamento térmico (se aplicável)	Forno (6)	
Sobreinjeção de plástico	Máquina de injeção (7)	
Dobragem de arame	Máquina de endireitar e cortar arame (4)	No fluxo B (Figura 28), são usados os equipamentos de dobragem com <i>transfer</i> rotativo, que usam a matéria prima previamente cortada. O arame é endireitado e cortado nos equipamentos de corte, onde é acondicionado por um operador em caixas de <i>stock</i> intermédio. Na máquina de conformação, o arame previamente cortado é colocado num <i>buffer</i> . Após a conformação do arame, estes seguem o mesmo fluxo de A.
	Máquina de dobragem de aramé específica com <i>transfer</i> (5)	
Tratamento térmico (se aplicável)	Forno (6)	
Sobreinjeção de plástico	Máquina de injeção (7)	

3.3.2 Equipamentos

3.3.2.1 Equipamento de dobragem de arame

Máquinas de dobragem de arame CNC (ROBOMAC, denominação usada na empresa) (Figura 29), são as máquinas mais versáteis e intuitivas que a empresa possui. São constituídas por: um desbobinador motorizado, um endireitador de rolos de dois planos, um sistema de arrasto de quatro rodas de tração, um *encoder*, um sistema de corte e duas cabeças de dobragem.

O arame é tracionado pelo sistema de arrasto, endireitando o arame no endireitador de rolos, chegando assim alinhado às ferramentas de dobragem. A máquina só é capaz de realizar uma única dobra a cada passo, ficando a peça suspensa sobre o seu peso aquando das últimas dobragens.

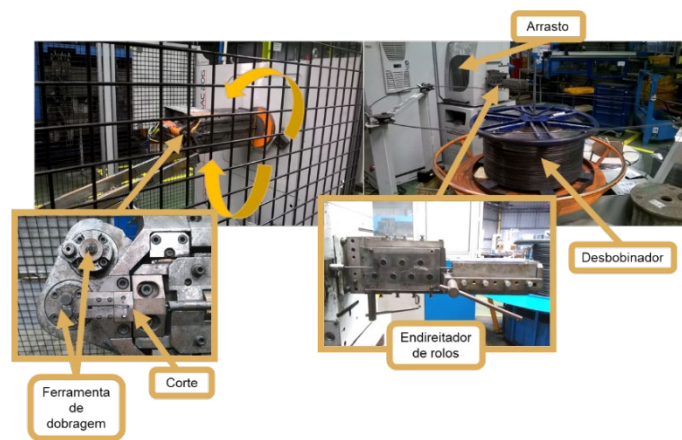


Figura 29 - Máquina de dobragem de arame CNC

Estas máquinas possuem uma interface bastante intuitiva e acessível para o utilizador, permitindo uma perspetiva 3D do arame (Figura 30), e uma afinação em função das cotas do arame, e não cotas de posição das ferramentas de dobragem.



Figura 30 - Vista 3D do arame na consola do equipamento

Máquinas de dobragem de arame com duas cabeças CNC (LATOIR, denominação usada na empresa) (Figura 31), na qual a sequência anterior, desbobinador, endireitador e arrasto, se mantém. No entanto, a seguir ao arrasto, a máquina possui um dispositivo de dobragem que faz o gancho e pré-dobragem (dobras que a maioria das peças possuem). Logo de seguida, situa-se o dispositivo de corte, que só é atuado depois do arame estar nas cabeças de dobragem CNC. Por fim, o arame é transportado por um *transfer* para uma ferramenta de estampagem, onde o arame é finalizado.

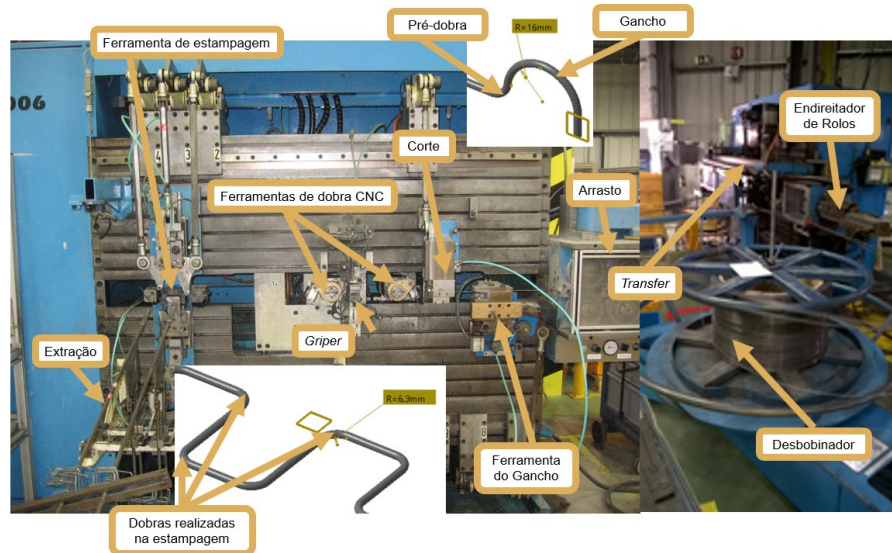


Figura 31 - Máquinas de dobragem de arame com duas cabeças CNC

Máquina de dobragem de arame específica (arames em U) (INOVMAQ TRANSFER, denominação usada na empresa) (Figura 32 - Máquina de dobragem de arame específica (arames em U) Figura 32): nesta máquina o desbobinador não é motorizado, ao contrário dos anteriores. Após o desbobinador, possui um endireitador de rolos de dois planos, um sistema de arrasto com *encoder*, um endireitador de rolos e um dispositivo de corte. Após o corte, o arame é fixado por um *griper*, de oito que estão num prato rotativo. O prato rotativo desloca o arame para os postos de dobragem CNC, onde o arame é conformado. São quatro postos de dobragem de arame CNC, sendo o primeiro responsável por fazer os ganchos e as pré-dobras, sendo que o último posto faz as duas dobras centrais.

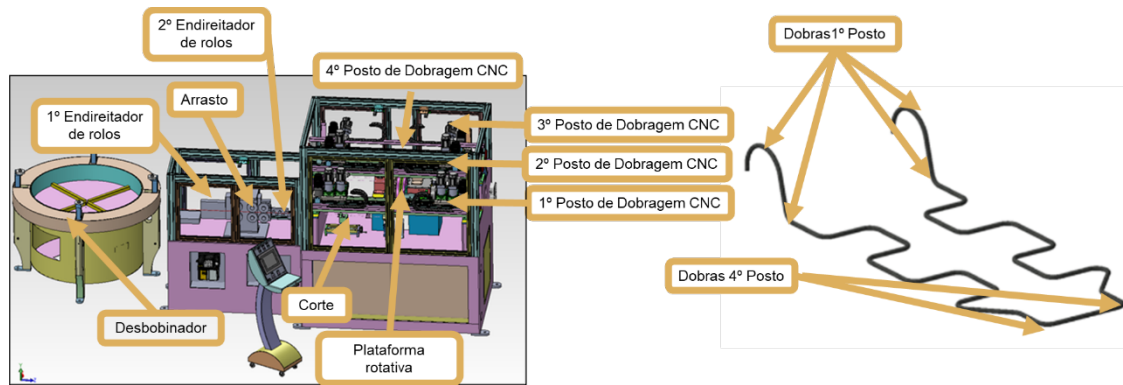


Figura 32 - Máquina de dobragem de arame específica (arames em U)

Máquina de endireitar e cortar arame (DORCA, denominação usada na empresa) (Figura 33), a qual traciona o arame e o faz passar por um endireitador rotativo, em que a conjugação da velocidade de arrasto e a velocidade de rotação do endireitador, permite que o arame fique retilíneo. O corte é acionado por um batente de fim de curso, que garante a cota do arame. Este equipamento consegue garantir uma variação do tamanho do corte de 0,05 mm.



Figura 33 - Máquina de endireitar e cortar arame

Máquina de dobragem de arame específica com transfer (TEC, denominação usada na empresa) (Figura 34), em que o arame colocado no *buffer* é abastecido para as pinças do *transfer*. Em média, cada equipamento tem vinte pinças. O *transfer*, no seu ciclo de trabalho, vai colocando o arame nos postos de dobragem e, em média, cada máquina tem vinte postos. Os postos de dobragem têm a particularidade de serem acionados por cilindros pneumáticos, sendo a afinação das dobras feita por batentes tipo fim de curso.

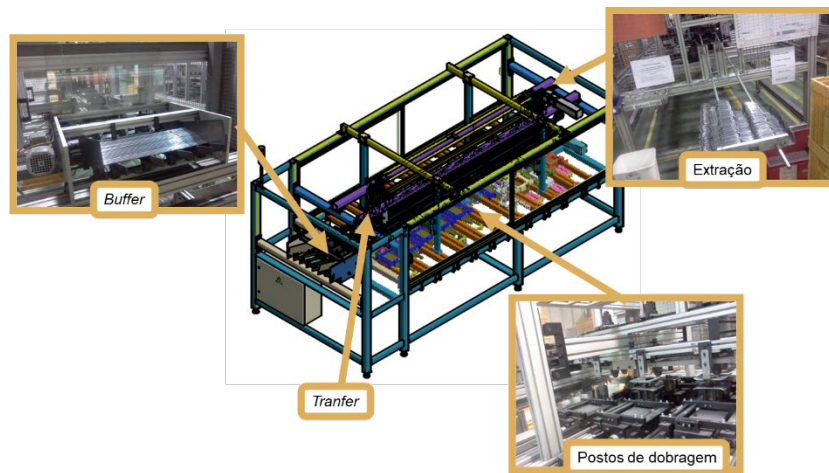


Figura 34 - Máquina de dobragem de arame específica com *transfer*

3.3.2.2 Equipamento de tratamento térmico

O forno (Figura 35), possui um tapete transportador de 10 m de comprimento, onde são colocados os tabuleiros com arames. Possui trinta e seis resistências, que se situam nas laterais do túnel, e três ventiladores posicionados na parte superior, os quais possibilitam que a estufa mantenha uma temperatura constante. Para garantir o controlo do processo de tratamento térmico, o forno possui termopares do tipo J, que medem a temperatura do ar no interior do túnel. Por questões de segurança, nas laterais do forno onde estão as resistências, e o ar quente, estão posicionados termopares que medem a temperatura das resistências.

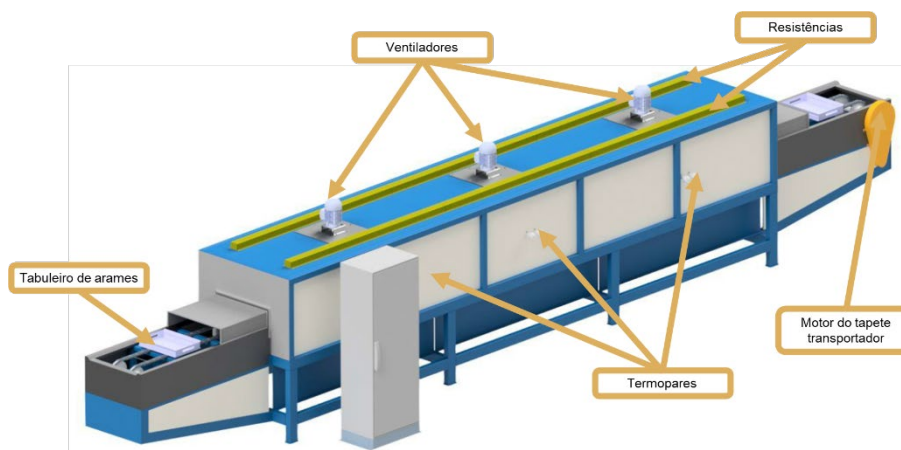


Figura 35 - Forno

O forno possui um registo contínuo de temperatura, um dos principais requisitos que a norma CQ19 tem para os tratamentos térmicos de alívio de tensões. Na consola do equipamento, como pode ser visto na Figura 36, é possível visualizar esse registo da temperatura ao longo do tempo, nas três zonas de aquecimento.

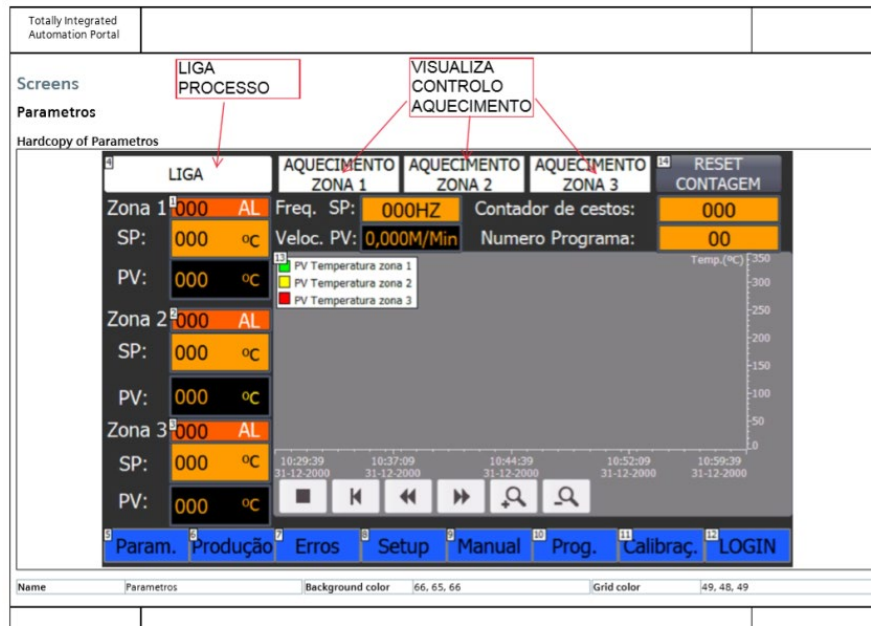


Figura 36 - Consola do forno

3.3.2.3 Equipamento de injeção de plástico

As injetoras usadas na sobreinjeção dos coxins, são máquinas de injeção vertical (Figura 37). Estas estão equipadas com uma mesa deslizante, que permitem o uso de molde e meio, favorecendo assim o posicionamento dos arames nos moldes.



Figura 37 - Máquinas de injeção vertical

Atendendo a que a máquina de injeção tem sempre uma cavidade a injetar, e outra encontra-se disponível para posicionar os arames. De modo a rentabilizar o operador que posiciona os arames, estas estão dispostas em células que possuem duas máquinas de injeção, como pode ser observado na Figura 38. No processo produtivo, o operador posiciona os arames na cavidade e executa a ordem de injeção. Com esta ordem, a mesa desloca-se lateralmente, posicionando

assim a cavidade com arames na injetora, e a segunda cavidade no lado oposto. No lado em que tem a peça injetada, a extração é executada por um manipulador para um tapete. Por fim, a peça é inspecionada a 100% e embalada por outro operador.

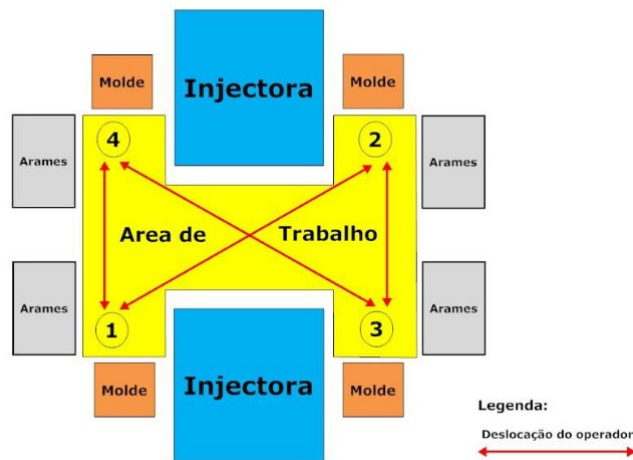


Figura 38 - Planta de célula de injeção e diagrama de movimentação

3.3.3 Dispositivos dos equipamentos de dobragem

Como este trabalho se centra nos equipamentos de dobragem de arame, fez-se uma caracterização dos dispositivos dos equipamentos presentes na FicoCables. A empresa apresenta uma vasta variedade de equipamentos, o que implica ter dispositivos para as mesmas funções com características distintas. De seguida, serão analisados os dispositivos mais importantes que constituem os equipamentos de dobragem.

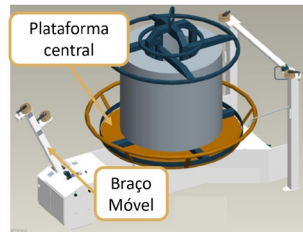
3.3.3.1 Desdobinadores

Na Tabela 5 são apresentados os principais tipos de desbobinadores presentes na FicoCables, onde são evidenciadas as suas principais características.

Tabela 5 - Caracterização dos desbobinadores dos equipamentos de dobragem da FicoCables

Desbobinadores	Imagem	Caracterização
INOVMAQ TRANSFER		<p>Este desbobinador possui uma plataforma central que roda livremente. Os quatro braços possuem molas, para manter o arame com uma tensão constante a desenrolar, e uma roldana que roda com o passar do arame. Os arranques e paragens do equipamento de dobragem, podem originar deformações no arame, pois o controlo do desenrolamento só é controlado pela tensão das molas. Esta solução é bastante económica.</p>

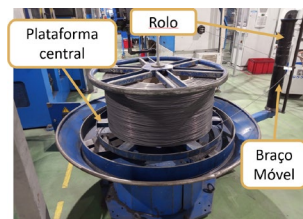
ROBOMAC



Este desbobinador possui uma plataforma central que roda com velocidade controlada, e com rampas de aceleração e desaceleração definidas. O acionamento ou paragem do motor da plataforma central, é feito através de *switch*'s posicionados no braço móvel. O braço móvel tem uma tensão constante suportada por molas.

O arame passa por quatro roldanas que rodam livremente.

WAFIOS



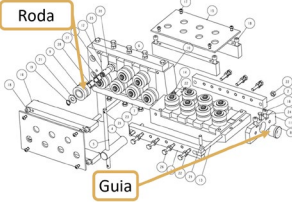
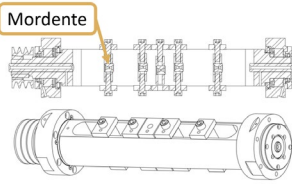
Este desbobinador possui uma plataforma central que roda com velocidade controlada, e com rampas de aceleração e desaceleração controladas. O acionamento ou paragem do motor da plataforma central, é feito através de *switch*'s posicionados no braço móvel. O braço móvel tem uma tensão constante suportada por molas. O braço móvel possui um rolo que roda livremente, sendo o único contacto que o arame tem depois de sair da bobina.

3.3.3.2 Endireitadores

Na Tabela 6 são apresentados os principais tipos de endireitadores presentes na FicoCables, onde são evidenciadas as suas principais características.

Tabela 6 - Caracterização dos endireitadores dos equipamentos da FicoCables

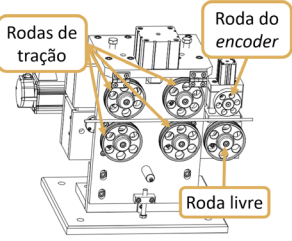
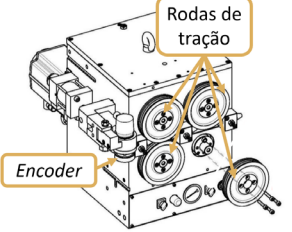
Endireitadores	Imagem	Caracterização
INOVMAQ TRANSFER TACHI II (Linha de <i>suspension mat</i>)		<p>Este equipamento possui dois endireitadores de planos, em que um se situa antes do arrasto e outro após. O endireitador antes do arrasto, possui dois planos, em que cada plano possui sete rodas que rodam livremente, e estão desfasadas. As rodas têm um diâmetro superior ao endireitador que se situa após o arrasto.</p> <p>O endireitador antes do arrasto também possui duas rodas alinhadas no primeiro plano, para garantir alinhamento na entrada do arame</p> <p>A afinação fina só é realizada no endireitador após o arrasto.</p>

<p>ROBOMAC</p>	 <p>The diagram shows a complex mechanical assembly with a central guide labeled 'Guia' and several wheels labeled 'Roda' arranged in two parallel planes.</p>	<p>Este endireitador possui dois planos, em que cada plano possui sete rodas que rodam livremente, e estão desfasadas.</p> <p>No primeiro plano, tem uma guia para garantir o alinhamento na entrada do arame.</p>
<p>DORCA</p>	 <p>The diagram shows a cylindrical assembly with five grippers labeled 'Mordente' arranged along its length.</p>	<p>Este endireitador é constituído por cinco mordentes que estão desfasados do centro de rotação, normalmente em “V” ou em “W”. Este tipo de endireitamento necessita de um processo contínuo e sem grandes paragens, caso contrário o arame parte.</p>

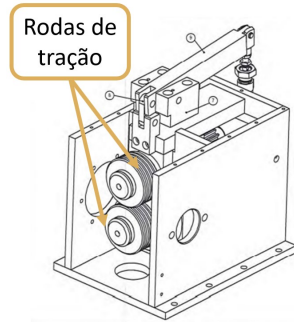
3.3.3.3 Arrastos

Na Tabela 7 são apresentados os principais tipos de arrastos presentes na FicoCables, onde são evidenciadas as suas principais características.

Tabela 7 - Caracterização dos arrastos dos equipamentos da FicoCables

Arrasto	Imagem	Caracterização
<p>INOVMAQ TRANSFER TACHI II (Linha de <i>suspension mat</i>)</p>	 <p>The diagram shows a cable puller with four drive wheels labeled 'Rodas de tração', one free wheel labeled 'Roda livre', and one encoder wheel labeled 'Roda do encoder'.</p>	<p>Este arrasto possui quatro rodas com tração, que são acionadas por um servomotor. Possui duas rodas que rodam livremente, em que uma delas está no eixo do <i>encoder</i>. A pressão de tração é dada por dois pernos de encosto.</p> <p>Para permitir uma troca de arame ou de rodas de tração, tem movimento de subir e descer, que é acionado por um cilindro pneumático.</p>
<p>ROBOMAC</p>	 <p>The diagram shows a cable puller with four drive wheels labeled 'Rodas de tração', an encoder labeled 'Encoder', and a pneumatic pad on top.</p>	<p>Este arrasto possui quatro rodas com tração, que são acionadas por um servomotor. Tem duas rodas que rodam livremente, em que uma delas está no eixo do <i>encoder</i>. A pressão de tração é dada por uma almofada pneumática, situada na parte superior do conjunto.</p> <p>Para permitir uma troca de arame ou das rodas de tração, o movimento de subir as rodas é acionado por molas que estão nos eixos das rodas superiores, que com o retirar de pressão da almofada pneumática, faz subir os eixos superiores.</p> <p>Os eixos das rodas de arrasto também permitem afinação do alinhamento destas.</p>

DORCA



Este arrasto possui duas rodas com tração, que se encontram sempre acionadas por um motor trifásico. A pressão de tração é dada por um cilindro pneumático, através de um sistema de alavanca. A tração é parada com a abertura das rodas (Rodas deslizam no arame). Este sistema não possui *encoder*, pois funciona com batente mecânico de fim de curso.

3.3.3.4 Sistemas de corte

Na Tabela 8 são apresentados os principais tipos de sistemas de corte presentes na FicoCables, onde são evidenciadas as suas principais características.

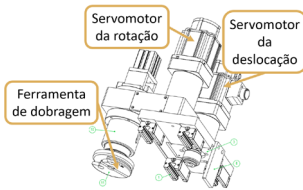
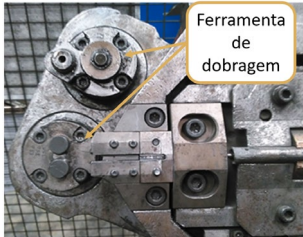
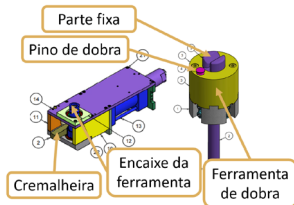
Tabela 8 - Caracterização dos sistemas de corte dos equipamentos da FicoCables

Corte	Imagem	Caracterização
INOVMAQ TRANSFER		<p>Neste sistema de corte, a lâmina é acionada por um cilindro hidráulico. O corte é simples e eficaz, mas necessita de uma unidade hidráulica dedicada.</p> <p>Tem afinação da distância da lâmina para a contra lâmina, para permitir ter um corte perfeito.</p>
ROBOMAC		<p>Este corte é acionado por um servomotor, num sistema de came, que tem retorno de posição por molas.</p> <p>Tem afinação na lâmina da distância para a contra lâmina, ao contrário do sistema de corte anterior.</p>
DORCA		<p>Neste sistema de corte, a lâmina é acionada por dois cilindros hidráulicos. O corte é executado nos dois sentidos, pois a lâmina tem dois orifícios de corte.</p> <p>Tem afinação na contra lâmina relativamente à distância para a lâmina.</p>

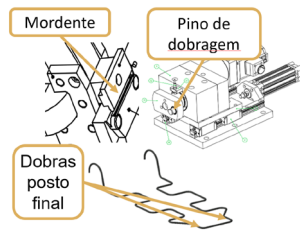
3.3.3.5 Sistemas de dobragem

Na Tabela 9 são apresentados os principais tipos de sistemas de dobragem presentes na FicoCables, onde são evidenciadas as suas principais características.

Tabela 9 - Caracterização dos sistemas de dobragem dos equipamentos da FicoCables

Sistemas de dobragem	Imagem	Caracterização
INOVMAQ TRANSFER		<p>O sistema de dobragem da INOVMAQ TRANSFER é constituído por um servomotor, que confere o movimento de rotação da ferramenta de dobragem, e um cilindro pneumático que fornece o movimento de subir e descer da ferramenta.</p> <p>A deslocação do dispositivo é feita por um servomotor, através de um mecanismo pinhão cremalheira.</p> <p>A ferramenta de dobragem tem a parte central fixa.</p>
ROBOMAC		<p>O sistema de dobragem da ROBOMAC é constituído por: um servomotor, que origina o movimento de rotação das ferramentas de dobragem, e dois cilindros pneumáticos que fornecem o movimento de subir e descer das ferramentas de dobragem. O servomotor aciona as duas ferramentas de dobragem em simultâneo.</p> <p>A ferramenta de dobragem pode funcionar com a parte central fixa (sem rotação), ou com toda a ferramenta em rotação.</p> <p>Para possibilitar a troca de ferramenta a utilizar na dobragem, o sistema possui mais um eixo que é acionado por um servomotor.</p>
TEC		<p>O dispositivo de dobragem da TEC funciona com um sistema pinhão cremalheira, que é acionado por um cilindro pneumático.</p> <p>A ferramenta de dobragem tem a parte central fixa, que é a parte responsável pelo raio de dobragem.</p>

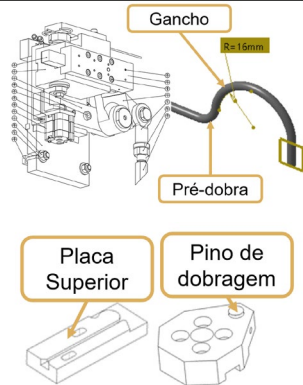
INOVMAQ
TRANSFER



O dispositivo de dobragem final da INOVMAQ TRANSFER é acionado por um servomotor, e possui movimento de aproximação ao mordente de fixação do arame, o qual é acionado por um cilindro pneumático.

A ferramenta de dobragem possui um pino de dobragem, mas o mordente é que garante a cota central, bem como os raios do arame.

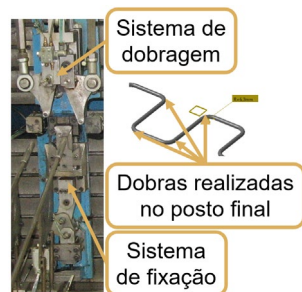
LATOUR



O dispositivo de dobragem do gancho da LATOUR é acionado por um servomotor através de um sistema de fuso, que movimenta uma alavanca. Esta movimenta uma cremalheira que aciona a ferramenta de dobragem.

A ferramenta de dobragem tem movimento de subir e descer, acionada por um cilindro pneumático. A placa superior é a que confere o raio do gancho e da pré-dobragem.

LATOUR



O dispositivo de dobragem final, é constituído pelo sistema de fixação do arame e pelo sistema de dobragem do arame.

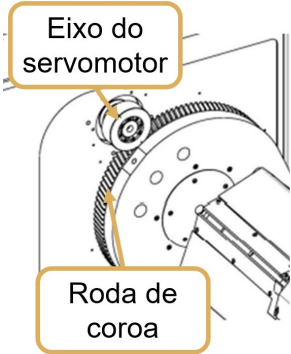
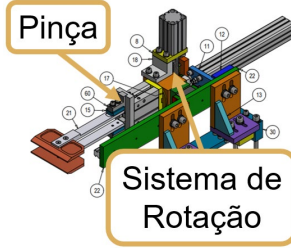
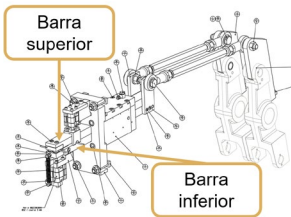
O sistema de fixação do arame é acionado por um cilindro pneumático através de uma alavanca. Este sistema garante a cota central do arame e os raios das quatro dobras que é capaz de realizar.

O sistema de dobra é acionado por três servomotores, que são parte integrante de um mecanismo de alavancas que possui dois pinos de dobragem. Estes permitem realizar quatro dobras.

3.3.3.6 Sistemas de rotação do arame/ferramenta

Na Tabela 10 são apresentados os principais tipos de sistemas de rotação presentes na FicoCables, onde são evidenciadas as suas principais características. Os sistemas de rotação são utilizados nas ferramentas de dobragem ou no próprio arame.

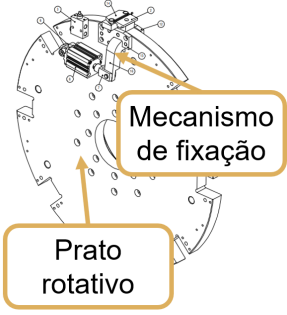
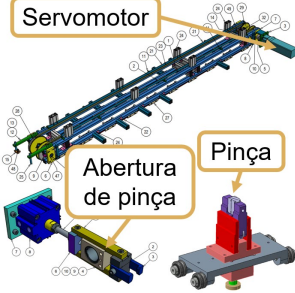
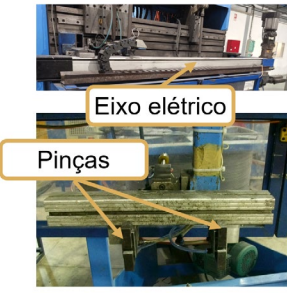
Tabela 10 - Caracterização dos sistemas de rotação do arame/ferramenta dos equipamentos da FicoCables

Sistemas de dobra	Imagem	Caracterização
ROBOMAC	 <p>O diagrama mostra um eixo de servomotor (rotacionado 90 graus) conectado a uma roda de coroa. O eixo do servomotor está rotulado 'Eixo do servomotor' e a roda de coroa está rotulada 'Roda de coroa'.</p>	<p>O sistema de rotação da ROBOMAC é acionado por um servomotor que atua diretamente numa roda de coroa, a qual sustenta o conjunto de rotação. Este sistema de rotação é fiável e robusto.</p>
TEC	 <p>O diagrama mostra uma pinça (rotacionada 90 graus) e um sistema de rotação com engrenagens. A pinça está rotulada 'Pinça' e o sistema de rotação está rotulado 'Sistema de Rotação'.</p>	<p>O sistema de rotação da TEC possui três movimentos: rotação, aproximação e fecho da pinça. Todos os movimentos, são de acionamento pneumático e o mecanismo de rotação é realizado com recurso a um sistema pinhão cremalheira. A afinação é realizada por batentes mecânicos.</p>
LATOUR	 <p>O diagrama mostra duas barras, uma superior e uma inferior, que fixam o arame. A barra superior está rotulada 'Barra superior' e a barra inferior está rotulada 'Barra inferior'.</p>	<p>O sistema de rotação da LATOUR possui um mecanismo de duas barras, que fixam o arame entre elas. Estas movimentam-se em sentidos opostos, acionadas pelo mecanismo de alavanca, que é movimentado por servomotores. Este movimento das barras provoca a rotação do arame.</p>

3.3.3.7 Sistemas de transporte do arame

Na Tabela 11 são apresentados os principais tipos de sistemas de transporte do arame presentes na FicoCables, onde são evidenciadas as suas principais características.

Tabela 11 - Caracterização dos sistemas de transporte do arame dos equipamentos da FicoCables

Sistemas de dobra	Imagem	Caracterização
INOVMAQ TRANSFER	 <p>Mecanismo de fixação</p> <p>Prato rotativo</p>	<p>O sistema de transporte do arame da INOVMAQ TRANSFER, é constituído por um prato rotativo na vertical, acionado por um servomotor.</p> <p>O prato rotativo tem oito mecanismos de fixação do arame. Este mecanismo é acionado por um cilindro pneumático através de uma alavanca.</p> <p>O mecanismo de fixação, também é a parte fixa da ferramenta de dobragem do último posto.</p> <p>Este sistema introduz variação no arame por existirem muitos sistemas de fixação do arame.</p>
TEC	 <p>Servomotor</p> <p>Abertura de pinça</p> <p>Pinça</p>	<p>O sistema de transporte do arame da TEC tem dois mecanismos de corrente e pinhão, que são acionados em simultâneo por um servomotor.</p> <p>Nas correntes, são acopladas vinte e duas pinças (em média). Nestas, a pressão de fecho é dada por uma mola. A abertura das pinças para alimentação e extração do arame, é feita por mecanismos externos acionados por cilindros pneumáticos.</p> <p>Este sistema introduz variação no arame por existirem muitas pinças de fixação do arame.</p>
LATOUR	 <p>Eixo elétrico</p> <p>Pinças</p>	<p>O sistema de transporte da LATOUR é acionado por um eixo elétrico que desloca duas pinças pneumáticas de fixação do arame. As pinças possuem movimento para captarem o arame, que é executado por um cilindro pneumático guiado.</p> <p>Este <i>transfer</i> tem a desvantagem de ser difícil garantir que capta e coloca o arame sempre na mesma posição. Isto introduz variação no processo.</p>

3.4 Caracterização do problema

No processo de dobragem, existe uma lacuna nos equipamentos, em que os mais flexíveis apresentam baixa produtividade, não sendo indicados para projetos de grande volume de produção. Mas, ao invés, também tem equipamentos de grande produtividade, mas que não são flexíveis, sendo mais indicados para projetos de grande volume. A modificação dos equipamentos de alta produtividade para projetos novos, acarreta custos elevados, que cada vez mais os clientes não estão dispostos a pagar, tornando a empresa menos competitiva.

3.4.1 Caracterização do tipo de arames produzidos

Para poder tornar o equipamento o mais flexível possível, é necessária identificar e caracterizar os arames produzidos. Para tal, foi realizado um levantamento das seguintes características dos arames:

- Diâmetro do arame;
- Classe do arame;
- Número de dobragens;
- Número de diferentes raios por arame;
- Número de planos por arame;
- Comprimento do arame;
- Número de ganchos.

No âmbito deste trabalho, o arame a produzir no equipamento é o da Figura 39. Neste projeto, são usadas quatro referências de arame, em que o diâmetro é de 3,4 mm, a classe do arame é SH, tem catorze dobragens, dois raios diferentes, três planos, dois ganchos e 583 mm de comprimento. As referências são dois pares simétricos.

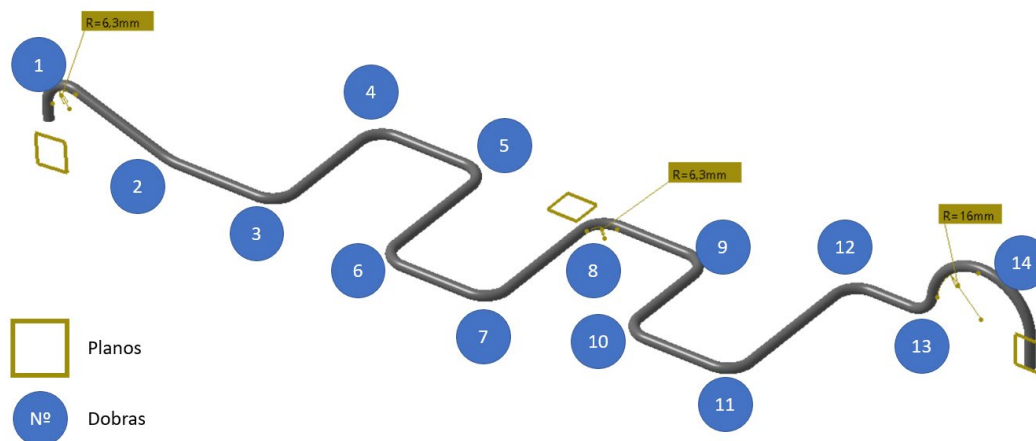


Figura 39 - Arame do projeto em estudo

Na Figura 39, as dobragens 1 e 14 são normalmente designadas por gancho e, no mínimo, cada coxim tem um gancho.

Nos projetos em produção, foi realizada a mesma análise do produto em estudo. Na Tabela 12 é mostrado um quadro resumo, de onde se pode concluir que o diâmetro do arame varia entre 3 e 4 mm, os planos entre dois e cinco, os ganchos entre um e dois, os raios entre dois e quatro, o comprimento entre 400 mm e 1120 mm, o número de dobragens de treze a vinte e cinco e a classe do arame é SH ou SM.

Tabela 12 - Características dos arames dos projetos em produção (no anexo 7.1 as restantes referências)

Referência	Diâmetro	Classe do arame	Nº de dobras	Nº de raios	Nº de planos	Comprimento (mm)	Nº de ganchos
1	3	SH	25	2	2	1115,8	2
2	4	SH	12	2	3	563,2	1
3	3.5	SM	12	2	5	465,4	1
4	3.5	SM	11	2	2	432,3	1

3.4.2 Caracterização dos equipamentos de dobragem

A Ficocables possui vinte e cinco equipamentos de dobragem de arame, como anteriormente referido, os quais podem ser divididos em quatro tipos de equipamentos:

- Máquina de dobragem de arame CNC;
- Máquina de dobragem de arame com duas cabeças CNC;
- Máquina de dobragem de arame específica (arames em U);
- Máquina de dobragem de arame específica com transfer.

A empresa possui nove máquinas de dobragem de arame CNC, sendo cinco delas ROBOMAC 206, uma ROBOMAC 208, uma INOVMAQ CNC e duas WAFIOS. Estes equipamentos têm em média produtividade de 300 peças/h. O custo de novas ferramentas é de cerca de 3000 € e o custo de um equipamento novo ronda os 125 000 €.

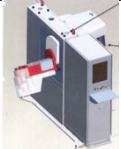
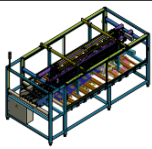
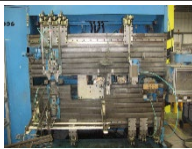



Possui ainda três máquinas de dobragem de arame com duas cabeças CNC, sendo estas LATOUR e apresentando, em média, produtividade de 800 peças/h. O custo de novas ferramentas ronda os 20 000 € e o custo de equipamento novo é de cerca de 300 000 €.

Possui também três equipamentos específicos INOVMAQ TRANSFER de dobragem de arame (arames em U). Estes têm em média produtividade de 500 peças/h, o custo de novas ferramentas é de cerca de 15 000 € e o custo de um novo equipamento ronda os 120 000 €.

Existem ainda dez equipamentos de dobragem de arame específica com *transfer*. Um equipamento WAFIOS, um PR1, dois FICOCABLES e seis equipamentos TECNOGIAL. Estes têm em média produtividade de 1000 peças/h, sendo o custo de novas ferramentas de cerca de 50 000 € e o custo de um novo equipamento aproximadamente 160 000 €.

Com estes dados dos equipamentos, podemos concluir que para projetos de baixo volume anual (350 000 coxins/ano), é mais vantajoso produzir em ROBOMAC, o que representa a ocupação de um equipamento a três turnos, cinco dias por semana. Já projetos de grande volume (1 300 000 coxins/ano), é mais vantajoso produzir em TEC, ocupando um equipamento na sua totalidade. A Tabela 13 apresenta um quadro resumo dos tipos de equipamentos de dobragem.

Tabela 13 - Quadro resumo dos equipamentos de dobragem

Quadro resumo dos equipamentos de dobragem				
Designação FICOCABLES	ROBOMAC	TEC	LATOIR	INOVMAQ TRANSFER
Imagem				
Tipo de Máquina	Máquina de dobragem de arame CNC	Máquina de dobragem de arame específica com transfer	Máquina de dobragem de arame com duas cabeças CNC	Máquina de dobragem de arame específica (arames em U)
Configuração do arame				
Preço da máquina (€)	125,000	160,000	300,000	120,000
Produção/hora (arame/h)	300	1000	800	500
Preço das ferramentas específicas (€)	3,000	50,000	20,000	15,000

A escolha do tipo de equipamento não se prende apenas com o custo das ferramentas ou pelo preço do próprio equipamento, mas também pelas características que o arame tem. Arames em “U” só são produzidos nas INOVMAQ TRANSFER, enquanto arames com muitas dobragens e maior dimensão, não se devem produzir em ROBOMAC, pois o peso do arame vai provocar variação na conformação. Na TEC não é aconselhável produzir arames com muitos planos, pois como a rotação do arame é feita num posto isolado, no transporte para o posto de dobragem pode alterar a posição na pinça de transporte, o que introduz variação. Neste tipo de equipamentos também é importante ter em consideração que a força de aperto das pinças de transporte não é igual, tornando mais sensível o transporte do arame e a sua rotação.

DESENVOLVIMENTO

- 4.1 Conceitos de dobragem no mercado
 - 4.2 Tempestade de ideias
- 4.3 Análise SWOT e seleção do conceito
 - 4.4 Descrição detalhada do conceito
 - 4.5 Descrição dos subconjuntos
 - 4.6 Programação
 - 4.7 Dimensionamento
- 4.8 Seleção de componentes normalizados
 - 4.9 Orçamentação
 - 4.10 Estudo do investimento
- 4.11 Alterações efetuadas na implementação
 - 4.12 Manual do equipamento

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Conceitos de dobragem no mercado

No equipamento de dobragem DH4012 (Figura 40), o arame é usado em bobina, é constituído por um endireitador de rolos, um sistema de arrasto, um sistema de corte CNC, duas cabeças de dobragem CNC e um *gripper* central rotativo.



Figura 40 - Equipamento de dobragem DH4012 VGP[24]

O *gripper* rotativo permite fazer os vários planos necessários do arame a produzir. Na Figura 41 é detalhada a configuração do *gripper* com as cabeças de dobragem. Como o *gripper* é bastante largo, limita as dimensões centrais do arame. Este tem movimento vertical ascendente e descendente. Quando o *gripper* desce, permite que as cabeças de dobragem se aproximem, e façam cotas centrais mais curtas. No entanto, para conseguir manter o arame fixo, estas têm pinças de fixação que são ativadas quando o *gripper* desce.

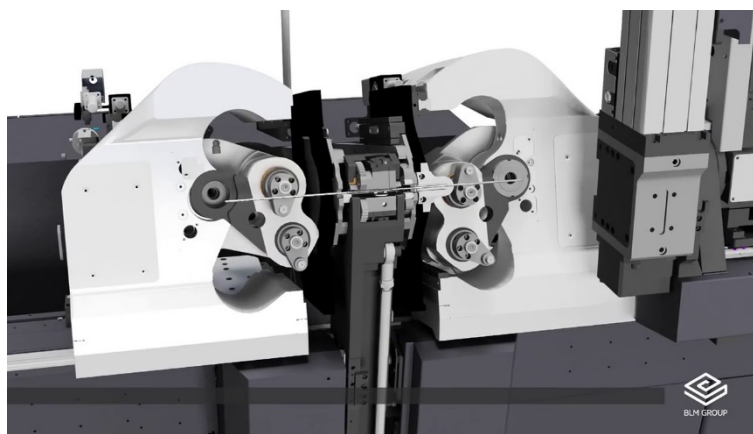


Figura 41 - Parte central do equipamento DH4012

No equipamento de dobragem TWF-C07 A D (Figura 42), o conceito é similar ao anterior, mas a fixação do arame é feita por uma pinça que tem rotação. O sistema de rotação tem dois eixos de rotação, ambos com apoio nas duas extremidades da máquina. Um tem como referência o centro das ferramentas de dobragem, e outro é na ponte que sustenta a pinça, para poder abastecer e extrair o arame.



Figura 42 - Equipamento de dobragem TWF-C0 A D

O equipamento de dobragem BT5.2 (Figura 43) tem uma abordagem diferente, pois neste equipamento as cabeças de dobragem estão fixas, e em dois eixos diferentes de dobragem. Os manipuladores é que se movimentarão em X, para alterar a posição de dobragem. Além deste movimento, possuem mais dois eixos de rotação, um no eixo da ferramenta de dobragem e outro na parte inferior, para a deslocação entre postos de dobragem, alimentação e extração.



Figura 43 - Equipamento de dobragem BT 5.2

Este equipamento possui um endireitador rotativo, que também é uma abordagem diferente em relação aos anteriores (Figura 44). Como possui dois postos de dobragem em eixos diferentes, isto obriga ao arame ser fixo alternadamente por cada um dos manipuladores.

Os manipuladores possuem pinças de fixação, assim como os postos de dobragem, para garantir uma melhor transição entre postos.

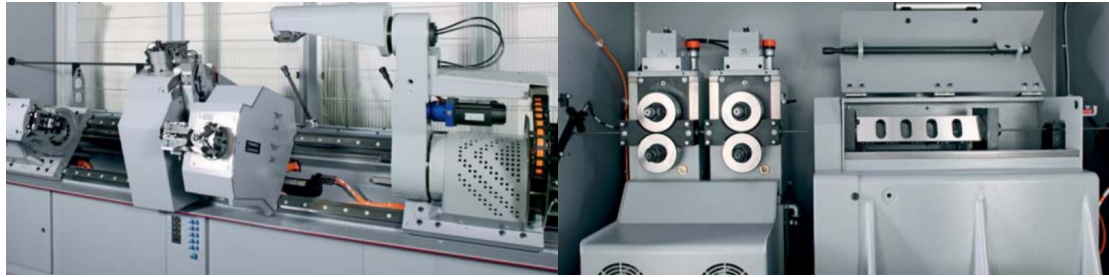


Figura 44 - Detalhes do equipamento BT 5.2

O equipamento Gemini (Figura 45) possui uma pinça de fixação central, e os cabeçotes de dobragem é que tem rotação em torno do eixo de dobragem e deslocamento no eixo X. A pinça de fixação também tem movimento em X, de modo a torná-lo mais versátil.



Figura 45 - Equipamento de dobragem Gemini 7

O posicionamento e a extração do arame são feitos através de dois *transfers* superiores, como podemos observar na Figura 46. Tem movimentação independente, para não limitar a movimentação das cabeças de dobragem.

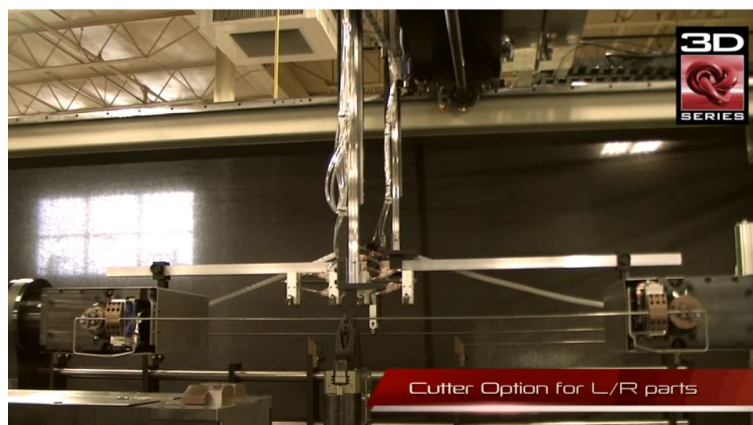


Figura 46-*Transfers* superiores da Gemini 7

O equipamento de dobragem 3D-CN-8-M (Figura 47), apresenta o conceito em que a cabeça de dobragem é fixa e o manipulador é que se desloca em X, mas tem a particularidade de apresentar só um eixo de rotação no manipulador e uma pinça de fixação bastante compacta.



Figura 47 - Equipamento de dobragem 3D-CN-8-M

4.2 Tempestade de ideias

4.2.1 Conceito 1

No conceito 1 (Figura 48) o arame é usado em bobina. O arame é puxado pelo sistema de arrasto e é alinhado pelo endireitador de rolos de dois planos. Após o arrasto, o arame é cortado pelo dispositivo de corte, que tem capacidade de movimentação para realizar várias medidas. Este fica fixo num sistema de pinças, pronto para ser recolhido pelo manipulador.

O manipulador tem a tarefa de, em simultâneo, recolher o arame do corte, colocar e retirar do primeiro sistema rotativo, colocar e retirar do segundo e, por fim, colocar na extração. O manipulador faz três movimentos: deslocamento vertical, deslocamento longitudinal e capta o arame com pinças pneumáticas.

Os postos de dobragem são acionados por servomotores no movimento de deslocação do posto, e no de dobragem. O sistema de rotação é fixo e também é acionado por servomotor.

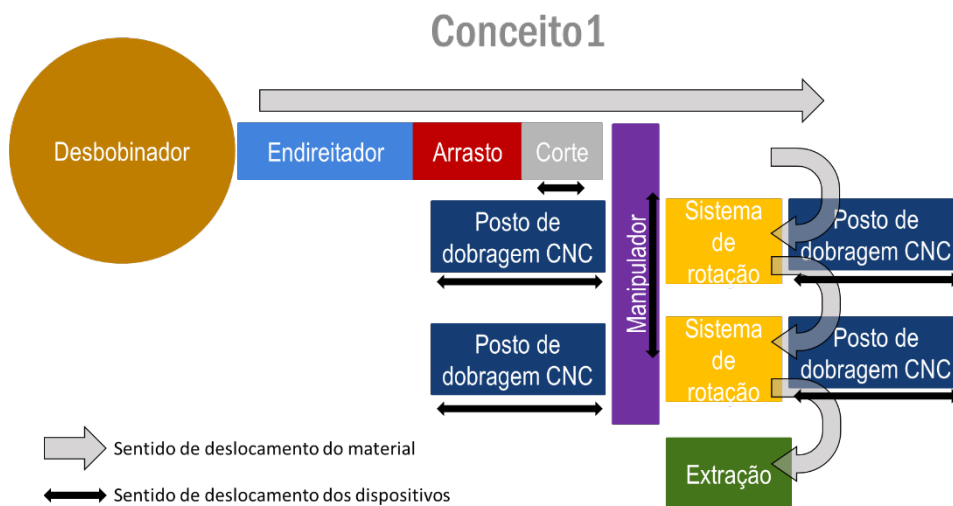


Figura 48 - Conceito 1

Como descrito anteriormente, o *transfer* funciona na parte superior do equipamento, como é possível observar na Figura 49.

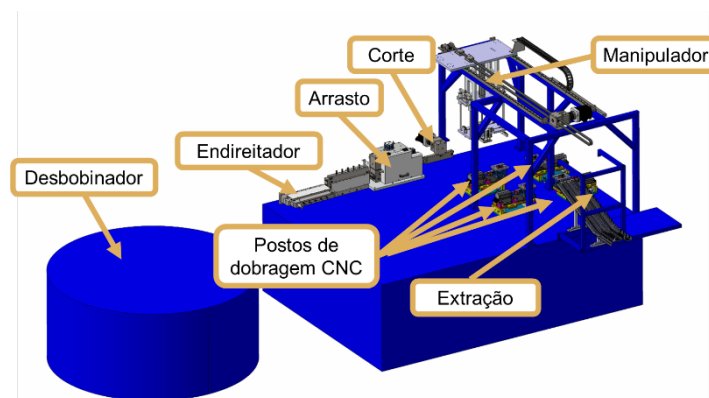


Figura 49 – Esboço do conceito 1

4.2.2 Conceito 2

No conceito 2 (Figura 50), até ao corte funcionaria da mesma forma que o conceito 1, depois o sistema de rotação é que vai captar o arame ao corte, e desloca-se para os postos de dobragem CNC. Estes postos de dobragem CNC seriam similares aos do conceito 1, sendo o sistema de rotação similar ao da Figura 47, mas o movimento de deslocamento do sistema, é do corte para a extração.

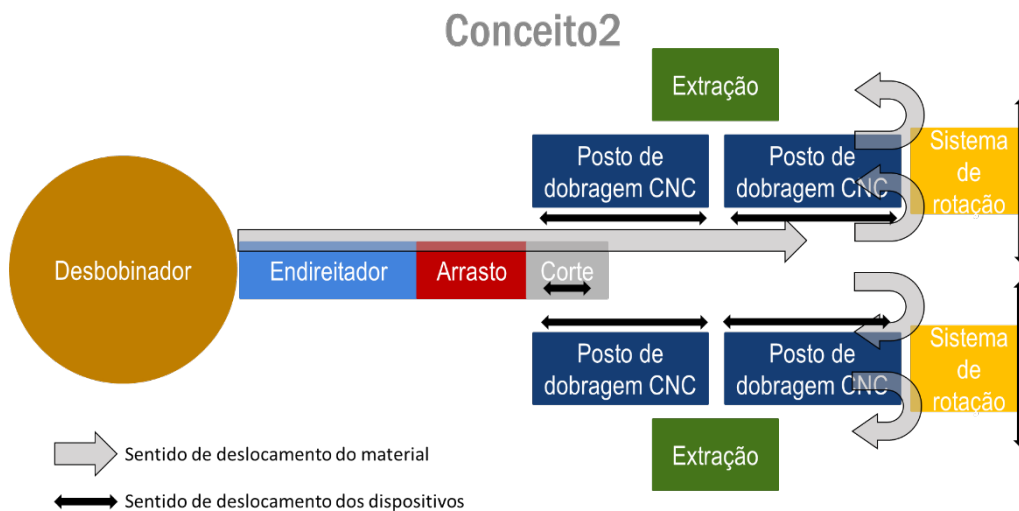


Figura 50 - Conceito 2

Este conceito permite fazer duas referências diferentes em simultâneo, o que se torna uma vantagem, visto que existem muitos projetos que usam referências de arame simétricas. Na conformação do arame, o sistema rotativo (como o da Figura 51) nunca larga o arame, introduzindo menos variação porque este, além da rotação, faz o transporte do arame entre postos.

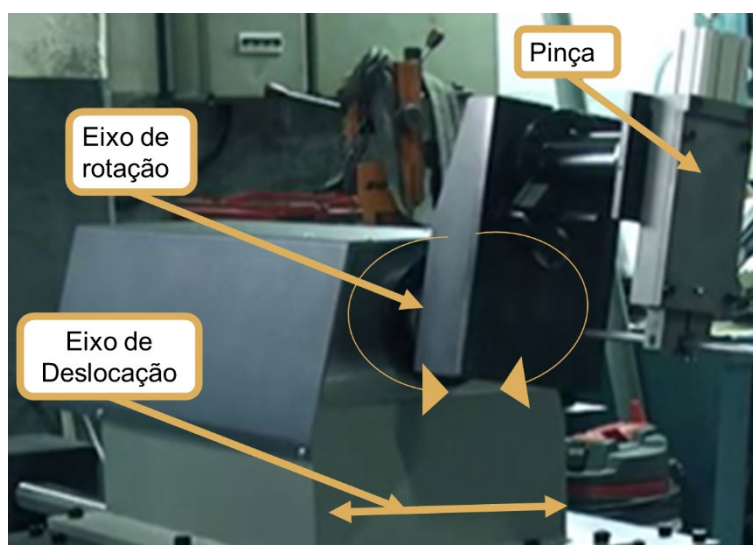


Figura 51 - Conceito 2 do sistema de rotação

4.2.3 Conceito 3

No conceito 3 (Figura 52), após o corte, o arame é depositado num *buffer*. O *buffer* de arame permite que o sistema de corte e o de dobragem trabalhem de forma independente. Consequentemente, também permite que o equipamento não tenha endireitador, arrasto e corte.

A alimentação do arame do *buffer* para o primeiro posto de dobragem, é executado através de alimentador de lâminas.

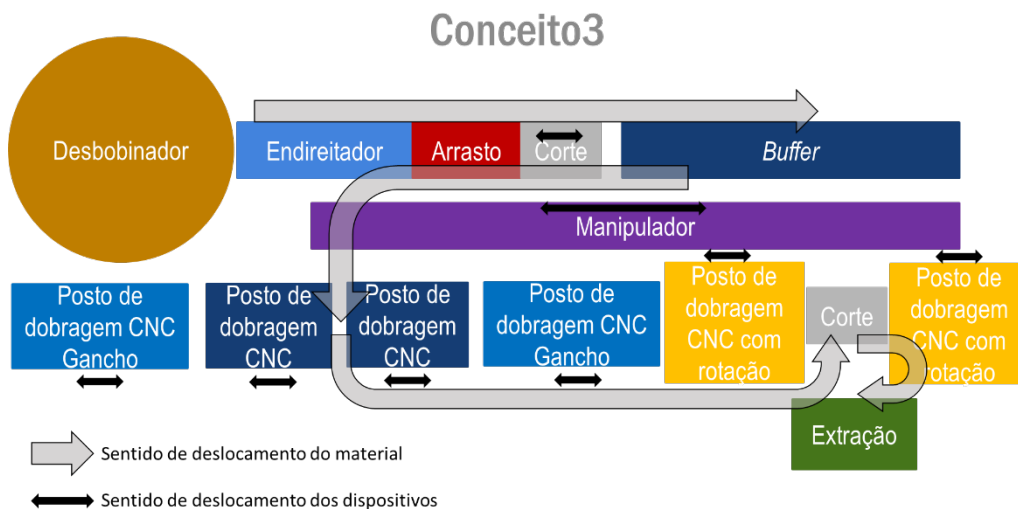


Figura 52 - Conceito 3

No primeiro posto de dobragem, serão conformados os ganchos e a pré-dobragem, visto que praticamente todos os modelos necessitam dessa conformação, como é possível ver na Figura 53. No segundo posto de dobragem, são executadas as dobragens planas. Após a dobragem plana, o arame é transferido para o posto de dobragem 3D. A transferência do arame para o posto 3D é executada com um manipulador acionado por um servomotor.

Após a conformação 3D, o arame conformado é cortado e é possível obter duas peças distintas, iguais ou simétricas. As peças finalizadas são posicionadas automaticamente na extração.

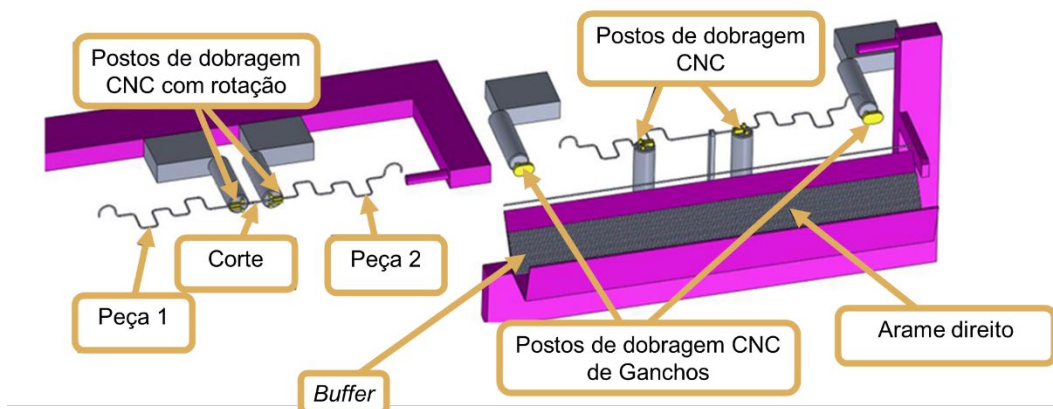


Figura 53 - Postos de dobragem relativos ao conceito 3

4.2.4 Conceito 4

O conceito 4 (Figura 54) é semelhante ao conceito 2, mas são acrescentados mais postos de dobragem para obter uma maior cadência. No posto central, é acrescentado um posto de dobragem do gancho e pré-dobragem, semelhante ao que usa a LATOUR. Após os postos de dobragem CNC, é acrescentado um posto de dobragem que faz as duas últimas dobragens centrais. Será semelhante ao último posto da LATOUR e ao da INOVMAQ TRANSFER.

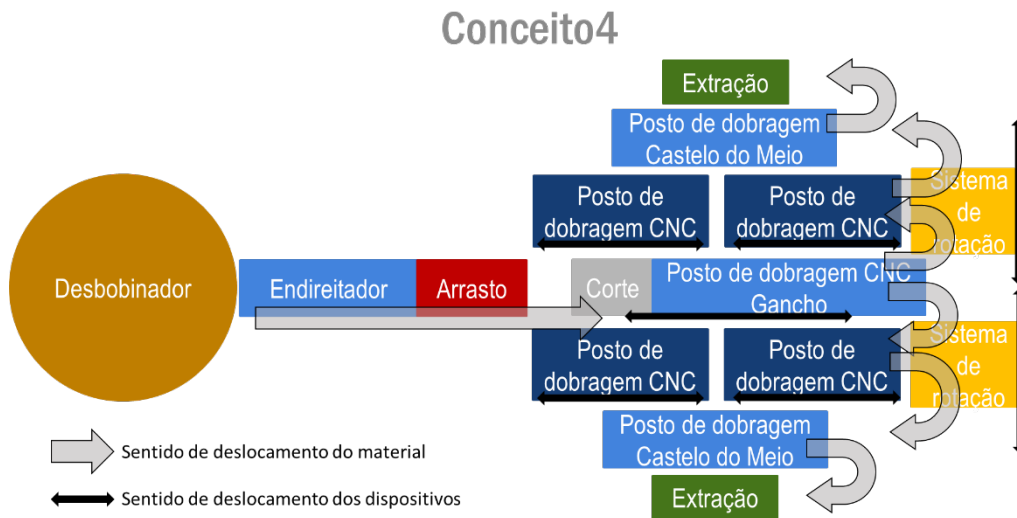


Figura 54 - Conceito 4

Com o objetivo de obter uma maior cadência, e também de ir de encontro ao tipo de arames que produzidos, são adicionados ao conceito 2 novos tipos de postos de dobragem como podemos observar na Figura 55. O posto do gancho é adicionado para facilitar a execução raios diferentes. O posto de dobragem do castelo do meio é adicionado para aumentar cadência pois retira dobras dos postos de dobragem CNC.

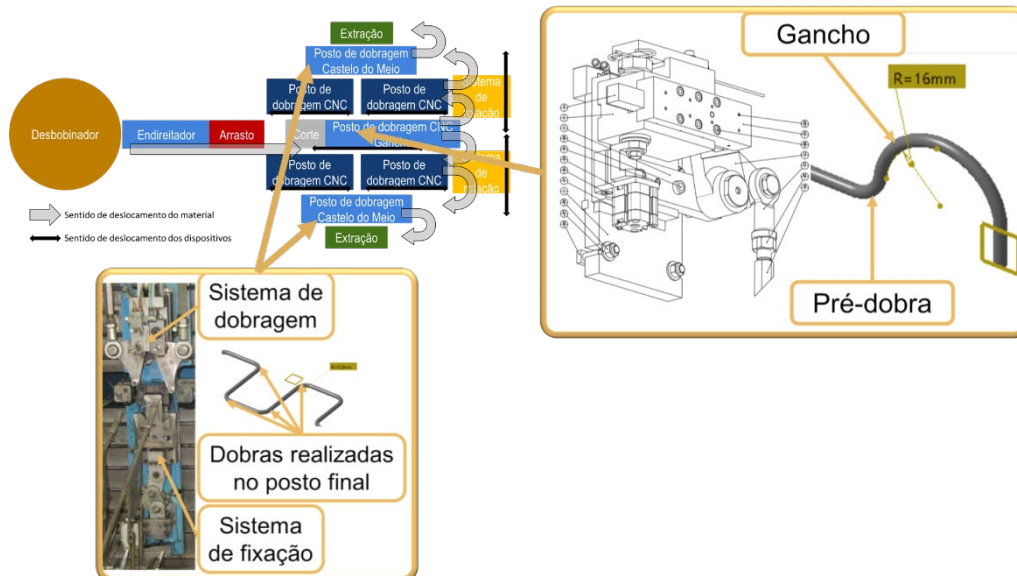


Figura 55 - Posto de dobragem adicionados no conceito 4

4.3 Análise SWOT e seleção do conceito

4.3.1 Análise crítica das possíveis soluções (SWOT)

Com a realização da tempestade de ideias, surgiram os quatro conceitos anteriormente descritos. Com vista a realizar uma escolha mais assertiva dos mesmos e identificar o mais viável, foi realizada uma análise SWOT. De seguida, são apresentadas as análises SWOT dos quatro conceitos.

Com a realização da análise SWOT do conceito 1 (Figura 56), um dos pontos fortes enumerado foi o custo do equipamento, pois dos conceitos em análise, este é o que apresenta menos dispositivos, e dispositivos menos complexos. A utilização de dispositivos já conhecidos também é um ponto forte, porque o endireitador, o arrasto e o corte seriam os dispositivos usados na linha do *suspension mat*, assim como o *transfer*. A saída do material conformado, neste conceito, é realizada por um único local. Este facto é relevante, pois permite uma maior facilidade de disposição dos equipamentos no *layout* da fábrica, uma vez que para este tipo de equipamentos, é um operador que faz a recolha das peças de três equipamentos.

Um ponto fraco deste conceito, é a necessidade de ter dois sistemas de rotação independentes. Isto vai implicar alterar os pontos de fixação do arame ao longo do processo produtivo, em dispositivos que alteram os planos de dobragem. Portanto, é muito mais fácil ter variação nos planos de dobragem aplicando este conceito.

Como possui um *transfer* que desloca o arame entre postos, este conceito permite de forma mais fácil que o número de postos para fazer outras operações possa ser aumentado. Uma das operações que poderia ser facilmente implementada seria o tratamento térmico por indução.

O sistema de rotação que é preciso desenvolver para este conceito, necessita ser robusto e compacto, para limitar o menos possível a distância entre as dobras centrais. O desenvolvimento deste sistema é uma das maiores ameaças neste conceito.

Strengths Pontos fortes	<ul style="list-style-type: none"> • Custo do equipamento • Utilização de vários dispositivos já conhecidos • Facilidade na disposição do equipamento no <i>layout</i> da fabrica, só tem uma saída de peças
Weaknesses Pontos fracos	<ul style="list-style-type: none"> • O arame é dobrado em dois postos diferentes, usando dois dispositivos de rotação também diferentes para o mesmo arame
Opportunities Oportunidades	<ul style="list-style-type: none"> • Permite aplicar dispositivos extras, por exemplo, um forno para tratamento térmico
Threats Ameaças	<ul style="list-style-type: none"> • Complexo sistema compacto de rotação • Limitação no tamanho entre as dobragens centrais • Realizar programa da consola com interface intuitiva

Figura 56 - Análise SWOT relativa ao conceito 1

Com a elaboração da análise SWOT do conceito 2 (Figura 57), os pontos fortes encontrados resolvem o ponto fraco do conceito 1. De facto, ao não largar o arame quando este é conformado, vai introduzir menor variação no arame. Outro ponto forte deste conceito é permitir distâncias entre as dobras centrais do arame reduzidas, o que resolve uma ameaça do conceito anterior. Este conceito também permite produzir duas referências em simultâneo. É um ponto forte, porque a maioria dos coxins utilizam referências de arame simétricas, logo permite uma maior facilidade no planeamento da produção.

Ao contrário do conceito 1, este possui duas saídas de peças em sentidos opostos, o que vai dificultar a disposição dos equipamentos para um melhor aproveitamento da mão de obra de recolha de peças.

Este conceito possui uma ameaça, que é desenvolver um conceito compacto e robusto da pinça do manipulador. Esta pinça é fundamental para a versatilidade das peças em produção, bem como para a fiabilidade do equipamento.

Strengths Pontos fortes	<ul style="list-style-type: none"> • Não larga o arame a conformar, induzindo menor variação • Produz duas referências em simultâneo • Permite produzir distâncias entre dobragens centrais com comprimento reduzido
Weaknesses Pontos fracos	<ul style="list-style-type: none"> • Disposição em <i>layout</i> mais complicada, pois tem duas saídas de peças
Opportunities Oportunidades	<ul style="list-style-type: none"> • Permite aplicar dispositivos extras, por exemplo, um forno para tratamento térmico
Threats Ameaças	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento de uma pinça robusta e compacta • Realizar programa da consola com interface intuitiva

Figura 57 - Análise SWOT relativa ao conceito 2

Com a elaboração da análise SWOT do conceito 3 (Figura 58) constata-se que, tal como no conceito anterior, este apresenta uma elevada cadência e a possibilidade de produzir duas peças simétricas em simultâneo, revelando-se estes os dois pontos mais fortes deste conceito. No entanto, este conceito implica várias manipulações na dobragem do arame, o que vai introduzir uma maior possibilidade de variação nos planos e comprimento do arame. Por outro lado, este conceito também implica um corte no final da conformação do arame, com vista a obter as duas peças finais. A operação de corte pode implicar desperdício de material, dependendo da configuração da peça, revelando-se estes como pontos fracos do conceito.

Este conceito apresenta duas grandes ameaças, que são o desenvolvimento do dispositivo de dobragem com rotação, para permitir a execução de vários planos na dobragem do arame, e o dispositivo de corte final, pois este necessita ser bastante compacto para permitir a execução de vários tipos de peças.

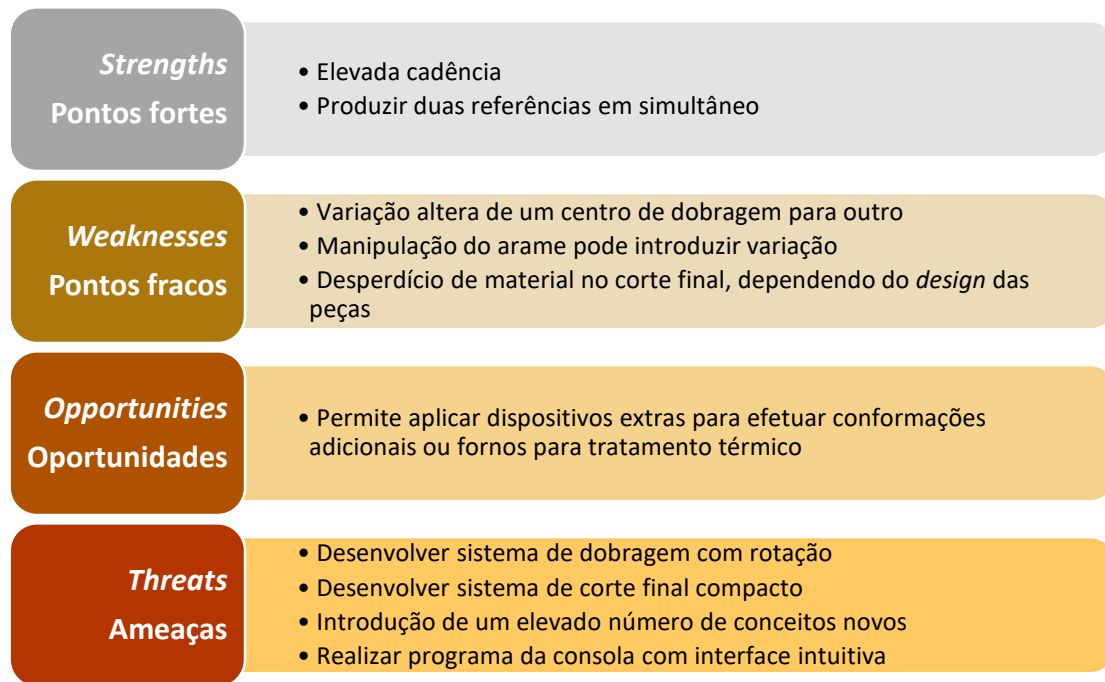


Figura 58 - Análise SWOT relativa ao conceito 3

Por fim, na análise SWOT do conceito 4 (Figura 59), apresenta um ponto fraco que é o elevado número de diferentes dispositivos de dobragem, obrigando a um maior desenvolvimento. Isto acontece, dado que este conceito tem por base o conceito 2, mas acrescenta mais dispositivos de dobragem que são: o dispositivo de dobragem da pré-dobra e gancho, e o dispositivo da dobra final. Estes dispositivos vêm acrescentar uma maior produtividade do equipamento em relação ao conceito 2, pois permite um maior desdobramento das operações de dobragem.

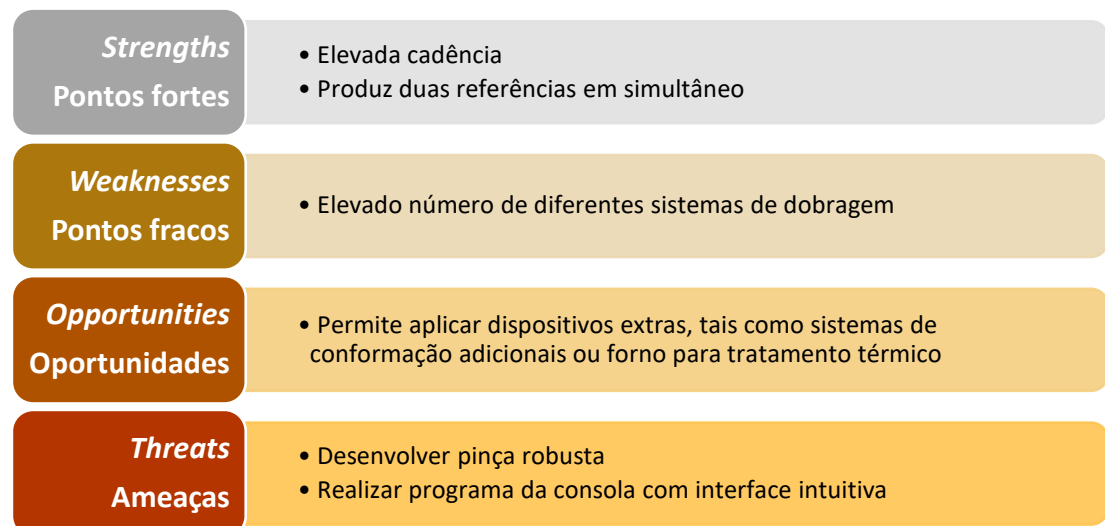


Figura 59 - Análise SWOT relativa ao conceito 4

Com a realização destas análises destaca-se o conceito 4, pois os pontos fortes sobrepõem-se aos outros conceitos e o ponto fraco encontrado reduz-se apenas a uma dificuldade acrescida no projeto. Ainda assim, para ter uma melhor tomada de decisão a nível quantitativo, de seguida será apresentada a matriz de seleção dos conceitos.

4.3.2 Matriz de seleção da melhor opção

Para orientar o processo de seleção das diferentes soluções, foi desenvolvida uma matriz de seleção. Esta ferramenta de comparação agiliza as tomadas de decisão tendo por base critérios concretos, assim como o nível de importância de cada um. Por fim, a opção que atingir o índice de desempenho mais elevado, é geralmente a escolhida. Os vários critérios de avaliação escolhidos foram os seguintes:

1. Variação do arame (variação nos planos e comprimentos de dobragem);
2. Produtividade (número de peças por hora);
3. Flexibilidade (permitir produzir a maioria dos tipos de arame);
4. Custo ferramentas dedicadas;
5. Custo de construção;

Primeiro definiu-se a importância relativa. Para tal, recorreu-se à Tabela 14

Tabela 14 - Critérios de importância relativa

Critérios de importância relativa	
1	
2	Menos importante do que
3	
4	
5	Tão importante como
6	
7	
8	
9	Mais importante do que
10	

Os valores da Tabela 15 foram atribuídos com base nos principais critérios. Com os resultados obtidos, conclui-se que a variação do arame é o critério que tem maior peso, logo seguida pela flexibilidade do arame, como esperado.

Tabela 15 - Comparação entre os diferentes critérios de avaliação

Critérios de Avaliação	1	2	3	4	5
1 Variação do arame	-	5	5	3	3
2 Produtividade	5	-	7	3	3
3 Flexibilidade	5	10	-	3	3
5 Custo de ferramentas dedicadas	10	10	8	-	5
6 Custo de construção	10	10	8	8	-
Somatório	30	35	28	17	14
Pesos	0,24	0,28	0,23	0,14	0,11
Pesos (Porcentagem)	24	28	23	14	11

Depois de conhecer o peso de cada critério, foi necessário fazer uma quantificação em quatro níveis, conforme descrito na Tabela 16.

Tabela 16 - Escala de pontuação dos diferentes critérios de avaliação

Critérios de Avaliação	Pontuação a utilizar na matriz final de seleção			
	1	2	3	4
Variação do arame	Muita variação	Pontuação subjetiva		Pouca variação
Produtividade	400 a 600 p/h	600 a 700 p/h	700 a 800 p/h	800 a 1000 p/h
Flexibilidade	Pouco flexível	Pontuação subjetiva		Adaptação fácil e rápida a diferentes produtos
Custo de ferramentas dedicadas	Alto custo	Pontuação subjetiva		
Custo de construção	Alto custo	Pontuação subjetiva		

Com os resultados obtidos na matriz de seleção, Tabela 17, conclui-se que o conceito 4 apresenta um melhor índice de desempenho. Por consequência, foi a opção tomada para o projeto.

Tabela 17 - Matriz final de seleção

Critérios de Avaliação	Pesos	Conceito 1		Conceito 2		Conceito 3		Conceito 4	
		Pontos	PxP	Pontos	PxP	Pontos	PxP	Pontos	PxP
Varição do arame	0,24	2	0,48	4	0,97	2	0,36	4	0,72
Produtividade	0,28	1	0,28	1	0,28	3	0,52	4	0,52
Flexibilidade	0,23	2	0,45	4	0,90	2	0,45	4	0,6
Custo ferramentas dedicadas	0,14	4	0,55	4	0,55	3	0,24	3	0,36
Custo de construção	0,11	4	0,45	3	0,34	2	0,39	2	0,39
Somatório		2,22		3,04		2,42		3,64	
Índice de desempenho		0,20		0,27		0,21		0,32	
Classificação		4º		2º		3º		1º	

A produtividade é uma propriedade muito importante para este projeto, com vista a poder reduzir o preço por peça. Os dois primeiros conceitos classificados na matriz de seleção são diferenciados por esta propriedade. Isto deve-se ao facto de estes conceitos serem bastante similares, e só se diferenciarem pelo número de postos de dobragem. O conceito que apresenta mais postos de dobragem apresenta muito melhor produtividade.

4.4 Descrição detalhada do conceito

Como evidenciado no capítulo anterior, o conceito 4 foi o escolhido. De seguida, é feita uma descrição mais detalhada do conceito selecionado. Como a maioria dos conceitos, este equipamento tem desbobinador, endireitador de planos e arrasto, como podemos observar na Figura 60. Neste conceito, o equipamento pode ser dividido em três grandes grupos de subconjuntos, como é possível observar na Figura 61. Os grupos são os seguintes:

- Posto central;
- Posto esquerdo;
- Posto direito.

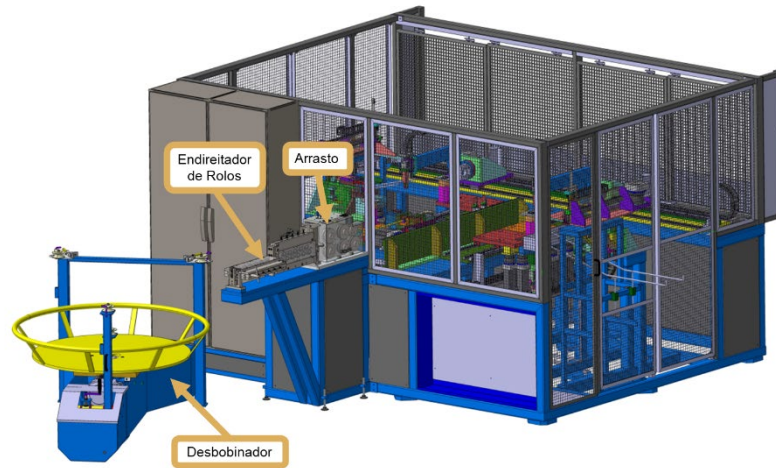


Figura 60 - Equipamento de dobragem de arame, novo conceito

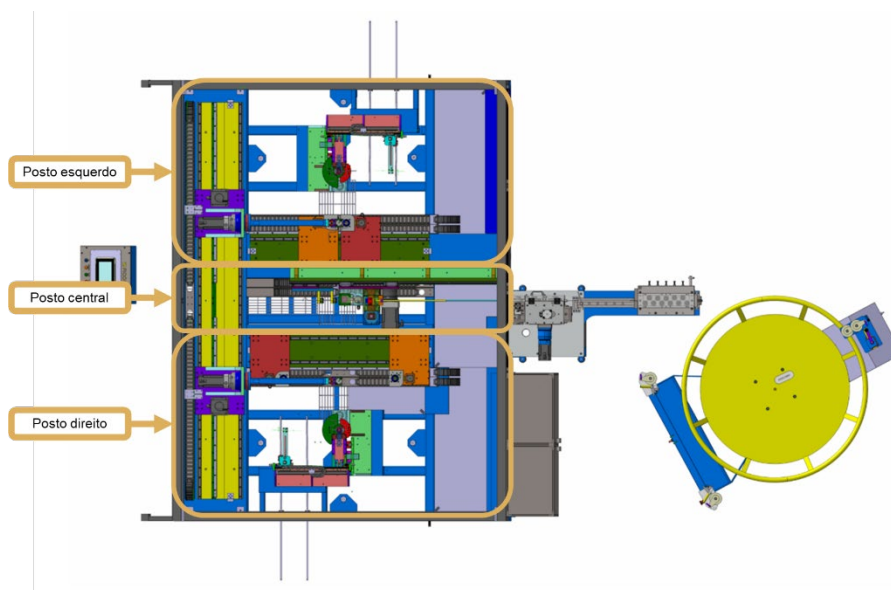


Figura 61 - Layout do equipamento de dobragem

No posto central (Figura 62), é feita a alimentação da matéria-prima em bobina, evitando assim usar ocupação de DORCAS e a existência de *stocks* intermédios. No posto central, a bobina é colocada no desbobinador, onde é desbobinada com uma tensão constante. O arame é tracionado pelo sistema de arrasto, obrigando-o a desbobinar e a endireitar. O alinhamento do arame, é feito na passagem pelo endireitador de rolos de dois planos. A seguir ao arrasto, o arame passa pelo sistema de corte e chega à ferramenta do gancho, onde se realiza a dobragem do gancho e da pré-dobragem. Com estas operações realizadas, é alimentado mais arame até estar na sua posição de corte. Estando na posição de corte, são acionadas as garras de apoio e logo de seguida o corte é executado. Por fim, o dispositivo Gancho+Pré-dobra+Corte recua, e o arame fica disponível para as operações seguintes. Os dispositivos que constituem o posto central são:

- Dispositivo Gancho+Pré-dobra+Corte
- Garras de apoio

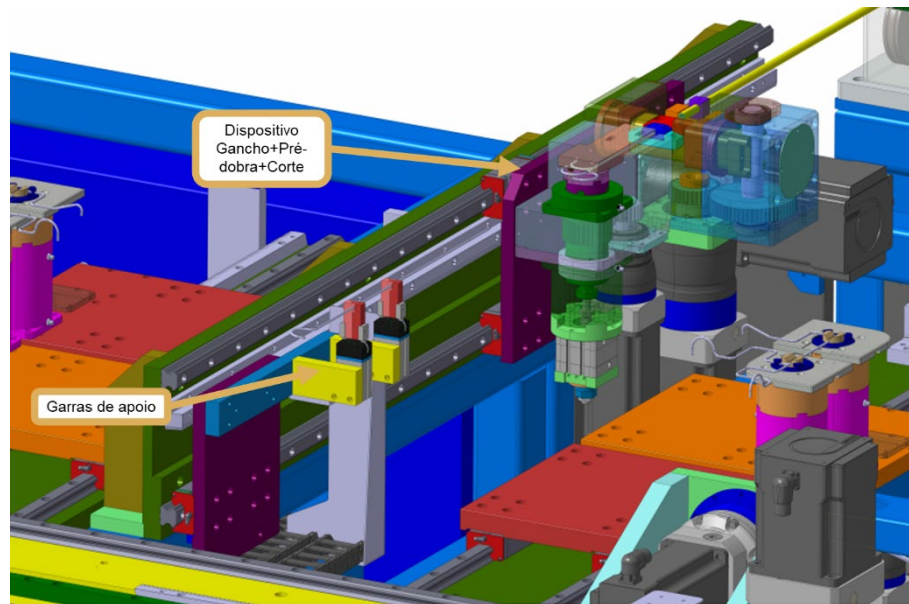


Figura 62 - Posto central

O arame disponível no posto central, é recolhido pelo manipulador do lado esquerdo ou pelo do lado direito (Figura 63). De seguida, este desloca-se para os dispositivos de dobragem CNC. Aqui são realizadas várias dobragens, sempre com o arame fixo no manipulador. Com as dobragens realizadas, desloca-se para o dispositivo do castelo do meio. O arame é fixo neste dispositivo e são realizadas as dobras centrais do arame. Por fim, o sistema de extração retira o arame conformado, e dispensa-o nas rampas de saída do equipamento.

Os dispositivos que constituem o posto esquerdo e direito são:

- Dispositivo de dobragem CNC;
- Dispositivo do castelo do meio;
- Manipulador;
- Extração.

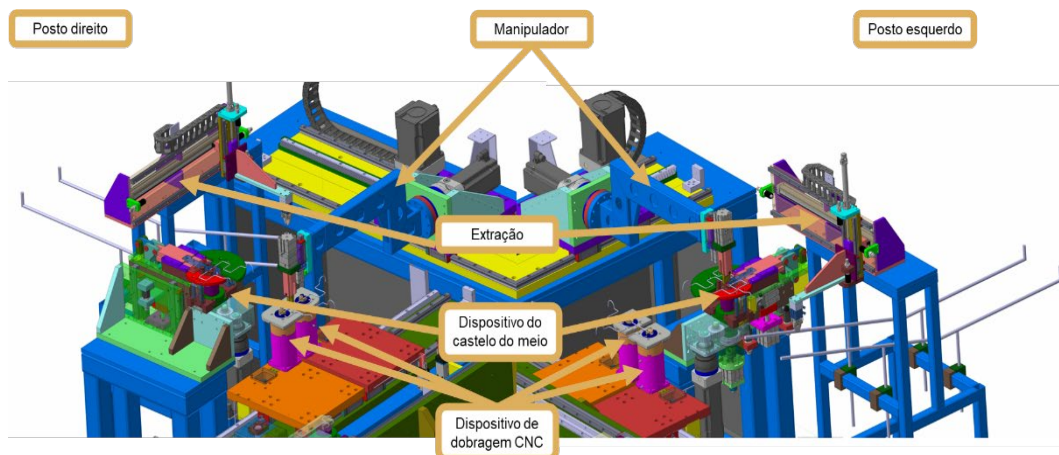


Figura 63 - Posto esquerdo e direito

O equipamento tem capacidade de dobrar arame de 3 a 4 mm, com um comprimento máximo de 1100 mm. O arame é dispensado pelos dois lados do equipamento, como se pode observar na Figura 64.

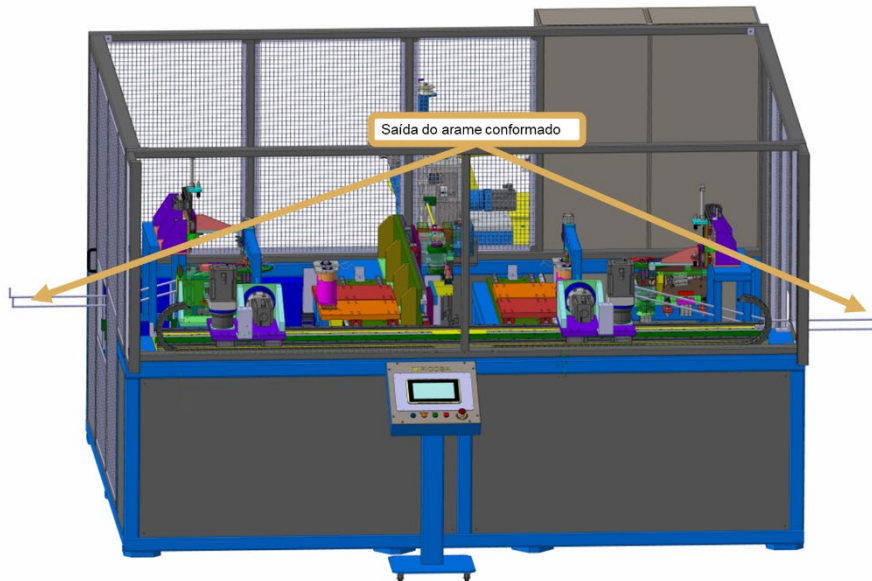


Figura 64 - Saída de arame conformado do equipamento

4.5 Descrição dos subconjuntos

O desbobinador (Figura 65), desenvolvido especificamente para o equipamento de dobragem, tem por base os utilizados na FicoCables, em especial os utilizados na ROBOMAC 206. Este é capaz de suportar bobinas até 3000 kg.

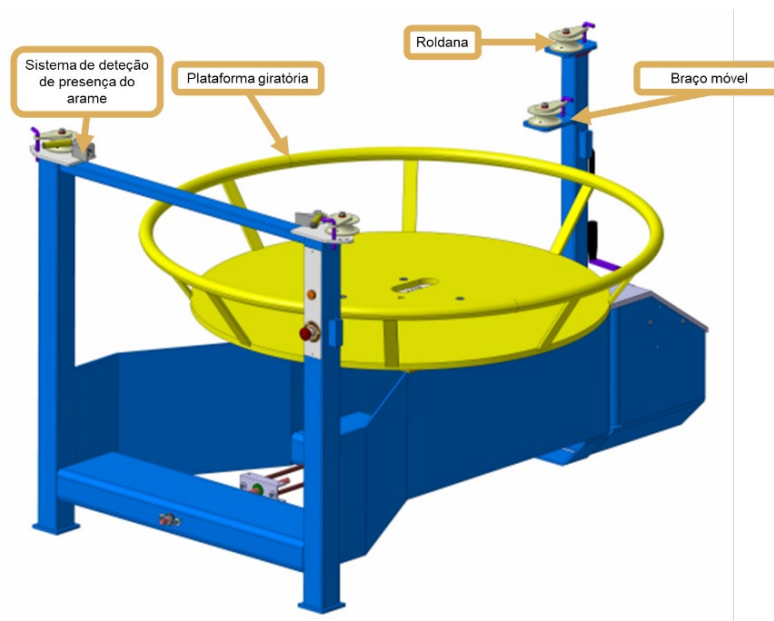


Figura 65 - Desbobinador do equipamento de dobragem

O braço móvel (Figura 66), é responsável por manter uma tensão constante de desenrolamento da bobina de arame. Para garantir a tensão constante de desenrolamento, possui dois sistemas, os fins de curso para ativar ou desativar o motor da plataforma giratória, e um sistema de molas responsável pela tensão do braço.

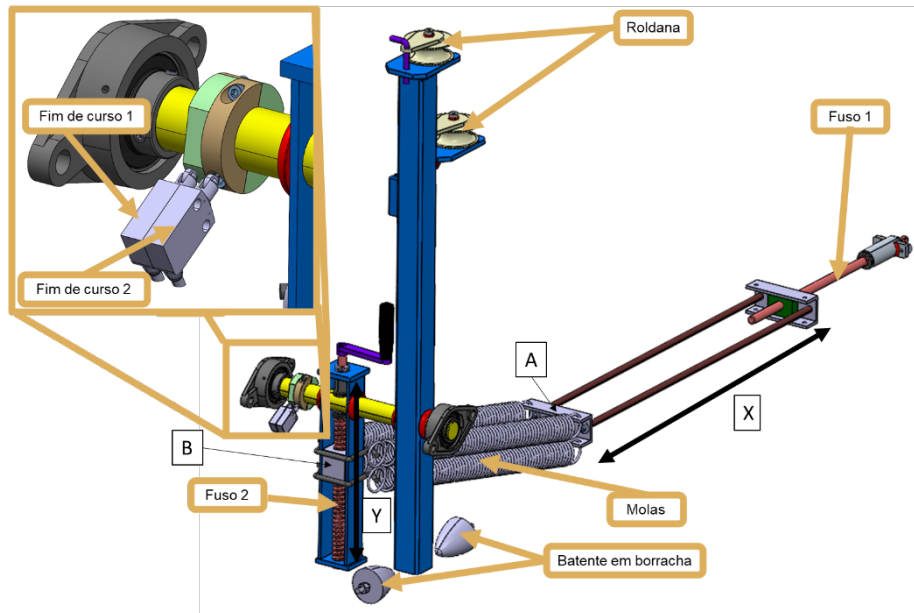


Figura 66 - Braço móvel do desbobinador de arame

O sistema de molas permite alterar a tensão destas no braço, através de dois fusos de afinação. O Fuso 1 desloca a peça A em X, enquanto o Fuso 2 desloca a peça B em Y. Estas diferentes posições das peças A e B conferem tensões diferentes ao braço.

O eixo de rotação do braço móvel possui duas peças que ativam o fim de curso 1 e 2 respectivamente. O fim de curso 1 é responsável por dar a ordem de ligar e desligar o motor da plataforma giratória, enquanto o fim de curso 2 é responsável por dar a ordem de parar o arrasto do equipamento de dobragem. A ordem de parar o arrasto é essencial à segurança, pois caso haja uma prisão do arame ao desbobinar, o desbobinador não é arrastado. O braço possui também dois batentes de fim de curso em borracha, que limitam a amplitude do movimento do braço.

A plataforma giratória aperta na peça A, que tem a função de proteger os utilizadores do movimento da roda de coroa e do pinhão. Por sua vez, a peça A aperta diretamente na roda de coroa, que tem a capacidade de suportar o peso de bobinas até 3000 kg. A roda de coroa é acionada por um pinhão, através de um conjunto motor e redutor. Na Figura 67, é apresentada uma vista explodida do sistema.

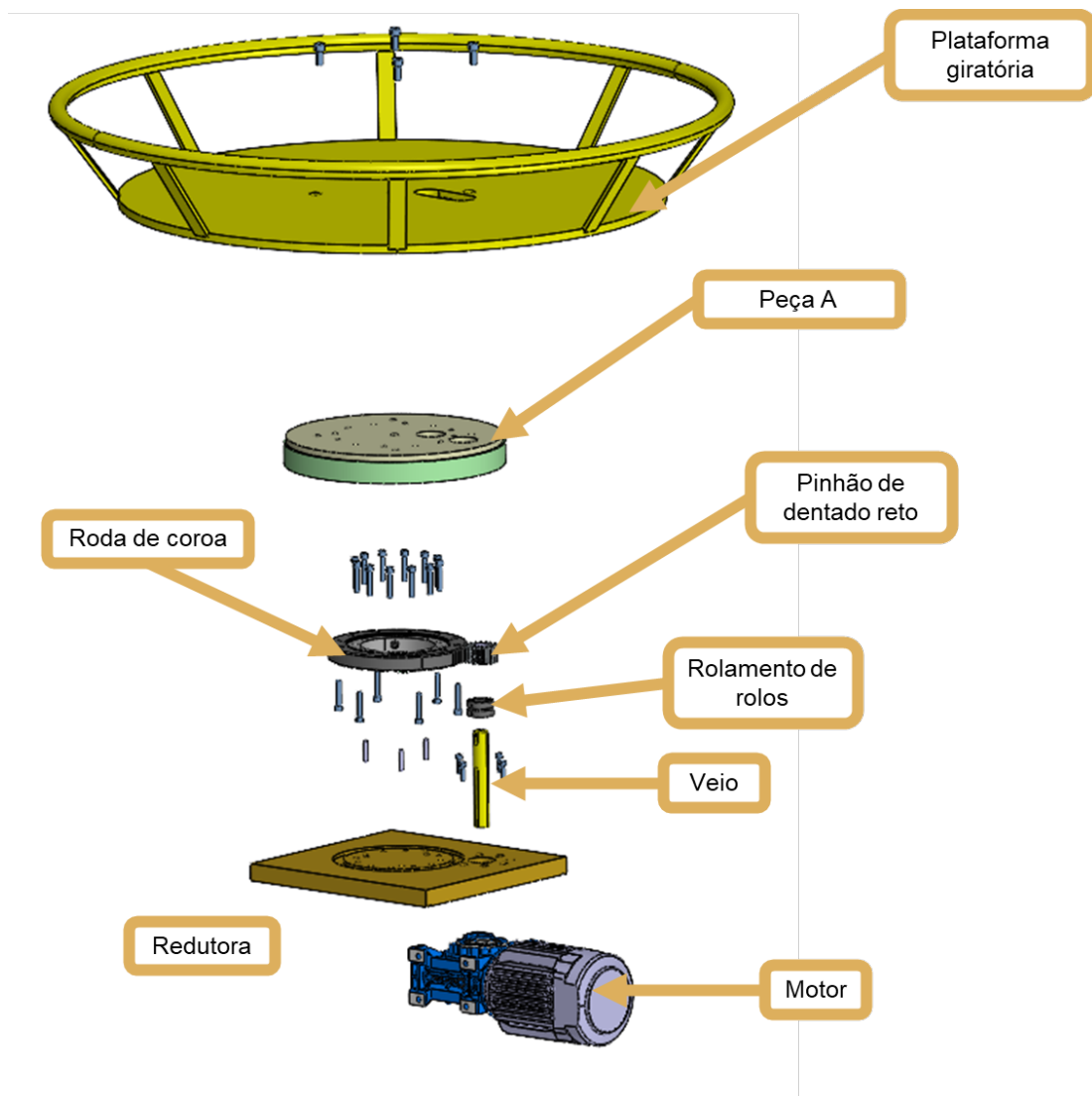


Figura 67 - Vista explodida do sistema da plataforma giratória

O endireitador utilizado (Figura 68), foi previamente desenvolvido para uma linha de *Suspension Mat* que usa dois planos com onze roletes em cada. A entrada do plano horizontal possui dois roletes que guiam o arame, não provocando qualquer deformação. A afinação do rolete é executada por um parafuso, que força o rolete contra o arame. A única alteração feita no endireitador desenvolvido teve lugar nos roletes. Estes têm de ter um canal capaz de apoiar arames de 3 a 4 mm de diâmetro, ficando com um canal de 4,5 mm.

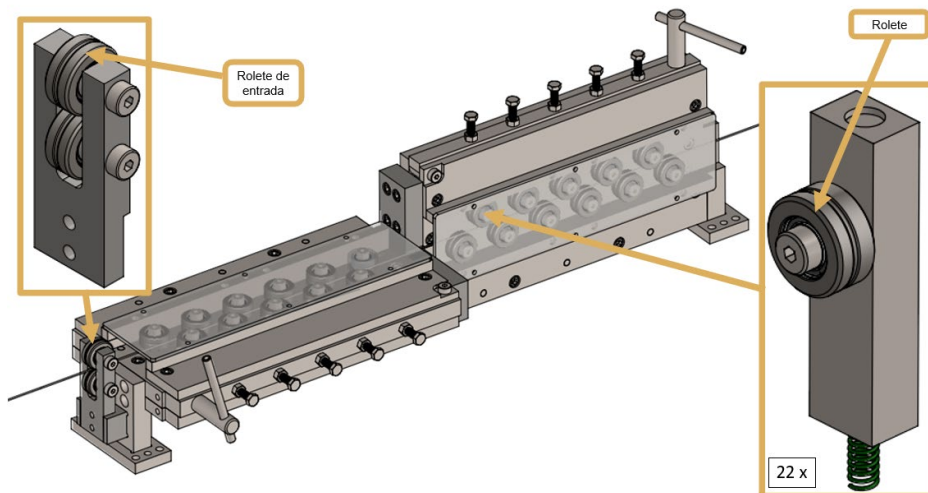


Figura 68 - Endireitador do equipamento de dobragem

O arrasto utilizado (Figura 69), assim como no endireitador, foi um dispositivo previamente desenvolvido para uma linha de *Suspension Mat*, que usa quatro rodas de arrasto acionadas por um servomotor. Possui um *encoder* que mede o arame alimentado, minimizando as variações no corte por escorregamento. A pressão das rodas de arrasto é dada pelos parafusos posicionados na parte superior. A única alteração feita no arrasto desenvolvido foi nas guias e rodas de arrasto. As guias têm de ter um canal capaz de passar arames de 3 a 4 mm de diâmetro, ficando com um canal de 4,5 mm. Já as rodas de arrasto têm de ter um canal de 3,4 mm de diâmetro, igual ao diâmetro do arame a produzir no equipamento

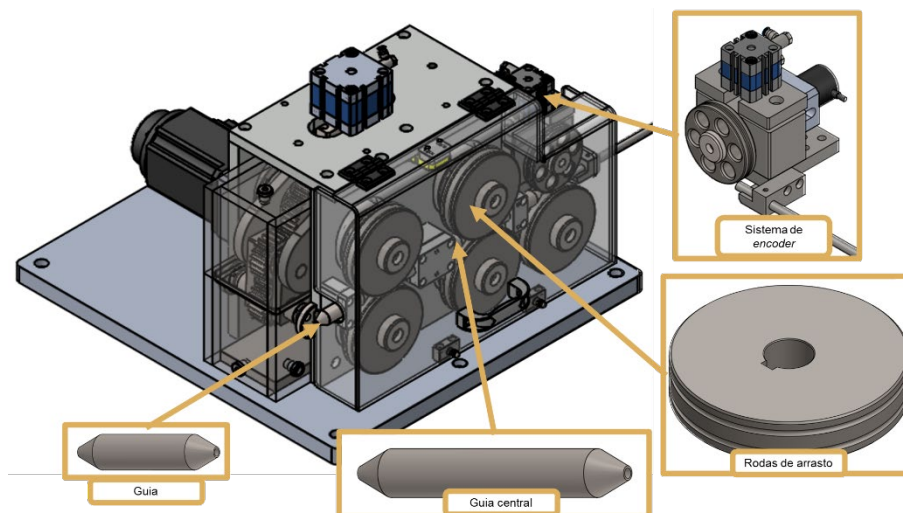


Figura 69 - Arrasto do equipamento de dobragem

O dispositivo Gancho + Pré-dobra + Corte pode-se dividir em três sistemas, que são: o sistema de deslocamento do dispositivo, o de corte e o de dobragem do gancho e pré-dobragem, como pode ser observado na Figura 70.

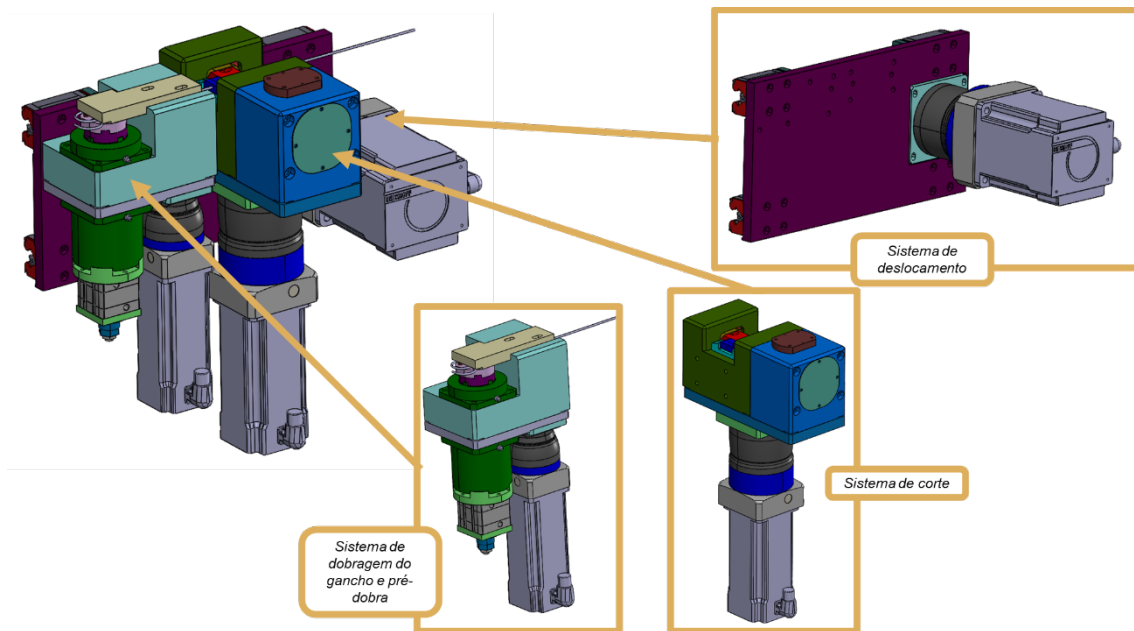


Figura 70 - Dispositivo Gancho + Pré-dobra + Corte

No sistema de deslocamento (Figura 71), a base principal assenta em quatro patins. No movimento linear do conjunto é usado o mecanismo pinhão cremalheira helicoidal. O pinhão é acionado por um conjunto redutor - servomotor.

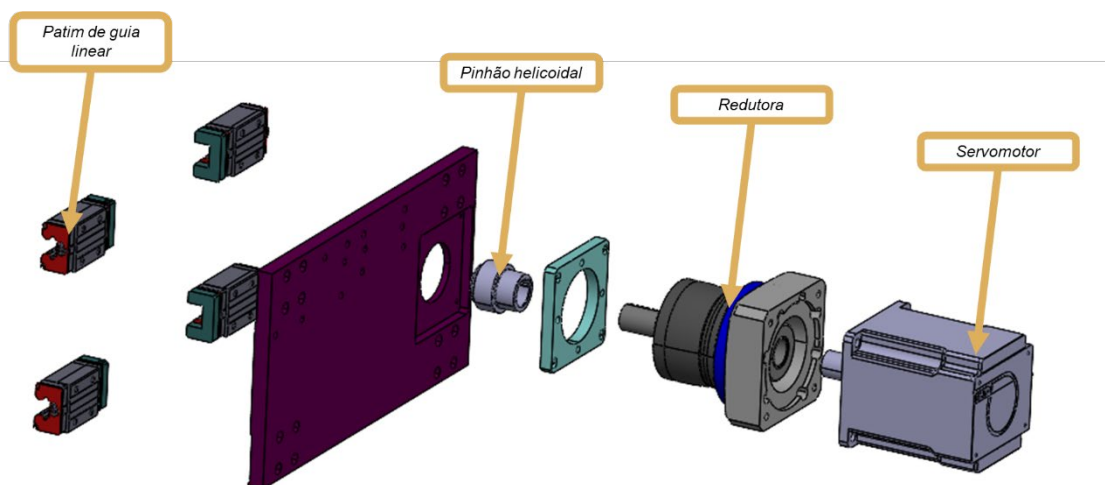


Figura 71 - Sistema de deslocamento do dispositivo Gancho+Pré-dobra+Corte

O sistema de corte (Figura 72) é acionado por um servomotor com o objetivo de ser o mais compacto possível e ter força suficiente para cortar arame de 5 mm de diâmetro. Para tal, a caixa redutora tem três níveis de redução, mais concretamente a redução da caixa redutora, da roda dentada 2 para a roda dentada 1 e a do apoio da lâmina para o veio excêntrico. A rotação do excêntrico provoca o movimento do apoio da lâmina. A configuração da lâmina e da contra lâmina é semelhante à usada na ROBOMA 206.

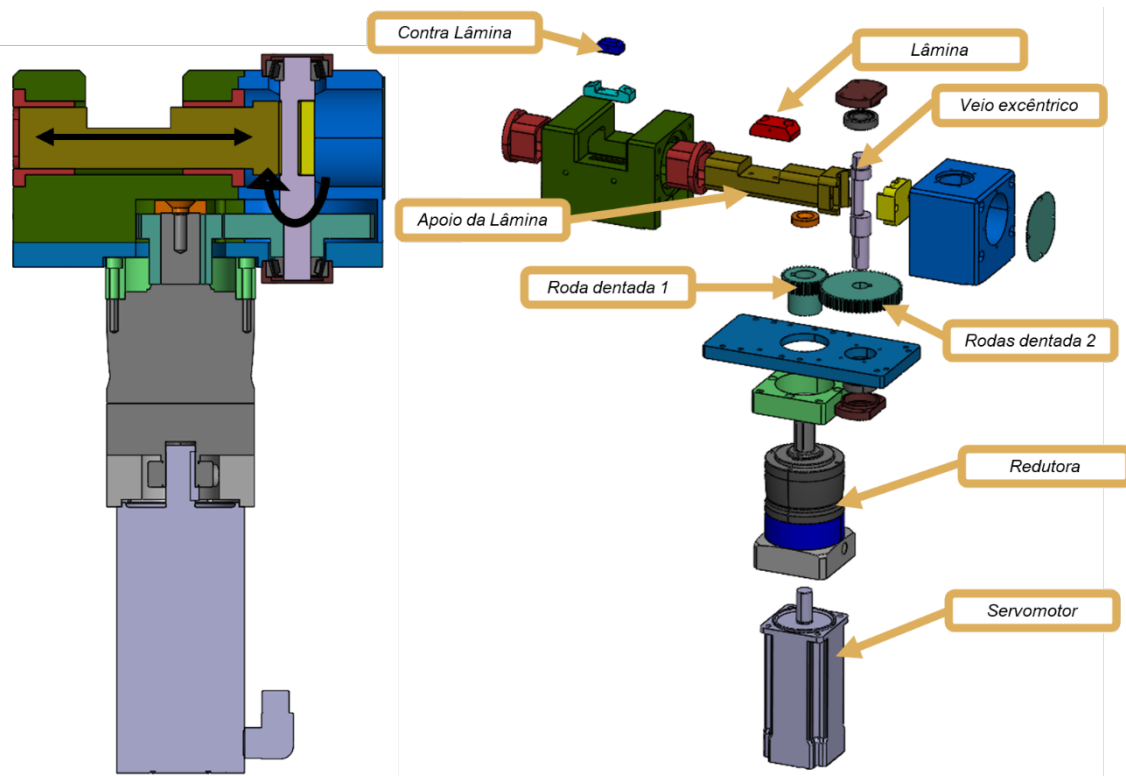


Figura 72 - Sistema de corte do dispositivo Gancho+Pré-dobra+Corte

No sistema de dobragem do gancho e pré dobra, o movimento de rotação da ferramenta é acionado por servomotor, e o movimento de subida e descida por um cilindro pneumático. A sequência de dobragem do posto é a seguinte: realiza-se o gancho, recua a ferramenta, é alimentado arame, sobe a ferramenta e, por fim, faz a pré dobragem, como pode ser observado na Figura 73.

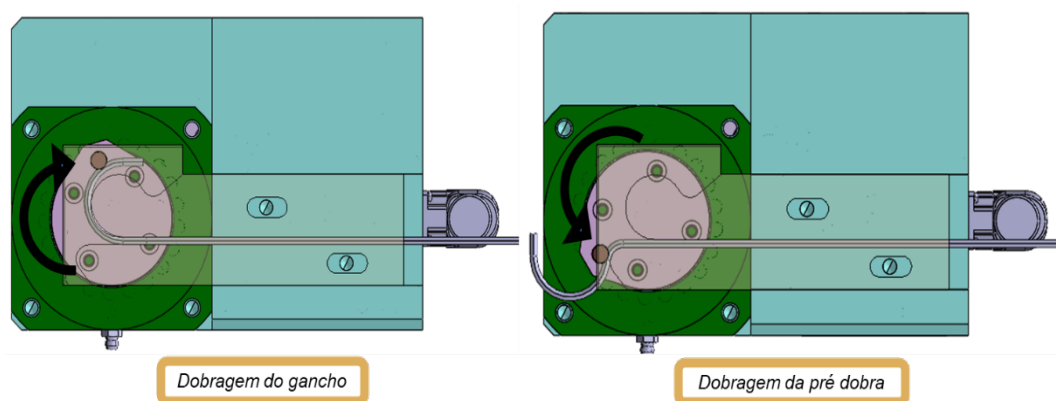


Figura 73 - Sequência de dobragem do sistema de dobragem do gancho e pré-dobra

As reduções usadas na caixa redutora e nas rodas dentadas, são as mesmas que são usadas nos equipamentos de dobragem INOVMAQ TRANSFER, que são capazes de dobrar arames de 3 a 4 mm de diâmetro. Os rolamentos de rolos usados, além do movimento de rotação, permitem o movimento de deslizamento do veio, essencial para esta aplicação.

O cilindro pneumático utilizado é de dupla haste, o que permite ter a afinação na parte inferior do dispositivo, assim como o batente estar a atuar no eixo do cilindro. Todos estes pormenores podem ser observados na Figura 74. A ferramenta de dobragem e a respetiva placa superior, são similares ao dispositivo de dobragem do gancho da LATOUR.

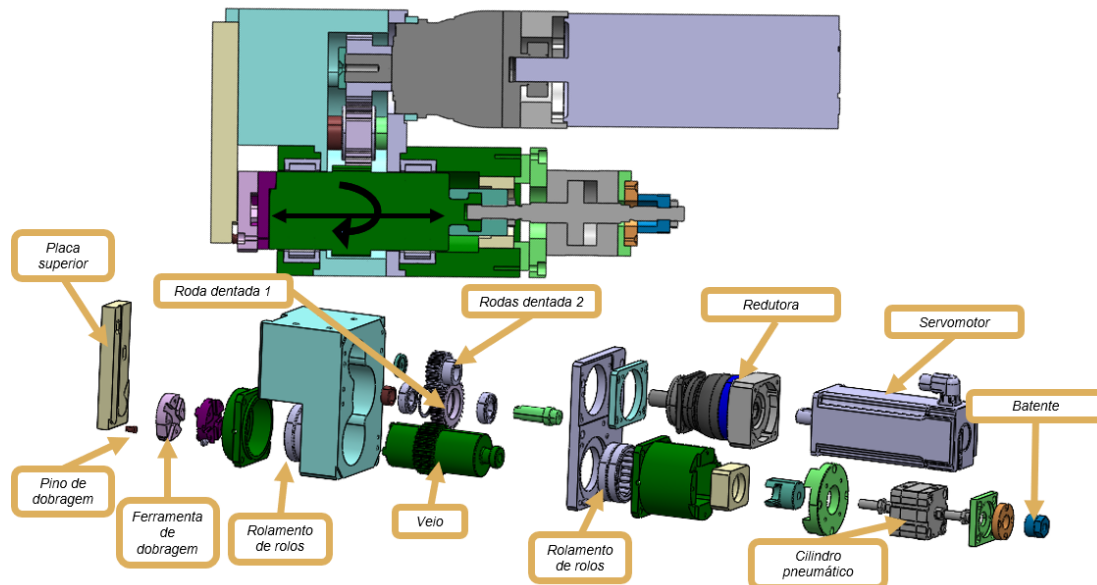


Figura 74 - Vista explodida do sistema de dobragem do gancho e pré dobra

As garras de apoio (Figura 75), têm a função de fixar o arame com o gancho e a pré dobragem já executados, de modo a ser recolhido pelo manipulador. As pinças utilizadas são pneumáticas angulares, o que permite ter mais espaço livre quando abrem, para evitar colisões com o arame.

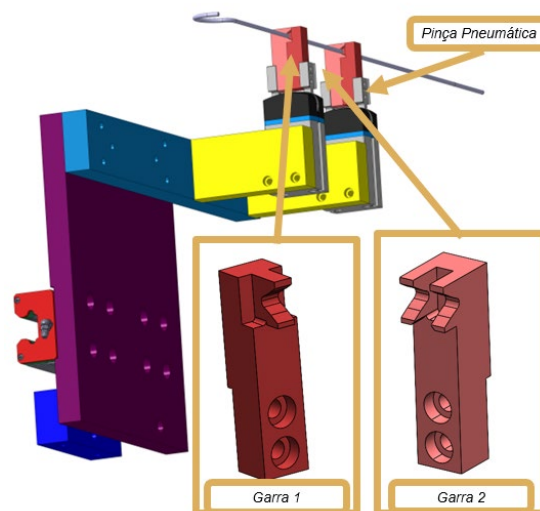


Figura 75 - Garras de apoio do posto central

O manipulador (Figura 76) possui um servomotor para deslocar o conjunto e um servomotor para rodar o braço que sustenta a pinça. O deslocamento do conjunto é realizado através do mecanismo de pinhão cremalheira helicoidal. O sistema de rotação do braço usa uma caixa redutora de flange, para o sistema ser o mais compacto e robusto possível.

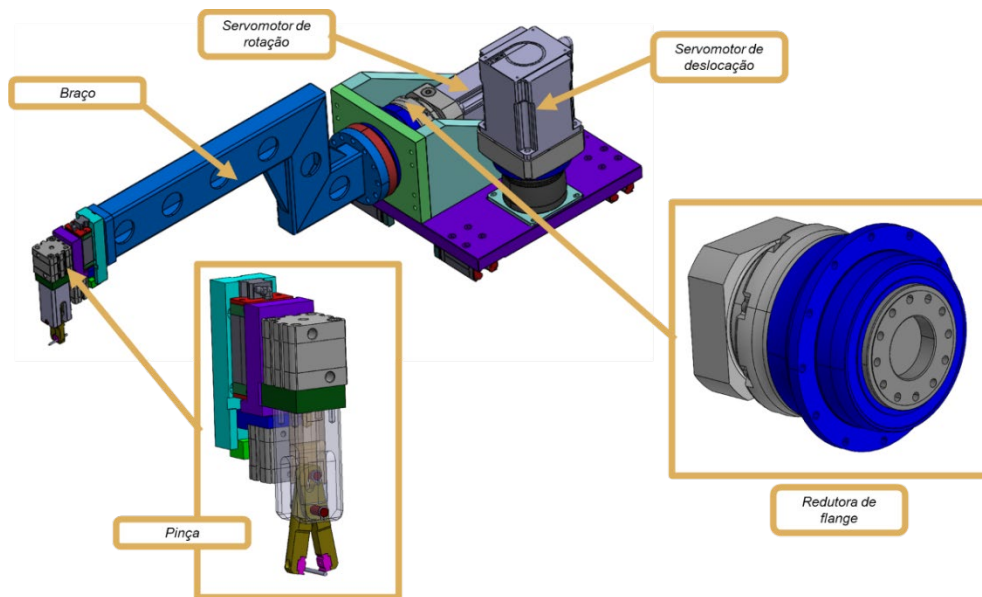


Figura 76 - Manipulador do equipamento de dobragem

No sistema de abertura e fecho da pinça (Figura 77), de modo a ser mais compacto e robusto, os braços possuem rasgos onde se desloca a guia fixa no veio, o qual está solidário com o cilindro pneumático. A pinça também possui movimento de subir e descer, para poder retirar o arame das ferramentas de dobragem. A Peça A (Figura 77), que sustenta o cilindro pneumático da subida e descida, possui afinação em altura para facilitar a afinação da pinça no momento da captura do arame no posto central.

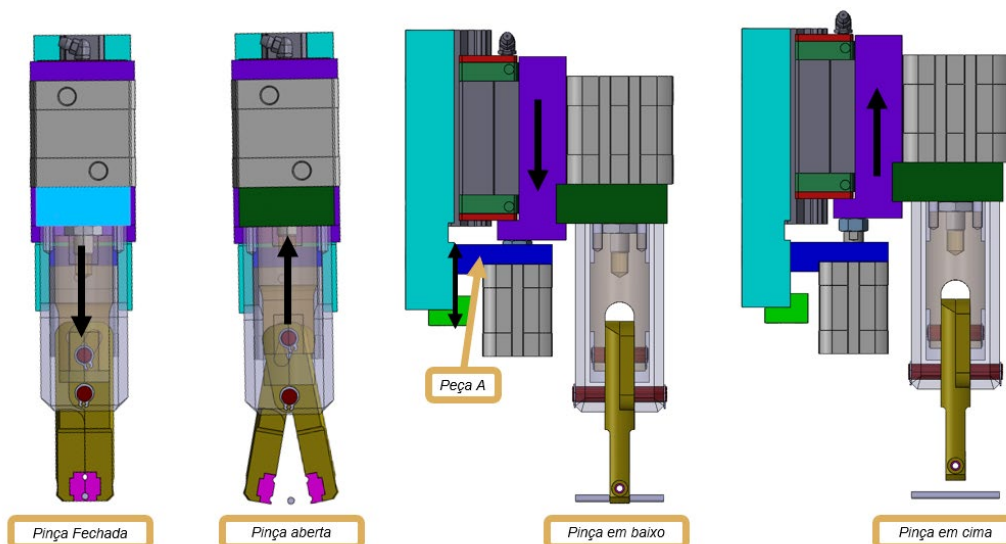


Figura 77 - Pinça do manipulador

O dispositivo de dobragem CNC (Figura 78), realiza a maioria das dobragens. Possui os movimentos de dobragem e de deslocamento similares aos anteriores, mas tem a particularidade de a parte central da ferramenta de dobragem ser fixa. Esta também tem de estar a uma altura que facilite a rotação do arame, e é semelhante às utilizadas no sistema de dobragem CNC da LATOUR.

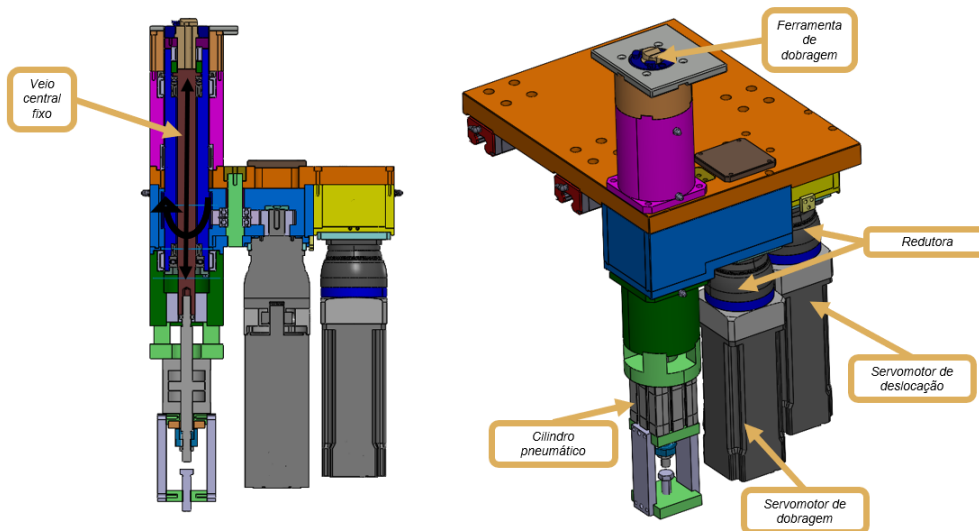


Figura 78 - Dispositivo de dobragem CNC do equipamento de dobragem

O casquilho possui um furo quadrangular, de modo a garantir que o veio fique sempre na mesma posição quando se realiza a rotação do veio principal. O conceito do veio principal e veio fixo tem por base a ferramenta de dobragem da ROBOMAC 206, como se pode observar na Figura 79.

O cilindro pneumático, possui afinação no recuo e no avanço do cilindro, ao contrário do dispositivo do gancho e pré dobragem, pois o cilindro usado tem um curso superior. Isto possibilita a montagem de vários tipos de ferramentas providas de alturas diferentes.

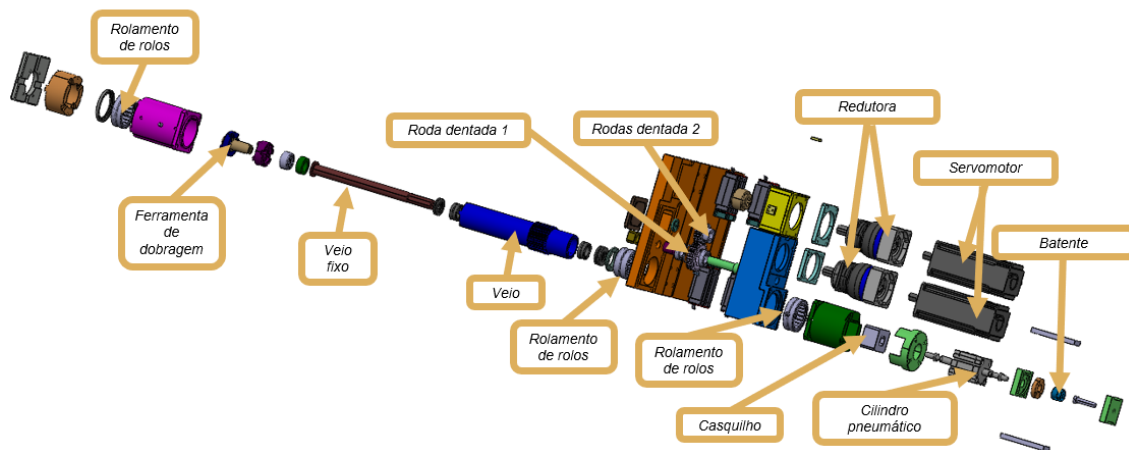


Figura 79 - Vista explodida do dispositivo de dobragem CNC

O dispositivo do castelo do meio (Figura 80), pode-se dividir em três sistemas: sistema de dobragem, sistema de fixação e o seu sistema de nível. O sistema de dobragem é similar ao sistema de dobragem do gancho, mas utiliza uma ferramenta com dois pinos semelhante à utilizada no posto final da INOVMAQ TRANSFER. O sistema de fixação, é baseado no sistema usado na ferramenta de estampagem da LATOUR. Este, quando fixa o arame, fica mecanicamente trancado, não abrindo quando são realizadas as dobragens. O sistema de nível permite que o sistema de fixação tenha o movimento de subida e descida, facilitando a extração.

A Mesa 1 e 2 possuem afinação em altura, e são essenciais para garantir a planeza quando são efetuadas as dobragens.

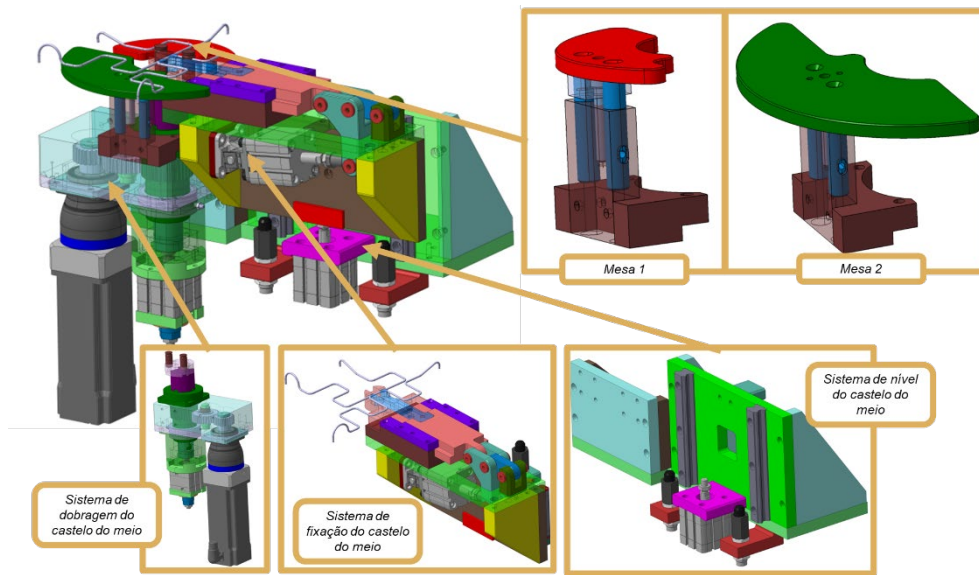


Figura 80 - Dispositivo do castelo do meio do equipamento de dobragem

A extração usa todos os movimentos pneumáticos, pois a posição de recolha e extração da peça é sempre realizada na mesma posição, como se pode observar na Figura 81. O conceito de pinça utilizado é o mesmo já usado na extração dos coxins na injeção.

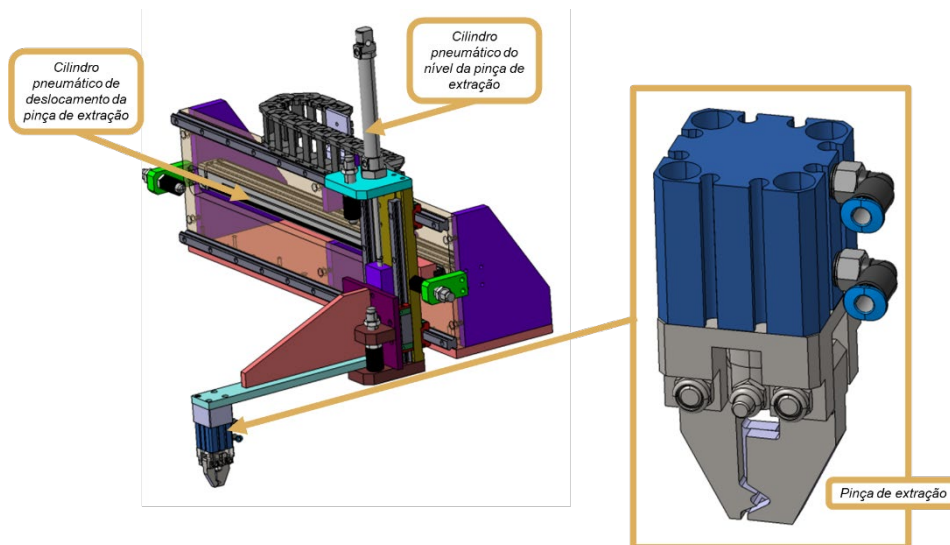


Figura 81 - Extração do equipamento de dobragem

4.6 Programação

A programação do equipamento é essencial para o sucesso do mesmo. De seguida serão apresentados requisitos de elaboração da programação do PLC e do HMI.

4.6.1 Nomenclatura usada dos eixos e cilindros

Para uma identificação mais fácil dos eixos e cilindros usados no equipamento, foram atribuídos nomes com o seguinte padrão:

- X, movimentos lineares dos dispositivos (servomotor);
- Y, movimentos de dobra (servomotor);
- Z, movimentos de rotação (servomotor);
- U, movimento de corte (servomotor);
- N, movimento de nível dos dispositivos (pneumático);
- G, movimento de garras (pneumático);
- A, movimento linear de dispositivos (pneumático).

O primeiro posto de operações no arame, é o posto central. Assim sendo, a numeração dos eixos e cilindros foi iniciada neste posto, com a nomenclatura implementada representada na Figura 82.

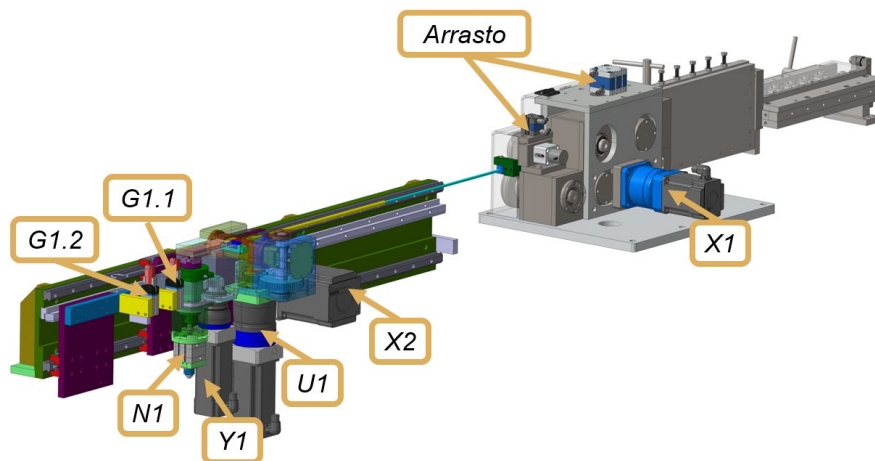


Figura 82 - Nomenclatura posto central

A nomenclatura definida para os postos laterais, está representada na Figura 83 e na Figura 84.

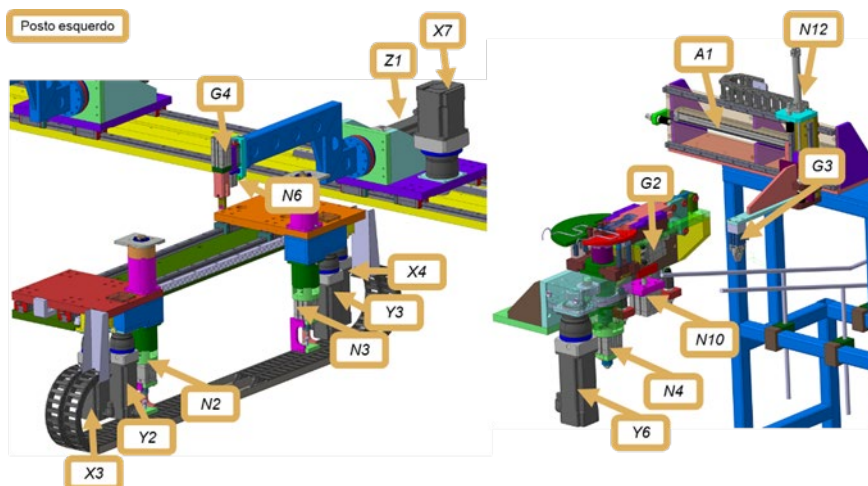


Figura 83 - Nomenclatura posto esquerdo

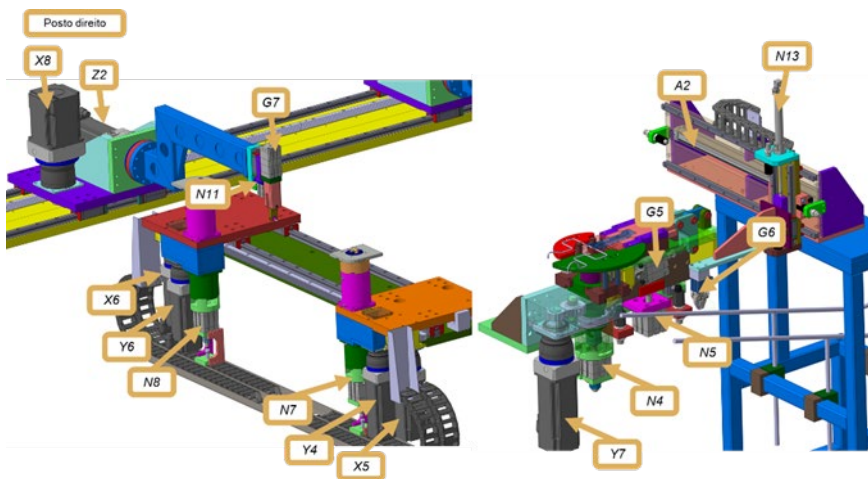


Figura 84 - Nomenclatura posto direito

4.6.2 Diagrama de ações (*Grafcets*)

Com o objetivo de expor o caminho usado para a programação do equipamento, foram criados *grafcets* para: o posto central, o posto lateral, a extração esquerda, a extração direita e auto postos.

Como o equipamento tem de ser flexível ao nível das referências a produzir, o programa tem de ser capaz de interpretar diversas seqüências de funcionamento. Foi definido um ficheiro tipo em formato CSV, que permite editar e adicionar novas referências através do programa MS Excel®. Tanto o posto central como o lateral interpretam o ficheiro CSV, transformando-o na seqüência de dobragem.

Na Figura 85 e Figura 86, é apresentado o *grafcet* do posto central. Neste é apresentada a seqüência para ler a informação do ficheiro CSV.

O Ficheiro CSV contém toda a sequência de movimentos de cilindros pneumáticos e servo motores, que cada ciclo executa.

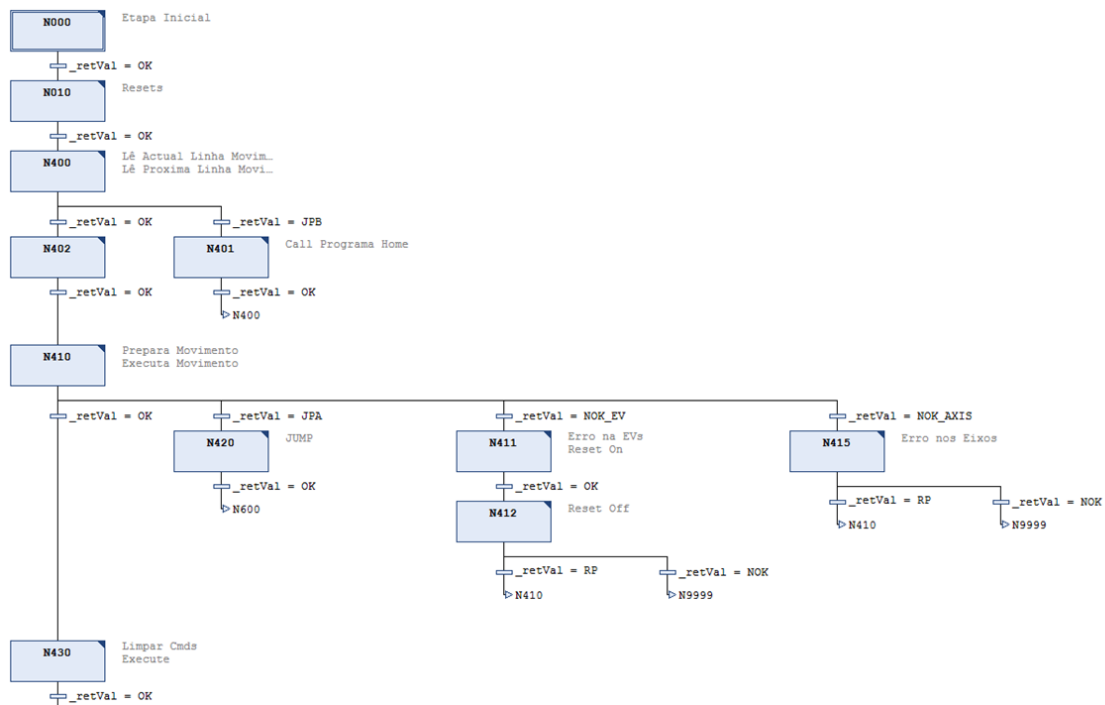


Figura 85 - Grafset do posto central

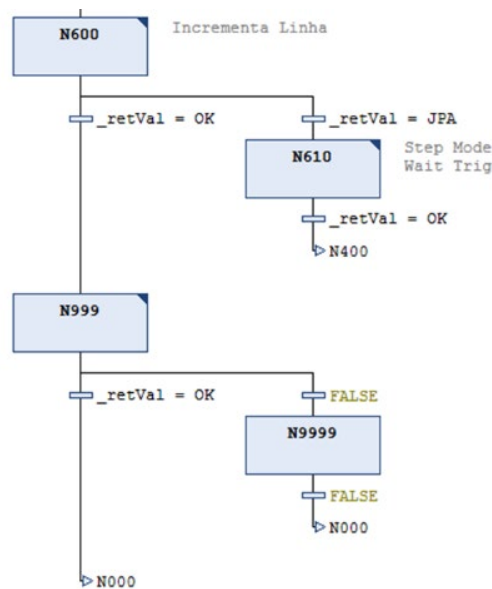


Figura 86 - Grafset do posto central (continuação)

Da Figura 87 à Figura 90, é apresentado o *grafset* do posto lateral. Neste é apresentado a sequência para ler a informação do ficheiro CSV. O mesmo *grafset* é coincidente, tanto para o

posto lateral esquerdo como para o direito, pois usa a mesma estrutura de ficheiro, necessitando na mesma de ficheiros independentes devido à simetria dos postos.

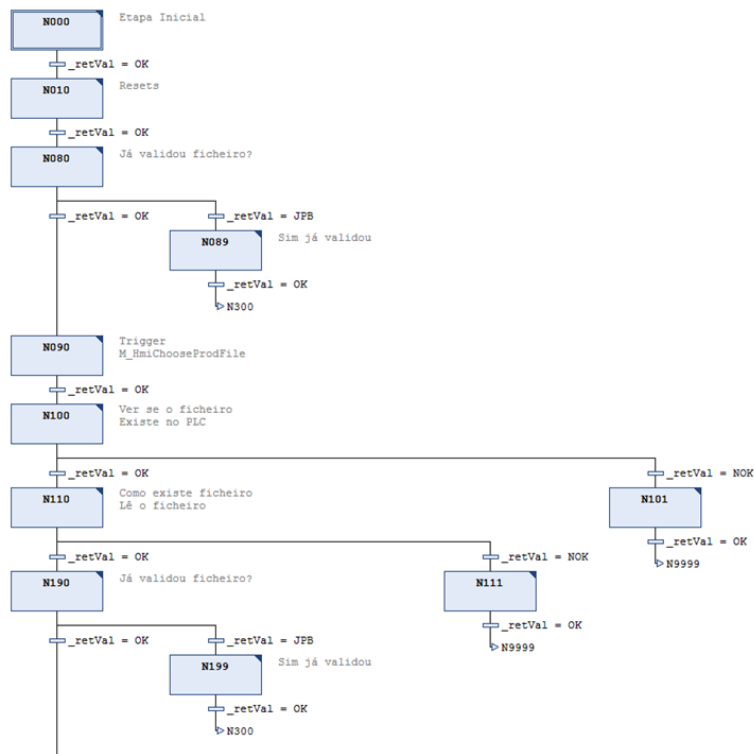


Figura 87 - Grafset do Posto lateral

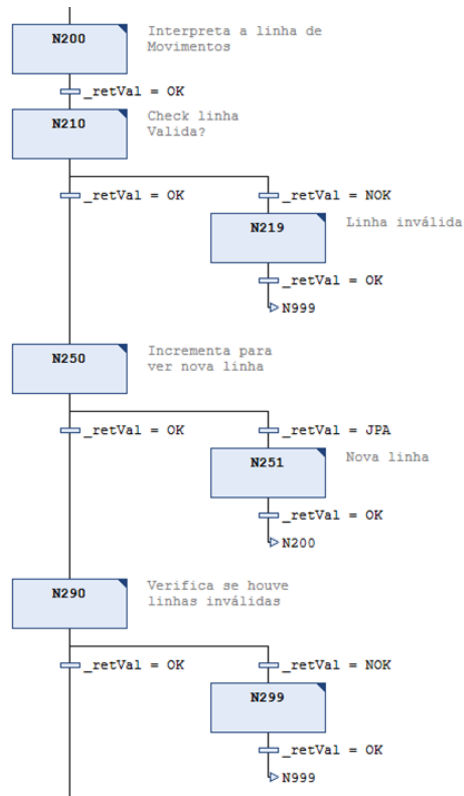


Figura 88 - Grafcet do posto lateral (continuação)

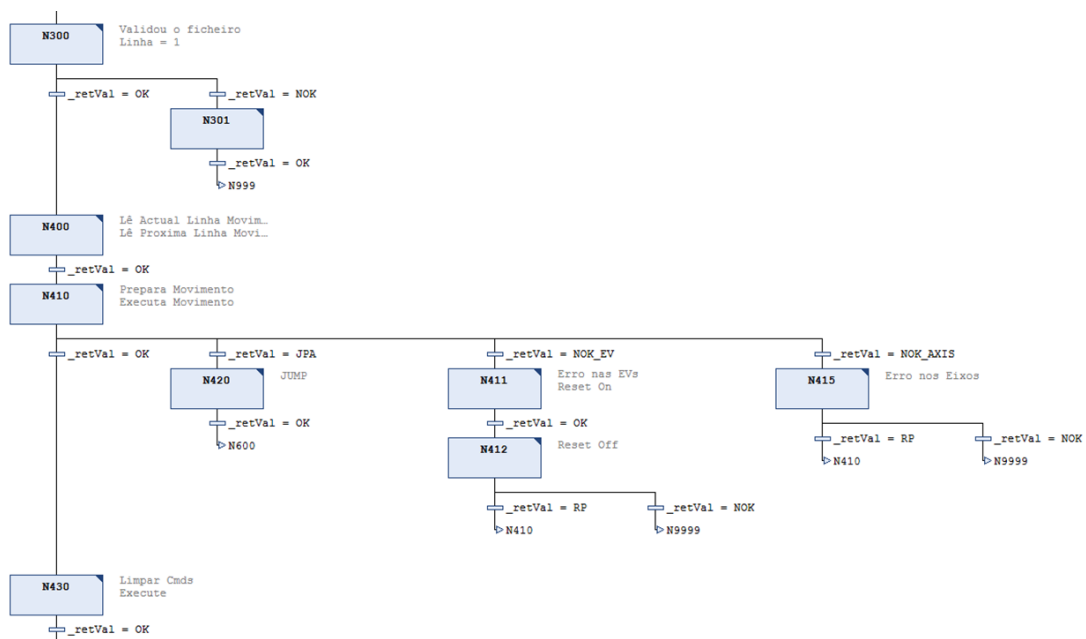


Figura 89 - Grafcet do posto lateral (continuação)

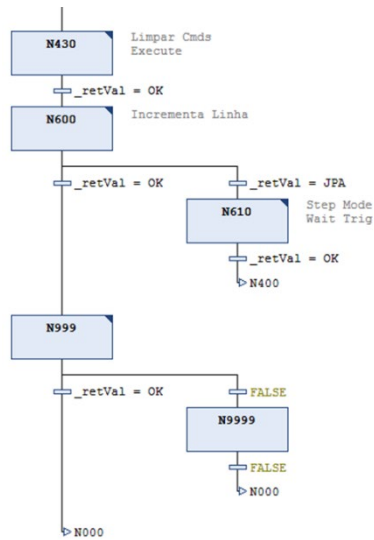


Figura 90 - Grafcet do posto lateral (continuação)

Na Figura 91 e na Figura 92, são apresentados os grafcets da extração direita, que correspondem à sequência de movimentos dos cilindros.

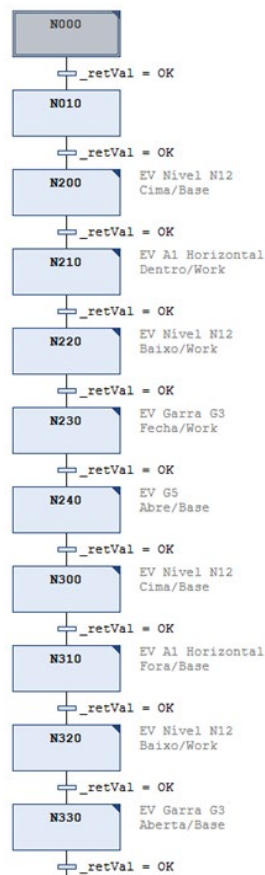


Figura 91 - Grafcet da extração direita

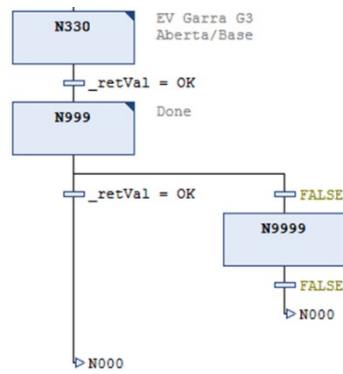


Figura 92 - Grafcet da extração direita (continuação)

Na Figura 93 e na Figura 94, é apresentado o grafcet da extração esquerda. Neste, ao contrário do grafcet dos postos laterais, não é possível utilizar o mesmo grafcet. Isto deve-se ao facto da sequência ter de ser diferente, pois há um risco de colisão da extração direita que não existe na esquerda. O risco de colisão, é consequência da disposição assimétrica das extrações em relação ao posto central (ver Figura 61).

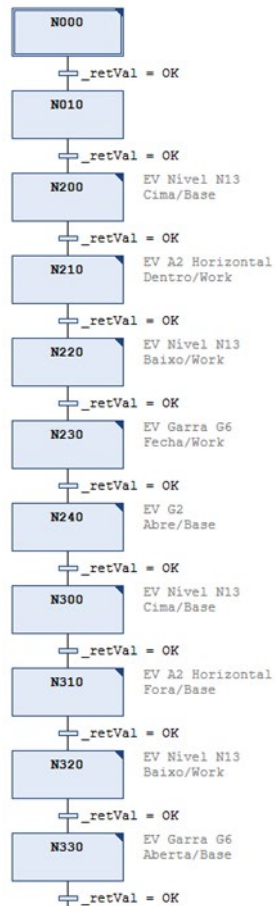


Figura 93 - Grafcet da extração esquerda

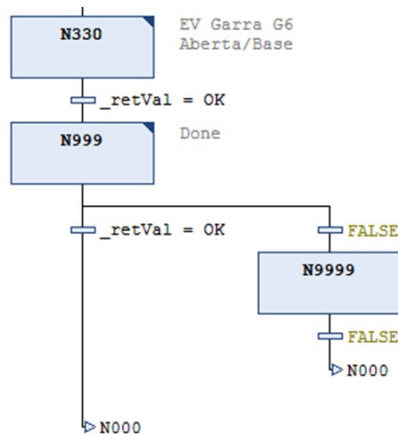


Figura 94 - Grafcet da extração esquerda (continuação)

Na Figura 95 e Figura 96, são apresentados os *grafcets* dos auto postos. Uma vez que a sequência de trabalho do posto central e dos postos laterais é sobreposta, existe a necessidade de haver uma sequência para a interligação dos postos e das extrações.

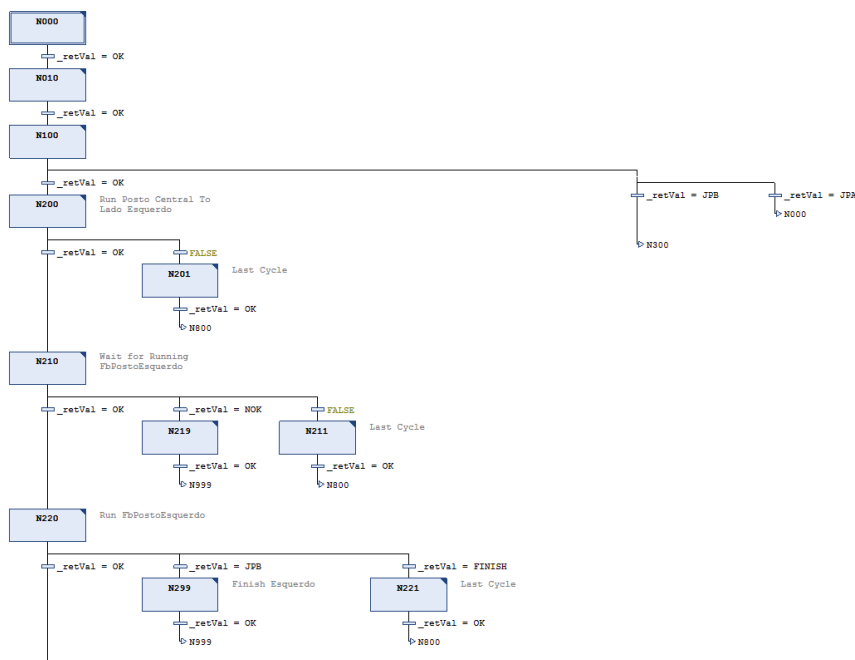


Figura 95 - Grafcet dos auto postos

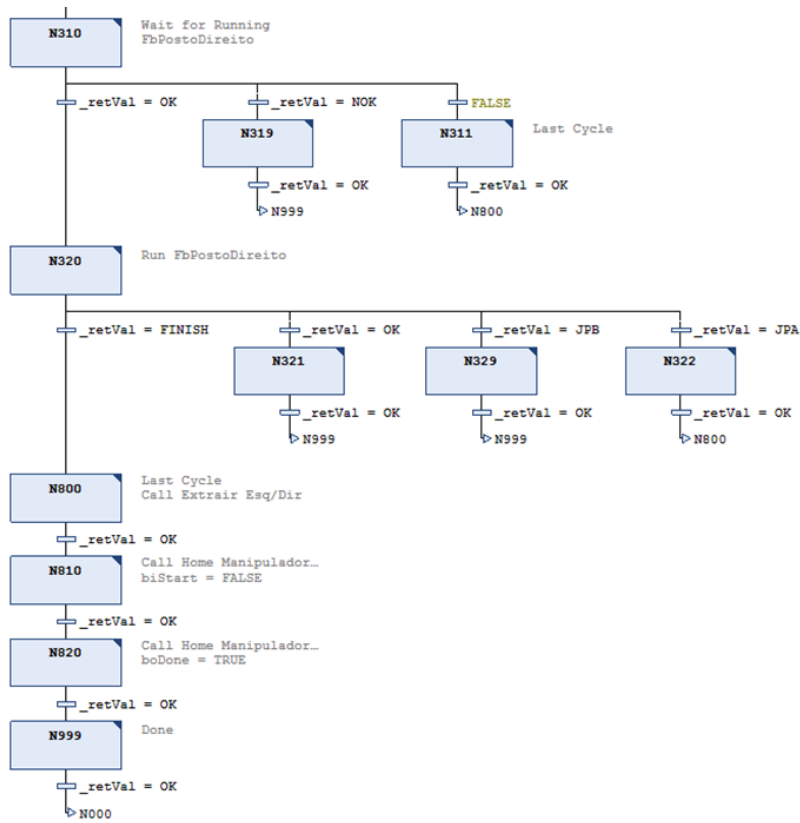


Figura 96 - Grafcet dos auto postos (continuação)

4.6.3 Consola

Para o equipamento ser flexível e poder inserir as receitas que forem necessárias, terá de ser possível parametrizar todos os eixos e cilindros. Para ter uma maior flexibilidade de receitas, e uma maior facilidade de afinação da receita, foi desenvolvida a matriz de tabelas para o posto central e para os postos laterias. A matriz das tabelas é constituída por uma primeira coluna de notas. Esta coluna tem a função de identificar os pontos mais importantes de cada programa, como podemos observar na Figura 97.

NOTAS	X1 POS	X1 VEL	X2 POS	X2 VEL	Y1 POS	Y1 VEL	U1 POS	U1 VEL	N1	G1
POSICAO INICIO	19	100	244	100	-10	100	0	100	false	false
DOBRA GANCHO					144,3	100			true	
AVANCO PRE	18,8	100			45	100			false	
PRE DOBRA					-30,5	100			true	
					20	100				

Figura 97 - Tabela da consola do posto central

Na Figura 97, na coluna das notas, está identificada a posição de início do posto central, a operação de dobragem do gancho e o avanço para a pré-dobra. As restantes colunas são atribuídas às posições e velocidades dos eixos, assim como ao estado dos cilindros.

Na Figura 98, pode-se observar que na segunda linha desta receita o X3 se vai deslocar para a posição 400 a uma velocidade de 100%. Também na segunda linha, o cilindro N3 tem de estar na posição base, enquanto que na linha seguinte este já tem de estar na posição de trabalho.

NOTAS	X3_X5 POS	X3_X5 VEL	Y2_Y4 POS	Y2_Y4 VEL	N3_N8	X4_X6	Y5 POS	Y3
A X7	400	100	0	100	false	100	100	0
			-33	100	true			100
A D1	245,2	100				210	100	
D1			-112	100			-88	100
			-35	100				

Figura 98 - Tabela da consola do posto esquerdo

Apesar de na coluna possuir dois eixos ou dois cilindros pneumáticos, só corresponde a um. Na coluna X3_X5 POS, quando se está na tabela do posto esquerdo, está-se a parametrizar o X3, e quando se está na tabela do posto direito, está-se a parametrizar o X5, como pode ser verificado na Figura 98 e Figura 99.

NOTAS	X3_X5 POS	X3_X5 VEL	Y2_Y4 POS	Y2_Y4 VEL	N3_N8	X4_X6	Y5 POS	Y3
A X8	400	100	0	100	false	100	100	0
			-33	100	true			100
A D1	243,7	100				215,8	100	
							-85	100
D1			-117,5	100				
			-35	100				

Figura 99 - Tabela da consola do posto direito

Dimensionamento

Os componentes normalizados de cada subconjunto foram selecionados de acordo com as solicitações a que se encontram sujeitos. Neste capítulo são apresentados os dimensionamentos dos componentes mais importantes de cada conjunto ao nível da estática. No dimensionamento dos servomotores e caixas redutoras, além do dimensionamento estático, também foi feito um estudo dinâmico que se encontra em anexo. Este estudo é fundamental para o correto dimensionamento dos servomotores, pois entra em linha de conta com as inércias dos conjuntos, bem como os tempos de deslocação dos conjuntos. O estudo em anexo foi realizado em conjunto com o fornecedor destes componentes.

Desbobinador

No desbobinador, os componentes selecionados para o dimensionamento são o mecanismo do rolamento e da roda de coroa, e o conjunto motor e caixa redutora. Estes são os componentes solicitados pelo peso da bobina.

Na Figura 100 está representado o diagrama de corpo livre do desbobinador, onde: R1 é o raio da bobina; P o peso da bobina; Z1 o número de dentes do pinhão; Z2 o número de dentes do mecanismo da roda de coroa; M1 o momento do conjunto caixa redutora e motor necessário para rodar a bobina.

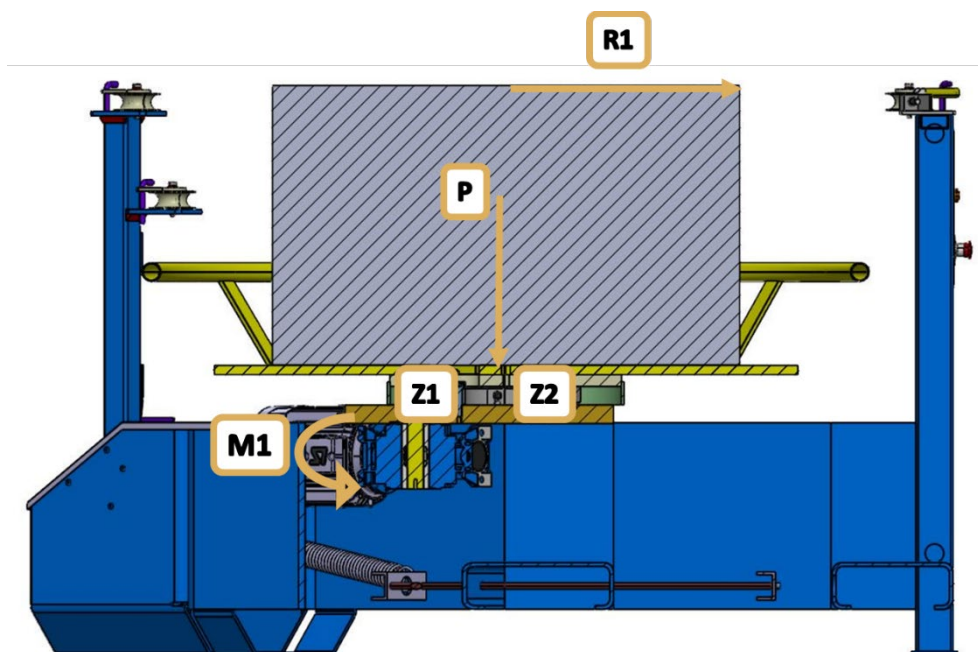


Figura 100 - Diagrama de corpo livre do desbobinador

No dimensionamento do mecanismo da roda de coroa é utilizado o peso máximo das bobinas utilizadas nos equipamentos de dobragem. Neste caso, a massa a considerar é 3000 kg. Com o peso da bobina é definido, o esforço máximo axial que o mecanismo da roda de coroa tem de

suportar. A carga máxima determinada que a roda de coroa tem de suportar é 41202 N (Tabela 18).

O tipo de mecanismo da roda de coroa selecionado é um conjunto normalizado, o qual possui cremalheira e rolamento de rolos para esforço axial. Este tipo de mecanismo é mais compacto, facilitando o projeto do dispositivo. Com a roda de coroa selecionada, fica definido o número de dentes: a roda de coroa selecionada possui setenta e oito dentes.

Aplicando a segunda lei de Newton, pode-se obter diretamente M1. Para tal, primeiro é necessário determinar o momento de inércia da bobina e a aceleração angular da bobina (α_{Bobina}). O momento mínimo determinado que a caixa redutora e motor têm que executar é 134,3 Nm (Tabela 18).

Tabela 18 - Cálculos no dimensionamento do desbobinador

Dados	Formulas	Resultados
R1=500 mm	$P_{bobina} = m \times g$ (1)	$F_{axial} \geq 41202 N$
P=3000 Kg	$F_{axial} \geq P_{bobina} \times CS$	
Z1=78	$I_{Bobina} = I_{cilindro} = \frac{1}{2} \times m \times R1^2$ (2)	$M1 \geq 134,3 Nm$
Z2=17	$\alpha_{Bobina} = \frac{\omega}{t}$ (3)	
CS=1,4 (coeficiente de segurança)	$V_{arame} = \omega r$ (4)	
t=1 s (tem em aceleração)	$\tau_{rotação} = I\alpha$ (5)	
	$M1 \geq \frac{\tau_{rotação} \times CS}{\frac{Z1}{Z2}}$	

Dispositivo Gancho + Pré-dobra + Corte

No dispositivo Gancho + Pré-dobra + Corte é necessário dimensionar o servomotor e caixa redutora para o sistema de corte, do sistema de deslocamento e do sistema de dobragem do gancho e pré-dobra. No sistema de dobragem do gancho e pré-dobra, será utilizado o servomotor e caixa redutora utilizado no dispositivo de dobragem CNC, assim como o cilindro de deslocamento da ferramenta de dobragem. São utilizados os mesmos componentes, pois permite uniformizar os componentes em dispositivos com a mesma função.

Sistema de corte

Para a determinação do momento (M1) essencial para realizar o corte, é necessário definir a força de corte do arame (F) como se pode observar na Figura 101.

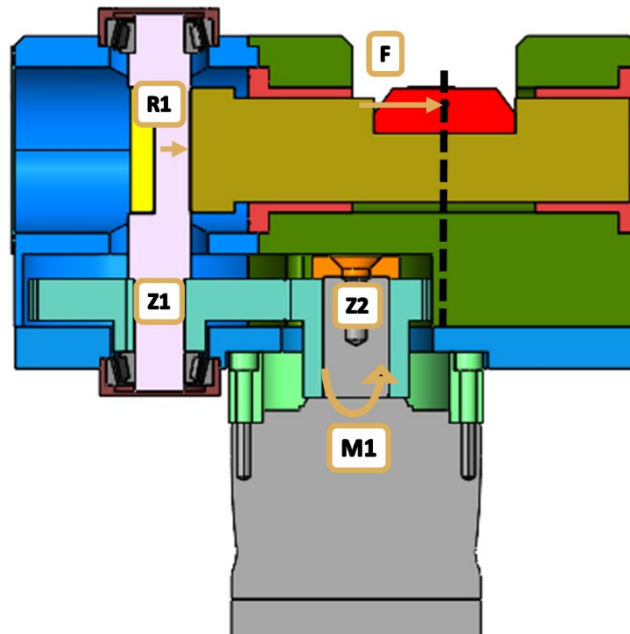


Figura 101 - Diagrama de corpo livre do sistema de corte

A força de corte do arame é definida em função do maior diâmetro de arame utilizado na empresa, e como a tensão de corte é cerca de 80% da tensão de ruptura, é possível determinar a força necessária para realizar o corte com os dados da ficha técnica do material

O arame com diâmetro de 4 mm apresenta uma tensão de ruptura de 1940 MPa. O momento mínimo determinado que o conjunto caixa redutora e servomotor tem de conseguir realizar é 107 Nm (Tabela 19).

Tabela 19 - Cálculos no dimensionamento do sistema de corte

Dados	Formulas	Resultados
Diâmetro do arame: 4 mm		
Tensão de ruptura do arame: 1940 MPa	$\sigma_r = \frac{F_r}{A_{arame}} \quad (6)$	
R1=6 mm	$F_c = 80\%F_r$	
Z1=61	$F = F_c \times CS$	$M1 \geq 107 Nm$
Z2=34	$M1 \geq \frac{F \times \frac{R1}{1000}}{\frac{Z1}{Z2}}$	
CS=1,4 (coeficiente de segurança)		
t=1 s (tem em aceleração)		

Sistema de deslocamento do dispositivo de gancho + pré-dobra + corte

Para a determinação do momento (M1, ver Figura 102) necessário para deslocar o dispositivo gancho + pré-dobra + corte é necessário conhecer a massa de todo o dispositivo.

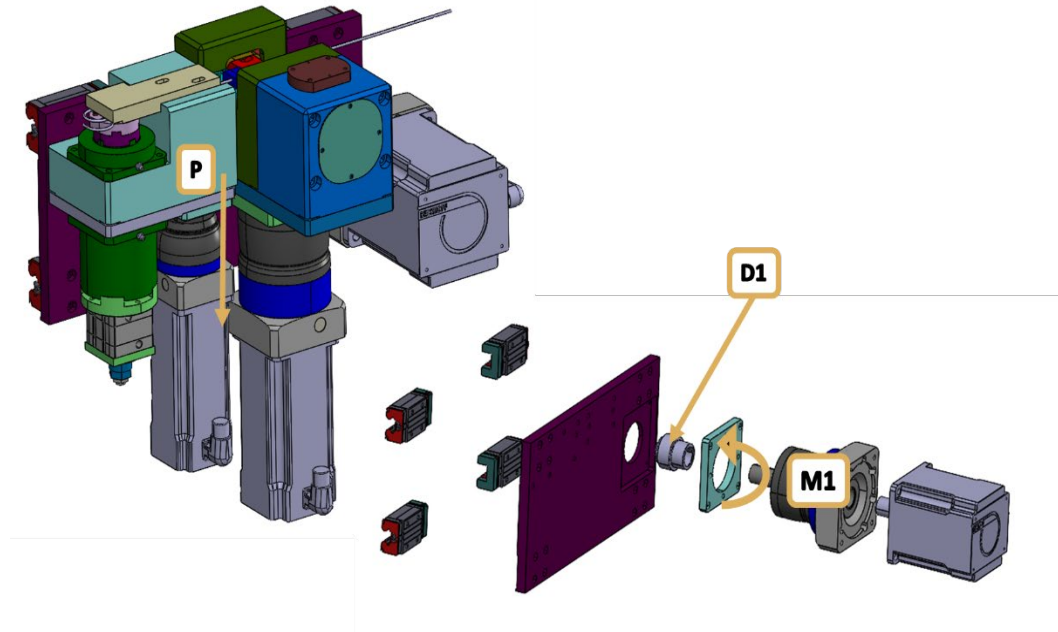


Figura 102 - Diagrama de corpo livre do sistema de deslocamento

A massa do dispositivo foi obtida com o auxílio do *software* de desenho CATIA V5[®], com a massa e o diâmetro primitivo do pinhão utilizado no sistema de deslocamento é possível determinar M1. O momento mínimo determinado que o conjunto caixa redutora e servomotor tem de conseguir realizar é 56,4 Nm (Tabela 20).

Tabela 20 - Cálculos no dimensionamento do sistema de deslocamento do dispositivo de gancho + pré-dobra + corte

Dados	Formulas	Resultados
P=1568N		
D1=51,4 mm (diâmetro primitivo do pinhão)	$M1 \geq P \times \frac{D1}{2000} \times CS$	$M1 \geq 56,4 Nm$
CS=1,4(coeficiente de segurança)		

Sistema de dobragem CNC

No sistema de dobragem CNC, é necessário dimensionar servomotor e caixa redutora para o sistema de dobragem e para o sistema de deslocamento. O sistema de dobragem é a base de todos os sistemas de dobragem utilizados no equipamento. Neste sistema também é necessário dimensionar o cilindro de deslocamento da ferramenta de dobragem.

Sistema de dobragem

No sistema de dobragem, é necessário determinar M_2 e M_1 , em que M_1 é o momento necessário para efetuar a dobragem, e M_2 o momento da caixa redutora e servomotor, como se pode observar na Figura 103.

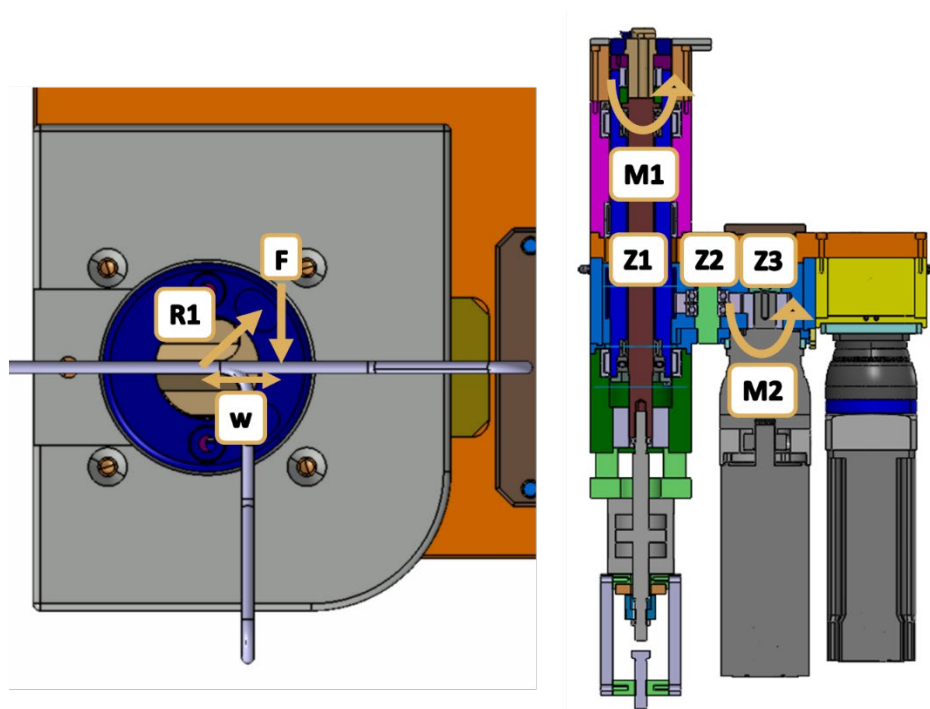


Figura 103 - Diagrama de corpo livre do sistema de dobragem CNC

Na primeira fase é necessário determinar F , a força necessária para dobrar o arame. Para determinar a força de dobragem, foram utilizadas deduções das formulas utilizadas na dobragem de chapa [46,47], em que R_m é a tensão de ruptura da chapa, L o comprimento da chapa, t a espessura da chapa e W a distância da parte fixa da ferramenta à parte móvel da ferramenta (ver Figura 103). Como se trata da dobragem de arame, o L e o t correspondem ao diâmetro do arame. Com a determinação de F , é possível determinar M_2 . momento mínimo determinado que o conjunto da caixa redutora e servomotor tem de conseguir realizar é 35,9 Nm.

No sistema de dobragem também é necessário definir o cilindro que movimenta a ferramenta de dobragem. No entanto, além de estar sujeito ao peso do veio da ferramenta, também está sujeito ao atrito entre as rodas dentadas como se pode observar na Figura 104.

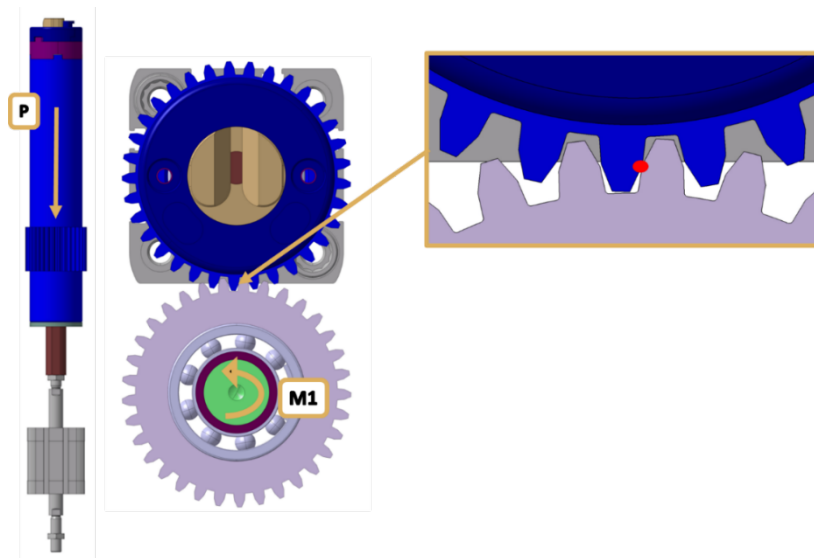


Figura 104 - Diagrama de corpo livre veio CNC

Para a determinação da força de atrito que a roda dentada faz no veio, foi utilizada a pior situação, ou seja foi considerado contacto aço com aço. O veio é acionado no momento da dobragem, ou seja, o momento necessário para a dobragem (M1) é responsável pelo atrito causado. Como se trata de duas rodas dentadas, o contacto só se dá num ponto, como podemos observar na Figura 104. A massa do veio, que foi obtida através do *software* de desenho CATIA V5®. Foi determinado que o cilindro terá de ser capaz de fazer no mínimo 562,6 N (Tabela 21).

Tabela 21 - Cálculos do dimensionamento do sistema de dobragem CNC

Dados	Formulas	Resultados
Diâmetro do arame: 4 mm	$F = \frac{KRm * L * t^2}{w} (7)$	
Tensão de rutura do arame: 1940 MPa	$M1 = F \times R1$	$M2 \geq 35,9 Nm$
R1: 19.6 mm	$M2 \geq \frac{M1}{\frac{Z2}{Z3}} \times CS$	
Z1: 33		
Z2: 33		
Z3: 24		
K = 0.33	$M1 = F \times R1$	
L = t = \varnothing arame = 4 mm	$F_A = \mu_e \times F1$	$F_{cilindro} \geq 562.6 N$
W = 22,8 mm	$F_{cilindro} \geq F_a + P$	
CS=1,4(coeficiente de segurança)		
$\mu_e = 0,8$ (aço com aço)		

Sistema de deslocamento do sistema de dobragem CNC

Para a determinação do momento (M_1 , ver Figura 105) necessário para deslocar o sistema de dobragem CNC é necessário conhecer a massa de todo o dispositivo e o diâmetro primitivo do pinhão de acionamento.

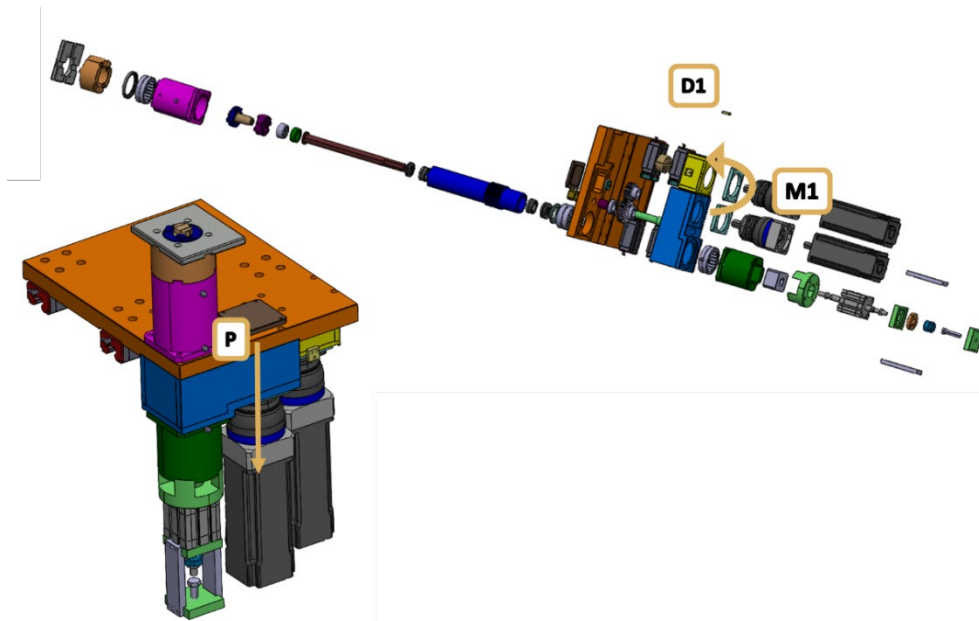


Figura 105 - Diagrama de corpo livre do sistema de deslocamento do dispositivo de dobragem CNC

A massa do dispositivo foi obtida usando o *software* de desenho CATIA V5®. O momento mínimo determinado que a caixa redutora e o servomotor têm de efetuar é 38,8 Nm (Tabela 22).

Tabela 22 - Cálculos no dimensionamento do sistema de deslocamento do sistema de dobragem CNC

Dados	Formulas	Resultados
$P=1078 \text{ N}$		
$D1=51,4 \text{ mm}$ (diâmetro primitivo do pinhão)	$M_1 \geq P \times \frac{D1}{2} \times CS$	$M_1 \geq 38,8 \text{ Nm}$
$CS=1,4$ (coeficiente de segurança)		

Manipulador

No manipulador, é necessário dimensionar o servomotor e a caixa redutora para o sistema de rotação e o sistema de deslocamento. Neste conjunto, também é necessário dimensionar o cilindro de deslocamento da pinça e o cilindro de acionamento da pinça.

Pinça

O cilindro de acionamento da pinça tem de fazer uma força tal que não permita deslizamento do arame nos mordentes. A força máxima de deslizamento que a pinça tem de suportar é igual

à força de dobragem, pois na pior situação o pino de dobragem posiciona-se paralelo ao arame, como se pode observar na Figura 6.

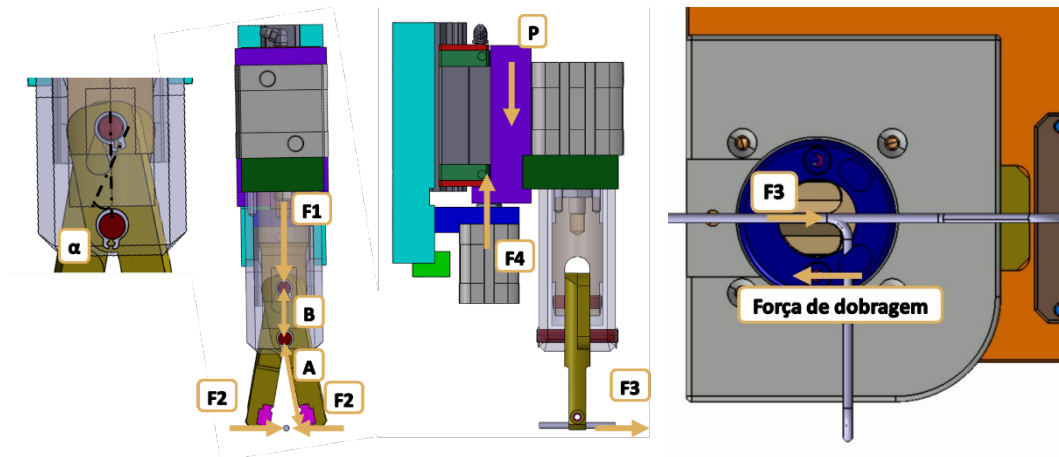


Figura 106 - Diagrama de corpo livre da pinça do manipulador e ferramenta de dobragem

A força de atrito que resulta de F2 tem de ser igual a F3. Com a obtenção de F2 é possível, através dos momentos presentes na pinça, calcular F1. A força mínima que o cilindro de acionamento da pinça tem de executar são 646 N (Tabela 23).

Na obtenção da força mínima que o cilindro tem de executar para movimentar a pinça, foi utilizado o *software* de desenho CATIA V5® para obter a massa do conjunto. Foi determinado que o cilindro de deslocação da pinça tem de exercer no mínimo 64,5 N (Tabela 23)

Tabela 23 - Cálculos no dimensionamento da pinça do manipulador

Dados	Formulas	Resultados
F3 = 1797,1 N (Força de dobragem)	$F_A = 2 \times (\mu_e \times F2) = F3$	
A = 53 mm	$F2 \times A = \frac{F1 \times CS}{\cos 30} \times B$	F1 = 646 N
B = 19.9 mm		
P = 46,1 N		
$\alpha = 30^\circ$		
$\mu_e = 0,8$ (aço com aço)	$F4 = P \times 1,4$	F4 = 64,5 N
CS=1,4(coeficiente de segurança)		

Sistema de deslocamento e rotação do manipulador

O dimensionamento do servomotor e caixa redutora que desloca o manipulador é feito com base na massa do conjunto do manipulador. A massa do manipulador é obtida com recurso ao *software* de desenho CATIA V5®. Na Figura 107 é apresentado o diagrama de corpo livre do manipulador.

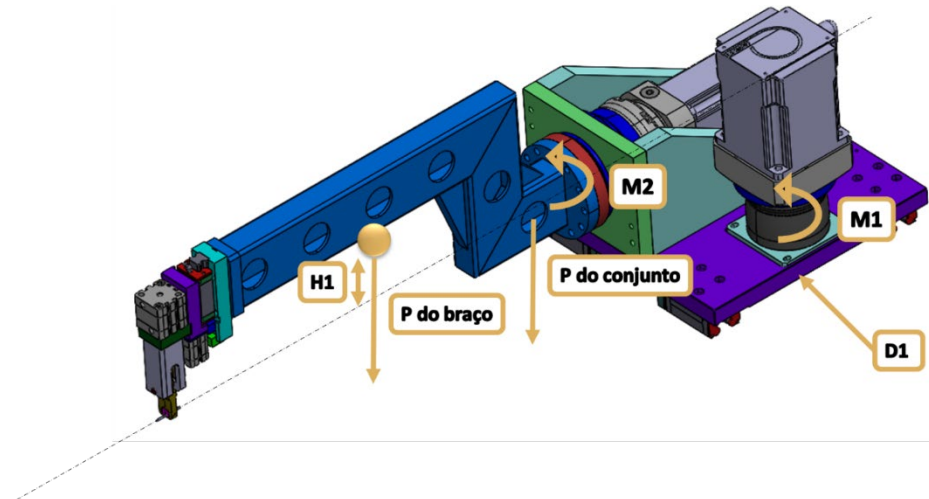


Figura 107 – Diagrama de corpo livre do manipulador

A massa do conjunto é 120 kg e o pinhão usado tem um diâmetro primitivo de 51,4 mm. Com estes dados é possível determinar o momento necessário para o deslocamento do manipulador. O momento mínimo determinado que o servomotor e caixa redutora têm que executar é 42,4 Nm (Tabela 24).

Para a determinação de M2 (ver Figura 107), além da massa do braço, é necessário também a posição do centro de massa do braço. Estes dados foram obtidos com o *software* de desenho CATIA V5®. O momento mínimo determinado que o servomotor e a caixa redutora têm de executar é 93,9 Nm (Tabela 24)

Tabela 24 - Cálculos no dimensionamento do sistema de deslocamento e rotação do manipulador

Dados	Formulas	Resultados
P do conjunto=1177,2 N		
P do braço=588,6 N	$M1 \geq P \text{ do conjunto} \times \frac{D1}{\frac{1000}{2}} \times CS$	$M1 \geq 42,4 \text{ Nm}$
H1 = 114 mm		
D1=51,4 mm (diâmetro primitivo do pinhão)		
CS=1,4(coeficiente de segurança)	$M2 = P \text{ do braço} \times H1$	$M2 = 93,9 \text{ Nm}$

Dispositivo do castelo do meio

No dispositivo do castelo do meio, o sistema de dobra usa os mesmos componentes do sistema de dobragem CNC, de modo a normalizar o uso de componentes. No entanto, é necessário dimensionar o cilindro que aciona o sistema de fixação do arame, assim como o cilindro que movimenta o sistema de fixação. Na Figura 108 é apresentado o diagrama de corpo livre do dispositivo do castelo do meio.

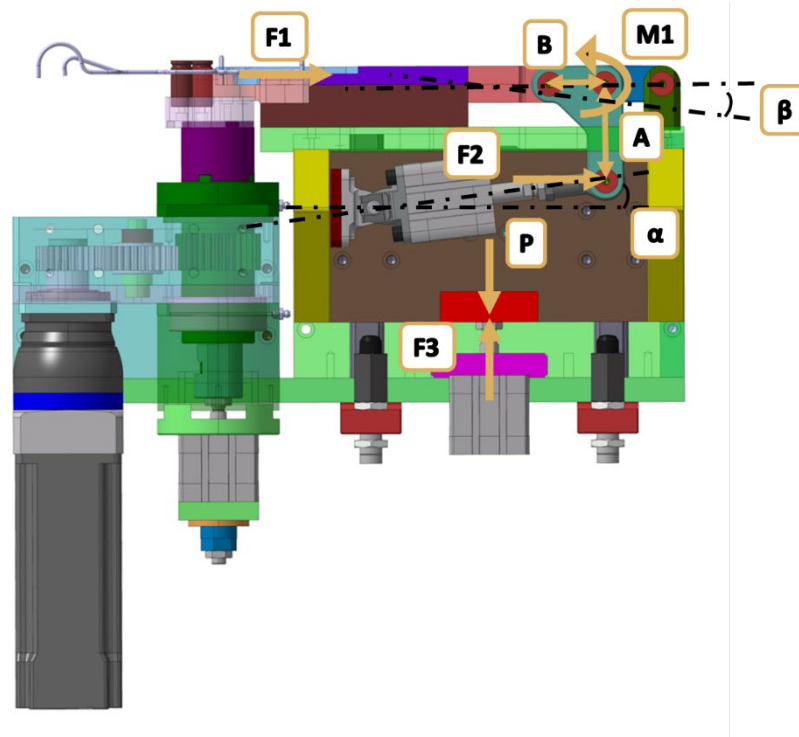


Figura 108 - Diagrama de corpo livre do dispositivo do castelo do meio

A massa do sistema de fixação é obtida com o recurso ao *software* de desenho CATIA V5®. Assim, é possível determinar F3. Foi determinado que o cilindro de deslocamento do sistema de fixação tem de executar no mínimo uma força de 462,8 N (Tabela 30).

Relativamente ao cilindro de fixação do arame, devido ao cálculo complexo do dispositivo desenvolvido, será utilizado um cilindro superior ao utilizado na Pinça do Manipulador, pois trata-se de um esforço similar.

Tabela 25 - Cálculos no dimensionamento do dispositivo do castelo do meio

Dados	Formulas	Resultados
$P = 330,6 \text{ N}$		
$CS=1,4$ (coeficiente de segurança)	$F3 = P \times CS$	$F3 = 462,8 \text{ N}$

4.7 Seleção de componentes normalizados

Com a realização do dimensionamento dos componentes, bem como do estudo dinâmico no caso dos servomotores, é possível definir os componentes a utilizar. De seguida são apresentados os componentes selecionados para cada subconjunto, tendo por base os estudos anteriormente apresentados. As características dos componentes bem como o estudo dinâmico dos servomotores podem ser consultados no anexo 7.2.

Desbobinador

Tendo por base os cálculos apresentados anteriormente, bem como o estudo realizado pelo fornecedor ao nível da dinâmica de trabalho dos componentes, na Tabela 26 são apresentados os componentes selecionados para o Desbobinador, e suas características.

Tabela 26 - Componentes selecionados para o Desbobinador

Componente	Referência	Características	Critério
Mecanismo		Carga axial máxima = 44010 N	
Roda de coroa	E.316.16.00.D.1	Modulo = 4 Altura = 40 mm	Carga axial máxima de 41202 N
Caixa Redutora	BG 090 10 100B14 B3	i=15	Momento mínimo=134,3 Nm
Motor	3KW 4P BMT100L2-4	Máximo binário: 20 Nm	

Dispositivo Gancho + Pré-dobra + Corte

Tendo por base os cálculos apresentados anteriormente, bem como o estudo realizado pelo fornecedor ao nível da dinâmica de trabalho dos componentes, na Tabela 27 são apresentados os componentes selecionados para Dispositivo Gancho + Pré-dobra + Corte, e suas características.

Tabela 27 - Componentes selecionados para o Dispositivo Gancho + Pré-dobra + Corte

Componente	Referência	Características	Critério
Servomotor de acionamento do corte	AM8552-0J20-0000	Máximo binário: 35,3 Nm Binário nominal: 8,19 Nm	Momento mínimo 107 Nm
Caixa Redutora de acionamento do corte	AG3210-+NP035S- MF2-16-1G1- AM805x	i=15 Máximo binário: 130 Nm	
Servomotor de dobragem	AM8542-0F20-0000	Máximo binário: 18,9 Nm binário nominal: 4,1 Nm	Momento mínimo 35,9 Nm
Caixa Redutora de dobragem	AG3300-+NPS025S- MF1-10-1E1- AM804x	i=10 Máximo binário: 130 Nm	
Servomotor de deslocamento	AM8061-0M20-0000	Máximo binário: 37,1 Nm Binário nominal: 12,8 Nm	Momento mínimo 56,4 Nm
Caixa Redutora de deslocamento	AG3210-+NP035S- MF1-10-111-AM806x	i=10 Máximo binário: 352 Nm	
Cilindro acionamento da ferramenta	ADN-50-10-A-PPS-A- S2-20K2	Força teórica em 6 bar, avanço: 1 057 N	Força de avanço mínima 562,6 N

Sistema de dobragem CNC

Tendo por base os cálculos apresentados anteriormente, bem como o estudo realizado pelo fornecedor ao nível da dinâmica de trabalho dos componentes, na Tabela 28 são apresentados os componentes selecionados para o sistema de dobragem CNC, e suas características.

Tabela 28 - Componentes selecionados para o sistema de dobragem CNC

Componente	Referência	Características	Critério
Servomotor de dobragem	AM8542-0F20-0000	Máximo binário: 18,9 Nm Binário nominal: 4,1 Nm	Momento mínimo 35,9 Nm
Caixa Redutora de dobragem	AG3300-+NPS025S-MF1-10-1E1-AM804x	i=10 Máximo binário: 130 Nm	
Servomotor de deslocamento	AM8542-0F20-0000	Máximo binário: 18,9 Nm Torque nominal: 4,1 Nm	Momento mínimo 38,8 Nm
Caixa Redutora de deslocamento	AG3300-+NPS025S-MF1-10-1E1-AM804x	i=10 Máximo binário: 144 Nm	
Cilindro acionamento da ferramenta	ADN-50-30-A-PPS-A-S2-20K2-20K8	Força teórica em 6 bar, avanço: 1 057 N	Força de avanço mínima 562,6 N

Manipulador

Tendo por base os cálculos apresentados anteriormente, bem como o estudo realizado pelo fornecedor ao nível da dinâmica de trabalho dos componentes, na Tabela 29 são apresentados os componentes selecionados para o Manipulador, e suas características.

Tabela 29 - Componentes selecionados para o Manipulador

Componente	Referência	Características	Critério
Servomotor de Rotação	AM8052-0J21-0000	Máximo binário: 35,3 Nm Binário nominal: 8,19 Nm	Momento mínimo 93,9 Nm
Caixa Redutora de rotação	AG2400-+TP050S-MF2-40-0G1-AM805x	i=40 Máximo binário: 900 Nm	
Servomotor de deslocamento	AM8061-0M20-0000	Máximo binário: 37,1 Nm Binário nominal: 8,19 Nm	Momento mínimo 42,4 Nm
Caixa Redutora de deslocamento	AG3210-+NP035S-MF1-7-111-AM806x	i=7 Máximo binário: 400 Nm	
Cilindro acionamento da pinça	ADN-40-10-A-P-A	Força teórica em 6 bar, avanço: 754 N	Força de avanço mínima 646 N
Cilindro deslocamento da pinça	ADN-20-10-A-P-A	Força teórica em 6 bar, avanço: 188 N	Força de avanço mínima 64,5 N

Dispositivo do castelo do meio

Tendo por base os cálculos apresentados anteriormente, bem como o estudo realizado pelo fornecedor ao nível da dinâmica de trabalho dos componentes, na Tabela 30 são apresentados os componentes selecionados para o dispositivo do castelo do meio, e suas características.

Tabela 30 - Componentes selecionados para o dispositivo do castelo do meio

Componente	Referência	Características	Critério
Servomotor de dobragem	AM8542-0F20-0000	Máximo binário: 18,9 Nm Binário nominal: 4,1 Nm	Momento mínimo 35,9 Nm
Caixa Redutora de dobragem	AG3300+NPS025S-MF1-10-1E1-AM804x	i=10 Máximo binário: 130 Nm	
Cilindro acionamento da ferramenta	ADN-50-10-A-PPS-A-S2-20K2	Força teórica em 6 bar, avanço: 1 057 N	Força de avanço mínima 562,6
Cilindro acionamento da fixação	ADN-50-25-A-P-A	Força teórica em 6 bar, avanço: 1 178 N	Força de avanço mínima 854 N
Cilindro deslocamento da fixação	ADN-50-20-A-P-A	Força teórica em 6 bar, avanço: 1 178 N	Força de avanço mínima 462,8 N

4.8 Orçamentação

Relativamente ao projeto anteriormente apresentado, foram consultados vários fornecedores nas diversas áreas, tendo essas consultas resultado num custo total de 121 574,65 € para a execução do equipamento de dobragem, como se pode observar na Tabela 31

Tabela 31 – Custo total do equipamento

Tipo de custos	Custo (€)
Peças mecânicas	47 770,37 €
Servomotores + caixas redutoras + consola + PLC + serviço de programação	46 900,00 €
Material normalizado	11 383,59 €
Material elétrico e pneumático	4540,69
Estruturas	10 980,00 €
Total	121 574,65 €

4.9 Estudo de retorno do investimento

O estudo de retorno do investimento teve por base o custo de produção em diferentes tipos de equipamentos. Na Ficocables, considera-se o custo/hora de 11,51€, e 235 dias de trabalho a 3 turno. Com estes dados e o número de pessoas necessárias em cada tipo de equipamento, bem como a sua produtividade, é possível calcular o custo por peça nos diferentes equipamentos.

Este estudo teve por base um projeto que necessitaria de 4 milhões de arames por ano, durante 7 anos. Na Tabela 32 é possível concluir que este novo equipamento permite um ganho de 280 000 € na duração do projeto, permitindo igualmente aplicar o conceito em outros produtos, o que se irá traduzir em ganhos bastante mais notórios.

Tabela 32 – Comparação do custo peça do novo equipamento com a TEC

	TEC	Novo equipamento
OEE (%)	85%	85%
PHH	1515*	2879**
Número de operadores	0,66***	0,33
Custo de produção por ano da mão de obra	34 944 €	18 391 €
Custo do equipamento	190 000€****	121 575 €
Custo peça	0,02 €	0,01 €
Custo de total de produção	560 000 €	280 000 €

* 1000(produção hora TEC) / 0,66

** 950 (produção hora novo equipamento) / 0.33

*** 0,33 (mão de obra para o equipamento de corte) + 0,33 (mão de obra TEC)

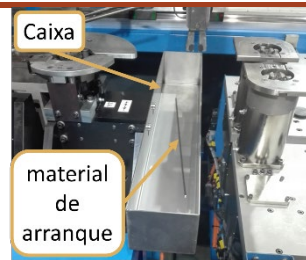
**** 160 000 € (custo da TEC) + 30 000 € (custo do equipamento de corte)

4.10 Alterações efetuadas na implementação

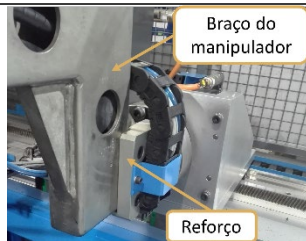
Na montagem e arranque do novo equipamento, foram surgindo problemas e oportunidades de melhoria dos dispositivos. Foram detetados problemas de acesso para fazer manutenção, colisões, fixações que se danificavam e dificuldades na afinação. Na Tabela 33 são apresentados todos os problemas entretanto identificados e que foram solucionados.

Tabela 33 - Alterações e melhorias implementadas no arranque do novo equipamento

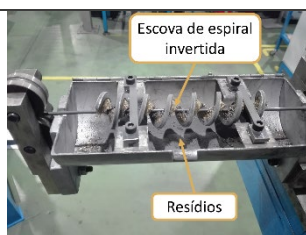
Imagem	Alterações /correções
	<p>Foram criados acessos nas bases dos sistemas de dobragem CNC, para facilitar o acesso em operações de lubrificação dos patins do sistema.</p>
	<p>Foi criado um armário para guardar de uma forma organizada todas as peças de <i>setup</i> do equipamento.</p>
	<p>Nos manipuladores foram colocados batentes de borracha para evitar danos nos dispositivos quando colidem, pois quando ocorre um erro na máquina e esta entra em emergência estando os manipuladores em movimento, continuam até colidirem. Isto acontece pois os servomotores de deslocamento dos manipuladores não possuem travão. De modo a minimizar este problema, foram colocados batentes de borracha e implementado o <i>safe mode</i> que o sistema possui.</p>
	<p>Inicialmente estava prevista a colocação de barreiras fotoelétricas para facilitar a visão aos afinadores do equipamento. No entanto, como em funcionamento as barreiras estavam sempre a ser interrompidas por descuido, foram colocadas barreiras físicas.</p>
	<p>As mesas dos sistemas de dobragem CNC tiveram que ser alteradas, pois no ciclo de trabalho o arame colidia num passo do programa.</p>



No arranque do equipamento é necessário afinar o endireitamento do arame. Para esse efeito, foram colocadas umas caixas, onde é colocado automaticamente o material de afinação.



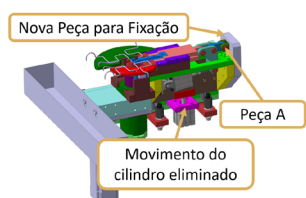
A fixação dos braços do manipulador partia quando os manipuladores colidiam. Para eliminar este problema, foi reforçada a fixação do braço.



O arame vem com muitos resíduos, os quais impregnavam muito rapidamente todas as peças que estavam em contacto com o arame. Para minimizar este problema, foi colocada uma escova de espiral invertida, para retirar os resíduos.

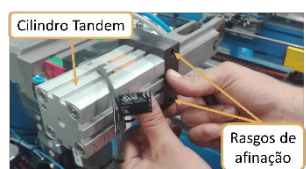


Normalmente são colocadas umas mesas de apoio nos equipamentos de dobragem, para a colocação dos *gabarits* de controlo. No entanto, de modo a minimizar o espaço, foram criados apoios para este efeito na estrutura do equipamento.



Os parafusos da peça A estavam a partir constantemente. Para eliminar este problema, foi alterada a fixação da peça A. Esta alteração consiste em alterar a posição dos parafusos, deixando assim de estar solicitados ao corte.

O sistema de fixação do castelo do meio possuía movimento para facilitar o posicionamento do arame, mas revelou-se desnecessário, aumentando assim a produtividade do equipamento.



O arame apresentava um ligeiro deslizamento nas dobragens que se realizavam nas imediações da pinça do manipulador. Assim sendo, procedeu-se à troca do cilindro utilizado por um cilindro *tandem*, porque a troca é mais simples e duplica a força do avanço.

Na peça que fixa a pinça, foi adicionada afinação para permitir que o arame se fixe no centro da rotação do manipulador.

4.11 Manual do equipamento

Nesta secção são apresentados alguns dos pontos mais relevantes que constam do manual do equipamento. O manual completo está no anexo 7.3.

4.11.1 Características e dados do equipamento

Na Tabela 34 estão apresentadas as características gerais do equipamento, e na Figura 109 é possível observar o *layout* do equipamento.

Tabela 34 - Características do equipamento

Características	Dados do Equipamento
Potência Instalada	60 kW
Dimensões	4681 - 6339 - 2000 mm
Peso	7600 kg
Consumo de Ar Comprimido	8 bar

O *layout* do equipamento pode ser observado na Figura 109.

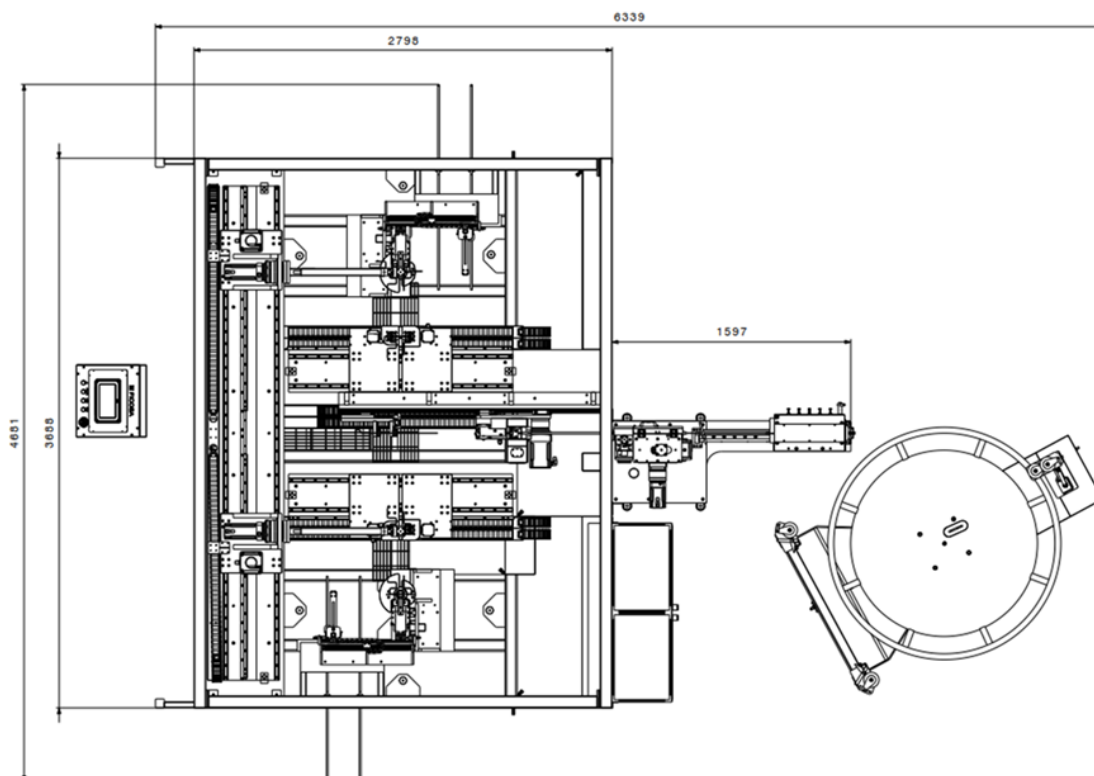








Figura 109 - *Layout* do equipamento

4.11.2 Descrição da utilização prevista da máquina

A utilização prevista do equipamento é apresentada na Tabela 35.

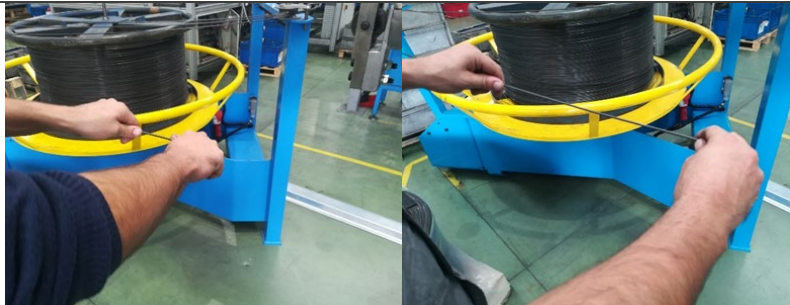
Tabela 35 - Procedimento de utilização do equipamento

Procedimento para a substituição da bobina de arame e arranque do equipamento	
	
1 - Desapertar a porca e retirar o veio	2 - Retirar o centro e rolo de cartão
	
3 - Através da ajuda da ponte-grua, transportar a bobina cheia até ao desenrolador. Nota: posicionar a bobina com as fitas tal como está na imagem (para permitir retirar as fitas após cortar)	4 - Colocar novamente o centro e garantir como no ponto 3 que não ficam a pressionar as cintas
	
5 - Voltar a colocar o veio e com chave de bocas nº 30, apertar a porca.	6 - Cortar as cintas através da utilização de alicate de corte. Cortar a ponta do arame com alicate de corte.

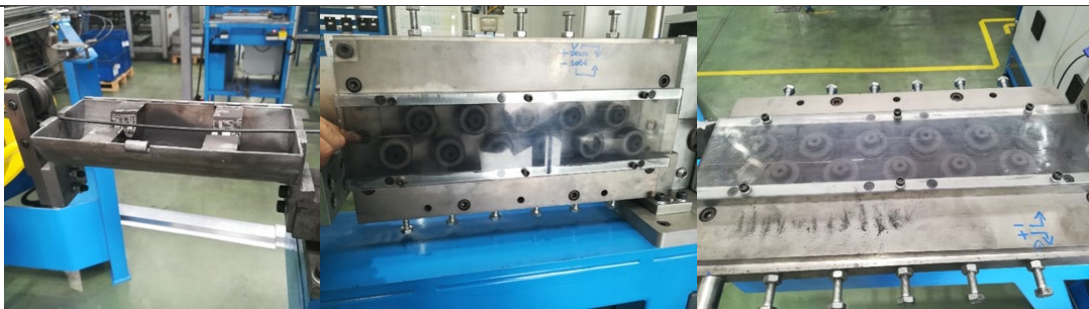


8 - Passar a ponta do arame pelos rolos do desenrolador; no rolo de possui sensor, garantir que o arame passa pela zona inferior do suporte. Deverá ter 3 voltas de arame no desenrolador.

Para permitir um desenrolamento mais fácil, puxar o braço do desenrolador para dentro.



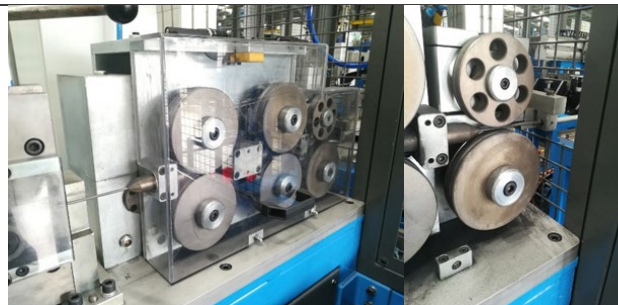
9 - Endireitar a extremidade do arame, de forma a garantir que este fica alinhado e pode passar nos sistemas da máquina.



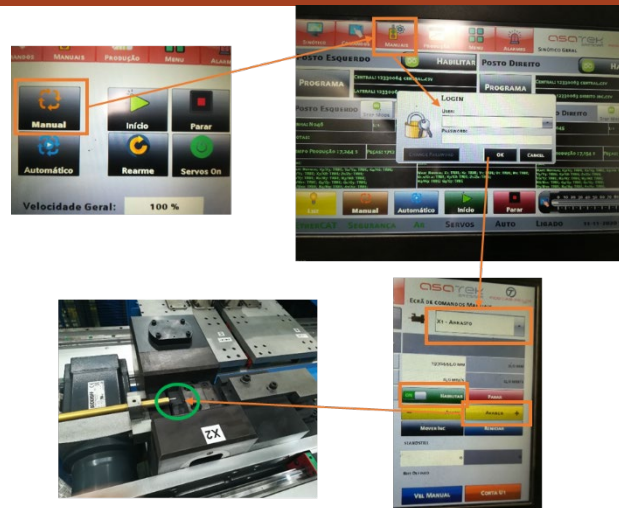
10 - Passar o arame pelo suporte de limpeza do arame. Passar o arame pelos roletos de endireitamento.

Nota: Os manipulados devem estar aliviados para permitir a passagem do arame de forma livre.

No fim, colocar a escova no arame para permitir a limpeza.



12 - Passar o arame pelos rolos de tração até ao interior do tubo metálico.

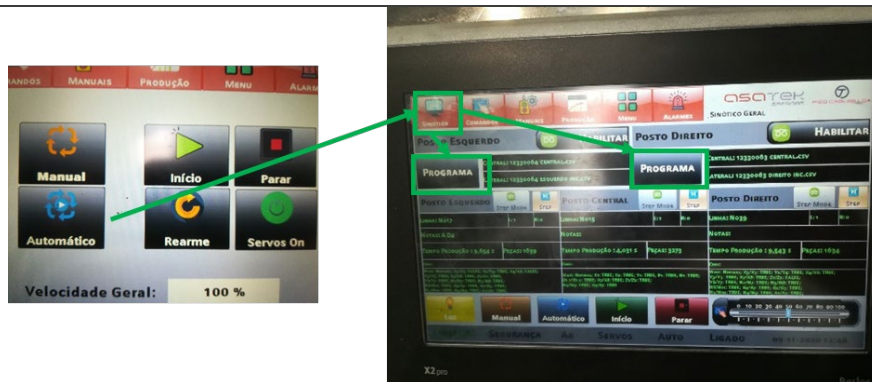


13 - No painel de controlo seleccionar:

- 1) Modo Manual
- 2) Selecionar comando Manuais e colocar No User: Afinador e na *Password*: 0010
- 3) Selecionar o X1 . ARRASTO; seleccionar Habilitar (ON); e acionar comando AVANÇO (+)
- 4) Selecionar o Comando AVANÇO (+) até o arame sair do tubo amarelo

Nota: Verificar o endireitamento do arame; ter cuidado ao introduzir na guia de corte.

14 - Garantir que as portas de segurança estão fechadas, assim como a porta de segurança dos rolos de tração, que as barreiras fotoelétricas estão libertas e os comandos de emergência não atuados e a máquina devidamente rearmada.



15 - Selecionar Modo Automático (máquina irá fazer o ponto 0); Posteriormente, seleccionar comando Sinótico e seleccionar em cada lado da máquina o Programa de Corte. A máquina irá realizar cortes de forma automática.

Nota: Verificar o endireitamento do arame cortado.

Se OK - seleccionar o programa da referência a produzir.





SELECIONAR MODO AUTOMÁTICO - E INICIO

Se NOK - afinar mecânicamente o sistema de endireitamento e voltar a repetir ponto 15.

4.11.3 Descrição da má utilização prevista do equipamento

Na Tabela 36 são apresentadas as situações de má utilização previstas no equipamento.

Tabela 36 - Descrição de possível má utilização prevista para o equipamento

Descrição de possível má utilização prevista para o equipamento
 SEGURANÇA
<ol style="list-style-type: none">1) Não violar sistemas de segurança da máquina;2) Não simular a passagem dos sistemas de segurança;3) Não forçar electroválvulas do quadro pneumático;4) Não utilizar a máquina para fins diferentes daquele para o qual foi concebida;5) Não alterar componentes, estruturas ou proteções da máquina sem prévia consulta do responsável pelo desenvolvimento da linha;6) Não retirar e/ou escamotear ou inoperar os dispositivos de segurança e proteção;7) Não acionar qualquer válvula manualmente. Os danos provocados por um acionamento incorreto poderão ser graves, para os operadores e/ou máquina;8) Não improvisar ferramentas do equipamento ou de trabalho.
 MATERIAIS
<ol style="list-style-type: none">1) Não deixar qualquer tipo de ferramenta dentro da área de trabalho da máquina; organizar as ferramentas/calibres nos locais devidamente definidos;2) Não colocar qualquer tipo de objeto debaixo da máquina, tais como caixas vazias ou com material; cumprir as localizações definidas para armazenamento de materiais.
 CONSOLA
<ol style="list-style-type: none">1) Não utilizar qualquer tipo de objeto como canetas ou outro tipo de ferramentas no <i>touch</i> da consola.
 FORMAÇÃO
<ol style="list-style-type: none">1) Em caso de avaria, apenas técnicos devidamente formados poderão diagnosticar o problema. Os operadores da máquina não podem efetuar tarefas de manutenção.2) Não permitir a operação da máquina por parte de operadores sem formação.

4.11.4 Planos de manutenção

Na Tabela 37 e Tabela 30 é apresentado o plano de manutenção de 1º e 2º nível do equipamento.

Tabela 37 - Plano de manutenção 1º nível

Manutenção 1º Nível									
Manutenção da Máquina									
Tipo de Tarefa	Tarefa	Método	Ferramentas Materiais	Responsável	Ação Corretiva		Freq. ..	Nec. Paragem	Duração Total min.
					Responsável	Ação			
Limpeza	Limpeza geral da máquina + desbobinador	Manual	Pano e Pistola de ar	OP/AF	MNT		Diário	S	10
Limpeza	Limpar endireitador + ferramentas de dobragem + zonas de passagem do arame + Escova de limpeza (guias)	Manual	Pincel, pistola de ar	OP/AF	MNT		Turno	S	3
Inspeção	Verificar desgaste de todas as peças em contacto com o arame	Inspeção visual		OP/AF	MNT	Substituir	Turno	S	2
Lubrificação	Lubrificar roletes do endireitador	Manual	Galheta com óleo RENOLIN CLP220	OP/AF			Turno	S	2
Inspeção	Verificar existência de fugas de ar	Inspeção visual/ auditivo		OP/AF	MNT	corrigir e/ou substituir	Turno	N	2
Inspeção	Verificar fugas de óleo no arrasto	Inspeção visual		OP/AF	MNT	Verificar estado dos orrings e vedantes	Turno	N	2
Inspeção	Verificar existência de ruído e/ou vibração anormal			OP/AF	MNT	Verificar e substituir o que for necessário	Turno	N	2
Inspeção	Verificar a existência de folgas	Inspeção visual/ funcional		OP/AF	MNT	Reapertar e substituir no caso de estar danificado	Turno	S	2
Inspeção	Verificar estado de quadro elétrico e painel de controlo. Garantir que estejam fechados	Inspeção visual		OP/AF	MNT	corrigir e/ou substituir	Turno	N	5
Inspeção	Verificar nível de óleo do arrasto (visor)	Inspeção visual		OP/AF		Controlar e completar se necessário	Turno	N	1
Lubrificação	Lubrificar as guias dos patins	Manual	galheta com óleo RENOLIN CLP220	OP/AF			Sem anal	S	2

Tabela 38 – Plano de manutenção 2º nível

Manutenção 2º Nível									
Manutenção da Máquina									
Tipo de Tarefa	Tarefa	Método	Ferramentas Materiais	Resp.	Ação Corretiva		Freq.	Nec. Paragem	Duraç ão Total min.
					Resp.	Ação			
Revisão	Revisão ao desenrolador (desgaste, folgas, lubrificação)	Revisão		MNT	MNT		Trimestra I	S	
Revisão	Revisão ao sistema endireitador (veios, roletes, rolamentos)	Revisão		MNT	MNT		Trimestra I	S	
Revisão	Revisão ao sistema de arrasto (limpeza, lubrificação, folgas e rolamentos)	Revisão		MNT	MNT		Trimestra I	S	
Revisão	Revisão aos cabeçotes de dobragem (verificar folgas/desgaste, apertos/lubrificação)	Revisão		MNT	MNT		Trimestra I	S	
									240
Revisão	Abriu tampas dos conjuntos dobragem e lubrificar	Revisão	Massa	MNT	MNT		Trimestra I	S	
Revisão	Lubrificar todos os pontos de lubrificação (Grasser) e cremalheira (diagonal)	Revisão	Massa				Trimestra I	S	
Revisão	Trocar óleo redutor do arrasto	Revisão	RENOLIN CLP220	MNT	MNT		Semestral	S	
Inspeção	Verificar estado dos sensores e cablagem	Manual Visual		MNT	MNT		Semestral	S	
Inspeção	Verificar estado dos cabos de rede			MNT	MNT	Substituir caso estejam danificado s	Semestral	S	

CONCLUSÕES

- 5.1 Objetivos alcançados
- 5.2 Contributo para a empresa
 - 5.3 Contributo pessoal
 - 5.4 Trabalhos futuros

5 CONCLUSÕES

5.1 Objetivos alcançados

Os objetivos deste trabalho consistiam no desenvolvimento de um equipamento de dobragem de arame com uma maior produtividade e flexibilidade, de modo a tornar a empresa mais competitiva na abordagem ao mercado neste tipo de produto.

A nível da **produtividade**, com o projeto implementado conseguiu-se alcançar as **950 peças por hora**, sendo o objetivo inicial 800 peças por hora.

A **flexibilidade** do equipamento também foi conseguida. Desde a implementação do equipamento, já foram colocadas em produção mais **seis referências de arame**, além das quatro referências do projeto a que se destinava o equipamento.

O **setup** do equipamento ficou simplificado, pois é possível realizar-se em **30 min**.

O baixo **custo do equipamento** foi conseguido. Este equipamento teve um custo de **121 575 €** e o anterior custo para equipamento de alta cadência era de **160 000 €**.

O baixo **custo de ferramentas** foi conseguido. O custo de novas ferramentas é **6 000 € por unidade** e anteriormente, para equipamentos de alta cadência, era **50 000€**.

5.2 Contributo para a empresa

Um dos objetivos deste projeto era tornar a empresa mais competitiva na área da dobragem de arame, pois a implementação de novos projetos nos equipamentos de alta cadência era muito dispendiosa, e nem sempre era possível. Com este novo equipamento, o reaproveitamento dos equipamentos mais antigos para novos projeto tornou-se bastante mais fácil e com um menor custo.

No equipamento, para além do projeto a que se destinava inicialmente, foram colocados com sucesso em produção mais dois projetos, de modo a rentabilizar a sua ocupação, bem como a melhorar a produtividade de projetos que estavam em equipamentos de baixa produtividade.

Este equipamento foi adotado pela empresa como o novo *standard* de equipamentos para a dobragem de arame. Foram já construídos mais dois equipamentos até à data da entrega desta dissertação.

5.3 Contributo pessoal

Este projeto, devido a ser muito complexo e extenso, permitiu a interação com muitas pessoas de diferentes áreas profissionais, o que permitiu adquirir novas valências técnicas, mas sobretudo um melhoramento substancial nas relações interpessoais.

Neste tipo de projetos, é essencial não perder o foco no resultado final, pois sucedem-se vários contratempos, onde é essencial possuir uma grande flexibilidade com vista à resolução das dificuldades que se sucedem.

5.4 Trabalhos futuros

Neste equipamento, é possível acrescentar mais operações que são essenciais no processo de produção de coxins. Uma dessas operações que se podem acrescentar neste equipamento é o tratamento térmico. Neste equipamento, é possível ter uma nova estação que realizaria tratamento ao arame por indução.

Neste processo, além da integração de processos no equipamento desenvolvido, é agora possível desenvolver uma célula de produção que engloba todos os processos da produção dos coxins. A célula teria de possuir a dobragem de arames, o tratamento térmico, e a injeção plástica. Esta célula reduziria *stocks* intermédios, e o número de pessoas envolvidas em todo o processo.

BIBLIOGRAFIA

6 BIBLIOGRAFIA

- [1] G. Ficosa, "Ficosa reinforces its presence in Portugal with new facilities," *Ficosa*, 19 December 2018. [Online]. Disponível em: <https://www.ficosa.com/news/ficosa-reinforces-its-presence-in-portugal-with-new-facilities/>. [Acesso: 12 de Novembro de 2020]
- [2] OICA, "After 2019's halt to 10 years of industry growth, the world auto industry faces a huge 2020 crisis, but will once again show its resilience". Disponível em: <http://www.oica.net/category/media-center/>. [Acesso: 20 de Novembro de 2020]
- [3] OICA, *PRODUCTION STATISTICS*. Disponível em: <https://www.oica.net/category/production-statistics/2019-statistics/>. [Acesso: 5 de Novembro de 2019]
- [4] Statista, *Revenue of leading automakers worldwide in 2019*. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/232958/revenue-of-the-leading-car-manufacturers-worldwide/>. [Acesso: 5 de Novembro de 2019]
- [5] World Bank, Disponível em: <https://data.worldbank.org/country/PT?locale=pt>. [Acesso: 20 de Novembro de 2019]
- [6] I. L. Organization, "The future of work in the automotive industry: The need to invest in people's capabilities and decent and sustainable work,". [Acesso: 8 Maio de 2020.
- [7] U. N. I. D. Organization. Disponível em: <https://stat.unido.org/>. [Acesso: 5 Dezembro de 2020]
- [8] C. f. A. Research, "Contribution of the Automotive Industry to the Economies of All Fifty States and the United States," 2015.
- [9] European Commission. *Automotive industry*. Disponível em: https://ec.europa.eu/growth/sectors/automotive_en. [Acesso: 5 Dezembro de 2020]
- [10] AFIA. Disponível em: <https://afia.pt/tag/aicep/>
- [11] ACAP, *ACAP ANALISA 2019*. Disponível em: <https://www.acap.pt/pt/noticia/232/acap-analisa-2019>. [Acesso: 11 Dezembro de 2020]
- [12] A. I. –ACAP Estatísticas do sector automovel edição 2019.
- [13] AFIA, "INDÚSTRIA DE COMPONENTES PARA AUTOMÓVEIS," edição 2020.
- [14] Manufacturing. (12/12/2020). *The Importance of Quality Control in the Automotive Industry*. Disponível em: <https://www.manufacturingglobal.com/ai-and-automation/servitisation-new-lease-life-manufacturers>
- [15] K. Styliadis, "Defining perceived quality in the automotive industry: an engineering approach,". *Sciencedirect*, 2015.
- [16] L. F. J. F. S. Ramos, "Enabling factors for the competitiveness of the Portuguese automotive industry ". *Sciendo*, 2019.
- [17] C. Rosa, F. J. G. Silva, R. D. S. G. Campilho, "Improving the quality and productivity of steel wire-rope assemblylines for the automotive industry," *Procedia Manufacturing*, vol. 11, pp. 1035-1042, 2017.
- [18] C. Rosa, F. J. G. Silva, L. P. Ferreira, R. Campilho, " SMED methodology: The reduction of setup times for Steel Wire-Rope assembly lines in the automotive industry," *Procedia Manufacturing*, vol. 13, pp. 1034-1042, 2017.
- [19] C. Rosa, F. J. G. Silva, L. P. Ferreira, T. Pereira, R. M. Gouveia, " Establishing Standard Methodologies To Improve The Production Rate Of Assembly Lines Used For Low Added-Value Products," *Procedia Manufacturing*, vol. 17, pp. 555-562, 2018.

- [20] L. M. V. d. I. L. E. A. V. I. N. G. Villegas, "Factors for manufacturing competitiveness of automotive part suppliers from Nuevo Leon, Mexico: a literature review" International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (ITOM), 2017..
- [21] L. M. B. Araújo, F. J. G. Silva, R. D. S. G. Campilho, J. A. Matos, "A novel dynamic holding system for thin metal plate shearing machines," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 44, pp. 242-252, 2017.
- [22] P. M. M. Santos, R. D. S. G. Campilho, F. J. G. Silva, "A new concept of full-automated equipment for the manufacture of shirt collars and cuffs,"
- [23] N. F. M. Veiga, R. D. S. G. Campilho, F. J. G. da Silva, P. M. M. Santos, P. V. Lopes, "Design of automated equipment for the assembly of automotive parts," *Procedia Manufacturing*, vol. 38, pp. 1316-1323, 2019.
- [24] P. R. Santos, F. J. G. Silva, R. D. S. G. Campilho, G. F. L. Pinto, A. Baptista, "A novel concept of a conduit transport system," *Procedia Manufacturing*, vol. 38, pp. 848-857, 2019.
- [25] M. P. Groover, PEARSON, Ed. *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*, Fourth Edition, 2014. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 67, pp. 102023, 2021.
- [26] M. Barbosa, F. J. G. Silva, C. Pimentel, R. M. Gouveia, "A Novel Concept of CNC Machining Center Automatic Feeder," *Procedia Manufacturing*, vol. 17, pp. 952-959, 2018.
- [27] A. J. A. Magalhães, F. J. G. Silva, and R. D. S. G. Campilho, "A novel concept of bent wires sorting operation between workstations in the production of automotive parts," *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol. 41, no. 1, p. 25.
- [28] W. F. S. Araújo, F. J. G. Silva, R. D. S. G. Campilho, J. A. Matos, "Manufacturing cushions and suspension mats for vehicle seats: a novel cell concept," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 90, pp. 1539-1545, 2017.
- [29] F. J. G. Silva, R. D. S. G. Campilho, V. F. C. Sousa, L. F. P. Coelho, L. P. Ferreira, M. T. Pereira, J. Matos, "A New Concept of Jig Rotary Holder System for 3-Axis CNC Milling Machine Operated by the Main Machine Control," *Journal of Testing and Evaluation*, vol. 50(5), doi: 10.1520/JTE20210723.
- [30] F. J. G. Silva, G. Swertvaegher, R. D. S. G. Campilho, L. P. Ferreira, and J. C. Sá, "Robotized solution for handling complex automotive parts in inspection and packing," *Procedia Manufacturing*, vol. 51, pp. 156-163, 2020.
- [31] André F. Castro, M. F. Silva, F. J. G. Silva, "Designing a robotic welding cell for bus body frame using a sustainable way," *Procedia Manufacturing*, vol. 11, pp. 207-214, 2017.
- [32] F. J. G. Silva, M. R. Soares, L. P. Ferreira, A. C. Alves, M. Brito, R. D. S. G. Campilho, V. F. C. Sousa, "A Novel Automated System for the Handling of Car Seat Wires on Plastic Over- Injection Molding Machines," *Machines*, vol. 9, pp. 141, 2021.
- [33] D. Vieira, F.J.G. Silva, R.D.S.G. Campilho, V.F.C. Sousa, L.P. Ferreira, J.C. Sá, "Automating equipment towards industry 4.0: A new concept for a transfer system of lengthy and low-stiffness products for automobiles," *Journal of Testing and Evaluation*, vol. 50(5), in press, doi: 10.1520/JTE20210721.
- [34] R. Penne, F. J. G. Silva, R. Campilho, G. Santos, V.F.C. Sousa, L.P. Ferreira, "A new approach to increase the environmental sustainability of the discharging process in the over-injection of conduits for bowden cables using automation," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, in press, doi: 10.1177/09544062221087547.
- [35] M. J. R. Costa, R. M. Gouveia, F.J.G. Silva, R.D.S.G. Campilho, "How to solve quality problems by advanced fully-automated manufacturing systems," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 94, pp. 3041–3063, 2018.
- [36] R. J. S. Costa, F. J. G. Silva, R.D.S.G. Campilho, "A novel concept of agile assembly machine for sets applied in the automotive industry," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 91, pp. 4043–4054, 2017.
- [37] P. M. S. Nunes, F. J. G. Silva, "Increasing flexibility and productivity in small assembly operations: A case study." In *Advances in Sustainable and Competitive Manufacturing Systems; Lecture Notes in Mechanical Engineering*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2013; pp. 329–340.

- [38] R. F. L. Santos, F. J. G. Silva, R.M. Gouveia, R.D.S.G. Campilho, M.T. Pereira, L.P. Ferreira, "The improvement of an APEX machine involved in the tire manufacturing process," *Procedia Manufacturing*, vol. 17, pp. 571–578, 2018.
- [39] B. M. D. N. Moreira, R. M. Gouveia, F. J. G. Silva, and R. D. S. G. Campilho, "A Novel Concept of Production and Assembly Processes Integration," *Procedia Manufacturing*, vol. 11, pp. 1385-1395,
- [40] M. Martins, R. Godina, C. Pimentel, F. J. G. Silva, J. C. O. Matias, "A Practical Study of the Application of SMED to Electron-beam Machining in Automotive Industry," *Procedia Manufacturing*, vol. 17, pp. 647-654, 2018.
- [41] E. Sousa, F. J. G. Silva, L. P. Ferreira, M. T. Pereira, R. Gouveia, R. P. Silva, "Applying SMED methodology in cork stoppers production," *Procedia Manufacturing*, vol. 17, pp.611-622, 2018.
- [42] T. Vieira, J. C. Sá, M. P. Lopes, G. Santos, M. J. Félix, L. P. Ferreira, F. J. G. Silva, M. T. Pereira, " Optimization of the cold profiling process through SMED," *Procedia Manufacturing*, vol. 38, pp. 892-899, 2019.
- [43] F. J. G. Silva, R. M. Gouveia, "Cleaner Production - Toward a better future," Cham, Switzerland, Springer Nature Switzerland, 2020. ISBN: 978-3-030-23165-1.
- [44] N. Martins, F. J. G. Silva, R. D. S. G. Campilho, and L. P. Ferreira, "A novel concept of Bowden cables flexible and full-automated manufacturing process improving quality and productivity," *Procedia Manufacturing*, vol. 51, pp. 438-445, 2020/01/01/ 2020.
- [45] Directiva 2006/42/CE (PT) (2006) 'Directiva 2006/42/CE relativa a maquinas', *Jornal Oficial da União Europeia*, 2006, pp. 24–86.
- [46] Tschaetsch, Heinz 2006. *Metal Forming Presses*. Springer. Cap. 16, 194 – 211
- [47] SSAB, Swedish Steel 1998. *Sheet Metal Forming Handbook*. SSAB Tunplatt AB. Cap. 4, 367

ANEXOS

7.1 Recolha de dados

7.2 Fichas técnicas

7.3 Manual do equipamento

7 ANEXOS

7.1 Recolha de dados

Referencia	Diâmetro	Classe	Nº de dobras	Nº de raios	Nº de planos	Comp.	Nº de ganchos
1			13			551,7	
2	3.4	SH	15	2	3	574,5	1
3			14			538,5	
4			17			561,3	
5	3	SH	25	2	2	1115,8	2
6	3	SH	23	2	2	998,1	2
7	4	SH	13	2	3	492	2
8	3.2	SH	15	4	2	576.6	2
9	3.5	SM	16	2	2	576.4	2
10	3.5	SM	16	3	3	565.5	2
11	3.2	SH	9	2	2	509.3	1
12						498.8	
13						563.4	
14	3.2	SM	11	2	2	530.3	1
15						507.1	
16						534.1	
17	3.5	SM	13	2	3	576.7	2
18	3.4	SH	13	2	3	583.3	2
19						582,3	
20	4	SH	12	2	3	563,2	1
21	3.5	SM	12	2	5	465.4	1

22	3.5	SM	11	2	2	432,3	1
23			16	2	3	672,9	
24	3.5	SH	15	2	3	651,7	1
25			8	2	4	456,1	
26	3	SL	16	3	4	630,9	2
27	3.5	SM	12	3	3	544,8	2

7.2 Fichas técnicas

7.3 Manual do equipamento