



**ANA GABRIELA DA
SILVA GRANGEIA**

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE DATAÇÃO
NUMA MÁQUINA DE EMPACOTAMENTO**



**ANA GABRIELA DA
SILVA GRANGEIA**

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE DATAÇÃO
NUMA MÁQUINA DE EMPACOTAMENTO**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação científica da Doutora Ana Maria Pinto de Moura, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro

Aos meus pais, pela sua luta constante. To Dave, for his love and support.

o júri

presidente

Prof. Doutora Marlene Paula Castro Amorim
professora auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Ricardo José Alves de Sousa
professor auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof. Doutora Ana Maria Pinto de Moura
professora auxiliar da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Dedico este trabalho a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram e apoiaram-me para chegar onde cheguei. Pelo esforço incondicional dos meus pais, dedico especialmente este trabalho a eles. A sua luta pelo meu sucesso ao longo da minha viagem académica contribuíram para a pessoa que me tornei. Obrigada manas, Deisy e Érica, pela vossa paciência e apoio na concretização dos meus sonhos.

For the kindness and support, I express my deepest gratitude to Dave.

À minha orientadora científica, Prof.^a Ana Moura, pela sua disponibilidade e apoio em todas as fases deste projeto.

Ao meu orientador na empresa Bosch, Eng.^o Carlos Cermeño, pela sua dedicação e empenho em assegurar o meu crescimento profissional e a todos os meus colegas de trabalho que me ajudaram na minha integração na sua empresa e cultura.

palavras-chave

Processo de design, modelação em 3D, processos de maquinagem, datação, deteção de papel, rolo de aceleração

resumo

Todas as empresas devem dirigir os seus esforços para as constantes mudanças no mercado. A criação do presente projeto teve o intuito de adaptar uma máquina de empacotamento de chocolates já existente da empresa Bosch de acordo com as exigências do mercado. Até ao momento a máquina não incluía um sistema que permitisse fazer a inscrição da data de validade nos chocolates, sendo um processo executado separadamente e da responsabilidade do cliente.

Deste modo, a implementação deste sistema permite que a empresa satisfaça os requisitos dos atuais clientes e para futuros clientes, contribuindo para o aumento do seu nicho de mercado exigindo apenas um investimento inicial. A criação deste sistema envolveu um conjunto de fases sequenciais tais como processo de modelação 3D do sistema, estudo de requisitos mecânicos e financeiros e análise de diferentes cenários até ao produto final.

keywords

Design process, 3D modeling, machinery process, dating, paper detection, acceleration roll.

abstract

Every organization should maximize their efforts to follow changes in the market. The current project was created in order to satisfy a market demand which involves the modification of a product made by Bosch, namely, a chocolate wrapping machine. In the past, this machine did not contain a system to include the inscription of the date on the product. Rather, this step was performed separately by the client.

Therefore, the implementation of this system in the wrapping apparatus is satisfying a customer need by reducing the number of processing steps and facilitating handling on the client-side. This may allow Bosch to increase their market niche.

The creation of this system involved a series of steps, including the 3D modeling and analyses of mechanical and financial requirements until completion of the final product.

Índice

1.	Introdução	1
1.1.	Definição do Projeto	3
1.1.1.	Descrição do problema	3
1.1.2.	Objetivos propostos	4
1.1.3.	Metodologia – Fases de desenvolvimento do projeto.....	4
2.	Desenvolvimento do Produto - <i>Design</i> Industrial e processos de produção.....	6
2.1.	Engenharia do <i>Design</i>	6
2.1.1.	Definição da engenharia do <i>design</i>	6
2.1.2.	Etapas do processo de <i>design</i>	6
2.2.	Seleção do material	8
2.2.1.	Materiais metálicos.....	8
2.3.	Processos de produção – materiais metálicos	10
2.3.1.	Conformação	10
2.3.2.	Fundição	11
2.3.3.	Corte.....	12
2.3.4.	Tecnologia de maquinagem	12
2.3.5.	Ligações mecânicas e térmicas	15
3.	Apresentação da empresa	17
3.1.	Bosch Packaging Technology.....	17
3.2.	Gama de produtos	19
3.3.	Departamento de desenvolvimento.....	20
3.4.	Política de qualidade – Bosch Production System.....	22
4.	Starpac - Máquina de embalamento de chocolate	23
4.1.	Componentes estruturais da Starpac	23

4.1.1.	Alimentador de papel	24
4.1.2.	Restantes blocos estruturais da Starpac	26
4.2.	Fases sequenciais do produto na Starpac	27
4.3.	Produtos.....	28
5.	Implementação de um sistema de datação.....	29
5.1.	Componentes de um sistema de Datação	29
5.2.	Determinação da localização	30
5.2.1.	Determinação e análise das propostas de localização do corpo do laser	31
5.2.2.	Determinação da localização da cabeça do laser	32
5.3.	Determinação e desenvolvimento do conceito de <i>design</i> recomendado	35
5.3.1.	Sistema de deteção de papel.....	36
5.3.2.	Suporte para o Laser Domino	41
5.3.3.	Sistema para rolo de aceleração.....	42
5.3.4.	Suporte para o controlador	48
5.4.	Determinação de diferentes cenários	50
5.5.	Melhoria da solução	53
6.	Conclusão	59
	Bibliografia	60

Índice de Tabelas

Tabela 1- Processos de Conformação [15] (adaptado)	11
Tabela 2 - Exemplos de ligações mecânicas [6, 17]	16
Tabela 3 - Gama de produtos da empresa	20
Tabela 4 - Comparação dos dois cenários	52
Tabela 5 – Resultados do momento de inércia do rolo de aceleração (cenário atual)	55

Tabela 6 - Resultados do momento de inércia do rolo de aceleração (cenário melhorado)56

Índice de Figuras

Ilustração 1 – Metodologia proposta.....5

Ilustração 2 - Processo de *design* segundo G. Pahl e W. Beitz (2006) (Adaptado)7

Ilustração 3 - Aço inoxidável [2].....9

Ilustração 4 - Ligas de alumínio [4]9

Ilustração 5 - Formatos comerciais [3].....9

Ilustração 6- Tipos de processos de corte [1].....12

Ilustração 7 - Exemplos de operações de furação (a); broca (b); suporte da broca (c) [7, 8]13

Ilustração 8 - Exemplo de uma operação de torneamento [7] [8]13

Ilustração 9 - Exemplos de operações de fresagem [7]14

Ilustração 10 - Torno CNC.....14

Ilustração 11 – (a) Soldadura por brasagem [5]; (b) Soldadura autogénea [7]16

Ilustração 12 – Setores nos quais a Bosch Packaging Technology encontra-se inserida17

Ilustração 13 – Presença da Robert Bosch no mundo17

Ilustração 15 - Clientes da Sapal, SA18

Ilustração 15 - Vista aérea da sede da Sapal, SA18

Ilustração 16 - Estrutura Organizacional da Sapal, SA18

Ilustração 17 - Chocolates embalados com o método Flow Pack19

Ilustração 18 - Método de empacotamentos das máquinas da Sapal.....19

Ilustração 19 - Princípio estrutural de uma máquina de empacotamento23

Ilustração 20 - Dimensões da Starpac.....23

Ilustração 21 - Componentes principais do alimentador de papel.....25

Ilustração 22 – *Spindle* (a); Braço de regularização (b); *Splicer* (c); Braço dinâmico (d)25

Ilustração 23 - Alimentador de papel e os seus componentes.....26

Ilustração 24 - Secções da Starpac.....27

Ilustração 25 -Fases sequenciais do embrulho do chocolate	28
Ilustração 26 - Possíveis produtos a ser embalados	28
Ilustração 27 - Área de trabalho e distância focal do laser	29
Ilustração 28 - Laser D-320i	29
Ilustração 29 - Controlador Standard do laser	30
Ilustração 30 - Ecrã táctil de controlo	30
Ilustração 31- Sistema de extração	30
Ilustração 32 - Propostas de localização do laser	31
Ilustração 33 - Situação atual do alimentador de papel	32
Ilustração 34 - Possíveis posicionamentos da cabeça do laser	33
Ilustração 35 - Cenário 1	33
Ilustração 36 - Cenário 2	34
Ilustração 37 - Localização para o sistema de deteção de papel.....	37
Ilustração 38 - Sistema de deteção de papel desenvolvido	38
Ilustração 39 - Suporte de fixação	38
Ilustração 40 - Chapa de aço-inoxidável	39
Ilustração 41 - Placa para passagem do papel.....	40
Ilustração 42 - Ferramenta de fresagem para a criação das estrias	40
Ilustração 43 - Protótipo final do sistema de deteção de papel.....	40
Ilustração 44 - Suporte para o Laser Domino desenvolvido.....	41
Ilustração 45 - Ligação mecânica para o posicionamento do laser	41
Ilustração 46 - Proposta de localização para o sistema de aceleração.....	42
Ilustração 47 - Sistema para rolo de aceleração proposto.....	43
Ilustração 48 - Suporte de fixação na máquina	43
Ilustração 49 - Corte de secção do rolo de aceleração	44
Ilustração 50 - Eixo pivô	45

Ilustração 51 - Vista Lateral da máquina.....	45
Ilustração 52 - Suporte de fixação para o eixo pivô (b) e o seu corte de secção (a).....	46
Ilustração 53 - Codificador incremental utilizado neste sistema.....	46
Ilustração 54 – Exemplo de um acoplamento de uma chaveta no eixo pivô (a) [6] e no modelo proposto (b).....	47
Ilustração 55 - Exemplo de um circlip	47
Ilustração 56 - Peça de suporte	47
Ilustração 57 - Placa de proteção	47
Ilustração 58 - Proposta de localização para o controlador.....	48
Ilustração 59 - Suporte para o controlador do laser.....	49
Ilustração 60 - Cenário A proposto	50
Ilustração 61 - Cenário B proposto	50
Ilustração 62 - Correção do posicionamento dos rolos suplementares	53
Ilustração 63 – Eixos de inércia e sistema de coordenadas de saída.....	55
Ilustração 64 - Componentes que interferem com o momento de inércia do sistema.....	57
Ilustração 65 - Novo suporte de fixação proposto	57
Ilustração 66 - Sistema para o rolo de aceleração proposto.....	58
Ilustração 67 - Layout final da Starpac.....	58
Ilustração 68 - Percurso do papel com o sistema de datação.....	58

1. Introdução

A área de engenharia e gestão industrial é caracterizada pela sua adaptabilidade em qualquer departamento dentro de uma organização. Para compreender o quanto adaptável um engenheiro de gestão industrial deve ser, encontra-se integrado um estágio curricular no mestrado que visa contribuir para o desenvolvimento académico e profissional dentro de um ambiente empresarial.

Neste contexto, realizou-se o presente estágio curricular com o intuito de facilitar a integração no mercado de trabalho e contribuir para uma flexibilidade mais eficiente por parte do estudante, levando-o a aprender a identificar problemas e a desenvolver esforços para procurar soluções pertinentes e eficazes.

O estágio curricular teve lugar no departamento de Desenvolvimento na empresa Sapal, SA – *A Bosch Packaging Technology Company*, sediada em Lausanne, Suíça, num período de 7 meses.

Este destacou-se principalmente pela sua elevada componente mecânica. Apesar disso, provou o quanto importante é para um engenheiro ser versátil.

O desenvolvimento de novos produtos possui um grande peso neste projeto. É de salientar que, na área de engenharia e gestão industrial, é necessário construir uma visão global do modo como uma organização opera e se mantém sustentável ao longo dos anos. Tudo começa com o desenvolvimento de novos produtos.

A criação de produtos não exige apenas originalidade mas também uma visão técnica, relativamente ao processos de produção adequados, e financeira, associados aos custos de produção. Ao longo de processo de *design* várias questões se podem colocar, nomeadamente:

- Considera-se esta peça essencial para o produto final?
- Qual o nível de complexidade exigido?
- É possível produzir esta peça?
- Quais os processos de produção com custos reduzidos?
- Quanto custa produzir esta peça?
- É possível simplificar a peça para tornar o seu custo associado menor?

Ao longo do estágio surgiu o presente projeto que consiste na criação de um sistema capaz de efetuar a inscrição da data de validade no produto em simultâneo com a produção. As questões anteriormente mencionadas têm de estar sempre presentes quando se desenvolve uma peça.

Este projeto irá permitir visualizar o quanto complexo um processo de design pode ser, considerando-se um processo demorado, com elevados custos associados e uma elevada exigência de tempo e dedicação por parte de todos os colaboradores envolvidos no projeto.

Relativamente à estrutura do projeto este pode-se dividir em quatro grandes tópicos: enquadramento teórico, apresentação da empresa, descrição geral da máquina de empacotamento, definição e desenvolvimento do projeto.

A Sapal SA apenas se responsabiliza pela montagem das suas máquinas. Tudo o que envolve produção de peças, dispositivos elétricos, entre outros, recorre a fornecedores externos, dedicando-se apenas à criação do conceito mecânico e a montagem propriamente dita. Por esta razão, considerou-se relevante efetuar um enquadramento teórico no qual inclui as fases de um processo de *design* e os principais processos de produção utilizados para a construção de componentes mecânicos.

A segunda parte do projeto possui como objetivo apresentar a organização para compreender onde e como a empresa que insere dentro do grupo alemão Bosch, quais os seus principais clientes e como se encontra organizada internamente.

Antes do desenvolvimento do projeto propriamente dito, é necessário possuir uma visão do funcionamento da máquina de empacotamento e chocolates (denominada *Starpac*), deste modo, incluiu-se neste projeto um capítulo dedicado às suas características e funcionalidades.

Por fim, o tópico relativo ao desenvolvimento do projeto relativo à implementação do sistema de datação dividiu-se em quatro capítulos: definição e descrição do problema, estudo dos componentes exigidos e possíveis *layouts*, desenvolvimento do conceito de design e por último, a análise e avaliação do sistema, com o objetivo de chegar a uma proposta de solução eficiente e eficaz.

1.1. Definição do Projeto

1.1.1. Descrição do problema

Como mencionado anteriormente, a máquina *Starpac* não inclui um sistema de inscrição da data de validade do produto, levando a que sejam os clientes os responsáveis pelo investimento de um sistema desta magnitude, adquirindo-o separadamente. Este facto obriga a que o cliente utilize vários recursos, nomeadamente mão-de-obra, tempo e elevados custos monetários. Além do fator económico, o cliente também possui as seguintes desvantagens:

- **Alterações do seu *layout* na área de produção:** Uma vez que a máquina e o sistema são adquiridos separadamente, leva a que seja necessário mais espaço, provocando menos flexibilidade na sua área de produção;
- **Processo de produção menos eficiente:** torna o processo de empacotamento do produto mais lento, pois o embrulho do chocolate e a sua datação são efetuados separadamente.

Devido aos fatores mencionados, o principal objetivo deste projeto é efetuar a implementação de um sistema de datação na *Starpac* de modo a que, no futuro, caso o cliente esteja interessado, rapidamente a empresa pode posicionar-se estrategicamente face à concorrência quando o cliente toma a sua decisão.

A implementação deste sistema irá permitir que a *Starpac* seja um produto da empresa capaz de cobrir todo o processo de empacotamento dos chocolates, desde o próprio embrulho até ao sistema de abertura fácil e, a partir deste momento, a inscrição da sua data de validade. As modificações efetuadas no *design* da máquina possuem os seguintes requerimentos:

- Efetuar o mínimo de modificações na máquina-mãe;
- Seja possível fazer a inscrição nos diferentes produtos que a máquina abrange, aumentando assim o número de potenciais clientes interessados neste sistema;

1.1.2. Objetivos propostos

Para o desenvolvimento do presente projeto e tendo em conta o problema anteriormente apresentado, estabeleceram-se alguns objetivos dos quais se pretende atingir no final do projeto, nomeadamente:

- Criação de um sistema capaz de efetuar a inscrição individual da data de validade do produto simultaneamente com a produção, com o mínimo de adaptações possíveis na máquina;
- Desenvolvimento de um modelo em 3D, com o recurso ao *Solidworks*, do sistema mencionado;
- Criar o sistema de tal forma que, no futuro, possa ser utilizado para diferentes dimensões do produto. A flexibilidade do sistema possibilita uma maior abrangência no mercado-alvo da empresa abrindo a possibilidade a novos clientes interessados na sua utilização assim como os clientes atuais, que já adquiriram a máquina mas que pretendem implementar este sistema de datação;
- Análise de cada componente desenvolvido em termos de *design*, características, funções e processo de produção;
- Melhoramento do protótipo desenvolvido para o alcance de uma proposta de solução.

1.1.3. Metodologia – Fases de desenvolvimento do projeto

O presente projeto seguiu seis diferentes etapas, tendo em conta as exigências subjacentes. Estas encontram-se em concordância os passos gerais de um processo de *design* descritos no capítulo 1. Através da análise da seguinte ilustração, é possível visualizar as fases que o projeto seguiu que funcionaram como diretivas para a sua execução.

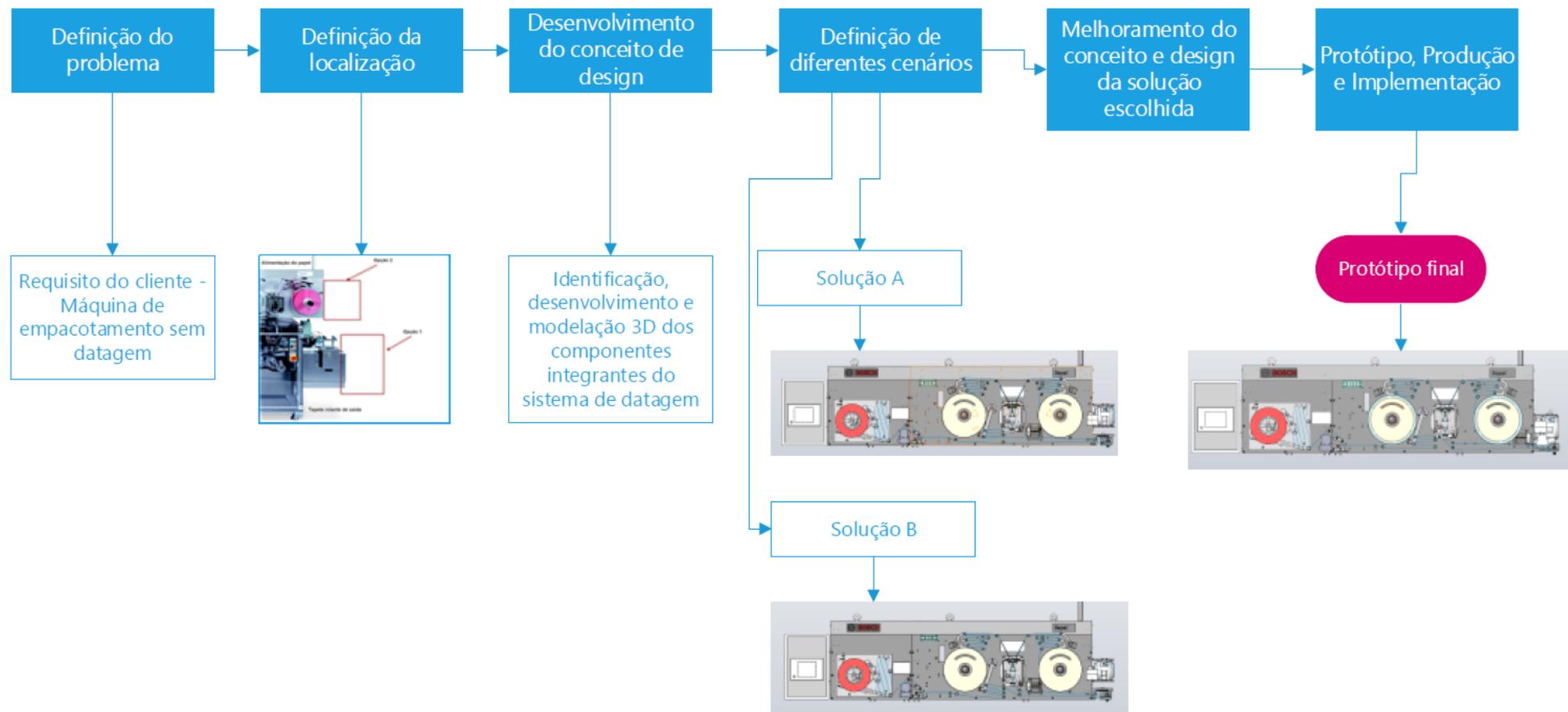


Ilustração 1 – Metodologia proposta

2. Desenvolvimento do Produto - *Design* Industrial e processos de produção

2.1. Engenharia do *Design*

2.1.1. Definição da engenharia do *design*

A engenharia do *design* consiste num processo de criar um sistema, componente ou processo para satisfazer as necessidades do cliente. O processo de *design* envolve um conjunto de tomadas de decisão nos quais se estabelecem os objetivos, critérios, síntese, análise, construção, teste e avaliação [9].

2.1.2. Etapas do processo de *design*

O processo de desenho constitui na criação de um novo produto que pode originar, de certa forma, lucro e benefícios para a sociedade. Para ajudar o *designer* a estabelecer um ponto de partida para o desenvolvimento do produto, são inicialmente estabelecidas um conjunto de etapas e definição de diretrizes que o irão ajudar a visualizar o produto pretendido [9].

Segundo Yousef Haik (2011) ao longo da literatura existem diversas concepções de um sistema de processo de *design*. Embora diferentes, todas englobam 5 princípios básicos:

- ✓ Requisitos do cliente (Identificação das necessidades do cliente; estudo de mercado; definição de objetivos)
- ✓ Conceito do produto (Estabelecimento das funções; especificação das tarefas)
- ✓ Conceito da Solução (Concetualização; avaliação de possíveis alternativas)
- ✓ Corporização do *design*
- ✓ *Design* detalhado (Análise e otimização)

Na ilustração seguinte pode-se observar o processo de *design* segundo G. Pahl e W. Beitz (2006) citado por [9].

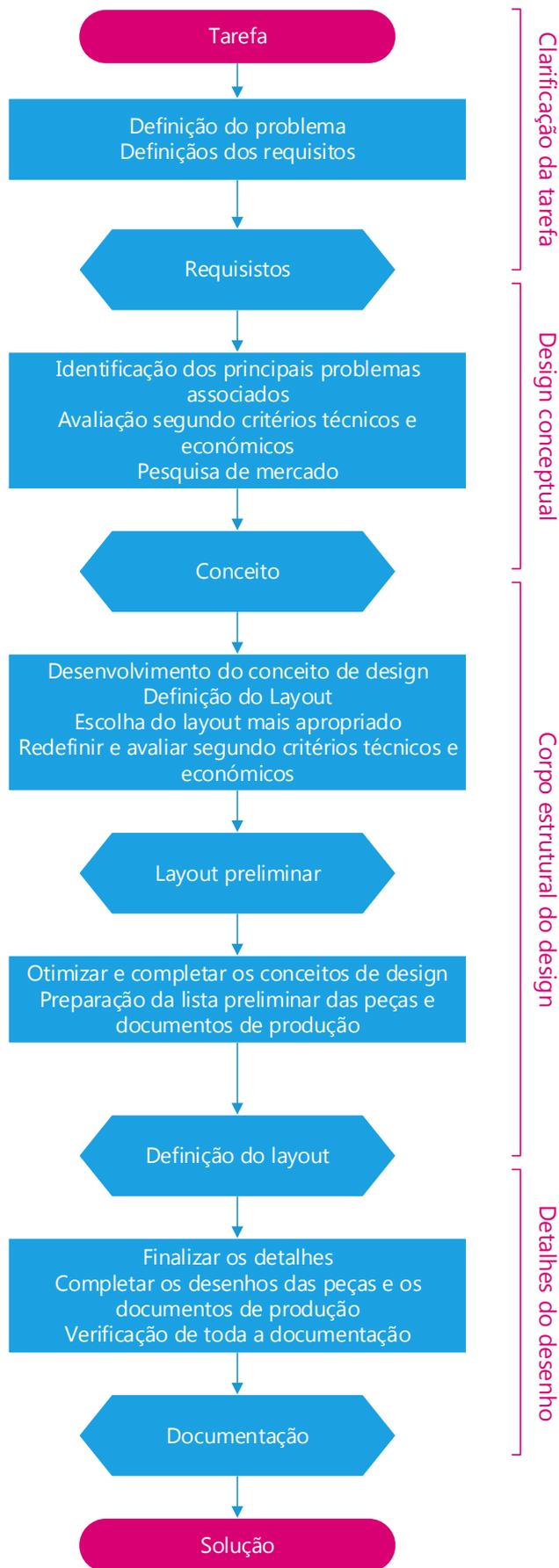


Ilustração 2 - Processo de *design* segundo G. Pahl e W. Beitz (2006) (Adaptado)

2.2. Seleção do material

Na engenharia do desenho, a seleção do material é passo essencial no desenvolvimento do produto [10]. São vários fatores que devem ser tidos em conta, nomeadamente o seu custo, o seu peso e a sua processabilidade. Esta tomada de decisão deve englobar quatro diferentes características do material [11]:

- Características de desempenho (físicas, mecânicas, não-mecânicas, superfície)
- Características de processamento
- Características económicas
- Características estéticas

No desenho mecânico são seguramente as características de desempenho dos materiais que mais afetam a tomada de decisão que, combinadas corretamente, aumentam a sustentabilidade do material ao longo da sua utilização [12]. As propriedades mecânicas que devem ser consideradas são, entre outras, a densidade, resistência, elasticidade, ductibilidade, dureza e deformação do material [12].

Os materiais utilizados na indústria metalúrgica possuem uma elevada diversidade. Estes podem ser divididos em materiais metálicos, polímeros, cerâmicos e compósitos. No âmbito do desenvolvimento do projeto serão abordados os materiais metálicos.

2.2.1. Materiais metálicos

Os materiais metálicos são normalmente classificados tendo em conta a presença do ferro, ou seja, em ligas ferrosas e não-ferrosas [1]. As ligas ferrosas constituem um material de grande versatilidade pois estas podem ser produzidas tendo em conta uma elevada variedade de propriedades mecânicas, químicas e físicas. Por outro lado, a sua simplicidade e custo de produção levam a que sejam um tipo de metal frequentemente utilizado e produzido [13].

Dentro dos materiais metálicos, os materiais mais utilizados ao longo do projeto correspondem ao aço inoxidável e as ligas de alumínio. Devido a este facto, apresenta-se de seguida as características principais destes materiais com o intuito de compreender a sua escolha.

Aço inoxidável

Este tipo de aço de liga é fortemente utilizado para peças de componentes mecânicos pois apresenta uma grande resistência ao calor. Por outro lado, devido à sua boa resistência à corrosão, torna-se também num material ideal para componentes expostos à passagem de água [3].

A sua elevada versatilidade, a sua durabilidade e o seu reduzido custo de manutenção comparativamente aos outros tipos de materiais leva a que seja um material bastante utilizado [2].



Ilustração 3 - Aço inoxidável [2]

Ligas de alumínio

Incluídas no grupo das ligas não-ferrosas, as ligas de alumínio são fortemente utilizadas pelo facto de serem consideradas um material bastante leve (cerca de 2700 kg/m^3 de densidade) [10]. Por outro lado, é um material fácil de processar, sendo acessível para processos de maquinagem. Ao contrário do alumínio puro, que por natureza é de difícil processamento, as ligas de alumínio são fáceis para o corte e manuseamento, podendo mesmo apresentar, dependendo do tipo de ligas de alumínio, resistência similar ao aço.



Ilustração 4 - Ligas de alumínio [4]

Todavia este material apresenta a desvantagem de ser difícil de soldar e dobrar [3].

Os materiais metálicos são normalmente comercializados no mercado com formatos *standard* que, após a sua aquisição, são processados para a obtenção de peças [8]. Na ilustração 4 pode-se observar alguns exemplos desses formatos.

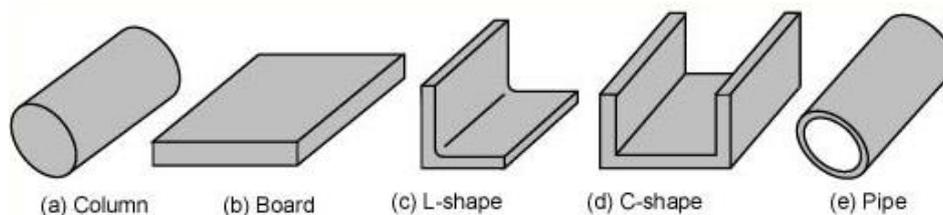


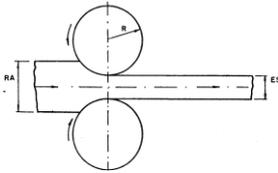
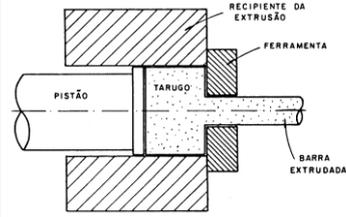
Ilustração 5 - Formatos comerciais [3]

2.3. Processos de produção – materiais metálicos

Durante o seu processo de produção, o metal passa por um processo de deformação plástica [14]. Este abrange diversos tipos de processos de produção dos quais os principais podem ser a conformação, a fundição, corte, etc. Após estes processos, o material metálico apresenta superfícies mais ou menos grosseiras que exigem, por vezes, que o material metálico passe por operações de acabamento através do recurso a processos de maquinagem por arranque de aparas [8].

2.3.1. Conformação

O processo de conformação consiste num processo de modificação da forma de corpos metálicos para a forma desejada. Estes processos de conformação mecânica mantêm a massa e a integridade do material metal, provocando a sua deformação plástica, podendo ser feitos a quente (acima da temperatura de recristalização) ou a frio (abaixo da temperatura de recristalização)[14]. Existem vários tipos de processos de produção os quais se podem observar na tabela seguinte:

Processo	Definição	Ilustração	Semi-produtos ou produtos	
			Aços	Não ferrosos
Laminagem	Passagem de um corpo sólido entre dois cilindros com rotação contrária entre eles e velocidade constante.		Chapas	Chapas
			Placas	Placas
			Barras	Barras
			Perfis	
Extrusão	Consiste em pressionar o material metálico para que este atravesse numa cavidade fechada. Esta pressão pode ser de origem mecânica ou hidráulica.		Tubos	Barras
			Peças pequenas extrudadas	Tubos
				Perfis
				Peças longas extrudadas

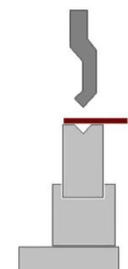
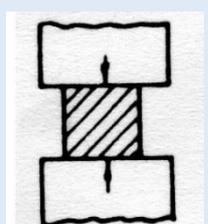
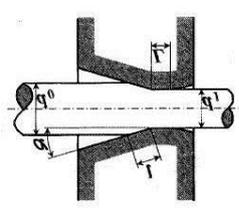
<p>Dobragem/ Quinagem</p>	<p>Processo no qual provoca-se a flexão da peça, dobrando-a em torno de uma ferramenta adequada.</p>		<p>Peças de chapa e tiras e tiras dobradas</p>
<p>Forjagem</p>	<p>Deformação do material por martelagem ou prensagem, formando peças resistentes e com a forma pretendida.</p>		<p>Peças forjadas</p>
<p>Trefilagem</p>	<p>Condução de um fio através de uma ferramenta com um furo integrado com diâmetro decrescente.</p>		<p>Barras Fios Arames Tubos</p>

Tabela 1- Processos de Conformação [15] (adaptado)

2.3.2. Fundição

Atualmente existe um grande número de peças do nosso quotidiano que são feitas pelo processo de fundição devido às grandes vantagens associadas, pois consegue produzir peças de grande complexidade, de vários tamanhos e, por sua vez, trata-se de um processo relativamente económico [7].

A fundição consiste num processo de produção no qual se começa pela criação de um molde com a forma inversa da peça a produzir. O metal, previamente aquecido, é colocado sobre a forma de líquido na cavidade do molde, adquirindo a forma da cavidade no qual corresponde à forma desejada. Posteriormente e após solidificar, o material é removido do molde [7]. A fundição pode se dividir em 3 tipos principais: fundição em modelo permanente; fundição em molde permanente e fundição de molde e modelo permanente [1].

2.3.3. Corte

O processo de corte corresponde a um processo de produção no qual a peça de metal é dividida através da aplicação de uma força suficientemente grande para causar a rutura do material [16].

Existem diversos tipos de processos de corte nos quais se podem classificar de acordo com a técnica e natureza do corte (ilustração 5).

2.3.4. Tecnologia de maquinagem

Segundo, Fennell, Shivpuri [7] atualmente recorre-se ao processo de maquinagem por diversas razões tais como:

- Permite atingir uma tolerância dimensional mais próxima do desejado, assim como a rugosidade e acabamento de superfície, o que nos processos primários é difícil de conseguir;
- Quando as peças possuem uma geometria bastante complexa e/ou de elevado custo de produção.

Antes de um processo de maquinagem, a matéria-prima é adquirida sobre a forma de barras ou varões redondos. Este material, seccionado anteriormente, é colocado numa máquina de remoção de material no qual sofre um processo conformação progressiva da peça até ao produto final [8]. Existem vários tipos de processos de maquinagem nomeadamente por torneamento, serragem, furação e fresagem.

Serragem: operação através do qual as peças são cortadas com ferramentas multi-cortantes, nomeadamente serras [8].

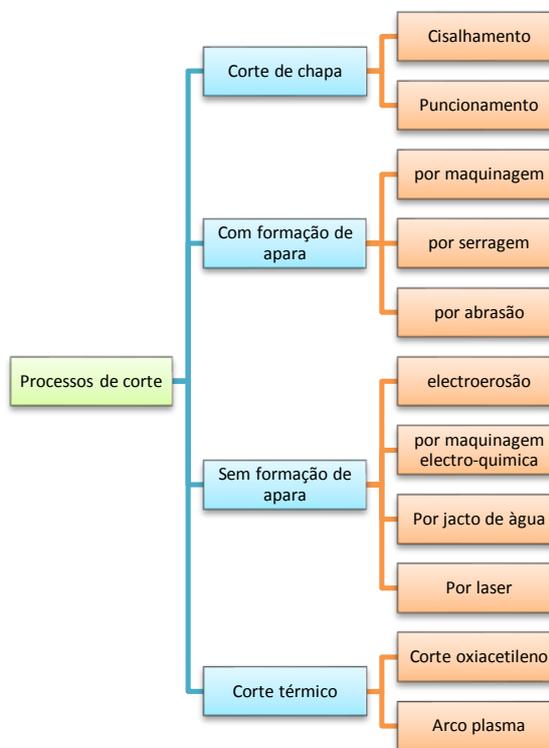


Ilustração 6- Tipos de processos de corte [1]

Furação:

Com o recurso a uma broca, este processo de maquinagem abre e alarga determinados furos nas peças que podem variar em profundidade e tamanho. Os furos podem ainda ser sujeitos a operações suplementares para acabamentos de superfície e para melhorar a precisão da dimensão do furo [8].

A furadora possui a capacidade de realizar diversas operações, dependendo do furo desejado (ilustração 6). A broca executa um movimento rotacional para o arranque do material e um movimento retilíneo para determinar a profundidade do furo [7].

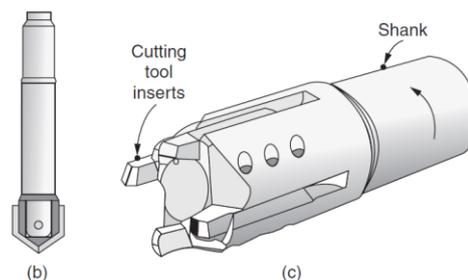
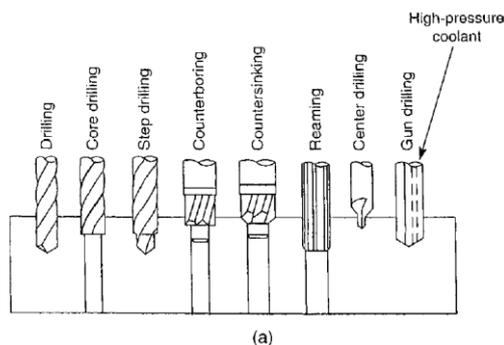


Ilustração 7 - Exemplos de operações de furação (a); broca (b); suporte da broca (c) [7, 8]

Torneamento:

Processo de maquinagem que possibilita a produção de peças de resolução no qual pode ser utilizado para todo o tipo de materiais metálicos e não-metálicos, sendo capaz de produzir peças circulares com as mais variadas formas [7]. Normalmente, um processo de torneamento exige vários tipos de operações e ferramentas para se produzir a peça desejada.

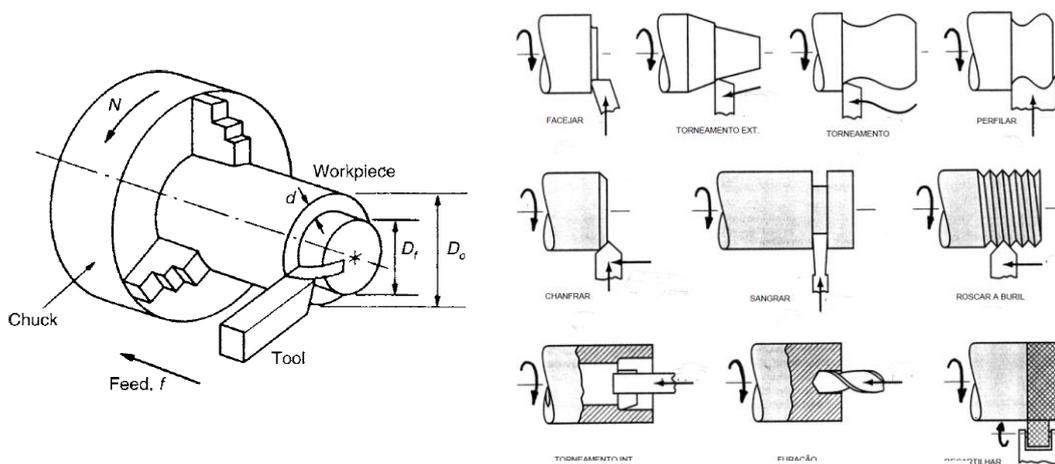


Ilustração 8 - Exemplo de uma operação de torneamento [7] [8]

Fresagem:

Sendo considerado como um dos processos de maquinagem mais versáteis, a fresagem é capaz de produzir diversas formas com qualquer tipo de orientação incluindo formas prismáticas, superfícies planas, entre outros, recorrendo a uma ferramenta designada por fresa (ilustração 8) [8]

As máquinas de fresagem, designadas por fresadoras, podem ser classificadas pela disposição da árvore principal da máquina (fresadores horizontais, verticais e universais) ou pelas suas características [8].

Existem dois tipos de fresas que se distinguem pela sua posição na navalha de corte da fresadora nomeadamente tangenciais e frontais.

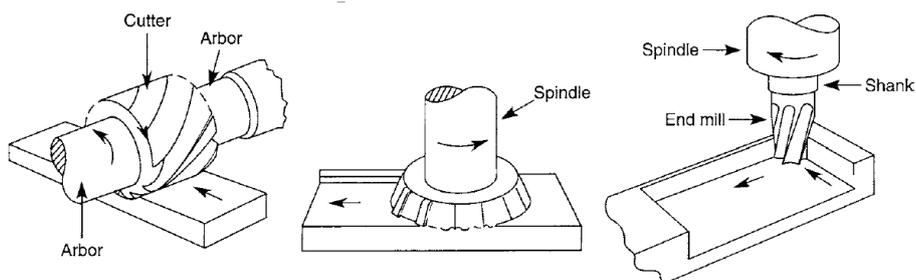


Ilustração 9 - Exemplos de operações de fresagem [7]

Processo de maquinagem por Controlo Numérico Computorizado:

O processo de maquinagem é utilizado para peças de elevada complexidade no qual consiste na programação dos movimentos de posicionamento do órgão mecânico em torno da peça a produzir. As instruções de deslocamento são previamente estabelecidas por intermédio de um programa ou feitas manualmente. Ao contrário dos processos descritos anteriormente, neste processo o operador só interage com a máquina previamente à produção, não possuindo um controlo direto sobre esta [8].



Ilustração 10 - Torno CNC

O CNC possui diversas vantagens comparativamente

aos outros processos de maquinagem. Este possui uma maior produtividade devido à sua velocidade de produção, grande flexibilidade, elevada precisão e permite a produção de uma elevada gama de produtos com uma grande diversidade de complexidade [8].

2.3.5. Ligações mecânicas e térmicas

Quando se pretende unir duas ou mais peças mecânicas recorre-se a ligações mecânicas ou a ligações térmicas. As ligações mecânicas são constituídas por elementos normalizados nomeadamente parafusos, porcas, pinos, rolamentos, etc. [17] Por sua vez, para efetuar uma ligação térmica recorre-se a um processo de soldadura.

As peças roscadas, utilizadas para efetuar ligações desmontáveis entre duas ou mais peças, conseguem assegurar uma boa fiabilidade, possibilitando uma montagem ou desmontagem rápida e simples [6].

No quadro seguinte, pode-se analisar alguns tipos de ligações utilizadas ao longo do presente projeto com o intuito de esclarecer a sua função e a sua aplicabilidade.

Imagem	Nome	Definição/Função
	Peças roscadas e porcas	Para desmontagens frequentes, boa fiabilidade
	Anilhas	Utilizados para imobilização horizontal
	Pinos elásticos	Usados para posicionamento de furos, produzidos por brocas
	Chumaceiras de rolamento (Rolamentos)	Órgão colocado entre um veio e o cubo de uma roda para reduzir o atrito. Serve de apoio de veios com movimentos de rotação.

	<p>Chavetas</p>	<p>Colocadas em ranhuras longitudinais de um veio e de um cubo de roda para imobilização relativa, quando acoplados para transmissão de movimento.</p>
	<p>Anéis elásticos</p>	<p>Usados para fixação axial, por obstáculo, de um veio no furo de um cubo. Estes são alojados nas ranhuras dos veios.</p>

Tabela 2 - Exemplos de ligações mecânicas [6, 17]

O processo de soldadura é utilizado frequentemente quando se pretende ligar duas peças de forma completa e permanente. A soldadura consiste “em provocar a fusão local, por forte aquecimento, de um metal, do que resulta a ligação das peças que contactam com esse metal” [17]. Existem dois tipos principais de soldadura, nomeadamente por brasagem (fundição de um material (solda) entre as duas peças a ligar) e soldadura autogénea (formação de um cordão do mesmo tipo de material das peças a ligar, existindo interpenetração dos materiais de todos os elementos envolventes) [17].

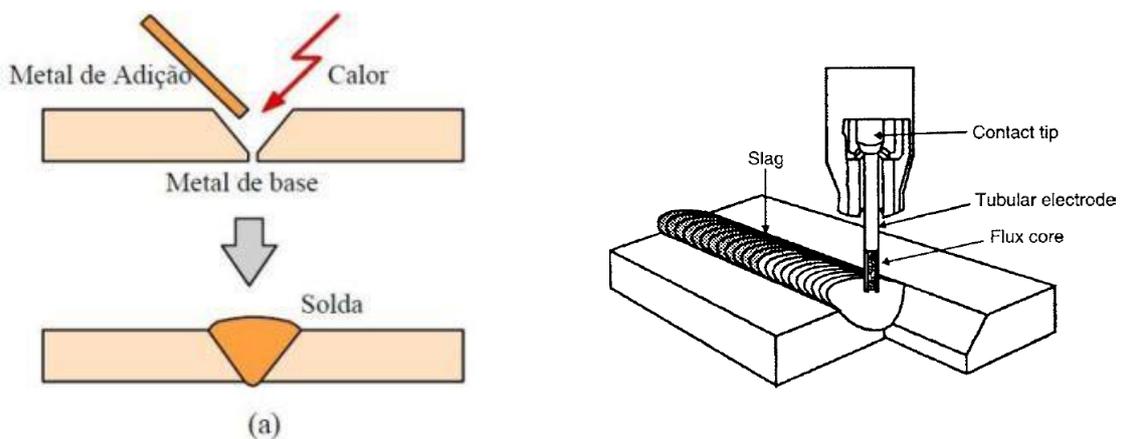


Ilustração 11 – (a) Soldadura por brasagem [5]; (b) Soldadura autogénea [7]

3. Apresentação da empresa

3.1. Bosch Packaging Technology

A empresa Bosch é considerada a nível mundial como uma das grandes empresas inovadoras ao nível tecnológico. Esta sempre se empenhou em direcionar todos os seus recursos e atividades para promover o desenvolvimento e a investigação no qual dos 306200 colaboradores que possui, 42.100 são investigadores. Atualmente possui mais de 30 localizações distribuídos por 15 países ao nível mundial (ilustração 11).



Ilustração 13 – Presença da Robert Bosch no mundo

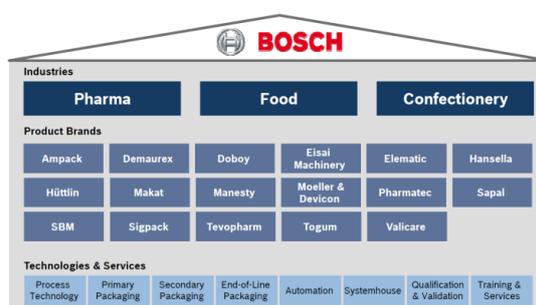


Ilustração 12 – Setores nos quais a Bosch Packaging Technology encontra-se inserida

Dentro do grupo Bosch encontra-se o subgrupo de tecnologia industrial pertencente ao grupo alemão no qual se insere no setor de caixas de velocidade, condução e controlo, *packaging* e tecnologia de processos. É dentro desta divisão *packaging* que se encontra inserida a empresa Sapal, SA. Esta divisão é vista como um dos fornecedores líderes de tecnologia de processos e empacotamento no qual desenvolve e produz soluções inovadoras para medicamentos, comida e indústrias de confeitaria (ilustração 12).

O presente projeto teve como empresa de acolhimento a Bosch Sapal SA, no qual possui as suas infraestruturas em Lausanne, Suíça. A empresa é considerada como uma empresa de prestígio mundial no mercado de empacotamento de alimentos, especializando-se em máquinas de empacotamento de alimentos no qual emprega cerca de 104 colaboradores dos quais se encontram distribuídos por cerca de nove departamentos (Ilustração 13).

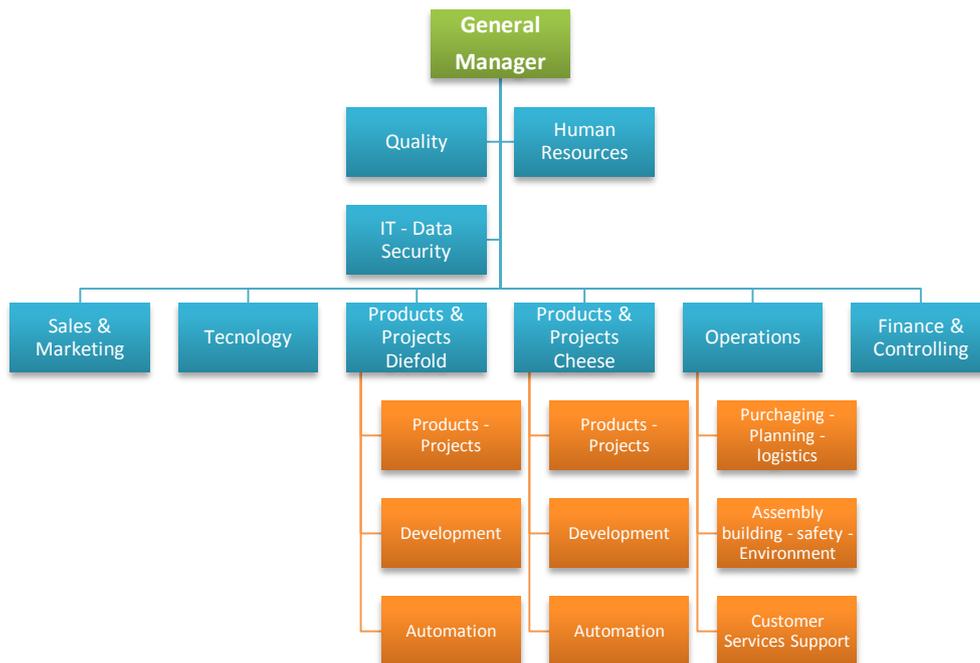


Ilustração 16 - Estrutura Organizacional da Sapal, SA

Atualmente, a Sapal foca as suas atividades na conceção, venda e serviço pós-venda. Deste modo, a empresa encontra-se mais direcionada para as atividades de montagem das máquinas e não na produção de peças, recorrendo para tal ao *outsourcing*. Contudo, com o intuito de assegurar peças de qualidade e precisão, possui um *atelier* para acabamento as peças adquiridas assim como para efetuar simulações.



Ilustração 15 - Vista aérea da sede da Sapal, SA

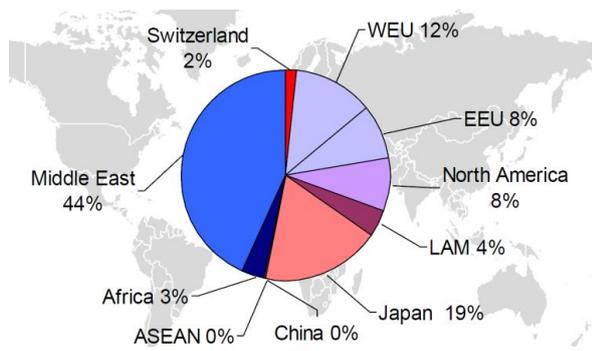


Ilustração 15 - Clientes da Sapal, SA

Dentro do grupo Bosch, uma das principais diferenças entre Sapal e as outras subsidiárias consiste no método de empacotamento. À exceção da Sapal, as outras empresas desenvolvem máquinas mais clássicas aplicando o método denominado *“Flow Pack”*. Este consiste num embrulho simples

do alimento com pontos de cola nos extremos. A ilustração 16 apresenta alguns exemplos da aplicação deste conceito.

Por sua vez, a Sapal direciona-se mais no desenvolvimento de máquinas de embalagem de alimentos focando-se num conceito de empacotamento baseado na ergonomia e estética, como se pode observar na figura 17.



Ilustração 17 - Chocolates embalados com o método Flow Pack



Ilustração 18 - Método de empacotamentos das máquinas da Sapal

3.2. Gama de produtos

Ao longo dos anos, Sapal sempre possuiu a capacidade de se adaptar aos requisitos dos seus clientes. Cada cliente possui produtos e características diferentes, exigindo sempre adaptações nas máquinas já existentes ou, em casos mais complexos, o desenvolvimento e construção de uma nova máquina.

A título de exemplo, a tabela 4 apresenta algumas máquinas desenvolvidas pela Sapal. É de salientar que a sua gama de máquinas envolve o empacotamento de apenas uma classe de produtos ou, as mais complexas, várias classes de produtos. Dentro de cada classe existe ainda diferentes formatos de produtos com diferentes métodos de embrulho e diversos tipos de material utilizado (papel de alumínio, celofane, papel kraft, etc).

Tipo de produto para empacotamento	Gama de máquinas da Sapal	
 <p data-bbox="338 584 475 613">Chocolates</p>		
 <p data-bbox="293 909 520 938">Cubos de tempero</p>		
 <p data-bbox="363 1279 450 1308">Queijo</p>	 <p data-bbox="564 1384 619 1413">Tabé</p>	  <p data-bbox="922 1384 976 1413">presa</p>
 <p data-bbox="296 1720 518 1749">Pastilhas elásticas</p>		

3.3. Departamento de desenvolvimento

O presente projeto teve lugar no departamento de desenvolvimento que possui como principal papel organizacional assegurar o processo de criação de diferentes projetos desde a oferta, tendo

sempre em consideração os requisitos do cliente, até ao cumprimento de especificações (normas internas, *standards*, etc). Para cada projeto, são sempre considerados três fatores-chave: tempo, custo e qualidade.

Principais atividades:

- Elaboração da parte técnica das ofertas com a colaboração de outros departamentos;
- Gestão de projetos dos clientes (máquinas, sistemas de alimentação, stock, etc);
- Acompanhamento dos custos relacionados com cada projeto com o intuito de garantir os orçamentos estabelecidos;
- Controlo e análise dos custos de garantia e serviços pós-venda;
- Elaboração de *dossiers* mecânicos de cada máquina;
- Gestão da nomenclatura dos componentes assim como a sua personalização para cada projeto dos clientes;
- Determinação do custo de retorno dos projetos;
- Gestão da documentação das máquinas para os clientes.

Este departamento é composto por cerca de 15 colaboradores e encontra-se dividido em duas divisões nomeadamente no desenvolvimento mecânico (no qual se insere o projeto) e no desenvolvimento elétrico e de automação. A parte correspondente ao desenvolvimento mecânico possui como principal papel:

- Participar em estudos de mercado;
- Realização de protótipos;
- Desenvolvimento e aprovação de novas funções ou princípios de diferentes máquinas;
- Avaliação técnica das ofertas;
- Assegurar vantagem competitiva;
- Desenvolvimento e manutenção do sistema mecânico CAO.

Por sua vez, a parte responsável pelo desenvolvimento elétrico e de automação tem como principais funções:

- Estudo de novas tecnologias de automação para as máquinas;
- Criação e desenvolvimento de todos os componentes elétricos e automáticos das máquinas;

- Suporte ao departamento de vendas de forma a auxiliar nas especificações técnicas exigidas pelos clientes;
- Elaboração de *dossiers* sobre os projetos para cada cliente ao nível do *hardware* e *software*;
- Desenvolvimento e manutenção do sistema elétrico CAO.

3.4. Política de qualidade – Bosch Production System

Desde a integração da empresa Sapal no grupo Bosch, esta adaptou-se à política de qualidade do grupo Bosch, denominado de BPS, *Bosch Production System*. Este conceito engloba todos os intervenientes da cadeia de abastecimento, desde os fornecedores até ao cliente. Ao longo de todos os subprocessos da cadeia estão sempre presentes os seguintes aspetos:

- Melhoria dos processos relativamente à relação qualidade, entrega e custos;
- Otimização da utilidade do capital;
- Aumento da flexibilidade dos conceitos de produção relativamente às atividades de set-up assim como as quantidades, as variantes e as mudanças nos processos;
- Redução do risco de investimento.

Dentro da Sapal e em conformidade com a política do grupo alemão, os subprocessos mencionados são implementados em 5 etapas:

- Preparação e desenvolvimento dos requisitos e especificações - QBA
- Elaboração do conceito/oferta - QB0
- Desenvolvimento de produtos e processos - QB1
- Produção e aplicação dos processos - QB2 e QB3
- Instalação - FAT/SAT
- Fim do projeto/Análise dos custos - QB4

O presente projeto integrou-se no processo QB1, correspondente ao desenvolvimento de produtos e processos.

4. Starpac - Máquina de embalagem de chocolate

A elaboração do projeto incidiu em uma máquina de embalagem de chocolate denominada *Starpac*. Considera-se de grande relevância efetuar uma pequena descrição dos componentes da mesma com o intuito de compreender o funcionamento da máquina. Todas as máquinas desenvolvidas pela Sapal SA seguem o seguinte princípio:

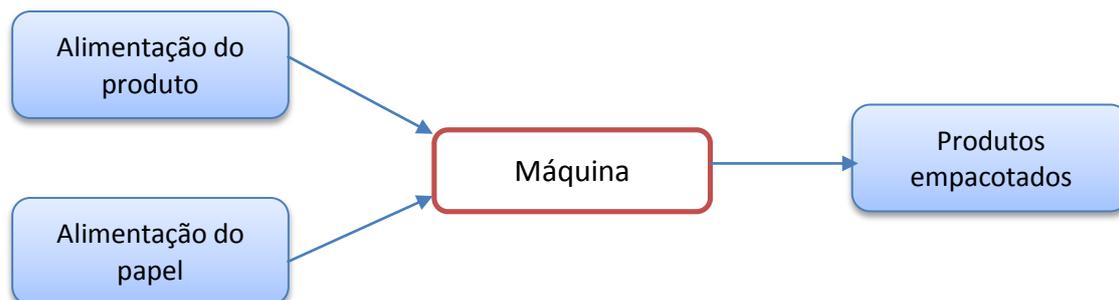


Ilustração 19 - Princípio estrutural de uma máquina de empacotamento

4.1. Componentes estruturais da Starpac

Cada máquina de empacotamento é baseada num modelo simples relativamente à sua estrutura dividindo-se em 3 grandes blocos:

- ✓ Organização do produto
- ✓ Embalamento do produto
- ✓ Saída do produto

A primeira parte da Starpac tem como principal função posicionar os produtos em linha com a orientação correta antes da entrada na máquina, assegurando assim um processo de embalagem eficaz. Os produtos da Sapal são equipados por um sistema de afunilamento dos produtos antes da sua entrada na máquina.

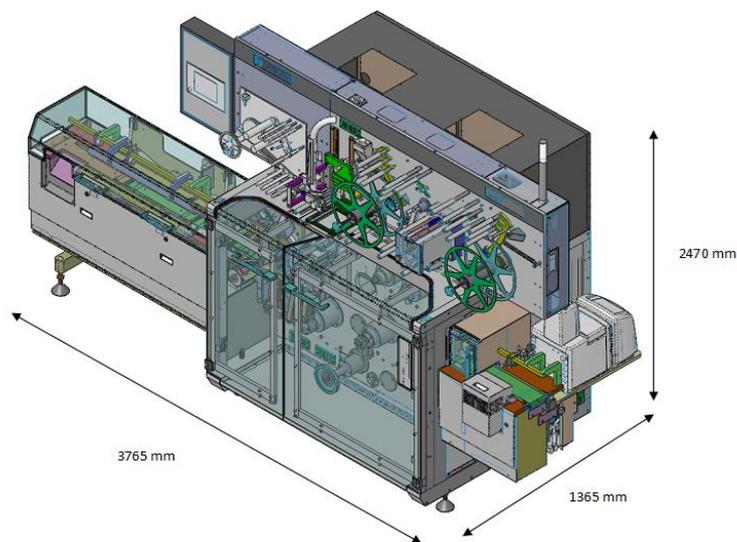


Ilustração 20 - Dimensões da Starpac

Quando os produtos se encontram corretamente posicionados, o papel é posicionado de modo a que fique envolvido no produto e, no caso do embalamento de chocolates, é seguido de um conjunto de operações de embrulhamento para formar o produto final.

Após o produto ser embalado e caso faça parte das exigências do cliente, existe a possibilidade de a máquina incluir, na saída da máquina, um sistema de linha contínua para a distribuição dos produtos por diferentes caixas.

Os blocos que fazem parte da estrutura da máquina podem ser categorizados por:

- ✓ Alimentador de papel
- ✓ Alimentação do produto
- ✓ A caixa de embrulho
- ✓ O banco de saída
- ✓ As guias de trajetória
- ✓ A motorização

4.1.1. Alimentador de papel

O alimentador de papel tem como objetivo alimentar a máquina de empacotamento com papel de embrulho. O presente projeto irá focar-se neste bloco da Starpac. Este é composto por dois rolos de papel no qual o papel é alternadamente puxado para o interior da máquina. A aceleração máxima que o papel pode tomar depende da frequência da máquina e no avanço do papel de acordo com o tamanho do produto. Possui ainda um conjunto de componentes capazes de efetuar o corte e o posicionamento correto do papel.

Ao fim de assegurar o bom posicionamento do papel nos produtos, é necessário controlar cada folha de papel. Para tal, as bobinas de papel são equipadas por um sistema de inscrição constante de um quadrado preto no papel ao longo de toda a banda de papel. Para proceder à sua deteção, cada máquina possui um sistema ótico que permite a leitura da posição da marca preta e assim, em caso de posicionamento incorreto, a máquina pode, através do controlo da velocidade do papel, corrigir o posicionamento.

O alimentador de papel de papel possui os seguintes componentes fundamentais:

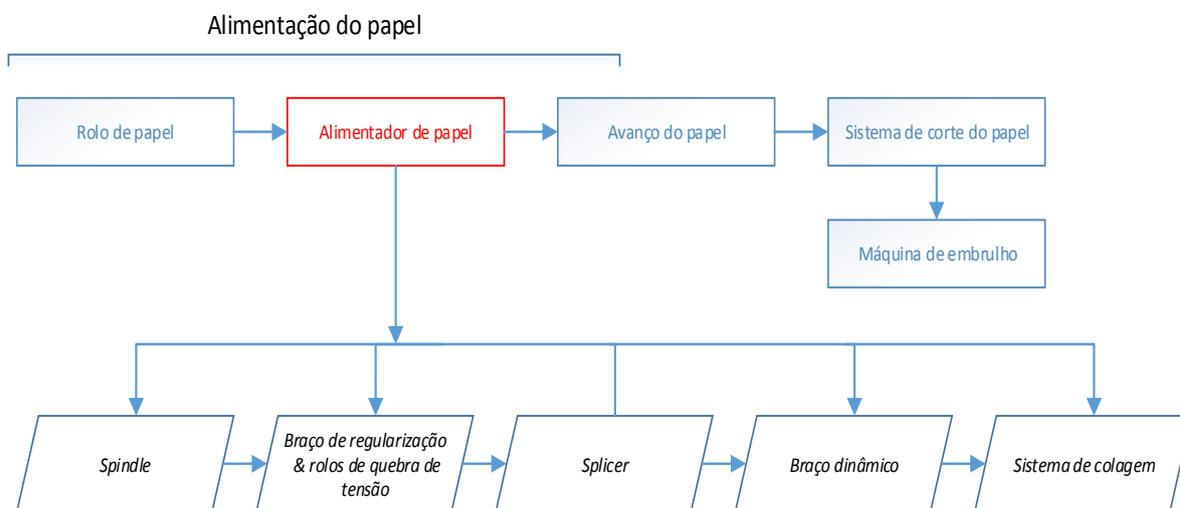


Ilustração 21 - Componentes principais do alimentador de papel

O *spindle* (ilustração 21a) tem o intuito de suportar o rolo de papel para assegurar um desenrolamento correto do rolo. Este foi desenvolvido de modo a centrar o rolo no seu eixo de rotação e tem de ser localizado axialmente.

O braço de regularização tem a finalidade de estabelecer uma tensão quase constante ao papel. Este é composto por um *break* que exerce pressão sobre o *spindle* conforme a tensão do papel. Quando a tensão do papel é reduzida, este exerce pressão sobre o *spindle*, fazendo aumentar a tensão do papel. Inversamente, quando o papel encontra-se num estado de grande tensão, o *break* exerce menos pressão no *spindle*, libertando a tensão acumulada.

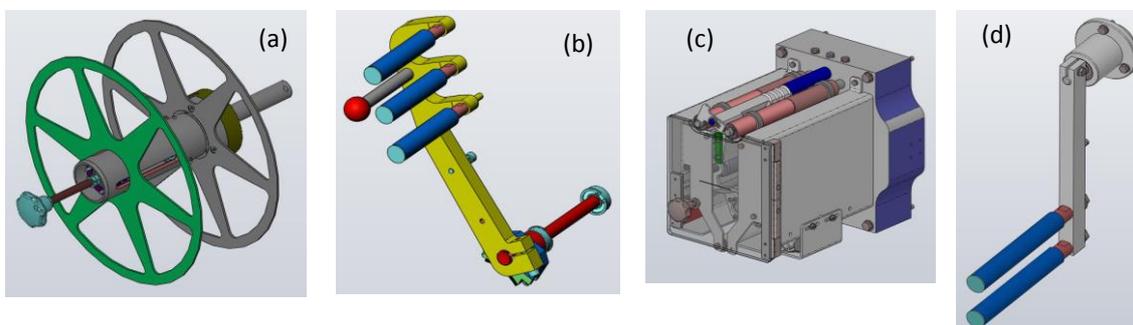


Ilustração 22 – *Spindle* (a); Braço de regularização (b); *Splicer* (c); Braço dinâmico (d)

Quando o papel no rolo encontra-se perto de acabar, a tensão no papel aumenta até que o braço de regularização atinge uma posição máxima que, quando detetada, desliga o *splicer*.

Quando ocorre mudança do rolo de papel, o componente *splicer* entra em funcionamento com o intuito de colocar o papel em espera sem fazer parar a máquina.

Por último, o braço dinâmico tem como funcionalidade absorver a aceleração do papel devido ao modo movimento alternado da máquina. Deste modo, este braço certifica-se que o rolo de papel gira o mais constante possível.

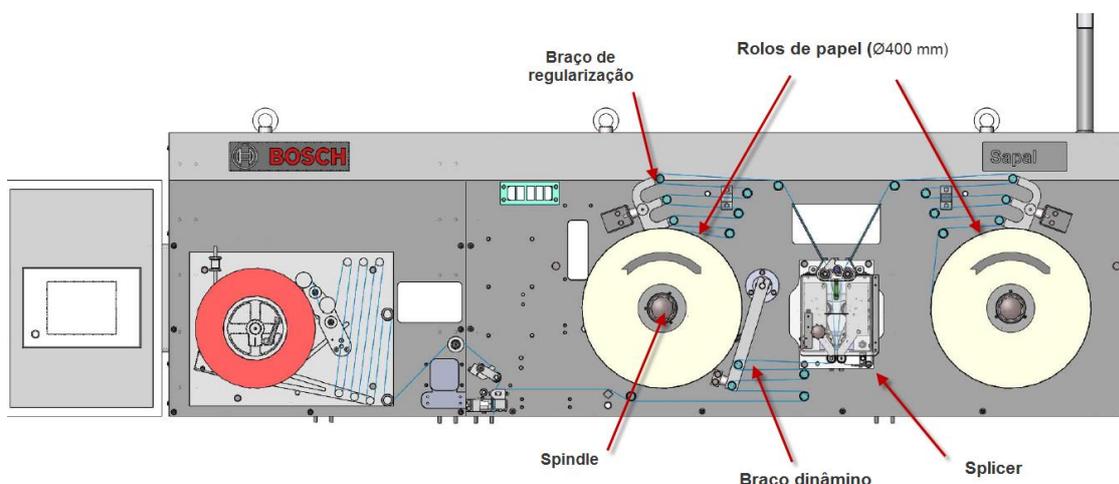


Ilustração 23 - Alimentador de papel e os seus componentes

4.1.2. Restantes blocos estruturais da Starpac

O bloco da alimentação do produto é composto por um tapete rolante e um sistema mecânico responsável pela ordenação dos produtos de forma contínua.

Por sua vez, as caixas de embrulho são consideradas como o elemento chave para assegurar um embrulho do produto de qualidade. É neste bloco que se determina o tipo de embrulho desejado.

O bloco respeitante ao banco de saída varia consoante as exigências de cada cliente. Se o cliente opta por uma saída em "vrac" (os produtos saem da máquina sem qualquer ordem), os produtos são simplesmente guiados para um sistema de evacuação. Se, por outro lado o cliente deseja que os produtos saem da máquina de uma forma ordenada com o intuito de, por exemplo, inscrever o

número de fabricação, a saída é constituída por um tapete rolante no qual os produtos são posicionados.

As guias de trajetória têm como função assegurar uma eficiente gestão da qualidade e da fiabilidade da máquina. As máquinas da Sapal possuem um sistema de árvore de cames¹ para guiar os produtos nas caixas de embrulho de modo a efetuar o embrulho correto em cada passagem do chocolate.

A motorização de todos os componentes da máquina é constituída apenas por um motor que garante a sincronização absoluta de todos os elementos mecânicos da máquina.

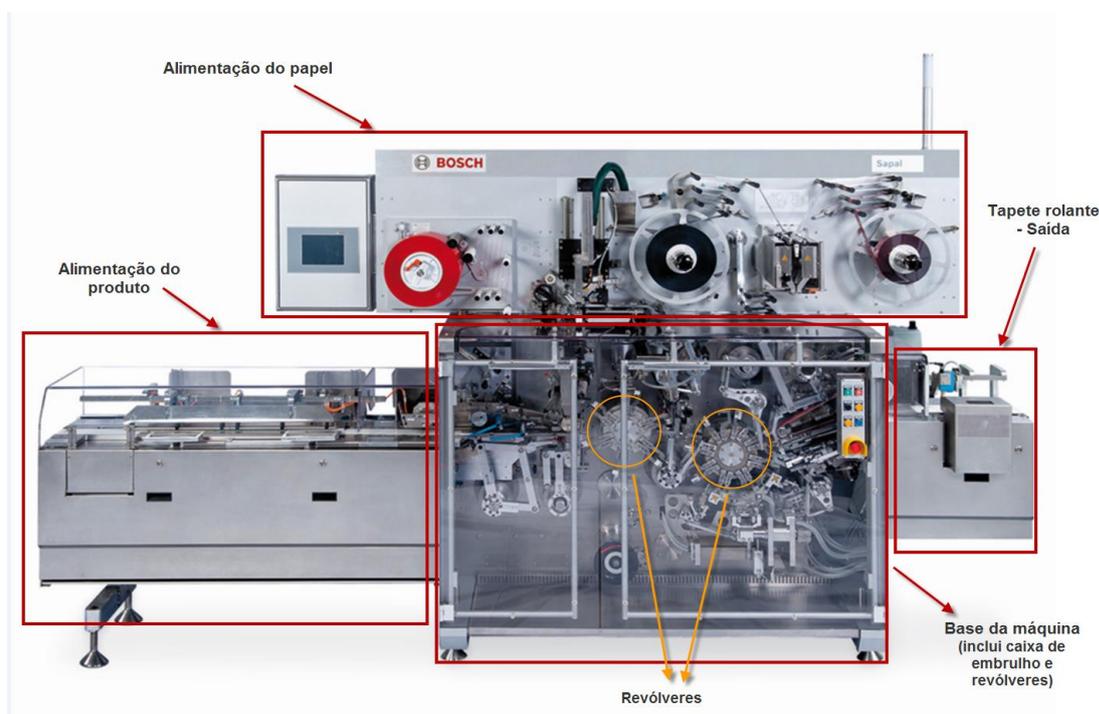


Ilustração 24 - Secções da Starpac

4.2. Fases sequenciais do produto na Starpac

Ao longo da máquina, o chocolate passa por diferentes fases (ilustração 24). Antes de passar pela caixa de embrulho, o produto é transferido para um revólver de seis estações com o objetivo de adquirir velocidade. A Starpac consegue atingir a velocidade máxima de 600 produtos embalados

¹ Mecanismo num motor de combustão interna pelo qual a abertura das válvulas é controlada por um veio de ressaltos designado por árvore de cames [17].

5. Implementação de um sistema de datação

5.1. Componentes de um sistema de Datação

Em anos anteriores a Sapal recorreu sempre ao mesmo fornecedor alemão Domino Printing Sciences quando pretendia adquirir os componentes de um sistema de datação. Uma vez que considerou o serviço satisfatório, considerou que para a *Starpac* podia continuar afiliado a este fornecedor.

A *Domino* possui várias gamas de lasers que permitem a inscrição em quase qualquer tipo de produto. Para o presente projeto e uma vez que um dos principais objetivos da implementação deste sistema consiste no melhoramento do *layout*, optou-se pela escolha do laser da Domino com as dimensões mais reduzidas possíveis. O sistema de datação da Domino é composto por três componentes essenciais: laser, controlador *standard*, ecrã tátil de controlo e sistema de extração.

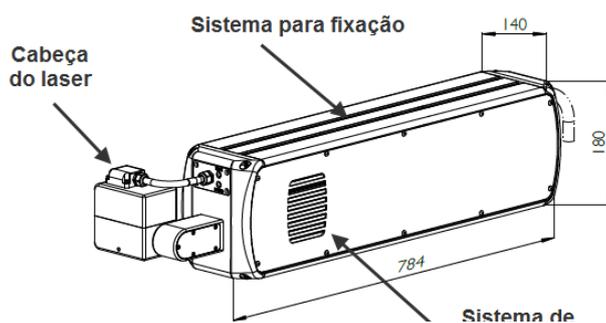


Ilustração 28 - Laser D-320i

Laser D-320i

Uma das características do laser de grande impacto na tomada de decisão da sua localização, consiste na possibilidade de a cabeça do laser ser flexível, podendo tomar diferentes posições.

Para este laser, existem diferentes possibilidades relativamente à distância focal entre o papel e o laser. Estabelecida uma distância focal, a

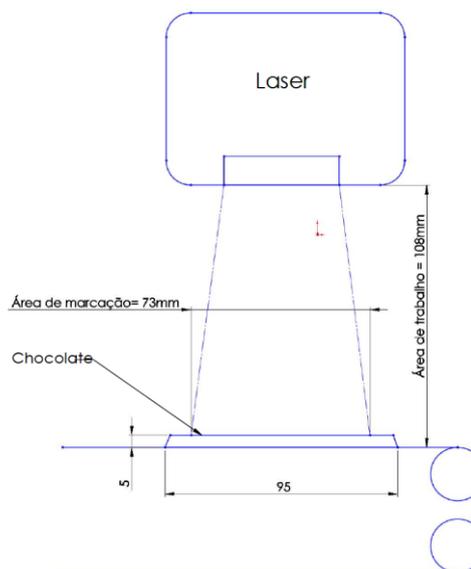


Ilustração 27 - Área de trabalho e distância focal do laser

escolha do posicionamento do laser da máquina deve ser considerado como fixo, ou seja, a distância entre o papel e o laser (área de trabalho) não se pode alterar (Ilustração 28).

Devido à posição desejada para a inscrição da data, a distância focal só depende do comprimento do papel. Assim, no máximo será necessário 73mm, definindo assim uma distância focal de 120mm.

Controlador Standard

O controlador industrial corresponde a um componente que tem como principal função armazenar os dados relativos à data e as mensagens a serem inscritas. Relativamente à sua localização este pode ser colocado como parte integrante da máquina ou simplesmente na área externa.

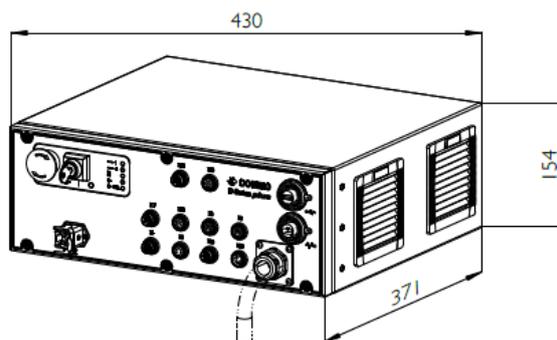


Ilustração 29 - Controlador Standard do laser

Ecrã tátil de controlo

O terceiro componente do sistema de datação consiste num ecrã tátil, correspondendo à interface entre o operador de máquina e o sistema de datação, facilitando assim a inserção de dados no sistema.



Ilustração 30 - Ecrã tátil de controlo

Sistema de extração

Para sistemas que incorporam um laser ou mais lasers é sempre necessário incorporar um sistema de extração de fumos e de partículas com o intuito de manter um ambiente de trabalho limpo e saudável. Usualmente, este é colocado na zona exterior da máquina.



Ilustração 31- Sistema de extração

5.2. Determinação da localização

Como se pode observar na ilustração 27, o laser possui

dimensões consideravelmente elevadas, limitando o número de possibilidades relativas à sua localização. É necessário tomar dois tipos de decisão: onde posicionar o corpo do laser e como se posicionar a cabeça do mesmo, visto que é importante manter uma distância focal adequada.

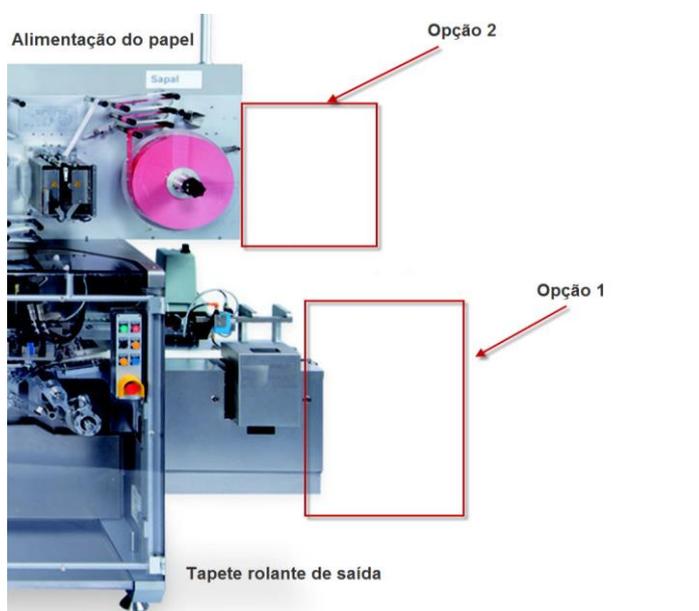
5.2.1. Determinação e análise das propostas de localização do corpo do laser

Numa primeira fase do projeto, é necessário estabelecer uma localização para o corpo do laser. Consideraram-se duas possíveis opções: inscrição da data executada antes do chocolate ser embalado ou depois do chocolate ser embalado.

Opção 1 – Inscrição depois do empacotamento do produto:

Devido à estrutura da máquina, a implementação do sistema de datação depois do produto ser embalado exige a criação de um complemento para o tapete de saída. Todavia, esta opção foi colocada logo de parte pois exigia inúmeras modificações e alterações no *layout*, o que era considerado indesejável.

Opção 2 - Inscrição antes do empacotamento do produto:



A possibilidade de fazer a inscrição antes do produto ser embalado leva a que só exista uma possibilidade de localização: componente correspondente à alimentação do papel. Esta opção considerou-se mais viável pois as modificações a efetuar na máquina são menores, reduzindo os custos de adaptação.

Ilustração 32 - Propostas de localização do laser

5.2.2. Determinação da localização da cabeça do laser

Após a tomada de decisão de onde se irá posicionar o laser, é necessário escolher qual a melhor posição que a cabeça do laser pode tomar. Esta decisão torna-se crucial pois, após a tomada de decisão, todos os componentes desenvolvidos e todas as alterações necessárias irão girar em torno do posicionamento do laser. Na ilustração 33 pode-se observar a situação atual do alimentador de papel.

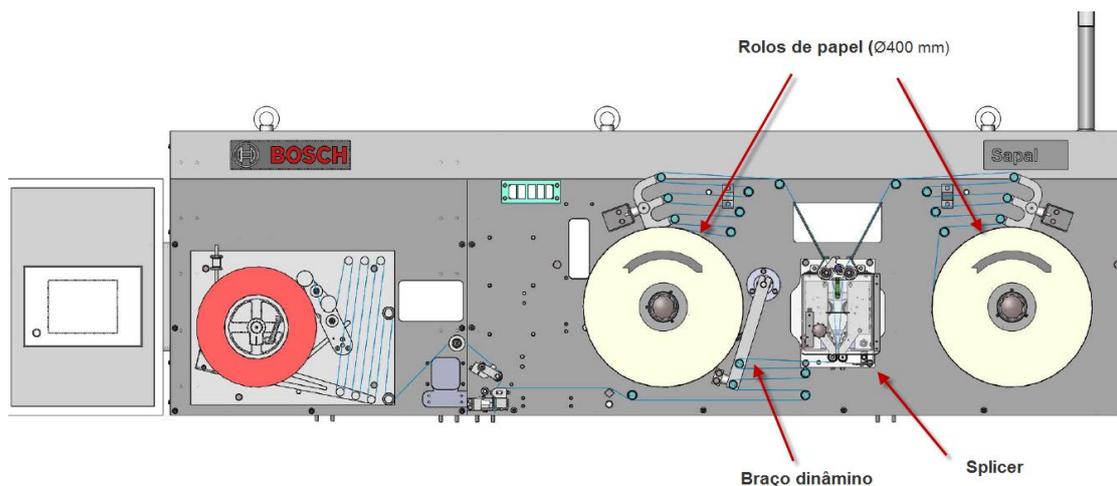


Ilustração 33 - Situação atual do alimentador de papel

Por sua vez, existem alguns requisitos a ter em consideração antes da escolha da localização do laser, nomeadamente:

- Evitar mudar a localização dos componentes integrantes do desenrolador de papel, nomeadamente:
 - Rolos de papel ($\varnothing 400$ mm);
 - Braço dinâmico (responsável pela quebra de tensão do papel, reduzindo o risco de se rasgar);
 - *Splicer*.
- Minimizar o número de rolos de papel pois, quanto mais rolos existem, maior será a inércia do papel, obrigando a um esforço desnecessário por parte do motor.
- Caso seja necessário, é possível reduzir o tamanho dos rolos de papel para $\varnothing 350$ mm

Como referido anteriormente, a cabeça do laser pode tomar diferentes posições.

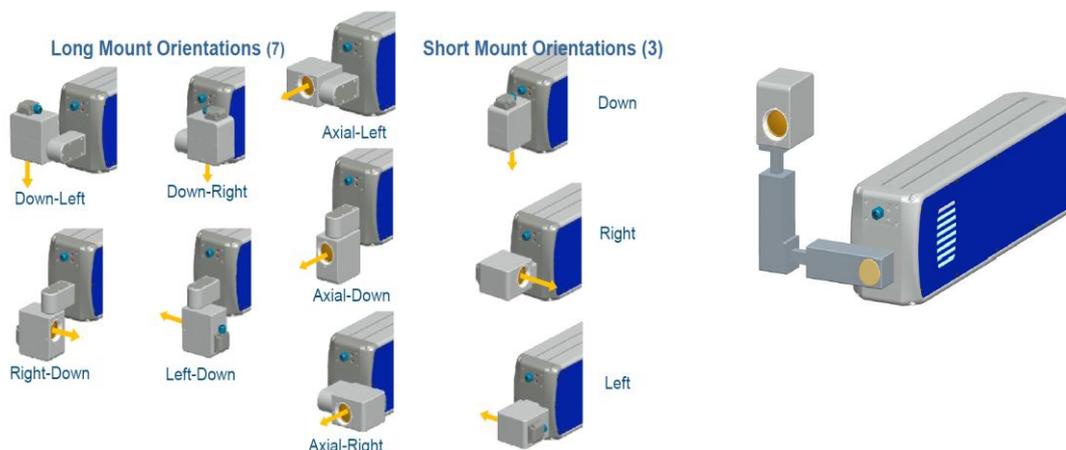


Ilustração 34 - Possíveis posicionamentos da cabeça do laser

Após tomar conhecimento dos requisitos do sistema assim como as posições que o laser pode tomar, estabeleceram-se dois cenários diferentes:

Cenário 1

O primeiro cenário a ser considerado consistiu no posicionamento do laser a meio do desenrolador de papel (Ilustração 35). Uma das vantagens associadas a este cenário consiste na reduzida necessidade de efetuar quaisquer modificações na máquina uma vez que apenas é necessário fixar e posicionar o laser de modo a fazer a inscrição, levando a que poucos recursos humanos sejam despendidos na adaptação. No entanto este cenário exige que o laser a ser adquirido seja especialmente produzido para este caso. O laser teria que ser composto por um “braço” suficiente grande até à área de codificação.

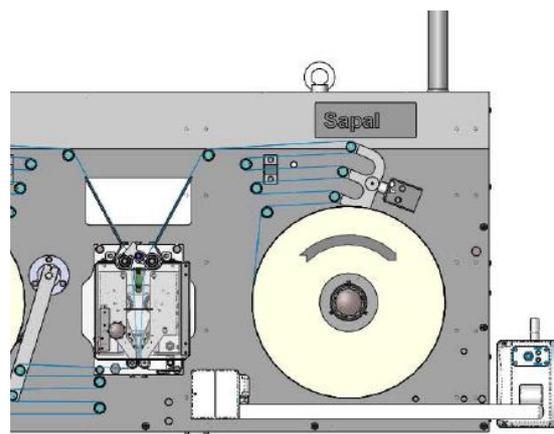


Ilustração 35 - Cenário 1

Deste modo, os custos associados são muito elevados, pois todo o tipo de produtos que seja feitos por encomenda, comportam custos bastante elevados e tempo elevado de entrega do produto final.

Cenário 2

Numa tentativa de reduzir a desvantagem encontrada no cenário 1, propôs-se um segundo cenário com o seguinte *layout* apresentado na figura 36.

A principal vantagem deste cenário corresponde ao facto de a cabeça do laser ser *standard*, reduzindo assim os custos associados ao fornecedor. Porém, a máquina terá que sofrer mais modificações associadas ao percurso que o papel percorre exigindo novos rolos e novos posicionamentos.

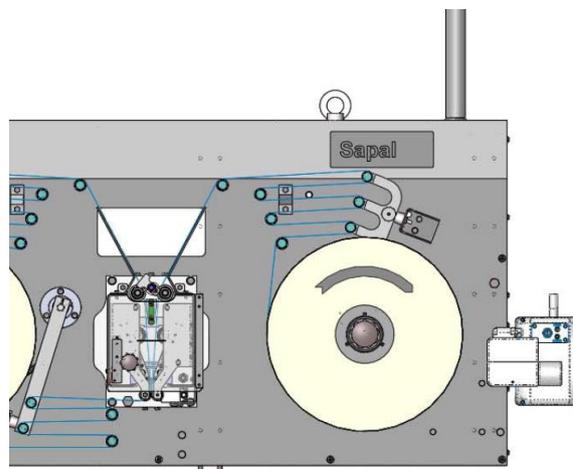


Ilustração 36 - Cenário 2

Análise:

Apesar dos custos associados à adaptação da máquina para o sistema de datação e uma vez que a empresa possui os recursos necessários, optou-se pelo cenário 2, sendo este considerado mais viável e sustentável pois, para novos clientes, as futuras alterações serão incluídas nos componentes da máquina, existindo apenas custos iniciais de adaptação. Pelo contrário, o cenário 1 exigia um investimento por parte da empresa para cada cliente que pretendesse adquirir este sistema de datação.

Por outro lado, no cenário 1, a área de inscrição da data estaria limitada a 70mm de área. Ora tal facto torna a máquina menos flexível pois as dimensões do produto que conseguiria abranger teria como limite máximo de comprimento 80 mm, o que para futuros clientes pode corresponder a um risco. Caso o produto seja de dimensões superiores seria necessário novas adaptações da máquina e do sistema de datação.

Relativamente aos requisitos impostos, em ambos os cenários não é necessário alterar a posição dos outros componentes. Porém no cenário 2, será necessário prolongar o caminho que o papel segue, exigindo um maior número de rolos de papel.

5.3. Determinação e desenvolvimento do conceito de *design* recomendado

Como descrito anteriormente, o departamento no qual se desenvolveu o projeto, possui como principal papel o desenvolvimento de protótipos que compõem as máquinas de empacotamento. Deste modo, o capítulo seguinte corresponde em grande parte ao trabalho desenvolvido ao longo do projeto. Para o desenvolvimento de peças em 3D é necessário ter sempre em consideração os seguintes fatores:

- A peça deve ser, quando possível, simétrica. Esta característica permite que o custo de produção seja menor; a precisão da peça seja melhor e que possa ser utilizada para diferentes finalidades;
- Evitar desenvolver peças com uma estrutura muito complexa. É sempre preferível criar várias peças e fazer a sua ligação com os chamados artigos normalizados nomeadamente parafusos, porcas, pinos, rolamentos, etc [17] do que produzir uma única peça de elevada complexidade;
- Ao longo do desenvolvimento do modelo em 3D é necessário ter sempre em mente qual o processo de produção a ser utilizado pois, por vezes, pode não ser possível produzir a peça. A título de exemplo, dependendo do tamanho da peça certos cortes ou certos raios obtidos pelo processo de fresagem são impossíveis de produzir. É necessário ter em consideração o tamanho da peça e o tamanho possível a utilizar por parte da fresa;
- Além do processo de produção, é necessário ter em conta o processo de montagem. Este deve ser o mais simples possível e cada peça, em caso de substituição ou mudança de formato do produto, deve ser de fácil acesso e mudança;
- O material a escolher para a peça protótipo encontra-se intrinsecamente ligado à sua função. A empresa Sapal utiliza em grande parte componentes mecânicos aço-inoxidável ou ligas de alumínio pois estes possuem um custo reduzido, são fáceis de manobrar, possuem elevada resistência e durabilidade e no caso do aço-inoxidável, não exige tratamento após a produção.

Relativamente ao sistema de datação, após a escolha da posição do laser, segue-se uma segunda etapa do processo: definir e estabelecer quais os componentes necessários para assegurar a precisão e a eficiência da inscrição.

É de salientar que a Starpac é uma máquina de empacotamento de chocolates de elevada velocidade de produção (600 produtos/minutos). Este facto leva a que o papel também se desloque ao longo da máquina a uma grande velocidade. Com a nova posição do laser, o percurso irá ser relativamente maior, podendo perder assim a velocidade desejada e, conseqüentemente, reduzir a eficiência da máquina. Ao perder a velocidade, o motor da Starpac deteta e repara, mas tal facto, leva que o motor exerça mais “força” sobre o papel, exigindo mais energia e esforço, podendo mesmo levar à quebra do papel, devido à sua fina espessura. Com o intuito de eliminar esta desvantagem, é proposto adicionar um rolo de aceleração, o qual irá permitir que o papel não perca a velocidade pretendida.

Por sua vez, para assegurar o bom posicionamento da inscrição da data no papel, é necessário controlar a posição de cada folha de papel. Para tal é fulcral adicionar um sistema de deteção da posição do papel antes da passagem deste pelo laser.

Em termos de questões de segurança, o fornecedor do laser Domino aconselhou que a lente do laser possua uma proteção entre o papel e a lente, pois em caso de avaria da máquina ou por questões de limpeza, o operário da máquina possui a necessidade de resolver o problema, não correndo o risco de afetar a sua visão.

Além dos componentes propostos, é apresentado um sistema para a fixação do laser domino e uma estrutura a adicionar na máquina com a função de suporte para o controlador *standard*.

5.3.1. Sistema de deteção de papel

Como referido anteriormente, cada folha de papel integra um quadrado negro com o intuito de assegurar a correta posição do papel antes da passagem deste pelo laser. Juntamente com este sistema, é proposto um sistema de deteção com um sensor ótico incorporado que possui como finalidade enviar a informação relativa ao posicionamento do papel para o controlador do laser e este regularizar a sua velocidade de inscrição com a velocidade do papel.

Para o desenvolvimento de sistema de deteção é necessário considerar determinados requisitos:

- Assegurar que o sistema de deteção seja o mais flexível possível, isto é, para diferentes tamanhos de produtos, o sensor ótico deve ser posicionado consoante a posição do quadrado negro do papel.
- Certificar que o papel permaneça esticado quando o papel passa pelo sensor. Este fator leva a que não ocorram erros de leitura.

O próximo passo consiste na definição da localização deste sistema. Para tal, é necessário ter em conta que, por motivos técnicos e financeiros, é aconselhável não reordenar os outros elementos do alimentador de papel, uma vez que implica alterações nos componentes já existentes. Deste modo, a localização proposta inicialmente do sistema de deteção pode se observar na ilustração 37.

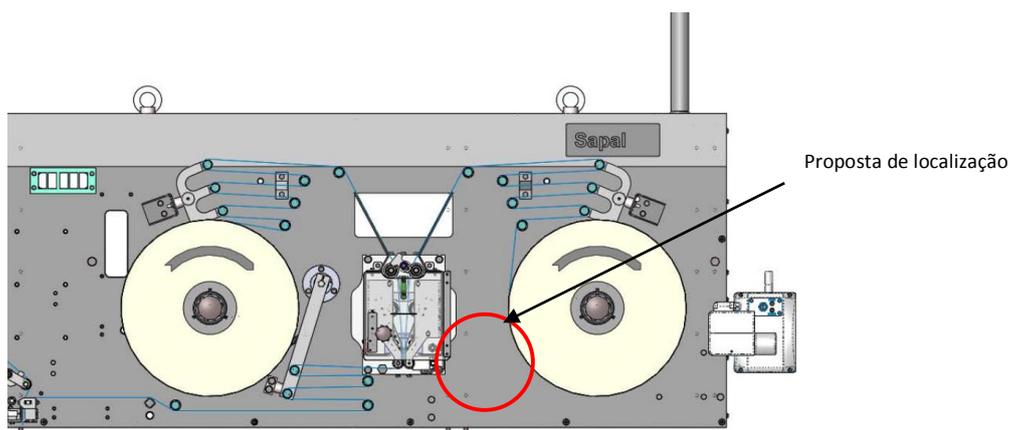


Ilustração 37 - Localização para o sistema de deteção de papel

Após a escolha da localização e tendo em conta os requisitos necessários, é proposto o seguinte modelo:

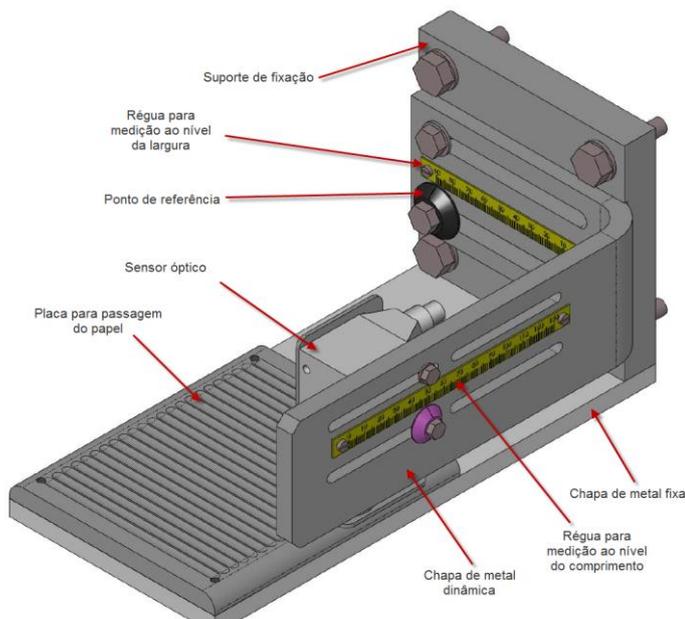


Ilustração 38 - Sistema de detecção de papel desenvolvido

Suporte de fixação:

O suporte de fixação consiste numa chapa de aço-inoxidável, com uma espessura de 20mm para assegurar uma grande estabilidade na fixação.

Com o intuito de assegurar o correto movimento da chapa de metal, a fixação com os parafusos não é suficiente, uma vez que caso seja necessário mudar a posição do sensor, este apresenta instabilidade, dificultando a sua mudança ao operário. Para eliminar esta desvantagem, é necessário criar uma “guia” com 3 mm de largura capaz de assegurar um movimento preciso e fácil.

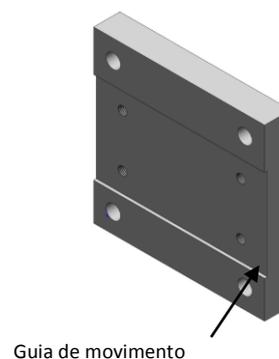


Ilustração 39 - Suporte de fixação

A produção desta peça passa por várias fases. Inicialmente, após se adquirir o material, este passa por um processo de corte para adquirir as dimensões desejadas. Posteriormente passa por dois processos de maquinagem, nomeadamente a furação, para os outros furos que possui, e por um processo de fresagem para a obtenção da guia.

Chapa de metal:

Esta peça possui como principal finalidade cumprir com o requisito estipulado relativamente à flexibilidade deste sistema. Uma vez que existem diferentes tamanhos de produtos, é necessário que o sensor ótico possa deslocar-se conforme o tamanho do papel. O sensor não deve possuir uma posição fixa, sendo necessário deslocar-se ao nível da largura e do comprimento do papel.

Deste modo, a peça desenvolvida consiste numa chapa de metal que se pode observar na seguinte figura:

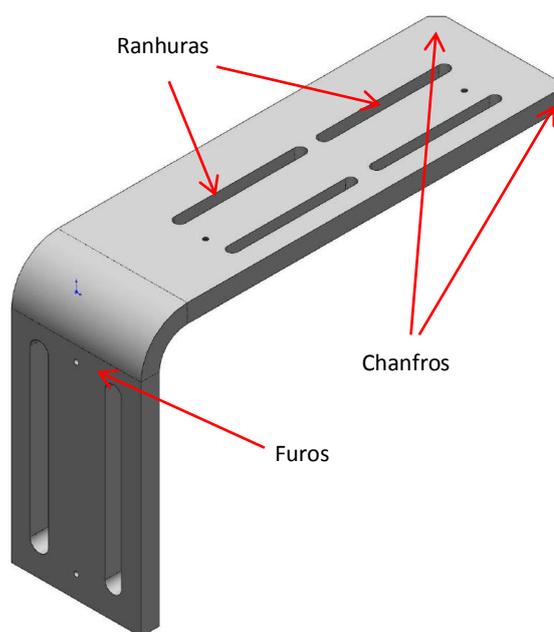


Ilustração 40 - Chapa de aço-inoxidável

A peça é composta por dois tipos de ranhuras. O lado que contém 4 pequenas ranhuras tem como função suportar o sensor e ajustá-lo consoante o comprimento do produto. Por sua vez as duas ranhuras de maior dimensão têm como objetivo movimentar o sensor ótico de acordo com a largura do produto.

Uma outra característica a ter em conta quando se desenvolve uma peça consiste na segurança do operário. Neste caso, é aconselhável não criar arestas que podem magoar o operário. Assim, foram

adicionados à chapa dois chanfros. Por fim, fazem-se dois furos com o objetivo de suportar duas réguas.

Processo de produção:

Inicialmente esta chapa de metal passa por um processo de dobragem para obter o ângulo de 90° entre as duas partes da chapa. Neste ponto do processo, a chapa possui uma rugosidade de 3.2. Ora, uma vez que necessita passar por um processo de corte, caso se pretenda manter esta rugosidade, pode levar a que o custo de produção da peça seja mais elevado que necessário. Deste modo, pode-se adotar um processo de corte com uma rugosidade superior, nomeadamente, com rugosidade de 12.5, tornando o processo mais em conta. Para tal, deve-se

efetuar um corte sem contacto direto com a peça, como por exemplo, um processo de corte a laser. Por fim, a criação das ranhuras pode ser efetuada através do recurso a um processo de fresagem.

Esta rugosidade encontra-se relacionada com a função da peça. Uma vez que esta efetua um movimento lateral, é necessário que esta deslize com facilidade. Portanto, ao longo do desenvolvimento de uma peça é necessário também ter em conta a sua rugosidade juntamente com a sua função. Para peças mecânicas que envolvem ajustamentos, movimentos rotativos, etc., é crucial considerar a sua rugosidade.

Placa para passagem do papel:

A placa para passagem do papel possui como objetivo certificar que o papel permaneça completamente esticado antes e durante a passagem pelo sensor. Para tal, a placa integra dois raios laterais assegurando assim a horizontalidade do papel. Por outro lado, na sua extremidade superior, possui diversas estrias para reduzir a tensão do papel e ajudar a posicioná-lo quando este passa pela peça, não ocorrendo o risco de quebra.



Ilustração 41 - Placa para passagem do papel

Para a produção dos raios laterais assim como das estrias mencionadas (ilustração 42) recorre-se ao processo de fresagem.

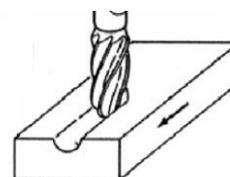


Ilustração 42 - Ferramenta de fresagem para a criação das estrias

Restantes componentes:

Os restantes componentes integrados no sistema proposto correspondem a duas réguas de medição. Tal componente é essencial pois cada produto possui dimensões específicas e exatas e, uma vez que o sensor tem de ser ajustado segundo estas, o seu posicionamento também em si deve ser ajustado com exatidão.

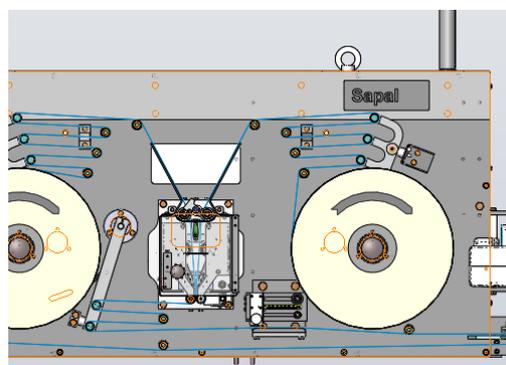


Ilustração 43 - Protótipo final do sistema de deteção de papel

Para este sistema, a única adaptação necessária para a Starpac consiste apenas em acrescentar 4 furos na máquina-mãe, o que constitui uma vantagem pela sua simplicidade e baixo custo. Além deste fator, este sistema não exige outras modificações em termos de posicionamento dos outros componentes nem alterações das suas dimensões.

5.3.2. Suporte para o Laser Domino

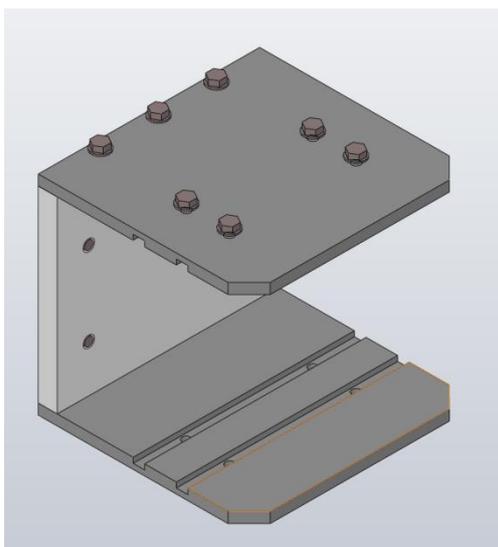


Ilustração 44 - Suporte para o Laser Domino desenvolvido

Para facilitar o suporte e o posicionamento do laser domino, desenvolveu-se um estudo composto por 3 peças principais: placa metálica para suporte lateral e duas placas metálicas de suporte, como se pode observar na seguinte figura. Todos os componentes deste sistema possuem o aço inoxidável como o seu material. A elevada resistência deste material possui um grande impacto visto que tem como função suportar o laser, no qual possui um peso total de 22kg.

As placas metálicas são inicialmente adquiridas sobre a forma de chapa que posteriormente passam por um processo de acabamento. O mais adequado em termos monetários e de complexidade para a criação dos chanfros e das guias consiste no processo de fresagem. Os chanfros neste caso têm

como função proteção visto que o suporte é colocado no exterior da máquina-mãe.

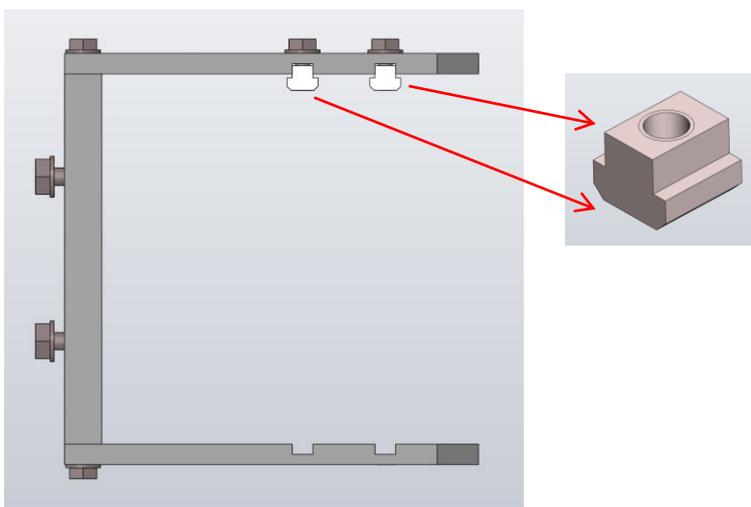


Ilustração 45 - Ligação mecânica para o posicionamento do laser

Como se observou no subcapítulo 5.1, o domino por si já é composto por um sistema de fixação, equipado com duas estrias no seu topo ao longo de todo o seu comprimento. Para fixar o

suporte às estrias incorporadas é necessário recorrer a uma ligação mecânica nomeadamente um parafuso de guiamento. Este tipo de fixação permite que o laser seja facilmente ajustado relativamente à posição do papel.

5.3.3. Sistema para rolo de aceleração

Como referido anteriormente, devido à nova posição do laser, o papel segue um novo percurso ao longo do alimentador de papel antes de entrar na máquina. Este facto tem consequências relevantes na velocidade do papel que este adquire pois, com o percurso maior, este tende a diminuir a sua velocidade obrigando o motor a consumir mais energia e esforço sem necessidade aparente podendo mesmo afetar negativamente a produtividade da máquina.

Uma vez que a um rolo de aceleração estão associados vários componentes integrantes deste sistema, nomeadamente um codificador, etc., várias fixações são exigidas. Ora, um dos requisitos deste projeto consiste na tentativa de não modificar, quando possível, a máquina-mãe, como já justificado anteriormente. Portanto é sugerido efetuar a sua fixação fora da máquina, ou seja, na parte lateral da máquina.

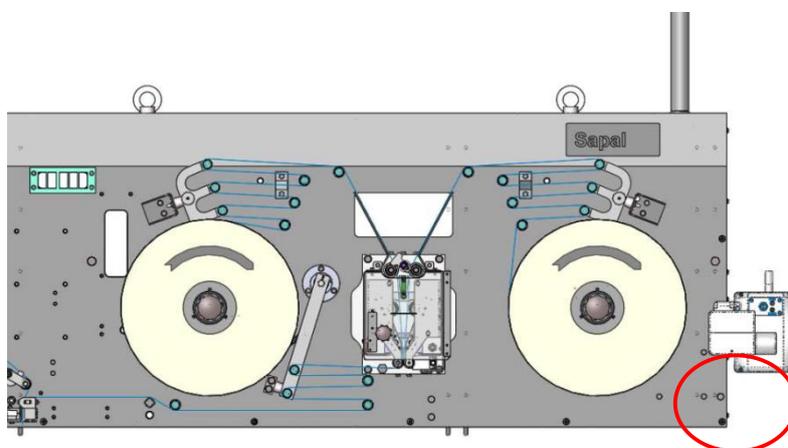


Ilustração 46 - Proposta de localização para o sistema de aceleração

Através da escolha da localização, pode-se determinar quais os componentes principais que este sistema exige, nomeadamente um bloco aço inoxidável, com o intuito de apoiar o rolo na lateral da máquina, uma componente elétrica composta por um codificador, um suporte para a eixo pivô e o rolo de aceleração.

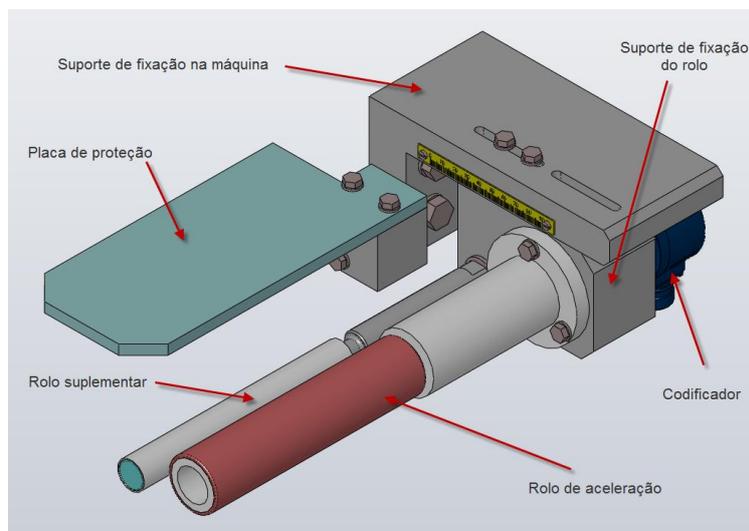


Ilustração 47 - Sistema para rolo de aceleração proposto

Suporte de fixação na máquina:

Bloco de aço inoxidável, sendo a ligação entre a máquina e o rolo de aceleração. Integra duas ranhuras para que o papel seja ajustado de acordo com as dimensões do papel antes da entrada no sistema de corte do papel e conseqüentemente antes do embrulho do chocolate.

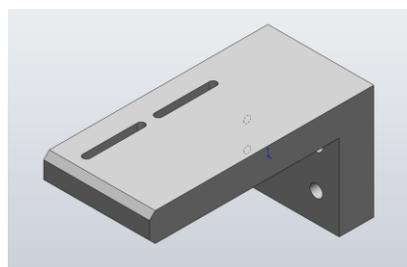


Ilustração 48 - Suporte de fixação na máquina

Processo produtivo: o material é adquirido em forma de L sendo, posteriormente sujeito a processos de fresagem para a criação das ranhuras e dos chanfros.

Rolo de aceleração

O rolo de aceleração revelou-se ser um componente crucial ao longo do desenvolvimento do projeto. Este é responsável por assegurar que o papel não perde a velocidade desejada e conseqüentemente, não afete a produtividade da máquina. Sem este componente o papel corria o risco de quebrar, levando a paragens na produção, perdas de tempo e baixa produtividade.

Dentro deste sistema, certos componentes são dinâmicos, ou seja, estão em constante movimento rotacional e outros componentes são fixos. Todos os componentes e ligações mecânicas são importantes para o bom funcionamento deste sistema.

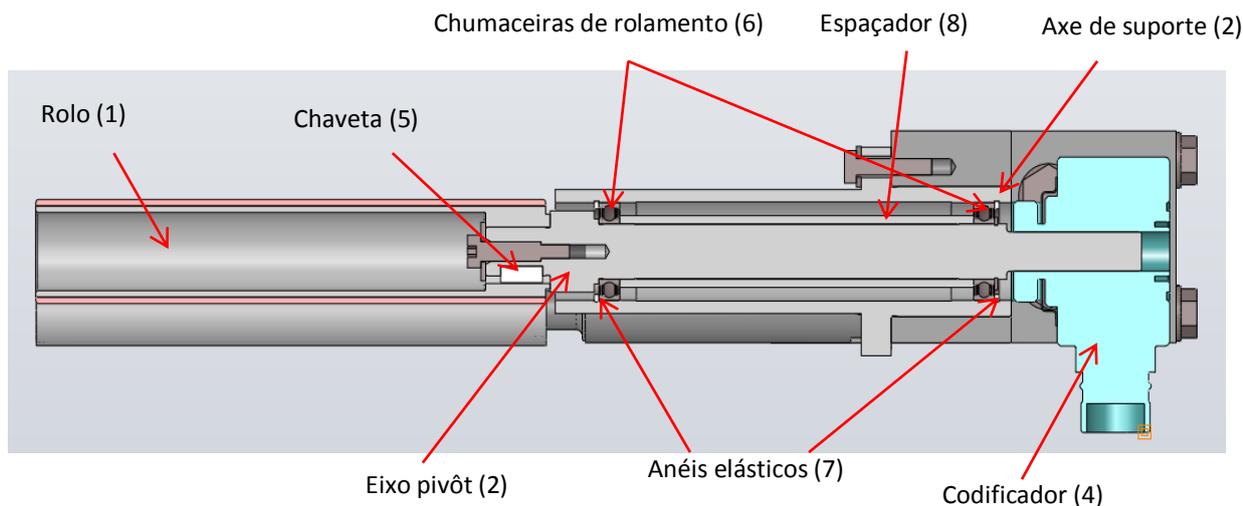


Ilustração 49 - Corte de seção do rolo de aceleração

1. Rolo

Rolo composto por duas partes – uma peça que tem como material ligas de alumínio e uma segunda parte (a vermelho) composta por um material com uma componente de borracha. É de salientar que esta escolha justifica-se pelo facto de o papel rodar nesta peça a alta-velocidade, sendo necessário que este possua uma textura adequada, para evitar danificar o papel e que não se crie atrito entre o papel e o rolo. Para a produção do rolo de ligas de alumínio recorre-se ao processo de torneamento.

2. Eixo pivô

Elemento fulcral neste sistema pois é o componente que assegura a rotação do rolo de aceleração. Como se pode observar na ilustração 49, o eixo pivô é a peça que interliga todos os elementos do sistema de aceleração, desde codificador até ao rolo de aceleração. Deste modo permite que o codificador receba a informação subjacente à posição angular.

Vários componentes deste sistema permitem que o eixo pivô mantenha uma posição horizontal, nomeadamente as chumaceiras de rolamento (6), a axe de suporte (3) e o espaçador (8).

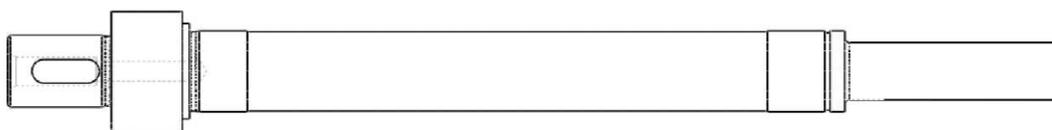


Ilustração 50 - Eixo pivô

O processo produtivo do eixo pivô constitui essencialmente o processo de maquinagem torneamento. Como mencionado no capítulo 1, durante um processo de torneamento, várias operações são executadas, nomeadamente chanfragem, furação, facejamento, etc., que exigem mudança de ferramentas ao longo do processo.

3. Axe de suporte

Como se pode observar na vista lateral da máquina existe uma distância acentuada entre o local de fixação e o papel. Por este facto, é necessário adicionar um suporte para o eixo pivô para que o rolo esteja ao mesmo nível que o papel da máquina.

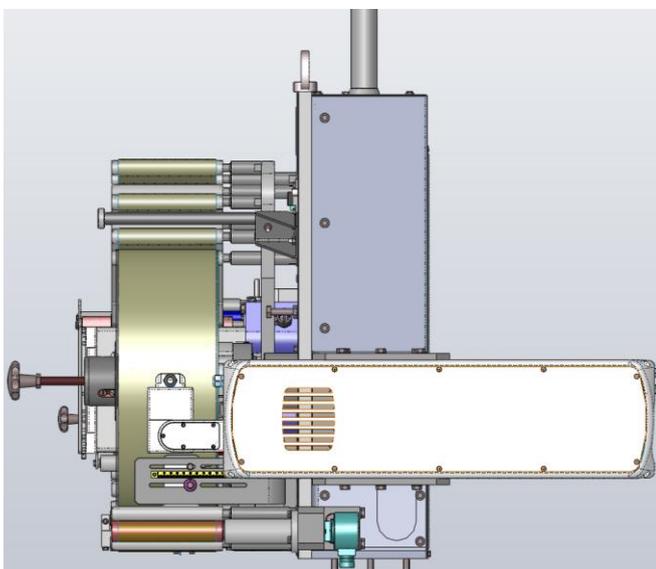


Ilustração 51 - Vista Lateral da máquina

Deste modo, é necessário utilizar um suporte para o eixo pivô. Esta peça é responsável por assegurar que o

rolo de aceleração e o eixo pivô mantenham uma posição horizontal, apesar das vibrações que o sistema gera. A forma deste suporte é feita através do processo de torneamento, tanto para as dimensões exteriores como interiores. Os furos para a sua fixação são executados através de um processo de furação.

A resistência e estabilidade que esta peça deve possuir é de extrema importância pois consiste no componente principal para a estabilidade do rolo.

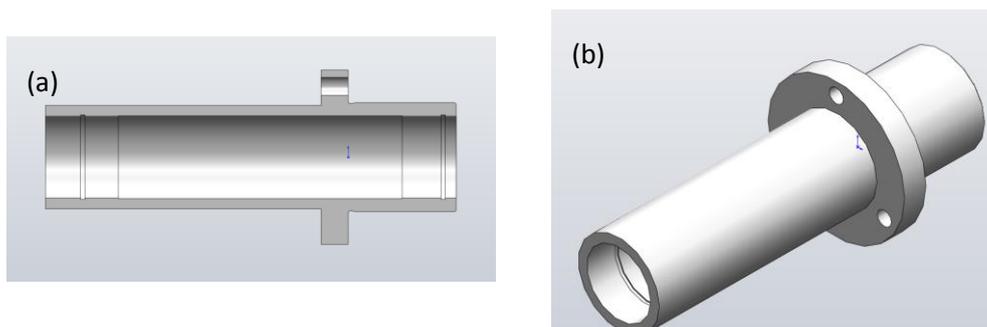


Ilustração 52 - Suporte de fixação para o eixo pivô (b) e o seu corte de secção (a)

4. Codificador

Um codificador rotativo consiste num dispositivo eletromecânico que tem a capacidade de converter um movimento angular de um eixo para um código digital ou analógico McMillan and Considine [18]. Em termos gerais, os codificadores podem ser classificados, dependendo do seu *output*, em dois tipos: incrementais e absolutos [18]. Os codificadores incrementais permitem fornecer diversas informações relativas ao movimento do eixo-pivô sendo que, a partir desta, pode-se derivar a velocidade, distância e posição do eixo [18]. Estes consistem nos codificadores mais usados devido ao seu baixo custo e a sua facilidade de interpretação de dados. Por outro lado, os codificadores absolutos informam a posição do eixo no qual se pode traduzir no ângulo que o eixo toma [18].



Ilustração 53 - Codificador incremental utilizado neste sistema

Neste sistema, o codificador envia a informação necessária para o laser com o intuito de sincronizar a velocidade do papel e a velocidade de inscrição. Para tal o codificador tem de ser incremental pois é necessário saber a informação relativa à velocidade.

5. Chaveta

Como mencionado no capítulo 1, as chavetas são utilizadas quando se pretende acoplar duas partes, neste caso o rolo de aceleração (desenvolvido com um cubo de roda) e o eixo pivô (veio), quando existe transmissão de movimento, neste caso rotacional, daí ser necessário incluir esta peça neste sistema de aceleração (ilustração 54).

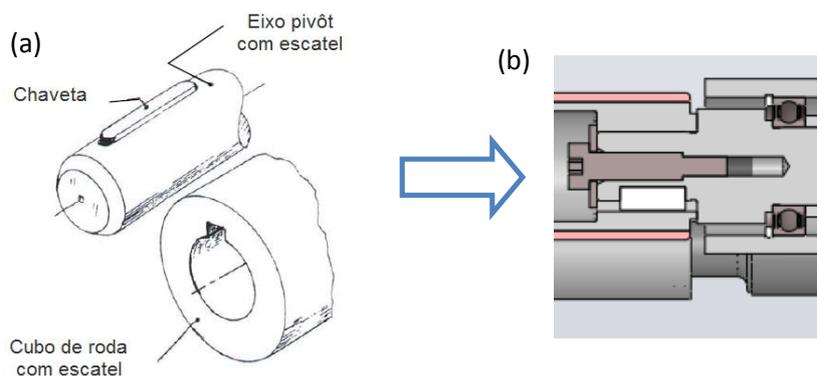


Ilustração 54 – Exemplo de um acoplamento de uma chaveata no eixo pivô (a) [6] e no modelo proposto (b)

7. Circlips – os dois *circlips* incluídos neste sistema servem para que as chumaceiras de rolamento estejam posicionadas e fixas, impedindo o seu movimento lateral. Para a fixação destes, recorre-se a duas ranhuras incluídas no suporte da axe, funcionando em forma de *puzzle*.



Ilustração 55 - Exemplo de um circlip

8. Espaçador – peça responsável por manter constante o espaço entre os dois rolamentos. Este componente integra as peças com movimento rotacional pois acompanha o movimento do eixo pivô.

Peça de suporte

Peça necessária para estabelecer a ligação entre a fixação na máquina e o suporte do rolo de aceleração. O material desta peça corresponde ao aço-inoxidável, Para o processo de acabamento, este passa por um processo de furação e fresagem (para os chanfros laterais).

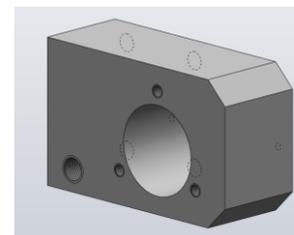


Ilustração 56 - Peça de suporte

Placa de proteção

Ao longo do ciclo de vida da máquina, é necessário realizar manutenções e reparações da mesma e do sistema de datação. Tais situações leva a que o operário por vezes tenha necessidade de se aproximar da lente do laser,

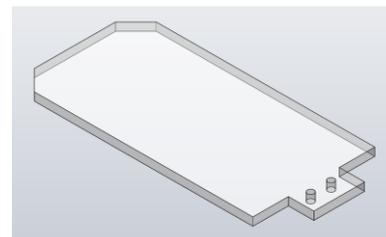


Ilustração 57 - Placa de proteção

podendo ser um risco para os seus olhos. Por questões de proteção e segurança, é necessário criar uma peça com o intuito reduzir o risco de acidentes. Esta peça constitui uma placa de PET-G Simolux (material termoplástico transparente)

5.3.4. Suporte para o controlador

Além do laser, é necessário também desenvolver um suporte para o controlador. Este pode ser colocado juntamente com a máquina ou na sua área externa. Por uma questão de simplicidade e ergonomia sugere-se que este seja acoplado na lateral direita da Starpac, inferiormente à máquina do sistema de colagem, como mostra a figura.

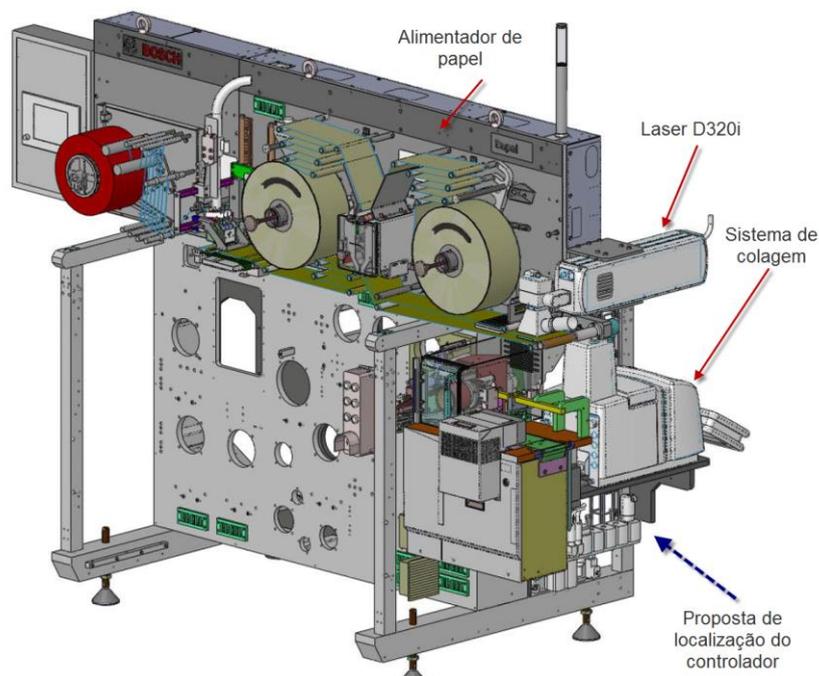


Ilustração 58 - Proposta de localização para o controlador

Este suporte segue a mesma direção de uma prateleira. Uma vez que o controlador se encontra diretamente ligado ao ecrã tátil, o operador não possui a necessidade de aceder constantemente ao controlador, daí não existir o problema de a sua posição ser próxima do nível do chão. Esta posição contém ainda a vantagem de não interferir com as dimensões gerais da máquina, cumprindo assim com um dos requisitos estipulados inicialmente, referente à não alteração do *layout* da Starpac.

Uma vez que o controlador possui uma massa corporal considerável, nomeadamente de 14.5kg, é necessário considerar um material metálico bastante resistente. Para tal considerou-se o aço de construção denominado S235JR-1.0037², o mais adequado para o suporte.

Devido às características deste aço, é necessário assegurar que este não crie corrosão ao longo do tempo. Para tal, após a sua produção, este passa por um tratamento denominado zincagem para proteger o aço contra a corrosão [19]. A zincagem corresponde a um tratamento no qual o aço passa por um processo de revestimento de zinco fundido, formando-se várias camadas de ligas ferro-zinco e de zinco puro ao longo de toda a superfície do metal [19].

Os componentes integrantes deste podem ser obtidos por um processo de corte.

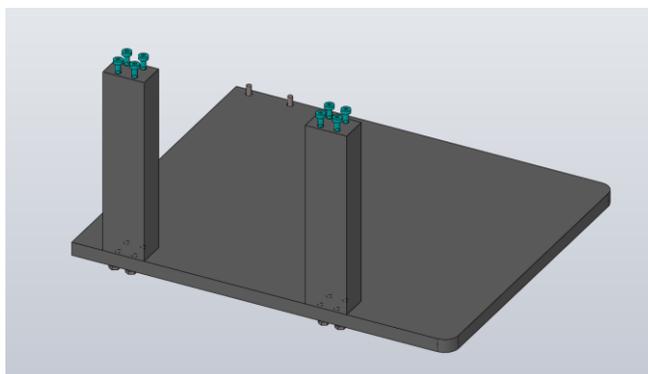


Ilustração 59 - Suporte para o controlador do laser

² Designação segundo o Comité Europeu de Normalização

5.4. Determinação de diferentes cenários

Seguindo a lógica subjacente ao processo de *design*, o próximo passo a desenvolver consiste em considerar diferentes cenários possíveis tendo em conta critérios técnicos e financeiros.

Um dos fatores que mais importância possui neste sistema consiste na estabilidade do papel ao longo do seu percurso na máquina, que se traduz na inércia do sistema e conseqüentemente na sua velocidade. Quanto maior o número de rolos utilizados maior será a inércia do sistema e, conseqüentemente, maior será o trabalho realizado pelo motor da máquina sobre o papel. Por outro lado, é crucial reduzir a inércia subjacente ao rolo de aceleração, pois quanto menor for, mais fácil será atingir uma determinada velocidade.

Para analisar e estudar as diferentes possibilidades, tendo em conta a inércia do rolo de aceleração e a própria inércia do sistema, estabeleceram-se dois diferentes cenários, no qual se podem diferenciar através do percurso que o papel toma e o número de rolos suplementares utilizados.

Cenário A – Trabalho executado pelo braço dinâmico antes do laser Domino:

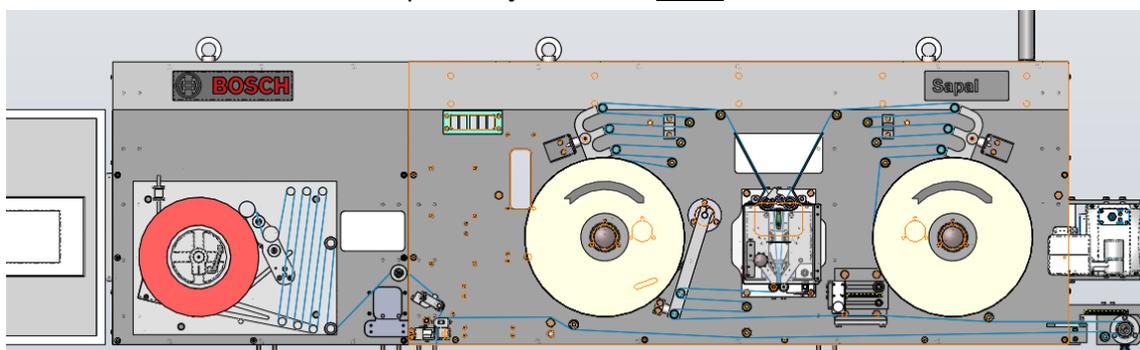


Ilustração 60 - Cenário A proposto

Cenário B – Trabalho executado pelo braço dinâmico depois do laser Domino:

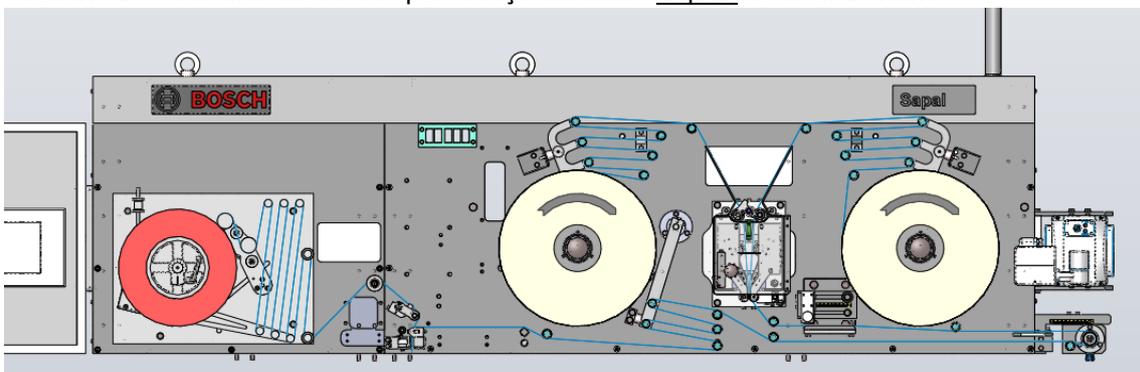
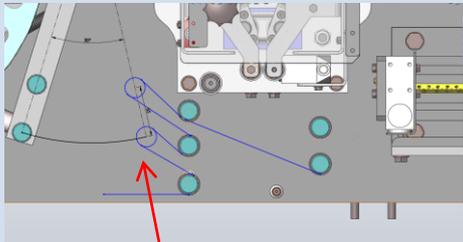


Ilustração 61 - Cenário B proposto

	Cenário A	Cenário B
Aspetos positivos	Número reduzido de rolos adicionados (+1)	Quando o movimento do papel é descontínuo, o papel, após a passagem pelo rolo de aceleração, passa pelo braço dinâmico, levando à sua quebra de tensão
	Poucas modificações subjacentes a este cenário devido ao número reduzido de componentes	Não é necessário sistema de regularização do rolo de aceleração para este cenário -> o papel é puxado pelo sistema de corte e o braço dinâmico ajuda na regularização
Aspetos negativos	Sistema de deteção de papel mal posicionado -> baixa aderência do papel à placa, podendo originar erros de leitura	
	Sistema de deteção longe do laser ³	
	Após a passagem do papel pelo rolo de aceleração, este não passa pelo braço dinâmico, não existindo quebra de tensão	Rolos suplementares não se encontram alinhados com os rolos do braço dinâmico -> risco de quebra de papel quando o braço encontra-se na sua posição máxima
		 <p>Posição máxima</p>
	Se o movimento do papel é descontínuo pode ocorrer vibração, levando à instabilidade do papel	Número elevado de rolos adicionados (+4)
Aspetos negativos dos	Sistema de deteção do papel	Lateral do laser (incluindo o seu sistema de ventilação) bloqueado pelo suporte. É

³ O sensor ótico envia constantemente a informação sobre a velocidade que o papel toma para o laser. Uma vez que a Starpac trabalha a alta velocidade, quanto mais perto estiverem estes dois dispositivos, menor é o risco de erro de inscrição no produto.

Componentes		necessário uma distância mínima para assegurar que laser (mínimo de 5cm)
	Sistema de rolo de aceleração	Diâmetro do rolo de aceleração demasiado grande ($\varnothing 40\text{mm}$) -> aumento do momento de inércia
	Suporte para o laser Domino	✓
	Suporte para o controlador	✓

Tabela 4 - Comparação dos dois cenários

Os aspetos comuns aos dois cenários podem ser facilmente corrigidos, nomeadamente a posição do sistema de deteção. É de salientar que a sua correção irá ser executada independentemente do cenário a optar.

Um dos fatores mais importantes a considerar neste sistema consiste em assegurar que o papel se mantém estável ao longo de todo o seu percurso. Apesar das vantagens existentes no cenário A, o papel está sujeito a elevadas vibrações podendo levar à sua quebra ou uma reduzida qualidade no empacotamento do chocolate (devido ao risco de mau posicionamento, de erro no corte, etc.). Para quebrar tal tensão é necessário que o papel passe pelo braço dinâmico.

O cenário B por sua vez possui um elevado número de rolos suplementares, podendo levar ao aumento da inércia do papel, correndo o risco de reduzir a sua velocidade. Porém, após a passagem pelo rolo de aceleração, o papel direciona-se para o braço dinâmico, reduzindo o atrito criado até então.

Com estes fatores mencionados, é possível considerar que, apesar das suas desvantagens, o cenário B consiste no cenário que melhor garante o bom funcionamento do sistema, reduzindo os riscos de perturbações no filtro de papel e exigindo menos esforço por parte do motor devido à passagem do papel pelo braço dinâmico antes de este se dirigir para o motor.

Seguidamente à escolha do cenário é necessário proceder ao seu melhoramento, através da correção dos erros detetados anteriormente.

5.5. Melhoria da solução

Relativamente ao posicionamento do sistema de deteção de papel duas situações negativas se verificaram:

- Baixa aderência do papel à placa, podendo originar erros de leitura;
- Distância entre o laser e o sensor ótico elevada;

Para aproximar o sistema do laser, é necessário colocá-lo entre o *spindle* e o laser. Por outro lado, para assegurar que o papel possua uma boa aderência com a placa de passagem de papel, apenas é necessário aumentar o ângulo entre ambos, através do aumento da altura no qual o sistema se encontra fixado.

A seguinte correção necessária é o posicionamento dos rolos suplementares. Esta situação permitiu concluir que a posição destes é bastante importante, pois, dependendo da sua posição, estes podem ajudar a aumentar a velocidade do papel mas podem também originar um atrito elevado no papel, levando a uma elevada tensão. Na figura seguinte pode-se observar a correção proposta e o efeito que teve no percurso do papel.

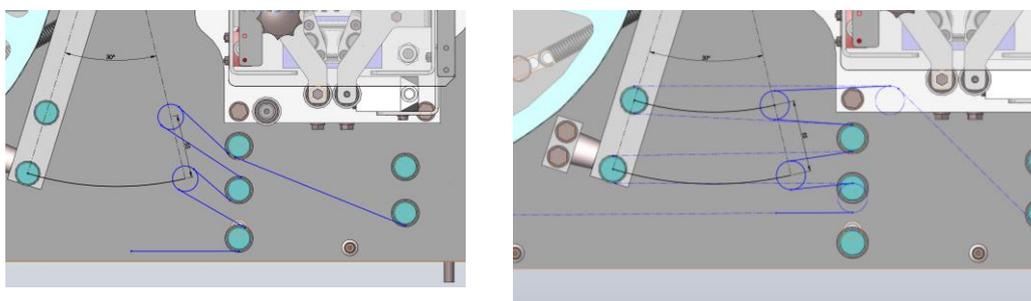


Ilustração 62 - Correção do posicionamento dos rolos suplementares

Uma outra situação verificada corresponde à elevada inércia subjacente ao rolo de aceleração. Antes de melhorar o desempenho do rolo, é necessário ter em consideração os seguintes conceitos teóricos:

- O momento de inércia mede a resistência que o corpo opõe à rotação;
- Por definição, o momento de inércia de uma partícula de massa m no qual gira em torno de um eixo com uma distância r , é dado por $I = mr^2$. Deste modo, o momento de inércia depende da massa do corpo e de como ela se distribui em relação ao eixo de rotação;

- Num movimento rotacional é necessário tentar manter constante o momento angular, no qual é dado por $L = I\omega^2$, onde I corresponde ao momento de inércia e ω à velocidade angular;
- A variação do módulo de velocidade de rotação é causada pela alteração da distribuição da massa ao redor do eixo do corpo e de como esta se distribui em torno do eixo de rotação;
- Com a diminuição do momento de inércia e pela aproximação da massa ao eixo de rotação, a conservação do momento angular garante o aumento do módulo de velocidade angular.

Para reduzir o momento de inércia, é necessário executar alterações ao nível das dimensões e do material das peças com movimento rotacional (rolo de aceleração, eixo pivô e o espaçador).

O *Solidworks* possui a capacidade de calcular o momento de inércia da massa segundo um eixo de rotação estabelecido. O momento de inércia da massa de um corpo consiste em determinar a capacidade do corpo em resistir a mudanças a uma velocidade rotacional relativamente a um eixo específico. Dado uma força rotacional, quanto maior o momento de inércia da massa menor é a aceleração angular relativamente a um eixo.

Para determinar o momento de inércia da massa, o *Solidworks* possui uma ferramenta na qual recorre o chamado teorema de *Huygens-Steiner* (ou teorema do eixo paralelo) no qual afirma que o momento de inércia de um corpo em torno de um eixo pode ser determinado através do momento de inércia da massa em torno de um eixo paralelo através do centro de massa. O teorema do eixo paralelo é dado por:

$$I_z = I_{cm} + mr^2 \quad (1)$$

No qual I_{cm} corresponde ao momento de inércia do objeto à volta de um eixo passando pelo centro de massa, m corresponde à massa do objeto e r é a distância perpendicular entre o eixo de rotação e o eixo que passaria através do centro de massa. O *Solidworks* permite obter o valor da inércia mas sob a forma de matriz, dada por:

$$[I_z] = [I_{cm}] - M[d]^2 \quad (2)$$

Onde d corresponde ao vetor entre o ponto de referência z e o centro de massa.

A partir da ferramenta “Propriedades da massa” incorporada no *Solidworks*, obteve-se o seguinte resultando para a situação atual do rolo de aceleração. É de salientar que neste cálculo apenas entram os componentes que executam movimento rotacional, excluindo todo o tipo de peças fixas.

Massa		720.3456 gramas		
Volume		169538.4254 mm³		
Centro de gravidade (mm)		X = 0.0000 Y = -0.0041 Z = -115.8971		
Principais eixos e momentos de inércia (gramas*mm²)	Relativa ao centro de gravidade	lx = (0.0000, -0.0000, 1.0000) ly = (0.0000, -1.0000, -0.0000) lz = (1.0000, 0.0000, 0.0000)	Px = 86157.8197 Py = 5548404.9903 Pz = 5548428.6490	
	Relativa ao centro de gravidade alinhado com o sistema de coordenadas de saída	Lxx = 5548428.6488 Lyy = -0.0002 Lzx = 0.0016	Lxy = -0.0002 Lyy = 5548404.99 Lzy = -111.1543	Lxz = 0.0016 Lyz = -111.1543 Lzz = 86157.8220
	Relativa ao sistema de coordenadas de saída	lxx = 15224202.7410 lyx = -0.0002 lzx = -0.0080	lxy = -0.0002 lyy = 15224179.07 lzy = 234.2786	lxz = -0.0080 lyz = 234.2786 <u>lzz = 86157.834</u>

Tabela 5 – Resultados do momento de inércia do rolo de aceleração (cenário atual)

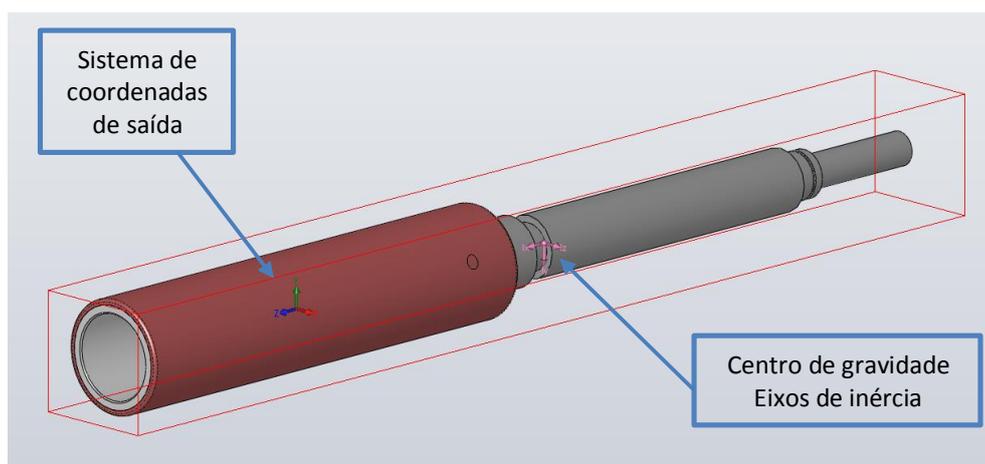


Ilustração 63 – Eixos de inércia e sistema de coordenadas de saída

Como de pode observar na ilustração 63 o eixo z corresponde ao eixo de rotação do rolo, deste modo pode se concluir que o momento de inércia da massa possui o valor de 86157.834 g mm². Sendo considerado um valor bastante elevado, é necessário determinar quais os fatores que influenciam este valor e modificá-los de modo a reduzir o valor da inércia.

Como de observou na fórmula (2) a massa dos corpos possui uma grande influência no momento da inércia, deste modo é necessário reconsiderar os materiais utilizados neste sistema. O aço inoxidável, apesar das suas grandes vantagens, possui uma densidade de 8000 kg/m³. Devido a este facto, para melhorar o desempenho do rolo, é necessário optar pelas ligas de alumínio, uma vez que estas possuem uma densidade de 2680 kg/m³, assim todos os componentes do rolo, à exceção do rolo a vermelho, terão como material as ligas de alumínio e não aço inoxidável, como definido anteriormente.

Relativamente à dimensão do rolo e uma vez que se pretende aumentar o módulo de velocidade angular, é necessário aproximar a distribuição da massa do corpo do eixo de rotação. Para tal, para melhorar a solução, sugere-se reduzir o diâmetro do rolo de aceleração de 40 mm para 32mm.

Após as modificações mencionadas, opte-se um resultado inferior do valor da inércia comparativamente à solução inicial, como se pode observar na tabela seguinte:

Tabela 6 - Resultados do momento de inércia do rolo de aceleração (cenário melhorado)

Massa		306.3174 gramas		
Volume		130377.6458 mm³		
Centro de gravidade (mm)		X = 0.0000 Y = -0.0281 Z = -97.3536		
Principais eixos e momentos de inércia (gramas* mm²)	Relativa ao centro de gravidade	Ix = (0.0000, -0.0001, 1.0000) Iy = (0.0000, -1.0000, -0.0001) Iz = (1.0000, 0.0000, 0.0000)	Px = 31413.0688 Py = 2541907.6548 Pz = 2541963.3188	
	Relativa ao centro de gravidade alinhado com o sistema de coordenadas de saída	Lxx = 2541963.3188 Lyy = -0.0001 Lzx = 0.0000	Lxy = -0.0001 Lyy = 2541907.6425 Lzy = -175.5186	Lxz = 0.0000 Lyz = -175.5186 Lzz = 31413.0811
	Relativa ao sistema de coordenadas de saída	Ixx = 5445154.4122 Iyy = -0.0001 Izx = -0.0028	Ixy = -0.0001 Iyy = 5445098.4947 Izy = 661.3055	Ixz = -0.0028 Iyz = 661.3055 Izz = 31413.323

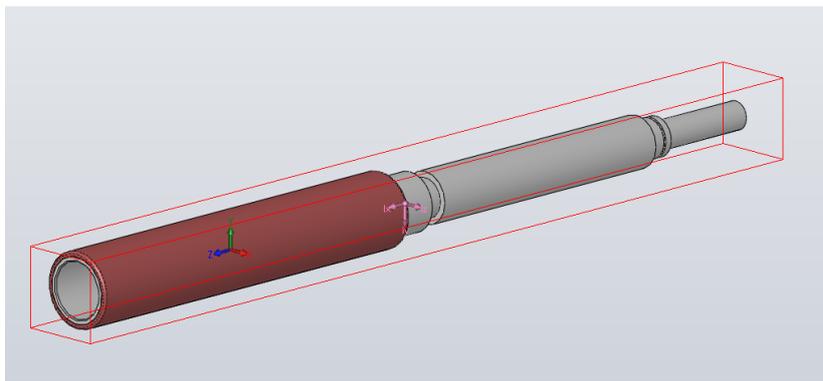


Ilustração 64 - Componentes que interferem com o momento de inércia do sistema

A escolha pelo cenário B, no qual o papel passa pelo braço dinâmico antes de se dirigir para o sistema de corte, leva a que não seja necessário um sistema para regular a posição do rolo relativamente às dimensões do papel. Portanto, uma das funções do suporte de fixação para o rolo (ilustração 48) já não é necessário. Tal acontece pois o sistema de corte já possui um sistema de deteção de papel e caso existam diferentes tamanhos de produto, o sensor envia a informação da posição ao motor para que este equilibre a velocidade do papel com a ajuda do braço dinâmico mantendo a posição desejada.

No cenário A tal não acontecia visto que, embora o sistema de corte deteta-se um posicionamento errado, podia regularizar a posição, mas não podia regularizar a posição do rolo, visto que era manual e não elétrica.

Deste modo, a última modificação necessária ao sistema de rolo de aceleração anteriormente proposto consiste na eliminação do suporte de fixação na máquina com ajustamento. Ao eliminar este componente, o sistema inicialmente proposto sofreu algumas modificações, levando à criação de um novo sistema de fixação. Uma característica especial deste suporte consiste de este incluir 4 furos especiais para a utilização de pinos elásticos para assegurar que, quando instalado, o suporte se mantenha perpendicular à máquina. Estes são executados com o recurso a uma broca.

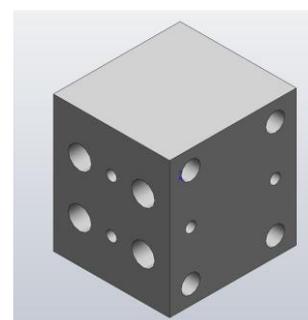


Ilustração 65 - Novo suporte de fixação proposto

O resultado final do sistema de aceleração pode-se observar na seguinte figura:

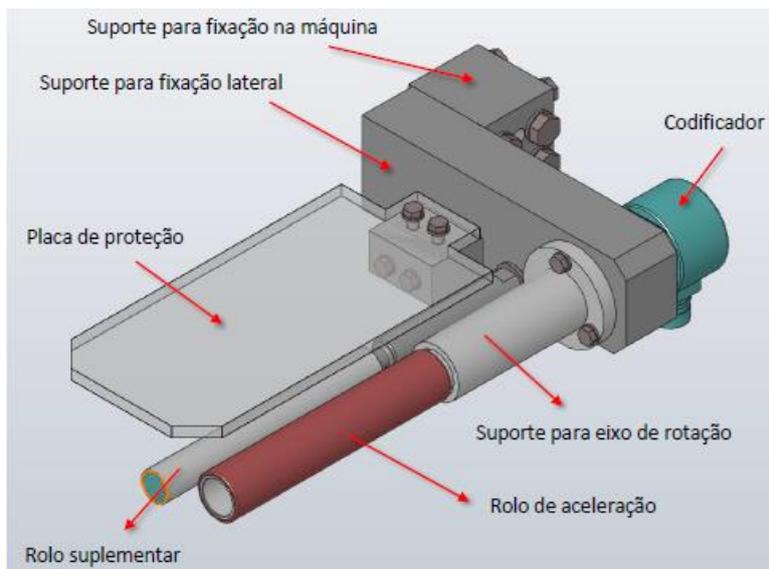


Ilustração 66 - Sistema para o rolo de aceleração proposto

Após a melhoria da solução inicialmente proposta, alcançou-se uma proposta de solução viável e eficiente que tem em conta todos os requisitos exigidos num sistema de datação (ilustração 67 e 68).

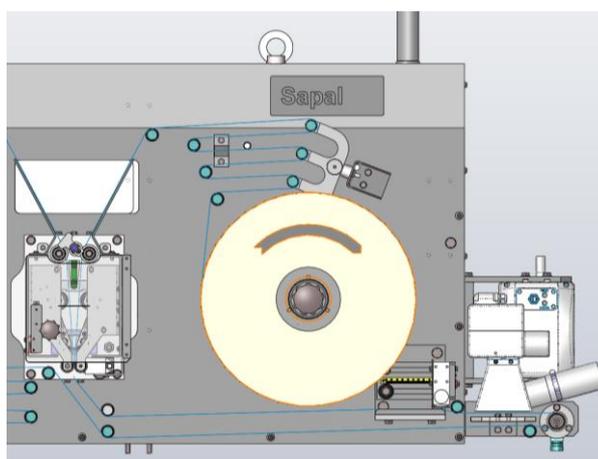


Ilustração 67 - Layout final da Starpac

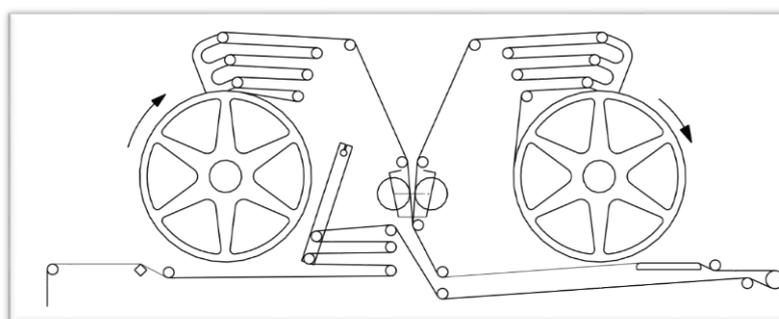


Ilustração 68 - Percurso do papel com o sistema de datação

6. Conclusão

As constantes variações e a crescente competitividade do mercado obriga a que cada organização direcione as suas atividades e recursos para acompanhar e se estabelecer no mercado. Para fazer frente a estas variações, as atividades relacionadas com o desenvolvimento do produto têm um papel central para o alcance de um grau de inovação igual ou superior aos seus concorrentes. A realização do presente projeto teve como intuito permitir à organização Sapal SA se adaptasse às mudanças do seu mercado para conseguir adquirir vantagem competitiva face aos seus concorrentes, recorrendo apenas a um investimento inicial.

A *Starpac*, uma máquina de empacotamento de chocolates integrada na gama de produtos da Sapal SA, possui vários processos necessários ao embrulho de um chocolate (embrulho, colagem e *easy-open*). No entanto, a inscrição da data de validade corresponde ao processo que até ao momento não era possível oferecer aos seus clientes. A criação de um sistema de datação permitiu que a empresa Sapal fazer face à concorrência e assim aumentar o seu nicho de mercado.

O desenvolvimento deste projeto envolveu várias fases no qual permitiram compreender a complexidade envolvida num processo de *design* que levou a uma solução que integra os requisitos inicialmente estipulados nomeadamente, flexibilidade, baixo custo de adaptação e eficiência, não interferindo com a produtividade da *Starpac*.

As máquinas da Sapal estão constantemente a ser melhoradas e aperfeiçoadas. A simplicidade deste sistema de datação irá permitir que este possa ser implementado em futuras máquinas *Starpac*, pois não envolve grandes modificações na sua instalação. Deste modo, os objetivos previamente estabelecidos para o presente projeto foram positivamente alcançados.

O presente projeto está planeado para ser implementado em Setembro de 2013 e uma vez que a Sapal segue uma política de melhoria contínua segundo os padrões do grupo Bosch, é importante acompanhar o processo de implementação e proceder a testes para eventuais ajustes necessários.

Bibliografia

1. Relvas, C., *Materiais e Processos: Materiais metálicos* 2010, Universidade de Aveiro: Aveiro.
2. Crystal, G. *What is Stainless Steel?* 2003 15.03.2013]; Available from: <http://www.wisegeek.org/what-is-stainless-steel.htm>.
3. *Chapter 1. Basic Machining and Tips - Metal Materials*. 2002 03.04.2013]; Available from: http://www.nmri.go.jp/eng/khirata/metalwork/basic/material/index_e.html.
4. EXTRUSAL - Companhia Portuguesa de Extrusão, S.A. *Alumínio*. 2011 15.05.2013]; Available from: <http://www.extrusal.pt/index.php?id=16>.
5. Modenesi, P.J. and P.V. Marques. *Formação de uma Junta Soldada*. 2012 13.03.2013]; Available from: <http://soldagemembrasagem.blogspot.ch/2012/04/formacao-de-uma-junta-soldada.html>.
6. Almacinha, J.A. *Ligações mecânicas - Elementos de ligação mecânicos*. 2008 02.02.2013]; Available from: http://www.agarrados.com/forum/uploads/data/MIEM/1%20Ano/DT/DCM_T1.1_ELEM_LIGACAO_small.pdf.
7. Fennell, C., et al. *Manufacturing Processes*. 2006. 84.
8. Simões, J.A. and C. Relvas, *Tecnologia de maquinagem*. Universidade de Aveiro, 2003.
9. Haik, Y. and T. Shahin, *Engineering Design Process*, C. Learning, Editor 2011, Global Engineering. p. 42.
10. Ashby, M.F. and J. Johnson, *Materials and Design: The Art and Science of Material Selection in Product Design* 2010: Elsevier Ltd.
11. Karana, E., P. Hekkert, and P. Kandachar, *Material Considerations in Product Design*. *Materials & Design*, 2008. **29**(6): p. 1081–1089.
12. Holloway, L., *Materials selection for optimal environmental impact in mechanical design*. *Materials & Design*, 1998. **19**: p. 133-143.
13. Lesko, J., *Design Industrial - Materiais e processos de fabricação 2ªed*. Vol. II. 2004, São Paulo.
14. Moreira, M.F. *Processos de conformação mecânica*. 2004.
15. Filho, E.B., et al. *Conformação plástica dos metais*. 2011.
16. *Sheet Metal Cutting (Shearing)*. 2013 11.03.2013]; Available from: <http://www.custompartnet.com/wu/sheet-metal-shearing#top>.
17. Morais, S., *Desenho Técnico Básico : Desenho de Construções Mecânica - nº 32007*: Porto Editora.
18. McMillan, G.K. and D.M. Considine, *Process/industrial instruments and controls handbook*. 5th ed. McGraw-Hill 1999, New York 1355
19. Martins, J., *Motores de combustão interna, 2ª ed*. Publindústria, Edições Técnicas 2006, Porto.

20. Reid, R.D. and N.R. Sanders, *Chapter 3 - Product Design & Process Selection*, in *Operations Management* 2010, Willey.
21. *Mass Moment of Inertia*. efunda, Inc. 2013 14.04.2013]; Available from: <http://www.efunda.com/math/solids/MassMomentOfInertia.cfm>.
22. Altintas, S. *Product Design & Development - Industrial Design*. 05.03.2013]; Available from: <http://www.mslab.boun.edu.tr/docs/ETM551Lecture09.pdf>.
23. *Hot forming - Extrusion*. efunda, Inc. [cited 2013 12.03]; Available from: http://www.efunda.com/processes/metal_processing/extrusion.cfm.
24. Guerra, J. *Materiais de Construção I: Metais*. Universidade de Fernando Pessoa 2010-2011 12.03.2013]; Available from: http://www2.ufp.pt/~jguerra/PDF/Materiais/MCI%20-%20Metais_2010_PP.pdf.
25. Gweon, G.H. *Lecture 14 - Rotational Motion*. 2009 12.04.2013]; Available from: http://griffin.ucsc.edu/teaching/09Q4-6A/lecnotes/Lec_14.pdf.
26. *Two Types of Rotary Encoders*. Metal Spinning and Manufacturing Information 2009 09.02.2013]; Available from: <http://metalspinning.wordpress.com/2009/08/17/rotary-encoders/>.
27. ISEP and D.d.e. mecânica. *PROCESSOS DE FABRICO II*. 2007 09.02.2013]; Available from: http://www.dem.isep.ipp.pt/docentes/llm/txt_pfab2.pdf.
28. McMillan, G.K., *Process/Industrial Instruments and Controls Handbook, Fifth Edition* 1999: McGRAW-HILL.
29. Bosch, *Bosch History at a Glance (Relatório interno)*. 2011.
30. Bosch, *History and corporate information SAPAL (Relatório interno)*. 2011.
31. Bosch, *Sapal - Fashion for food 100 years (Relatório interno)*. 2006.
32. Schmitz, A. and L. Monnickendan, *Bosch - PACA Presentation (Relatório interno)*. 2012.
33. Serway, R.A., *Physics for scientists and engineers with modern physics*. 6th ed. Brooks/Cole 2004, Austrália.