

Universidade do Minho

Escola de Engenharia

José Afonso Fonseca Oliveira

**Conceção e Projeto de um Equipamento
para o Corte de Congelados**

Tese de Mestrado

Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação de

Professor Eurico Seabra

Professor Hélder Puga

Março de 2015

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus Orientadores, Professor Eurico Seabra e Professor Hélder Puga por todo o apoio dado no decorrer do projeto, tanto a nível técnico como a nível pessoal.

Agradeço à Soguima, empresa que impulsionou o projeto, em especial ao Engenheiro Emanuel Guimarães, que o acompanhou desde o início. Agradeço também ao Doutor Daniel Guimarães que acompanhou parte do projeto e a todos os funcionários que cooperaram com partes do mesmo.

Agradeço também ao Professor Luís Ferreira da Silva pelo acompanhamento na fase inicial deste trabalho.

A todos os docentes e funcionários da Universidade do Minho que colaboraram e auxiliaram em vários momentos, não só desta dissertação, mas ao longo de todo o curso.

Ao meu grupo de amigos, Bruno Arcipreste, Rita Ferreira, Carlos Monteiro, Diogo Costa, Fernando Dias, Francisco Oliveira, Helena Sá, João Costa, Paulo Mendes, Paulo Silva e Tiago Costa por todos os bons momentos.

A todos os outros colegas do curso que me acompanharam durante estes 5 anos e amigos que me acompanharam durante o restante percurso escolar.

Agradeço à família, em especial aos meus pais, mas também a todos os outros que me são ou foram próximos e que contribuíram para a conclusão deste curso.

Obrigado.

RESUMO

Este trabalho incide sobre a conceção e desenvolvimento de um equipamento automático de corte de bacalhau congelado. A Soguima, empresa de produtos alimentares, propôs ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Minho a conceção deste equipamento, por forma a otimizar o seu processo de produção atual. Este é feito atualmente com recurso a serras de fita usadas por operadores.

Os equipamentos disponíveis no mercado não são capazes de responder aos requisitos propostos pela empresa, pelo que foi necessário desenvolver uma nova máquina de raiz.

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica e de campo ao tema com o propósito de se identificarem os requisitos e as necessidades deste projeto, bem como determinar os objetivos que se pretendiam alcançar com o mesmo.

Foram também estudados todos os conceitos, normas, regras e boas práticas da indústria alimentar, sendo esta de um domínio específico com aspetos bastante particulares especialmente no que toca à higiene.

No seguimento do projeto preliminar, em que foi definida a estratégia de projeto a seguir, foram obtidas soluções concetuais para o equipamento a desenvolver, sendo depois selecionada a mais adequada.

Em resultado do projeto detalhado realizado para as principais funções do equipamento, foram definidas e projetadas as partes que o compõem e as diversas interações de funcionamento entre os vários componentes.

Foi também idealizado e desenvolvido o sistema de comando do equipamento ao nível do *software*, bem como foram realizadas simulações de todas as rotinas de comando desenvolvidas recorrendo a *software* adequado.

Foi feita uma estimativa dos custos do primeiro protótipo do equipamento e discutidos os ganhos este traria, comparativamente ao processo atual.

A terminar, foram feitas as conclusões e propostas de trabalhos futuros para o projeto.

ABSTRACT

This work focuses on the conception and development of an automatic equipment for frozen codfish cutting. Soguima, a food products company, proposed the conception of this equipment to the Mechanical Engineering Department of Universidade do Minho, in order to optimize their current production process. Currently this process is made with band saws used by operators.

The available equipments on the market do not answer to the requirements proposed by the company, so it's necessary to develop a new machine from scratch.

A literature and field search about the theme was made, with the purpose of identifying the requirements and needs of this project, as well as determining the objectives that are trying to be achieved.

All the concepts, norms, rules and good practices of the food industry were also studied, given that this is a specific domain with particular aspects, especially when it comes to hygiene.

Following the preliminary project, in which the project strategy to follow was defined, the conceptual solutions of the equipment were obtained, selecting the most adequate afterwards.

In result of the detailed project made to the main functions of the equipment, the parts that compose and the several working interactions between the various components were defined and projected.

The command system was also conceived and developed at software level, as well as the realization of simulations of all the developed command routines using suitable software.

A cost estimate of the first prototype of the equipment was made and the gains that the equipment would bring comparatively to the current process were discussed.

To finish, the conclusions and future work proposals to the project were made.

ÍNDICE

Capítulo 1 INTRODUÇÃO	1
1.1. Motivação	2
1.2. Objetivos da Dissertação	2
1.3. Estrutura da Dissertação	3
Capítulo 2 CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA	5
2.1. O Produto (Bacalhau).....	6
2.2. Corte Alimentar.....	7
2.3. Equipamento Existente.....	10
2.4. Processo Atual.....	15
2.5. Segurança Alimentar.....	17
2.6. Conceção e Construção para a Indústria Alimentar.....	20
2.6.1. Materiais.....	20
2.6.2. Práticas de Construção Recomendadas.....	22
Capítulo 3 PROJETO PRELIMINAR.....	25
3.1. Metodologia de Projeto.....	25
3.2. Definição do Problema.....	27
3.2.1. Especificações Técnicas dos Produtos de Entrada e Saída	28
3.3. Lista de Requisitos.....	29
3.4. Análise/Estrutura de Funções	33
3.5. Soluções Iniciais	34
3.5.1. Colocação.....	34
3.5.2. Pré-alinhamento.....	35
3.5.3. Posicionamento	36

3.5.4. Fixação	39
3.5.5. Corte	40
3.5.6. Recolha	45
3.6. Mapa Morfológico	45
3.7. Avaliação das Soluções	48
3.8. Projeto Concetual	50
3.8.1. Solução 1	50
3.8.2. Solução 2	52
3.8.3. Avaliação das Soluções Concetuais	53
Capítulo 4 TESTE EXPERIMENTAL DE CORTE	55
4.1. Estudo dos Parâmetros de Corte	56
4.2. Equipamento de Teste	58
4.3. Procedimento Experimental e Resultados	60
Capítulo 5 PROJETO DETALHADO.....	63
5.1. Constituição e Funcionamento da Máquina	64
5.2. Alimentador	73
5.3. Mesa Móvel	77
5.3.1. Validação dos Sistemas de Movimento Linear.....	80
5.4. Serra de Fita.....	90
5.4.1. Validação de Constituintes do Sistema de Tensionamento.	92
5.5. Separador.....	96
Capítulo 6 AUTOMAÇÃO E CONTROLO	97
6.1. Lista de Atuadores e Recetividades no Equipamento.....	98
6.2. GEMMA	105
Capítulo 7 ESTIMATIVA DE CUSTOS	109
7.1. Estimativa de Custo do Protótipo.....	110

7.2. Comparação entre o Processo Atual e o Equipamento	110
Capítulo 8 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	113
8.1. Conclusões	113
8.2. Trabalhos Futuros.....	114
Referências	117
Anexo A Lista de Propostas de Serras Circulares para os Testes.....	125
Anexo B Desenhos de Conjunto do Protótipo Final	127
Anexo C Informação Técnica do Sistemas de Guiamento Linear	129
Anexo D Dados para a Seleção de Correias.....	131
Anexo E Graficets de Funcionamento.....	133

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Designação	Unidade	
		Principal	Secundária
a	Aceleração	m/s ²	-
A	Área	m ²	mm ²
b	Largura	mm	-
C	Índice de mola	-	-
C_s	Fator de segurança para correias	-	-
d	Diâmetro (menor)	m	mm
D	Diâmetro (maior)	m	mm
F	Força	N	-
$F_{p\ spec}$	Força transmissível por dente de correia	N/cm	-
F_u	Força periférica numa correia	N	-
G	Módulo de rigidez	Pa	GPa
J	Momento de inércia	kg.m ²	-
k	Constante de mola	N/m	N/mm
k_s	Fator de corte direto	-	-
m	Massa	kg	-
N_a	Número de espiras ativas	-	-
p	Passo	m	mm
P	Potência	W	kW
r	Raio	m	mm
S_{ut}	Tensão de rotura	Pa	MPa
S_{ys}	Tensão de cedência ao corte	Pa	MPa
t	Tempo	s	-
T	Binário	N.m	-
v	Velocidade	m/s	-
w	Fator de área	-	-
X_0	Curso do movimento linear	m	-

LISTA DE SÍMBOLOS (continuação)

Símbolo	Designação	Unidade	
		Principal	Secundária
z_m	Número de dentes engrenados numa polia	-	-
α	Aceleração angular	rad/s ²	-
μ	Coefficiente de atrito	-	-
σ	Tensão	Pa	MPa
τ	Tensão de corte	Pa	MPa
ω	Velocidade angular	rad/s	rpm

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Pesca de captura de bacalhau adaptado de FAOSTAT [4].	6
Figura 2.2 - Valor estimado do preço do bacalhau na origem adaptado de FAOSTAT [5].	6
Figura 2.3- a) Lâminas de gume reto; b) Lâmina curva; c) Lâmina circular; d) Lâmina para aplicação particular.	8
Figura 2.4 - Exemplo de equipamento de corte por ultrassons. Adaptado de [16].	10
Figura 2.5 - Exemplo de serra de fita para corte alimentar. Adaptado de [18].	11
Figura 2.6 - Equipamento de corte automático de serra de fita. Adaptado de TPM [19].	11
Figura 2.7 – Mesa móvel e garras de fixação do produto. Adaptado de TPM [19].	12
Figura 2.8 - Esquema de funcionamento da fâquina TPM <i>Automatic Bandsaw RB-2</i> . Adaptado de TPM [19].	13
Figura 2.9 - Equipamento de corte de peixe congelado em postas [22].	14
Figura 2.10 - Disposição dos discos de corte no interior da máquina. Adaptado de [22].	14
Figura 2.11 - Máquina de Corte Bacalhau Cru Marel StripCutter.	15
Figura 2.12 - Exemplos de montagem de componentes roscados.	23
Figura 2.13 - Exceção à recomendação do uso de raios de curvatura.	24
Figura 2.14 - Exemplo de suporte de nivelção ajustável. Retirado de [43].	24
Figura 3.1 - Metodologia de projeto segundo o documento VDI 2221. Adaptado de [47].	26
Figura 3.2 - Representação da gama de dimensões gerais do bacalhau.	28
Figura 3.3 - Árvore de objetivos do projeto.	30
Figura 3.4 - Estrutura de funções do equipamento.	33
Figura 3.5 - Exemplo de alimentador vertical de acionamento pneumático.	35
Figura 3.6 - Pré-alinhamento do bacalhau por afinilamento.	36
Figura 3.7 - Ilustração de posicionamento da ferramenta de corte.	37
Figura 3.8 - Exemplo de sistema de posicionamento com régua móvel.	37
Figura 3.9 - Posicionamento do bacalhau com recurso a sensores	38
Figura 3.10 - Posicionamento do bacalhau por garras móveis.	39
Figura 3.11 - Fixação por prensa.	39
Figura 3.12 - Fixação por rolo.	40
Figura 3.13 - Representação da aplicação de um sistema de corte por jato de água.	42
Figura 3.14 - Representação de sistema de corte por lâminas circulares sequenciais.	42

Figura 3.15 - Desenho da patente US5860348 que representa o aspeto geral do equipamento. Retirado de “ <i>Apparatus for dividing frozen fish slabs</i> ” [51].	43
Figura 3.16 - Corte por serra circular.	44
Figura 3.17 - Corte por serra de fita.	45
Figura 3.18 - Modelo concetual da Solução 1.	50
Figura 3.19 - Acionamento das garras de posicionamento e avanço das mesmas.	51
Figura 3.20 - Acionamento da prensa de fixação e avanço do disco de corte.	51
Figura 3.21 - Deslize das postas para o tabuleiro de recolha.	52
Figura 3.22 – Modelo concetual da Solução 2.	52
Figura 3.23 - Acionamento da mesa móvel que efetua o movimento de corte.	53
Figura 4.1 - Esquema das dimensões da serra de fita.	56
Figura 4.2 - Constituintes principais do equipamento de teste de corte por serra circular.	59
Figura 4.3 - Indicação da proteção e bancada de corte do equipamento de teste.	59
Figura 5.1 – Representação geral da máquina acompanhada das dimensões de atravancamento.	64
Figura 5.2 - Representação dos módulos funcionais do equipamento.	65
Figura 5.3 - Módulo do Alimentador. Responsável pelas funções de Colocação e Pré-alinhamento.	65
Figura 5.4 - Módulo da Mesa Móvel. Responsável pelas funções de Posicionamento e Fixação. Produz também o movimento de avanço de corte.	66
Figura 5.5 - Módulo da Serra de Fita. Responsável pela função de Corte.	67
Figura 5.6 - Módulo do Separador. Responsável pela função de Recolha.	68
Figura 5.7 - Indicação da superfície de referência para o corte. Esta é gerada através do corte manual da primeira posta.	68
Figura 5.8 - Alimentador em movimento de avanço.	69
Figura 5.9 - Representação da elevação do sistema de pré-alinhamento e avanço da garra.	69
Figura 5.10 - Acionamento da garra de fixação e movimento de recuo da mesma.	70
Figura 5.11 - Acionamento da prensa e avanço da mesa.	70
Figura 5.12 - Deslize da posta após o corte e ação do Separador.	71
Figura 5.13 - Elementos do Alimentador incluindo uma vista em corte.	73
Figura 5.14 - Possível solução de alimentação empregando um cilindro pneumático.	74
Figura 5.15 - Cilindro pneumático sem haste. Adaptado de Air-Oil Systems [55].	74

Figura 5.16 - Guia linear Iigus, modelo drylin ZLW. Retirado de Iigus [56].	75
Figura 5.17 - Demonstração do funcionamento dos Restritores.	76
Figura 5.18 - Constituição do sistema de alinhamento.	77
Figura 5.19 - Representação dos componentes que constituem a mesa móvel.	78
Figura 5.20 - Constituição do sistema de posicionamento da garra móvel.	78
Figura 5.21 - Representação do sistema de aperto da garra.	79
Figura 5.22 - Constituintes da prensa de fixação.	80
Figura 5.23 - Exemplo de perfil trapezoidal de velocidades. Adaptado de [62].	81
Figura 5.24 - Exemplo de guia com suporte. Retirado de [64].	82
Figura 5.25 - Chumaceira linear com duplo casquilho em material polimérico. Retirado de [65].	82
Figura 5.26 - Servo motor Kollmorgen AKMH Series. Retirado de [70].	89
Figura 5.27 - Constituintes principais do módulo da serra de fita.	91
Figura 5.28 - Constituintes do sistema de tensionamento.	92
Figura 5.29 - Constituintes principais do módulo do separador.	96
Figura 6.1 - Grelha GEMMA. Retirado de [75].	105
Figura 6.2 - Grafcet de nível superior do equipamento.	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Características gerais dos equipamentos automáticos de Serra de Fita	13
Tabela 2.2 - Especificações do equipamento de serra de fita Mado Selekt 2 MKB 651. Adaptado de [18].....	16
Tabela 3.1 - Mapa morfológico. Este contém todas as subsoluções consideradas para as várias subfunções.	47
Tabela 3.2 - Matriz de comparação.	48
Tabela 3.3 – Avaliação das soluções.	49
Tabela 4.1 - Dimensões resultantes da medição da serra de fita.....	57
Tabela 4.2 - Informações sobre Mado Selekt 2 MKB 651/751. Adaptado de [18].	57
Tabela 4.3 - Características do motor elétrico utilizado. Valores nominais.	60
Tabela 4.4 - Resultados dos testes de corte por serra circular e serra de fita.....	61
Tabela 5.1 - Análise da relação entre o custo do sistema de guiamento e seu limite de vida.....	83
Tabela 5.2 - Características principais do servo motor selecionado. Adaptado de [57].....	89
Tabela 5.3 - Dados do sistema de movimento linear da garra.	90
Tabela 6.1 - Listagem de atuadores e recetividades do alimentador.	99
Tabela 6.2 - Listagem de atuadores e recetividades da mesa móvel (posicionamento da garra e mesa).	100
Tabela 6.3 - Atuadores e recetividades da mesa móvel (fixação da garra e da prensa).	101
Tabela 6.4 - Atuadores da serra de fita.....	102
Tabela 6.5 - Atuadores e recetividades do separador.	103
Tabela 6.6 - Recetividades do painel de controlo.	104
Tabela 7.1 - Estimativa de custo do equipamento.....	110

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

Os processos de corte de produtos alimentares são de elevada relevância no processo produtivo global. Um aumento de eficiência no corte de um produto poderá então traduzir-se em ganhos significativos para a empresa, contribuindo para a sua competitividade.

O corte automatizado já é desde há muito aplicado a diversos tipos de alimento, na sua grande maioria a alimentos que não requerem processos de corte complexos, seja por razões que se prendem com as características do alimento em si, seja pela geometria do corte efetuado. Na atualidade têm-se vindo a desenvolver sistemas de corte automatizado cada vez mais complexos, já capazes de cortar diversas geometrias em produtos de diferentes calibres sem qualquer intervenção do utilizador. Estes sistemas apresentam numerosas vantagens nomeadamente no que toca à eficiência e segurança, contrariadas apenas pelo elevado custo de implementação [1].

Apesar da existência de sistemas de corte de bacalhau seco e salgado verde¹, normalmente por guilhotina ou lâminas circulares, não se podem aplicar os mesmos conceitos

¹ Bacalhau salgado verde – Bacalhau cru, salgado e húmido usado como matéria-prima na empresa em estudo.

ao bacalhau congelado devido às suas diferentes características. O corte de bacalhau congelado pode tornar-se assim em algo relevante a nível comercial.

A Soguima, empresa que impulsionou o projeto, tem especial interesse neste tipo de corte devido ao seu processo produtivo particular. Esta pretende um produto com características visuais superiores à concorrência, tendo particular atenção pela qualidade da superfície de corte, bem como, a redução dos custos de produção associados à mão-de-obra.

1.1. MOTIVAÇÃO

A principal motivação deste trabalho prende-se com a otimização do processo atual da Soguima, existindo várias razões para tal.

O facto de ser realizado o corte num produto congelado, em vez de no produto em cru permite que as superfícies de corte tenham um aspeto mais regular quando comparado com as superfícies deformadas resultantes de um corte em cru. Além disso, permite também uma melhor manipulação do produto pelos operadores, dado que este é mais rígido no estado de congelado. Isto faz com que pequenas operações de remoção de material indesejado (zonas com espinha) sejam facilitadas. O corte do produto congelado permite também um maior controlo das dimensões do produto final, algo muito importante para a posterior venda, permitindo uma gama de produtos com maior repetibilidade entre produtos do mesmo tipo. Todos estes fatores contribuem para um produto de valor acrescentado que pretende distinguir-se da concorrência.

Atualmente, a empresa Soguima efetua este tipo de corte recorrendo a operadores que trabalham com serras de fita. A utilização de mão-de-obra para este processo torna-o moroso e dispendioso. Para além disso, a gama de variação de dimensões torna-se maior e dependente da destreza do operador. A operação de uma serra de fita traz também alguma falta de segurança para os operadores que têm de manipular o produto com as duas mãos junto da serra.

As razões anteriormente apresentadas levam aos motivos de realização deste trabalho e o seu interesse no mercado.

1.2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

Com a concretização deste trabalho pretendeu-se alcançar vários objetivos principais no decorrer do projeto.

Estes objetivos são:

- Estudo do processo atual da empresa;
- Análise das opções disponíveis no mercado para a tarefa pretendida e semelhantes;
- Caracterização do produto final pretendido e dos valores de produção;
- Desenvolvimento concetual de um equipamento;
- Geração de um protótipo virtual com vista à futura construção e posterior otimização;
- Obtenção de uma estimativa de custo do protótipo.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A estrutura da dissertação está dividida em 8 capítulos. O presente capítulo consiste na introdução ao tema em estudo e as razões que levaram à existência do mesmo.

O segundo capítulo, designado Contextualização Teórica, consiste na exposição e discussão de vários aspetos, tais como a descrição básica do produto a trabalhar e a sua importância de mercado, o estudo dos processos de corte, estudo de mercado e do processo atual da empresa. Visto que o objetivo principal do trabalho é o desenvolvimento de um equipamento para corte de bacalhau congelado, foram estudados também neste capítulo os conceitos, normas e práticas que regem esta área particular de engenharia.

O terceiro capítulo é a parte relativa ao projeto preliminar do equipamento, onde foram empregues estratégias de projeto de engenharia para obter os primeiros modelos concetuais de sistemas.

Devido à indecisão entre conceitos gerados no terceiro capítulo, procedeu-se a testes experimentais para determinar a melhor solução final a adotar, dando assim origem ao quarto capítulo.

No quinto capítulo é apresentado e discutido o desenvolvimento do modelo concetual adotado, com o projeto e seleção dos principais componentes que irão fazer parte da sua constituição. Aqui explica-se também de que forma este irá funcionar.

O sexto capítulo, denominado Automação e Controlo, consiste na geração da estratégia de controlo básica do equipamento.

No sétimo capítulo faz-se uma análise simples da viabilidade do projeto e que tipo de ganhos este irá proporcionar em relação ao processo atual.

Finalmente, no último capítulo são apresentadas as propostas de trabalho futuro e conclusões do trabalho.

CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA

A indústria alimentar, devido à sua grande variedade de produtos tratados, apresenta também diversas soluções para as mais variadas tarefas, neste caso, o corte alimentar.

Este capítulo inicia-se por uma síntese de informação do produto a cortar (bacalhau) e sua relevância no mercado. Posteriormente descrevem-se os tipos de corte existentes e os equipamentos geralmente usados na indústria alimentar para estes processos. Parte do processo produtivo da empresa será também descrito de forma a elucidar o leitor sobre as razões que levam à necessidade de introdução de um novo equipamento.

A indústria alimentar possui uma forte regulamentação e aspetos particulares de conceção e construção de equipamentos que diferem da indústria comum. Desta forma, inclui-se também neste capítulo um resumo de informação sobre segurança alimentar e das práticas de conceção e construção mecânica ligadas a esta indústria específica.

2.1. O PRODUTO (BACALHAU)

O bacalhau é um peixe de águas frias encontrado habitualmente nas costas do hemisfério norte [2]. Existem duas espécies predominantes de bacalhau, ambas comercializadas pela empresa Soguima. Essas espécies são o Gadus Morhua e o Gadus Macrocephalus.

O Gadus Morhua é o “legítimo” bacalhau, apresentando maiores dimensões gerais. O Gadus Macrocephalus é a segunda espécie mais comercializada [3].

A captura de bacalhau tem vindo a aumentar em anos recentes, verificando-se também um ligeiro aumento do preço do produto. Na Figura 2.1 e Figura 2.2 podemos observar essas tendências.

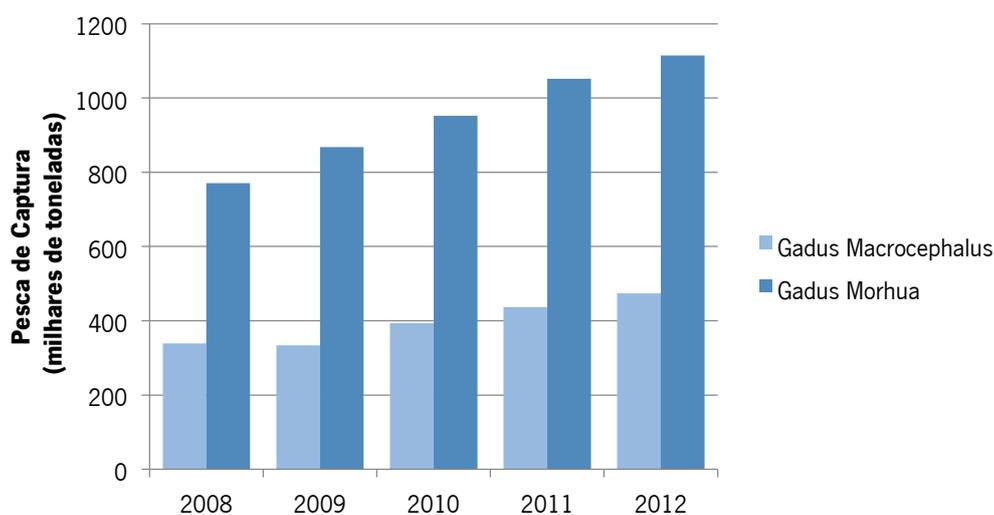


Figura 2.1 - Pesca de captura de bacalhau adaptado de FAOSTAT [4].

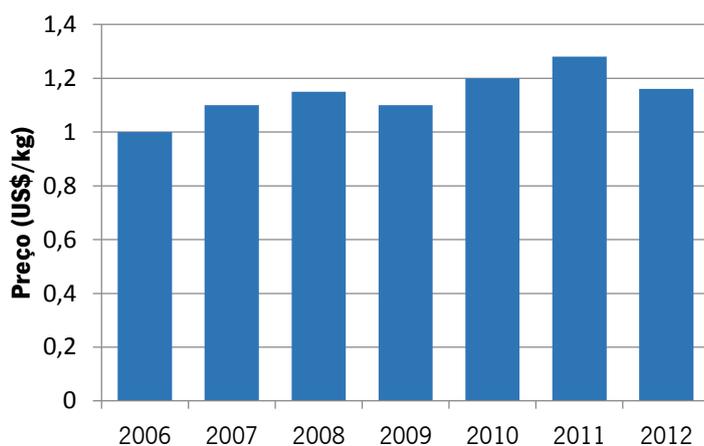


Figura 2.2 - Valor estimado do preço do bacalhau na origem adaptado de FAOSTAT [5].

Desta forma, dado o valor económico em jogo, é possível constatar que se trata de um produto alimentar relevante no mercado atual.

Os produtos específicos que se pretendem obter e que são comercializados pela empresa são postas de bacalhau demolhado ultracongelado. Este formato gera um produto de valor acrescentado. Segundo a empresa Soguima, o corte das postas é geralmente efetuado num ponto em que várias fases do processamento do produto já foram efetuadas. Desta forma é particularmente importante que o corte tenha qualidade e seja eficiente de forma a não danificar e desperdiçar produto numa fase avançada do processamento.

2.2. CORTE ALIMENTAR

Este subcapítulo consiste na descrição geral de alguns métodos de corte utilizados na indústria alimentar, sendo alguns destes observados em maior detalhe durante os capítulos seguintes do projeto.

Segundo o autor Saravacos [1], o corte alimentar pode ser aplicado a diversos tipos de produtos e é um aspeto relevante de vários processos produtivos na indústria. É utilizado não só em processos de separação e divisão comuns, como o caso estudado neste documento, mas também para fazer picados e polpas.

As operações de corte permitem um produto com um melhor manuseamento, neste caso postas em detrimento do bacalhau inteiro, e possibilita a remoção de material indesejado, como por exemplo algumas zonas com elevado número de espinhas e da cauda, valorizando o produto. Por outro lado estas implicam uma menor cadência de produção, variados gastos com os equipamentos, sua manutenção e uma maior mão-de-obra. Todos estes fatores devem ser ponderados na conceção de um equipamento ou processo. Durante as várias etapas de produção de uma indústria transformadora de pescado típica, o processamento, no qual se incluem os processos de corte, custa cerca de 3 vezes mais que os processos de congelamento e armazenamento do produto [6]. Este facto demonstra a importância da seleção de um método de corte eficiente.

Existem diversos tipos de corte comuns na indústria alimentar, cada um mais ou menos adequado que outro, dependendo essencialmente das características do produto a cortar e das limitações físicas dos equipamentos utilizados.

Os métodos convencionais de corte alimentar são por lâmina, por serra, por fio e por tesoura. Existem também métodos menos convencionais como o jato de água e por lâminas com recurso a ultrassons.

O corte por lâmina é um dos mais versáteis no que toca à transformação de alimentos crus, sendo também capaz de processar alguns alimentos congelados em certas condições. As lâminas podem tomar diversas configurações, desde lâminas de gume reto, lâminas curvas, circulares e também lâminas fabricadas para aplicações particulares. Podem ser acionadas de várias formas, tais como movimentos lineares unidirecionais, rotativos, recíprocos, entre outros. Uma forma de corte comum por lâmina é o guilhotinamento. Na Figura 2.3 incluem-se vários tipos de lâmina vulgarmente utilizados na indústria.

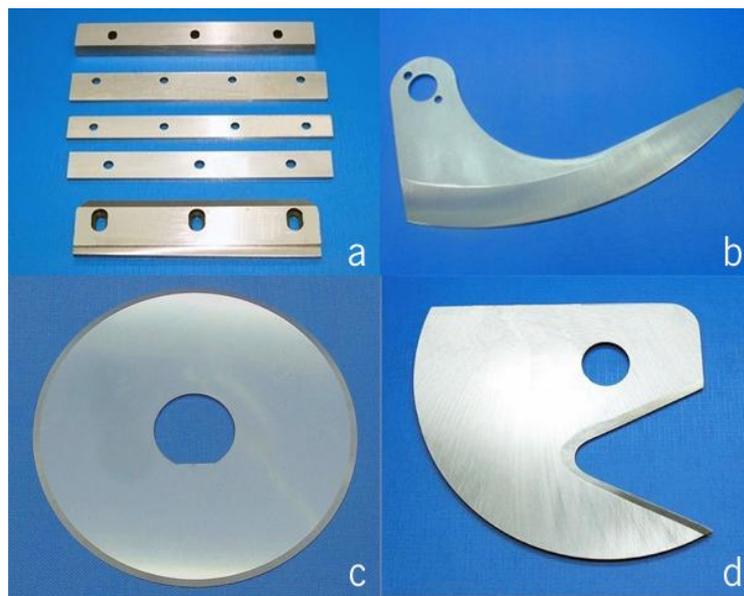


Figura 2.3- a) Lâminas de gume reto; b) Lâmina curva; c) Lâmina circular; d) Lâmina para aplicação particular.

Adaptado de California Knife and Blade [7].

No corte por serra, tal como nos instrumentos de corte por lâmina, existem vários tipos de serras adequadas a várias aplicações. As serras de corte alimentar em geral são fabricadas em dois tipos de configuração, serras retas ou circulares. Nas serras retas incluem-se as de movimento recíproco e as serras de fita. Existem também serras com formatos especiais para aplicações personalizadas, mas são pouco comuns.

As serras são geralmente indicadas para alimentos mais duros onde o gume de uma lâmina normal perderia rapidamente o seu afiamento. Por esta razão, devido à dureza do produto que se pretende cortar, o corte por serra é usualmente o método recomendado.

O corte por fio é utilizado em alimentos que aderem às lâminas e serras comuns, levando a um aumento da força de corte. Alimentos como queijo e pão fresco são geralmente

cortados por este método [8]. Este tipo de corte não é relevante para o corte de produtos congelados.

O corte por tesoura emprega-se no corte de materiais com elevada resistência como osso de membros animais. O corte por serra também pode ser utilizado para corte de ossos, mas por vezes não é processo escolhido devido a razões de praticidade [9]. O corte por tesoura, tal como o corte por fio, não é utilizado para corte de produtos congelados.

Para além dos tipos de corte convencionais apresentados existem dois tipos de corte atualmente em destaque na indústria alimentar, sendo eles o corte por jato de água e o corte por lâmina com ultrassons.

O corte por jato de água é feito através de água altamente pressurizada (até 6200 bar [10]), que é posteriormente ejetada por um pequeno orifício com diâmetros na ordem dos 0,25 mm a 1,5 mm [11, 12]. Este é bastante versátil permitindo cortar alimentos compostos por vários materiais independentemente das suas propriedades. Devido às pequenas forças exercidas nos produtos é possível cortar sem deformação significativa dos mesmos. O facto de não haver contato da ferramenta de corte com o produto é também uma vantagem, evitando possíveis contaminações [13]. Além disso este não provoca aquecimento do produto na zona de corte, aspeto esse importante num produto congelado.

Existem duas formas de cortar com jato de água, com abrasivo (*Abrasive Water Jet* ou AWJ) ou sem abrasivo de corte (*Pure Water Jet* ou PWJ). O abrasivo melhora o processo de corte, permitindo que sistemas deste tipo sejam capazes de cortar materiais como madeira, aços, entre outros [9]. Na indústria alimentar o jato de água não pode utilizar abrasivos suscetíveis de contaminarem o produto, sendo a maioria das aplicações de jato de água pura [14]. No entanto existem exemplos relativamente recentes da utilização de abrasivos como sal e partículas de gelo [12].

No corte de lâmina por ultrassons é utilizada uma lâmina com um desenho específico ligada a uma fonte de ultrassons (Figura 2.4). Este tipo de corte produz superfícies de alta qualidade e gera um baixo nível de desperdício. No entanto é limitado no tipo de produtos que

pode cortar não sendo ainda capaz de trabalhar com sucesso em peixe com espinha e carne congelados [15].



Figura 2.4 - Exemplo de equipamento de corte por ultrassons. Adaptado de [16].

2.3. EQUIPAMENTO EXISTENTE

Sendo que um dos objetivos deste trabalho é criar um projeto com características inovadoras e que o diferenciem dos demais, antes de se proceder à concepção do equipamento foi necessário realizar um estudo de mercado. A realização deste estudo visou a identificação de possíveis soluções já existentes e caso estas não existam, adquirir conhecimentos sobre os vários sistemas que compõem os equipamentos que se assemelhem ao pretendido. O conhecimento prévio dos equipamentos no mercado permitiu assim facilitar a fase de concepção.

É importante salientar que a pesquisa teve como objetivo identificar apenas equipamentos geralmente usados no corte de carnes e peixes congelados, focando-se em máquinas que pudessem ser adquiridas diretamente no mercado.

No decorrer da pesquisa de mercado, não se encontraram quaisquer tipos de equipamentos automatizados que se destinassem, ou que fossem capazes de responder à função específica pretendida (corte de bacalhau congelado), no entanto existem equipamentos para fins semelhantes dos quais se poderão retirar algumas conclusões.

Uma das soluções mais correntes no corte de alimentos congelados é a serra de fita manual (Figura 2.5). Esta consiste numa serra em formato de fita tensionada entre duas rodas, uma das quais é motorizada por um motor elétrico. A outra roda gira livremente e é normalmente a roda escolhida para aplicar tensão na serra de fita [17]. Essa tensão pode ser aplicada através de um mecanismo de parafuso acionado manualmente ou de forma automática através de um sistema hidráulico [1].



Figura 2.5 - Exemplo de serra de fita para corte alimentar. Adaptado de [18].

Existem várias desvantagens associadas à utilização da serra de fita manual sendo as de maior relevância o elevado custo da mão-de-obra, a necessidade de operadores treinados e a possibilidade de ferimento elevada.

No mercado foi também possível encontrar equipamentos de serra de fita automatizados, todos eles com um modo de funcionamento semelhante. Desta forma, para efeitos de descrição do funcionamento, usar-se-á apenas um dos equipamentos como exemplo. O equipamento exemplo é da empresa TPM e é designado por “*Automatic BandSaw RB-2*” (Figura 2.6) [19].

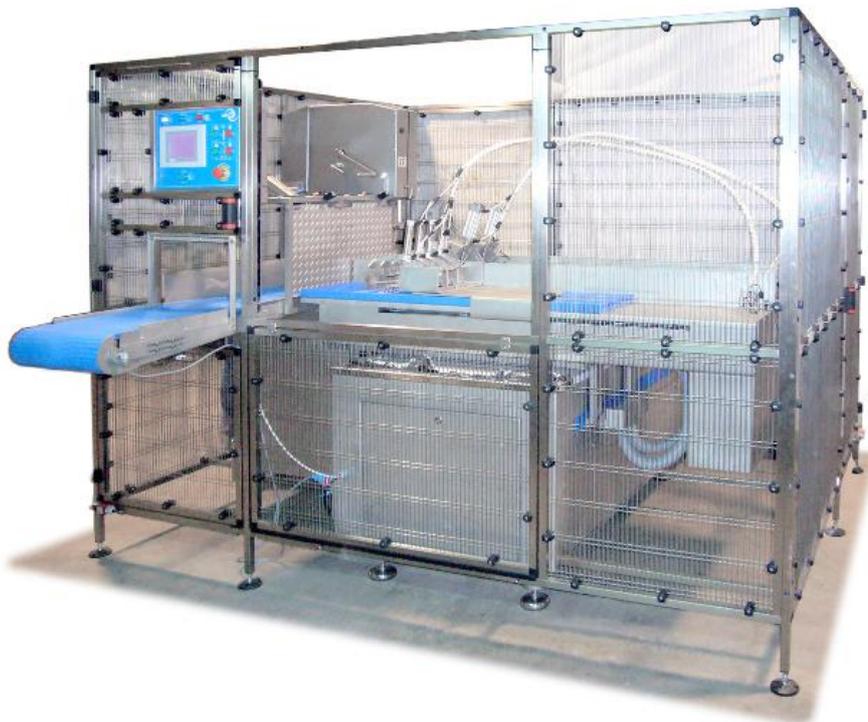


Figura 2.6 - Equipamento de corte automático de serra de fita. Adaptado de TPM [19].

A máquina é constituída por uma serra de fita estacionária e uma mesa móvel de movimento recíproco, na qual é colocado o produto a cortar. O produto é fixado na mesa, na parte posterior, por intermédio de garras penetrantes de atuação pneumática (Figura 2.7).



Figura 2.7 – Mesa móvel e garras de fixação do produto. Adaptado de TPM [19].

As garras possuem movimento de avanço, fazendo avançar o produto numa distância correspondente à largura da peça que se quer cortar, fazendo avanços sucessivos coordenados com o movimento recíproco. As peças caem posteriormente num tapete de transporte.

Na Figura 2.8 está representado um esquema da máquina acompanhado de um fluxograma para auxiliar a compreensão sobre o seu funcionamento. Este equipamento possui algumas limitações:

- A largura de corte só é ajustável antes do início de cada ciclo, ou seja, a espessura das peças cortadas será sempre a mesma durante um ciclo de trabalho específico;
- O sistema de fixação danifica parte do produto ao penetrar no mesmo para garantir a sua imobilização;
- A não existência de um sistema de alimentação automático dos produtos, sendo necessário colocar o produto manualmente. Durante a sua colocação é também necessário que o operador tenha o cuidado de o posicionar com o alinhamento correto, pois caso contrário os cortes ficarão enviesados.

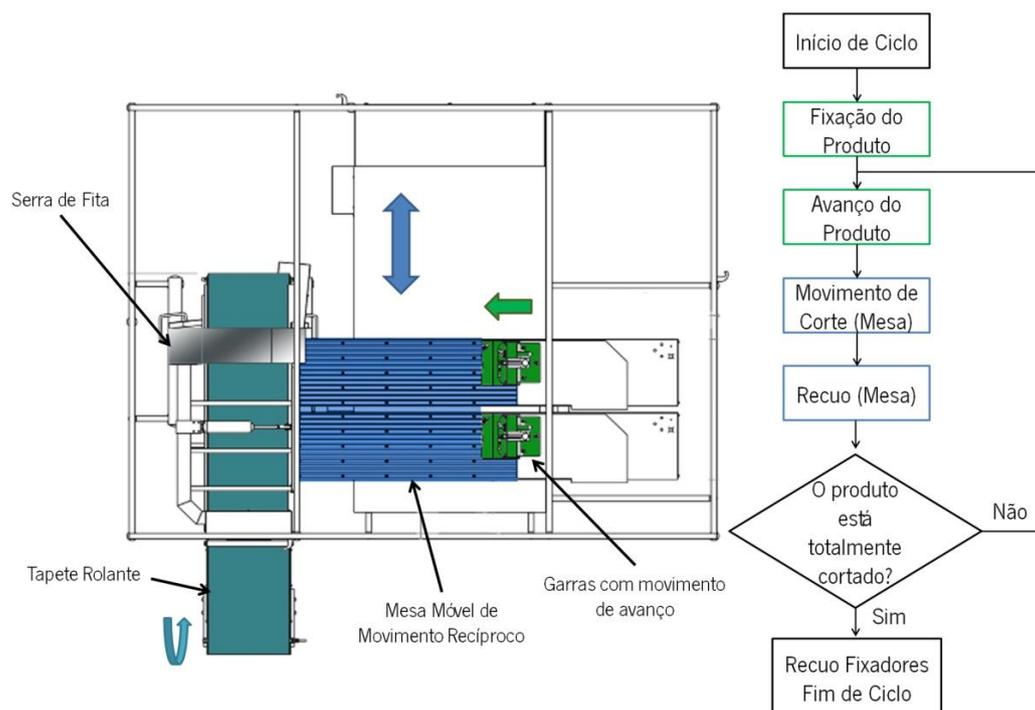


Figura 2.8 - Esquema de funcionamento da máquina TPM *Automatic Bandsaw RB-2*. Adaptado de TPM [19].

Na Tabela 2.1 são resumidas algumas especificações dos equipamentos estudados.

Tabela 2.1 - Características gerais dos equipamentos automáticos de Serra de Fita.

Especificações/Fabricante	TPM [19]	Sky IPK [20]	Metronics [21]
Cadência produção [cortes/h]	4800	3600	2400
Largura de corte [mm]	Não especificado	1 a 50	10 a 30
Altura máxima do produto [mm]	350	80	80
Atravancamento [mm] (comprimento x largura x altura)	2620x2545x2000	2350x1077x1900	2500x2400x2200
Potência instalada [kW]	5,1	4,5	15
Pressão de funcionamento [bar]	8	5 a 8	6

Após o estudo foi possível também encontrar vários equipamentos mais rudimentares destinados ao corte automático de outros peixes congelados em postas, recorrendo à utilização de discos de corte que podem ser ou não ser serrilhados. Na Figura 2.9 está representado um desses equipamentos.



Figura 2.9 - Equipamento de corte de peixe congelado em postas [22].

Neste tipo de equipamento dá-se a entrada do peixe em cima, que desliza até um conjunto de serras de disco rotativas montadas e acionadas por um veio único. Após isto as postas deslizam e caem pela abertura em baixo. Este tipo de aparelho apresenta uma limitação, não permitindo um fácil ajuste da largura do corte, devido ao facto dos discos de corte estarem fixados num veio comum como se pode observar pela Figura 2.10. Qualquer tipo de ajuste levaria à necessidade de trocar o conjunto de discos colocado, ou até mesmo de fabricar um novo para o efeito. Segundo o fabricante o equipamento é capaz de processar 200 a 600 kg de peixe por hora [22].

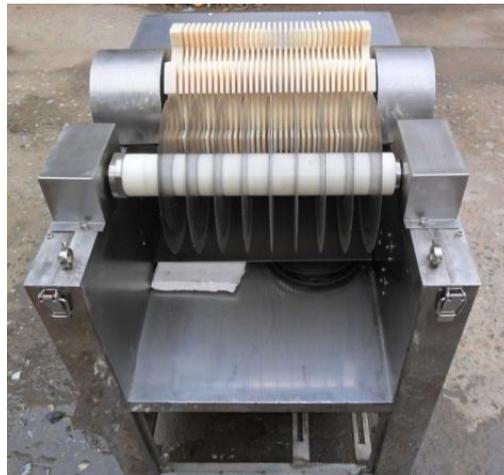


Figura 2.10 - Disposição dos discos de corte no interior da máquina. Adaptado de [22].

Da análise de mercado foi possível concluir que métodos menos convencionais de corte de congelados tais como jato de água e corte com ultrassons não são aplicados em equipamentos prontos a comprar. Desta forma supõe-se que as aplicações deste tipo serão fabricadas sob encomenda segundo os requisitos do cliente.

Foi também possível concluir que os equipamentos de corte por serra de fita e serra circular aparentam ser amplamente comercializados no mercado para este efeito, presumindo assim que estes têm provas dadas na indústria.

2.4. PROCESSO ATUAL

Na empresa Soguima o bacalhau é cortado de duas formas. Em cru (salgado verde) num equipamento automático, ou de forma manual utilizando serras de fita. Cada um destes métodos apresenta ineficiências e limitações do ponto de vista produtivo.

A máquina usada neste momento na empresa Soguima para corte de bacalhau salgado verde é fabricada pela empresa Marel e designa-se por StripCutter (Figura 2.11). Esta é capaz de cortar vários tipos de alimento por meio de lâminas circulares. Estes fazem um corte relativamente limpo (pouca "serradura") e com boa qualidade. No entanto a máquina não é capaz de cortar bacalhau congelado devido à sua elevada dureza. Testes feitos pela própria empresa antes do início deste projeto demonstraram tal facto, resultando em encravamento da máquina.

Para além deste facto, existe outra grande limitação, já que para cada calibre de bacalhau é necessário proceder a um ajuste dos discos. Isto é feito de forma manual e demora habitualmente entre 30 a 45 minutos, existindo espaço para melhorias significativas neste aspeto.



Figura 2.11 - Máquina de Corte Bacalhau Cru Marel StripCutter.

A máquina tem uma cadência de produção de 2 a 3 toneladas de bacalhau por hora, devendo esta ser mantida. A sua construção é totalmente feita em materiais resistentes à corrosão, fator preponderante na indústria alimentar, especialmente agravado pela natureza salgada do produto. A fonte de energia utilizada é exclusivamente elétrica.

O equipamento funciona da seguinte forma:

- O bacalhau é colocado manualmente num tapete de transporte. O alinhamento é auxiliado por *lasers* projetados na superfície do tapete;
- Um tapete transporta o bacalhau até à zona de corte;
- Um conjunto de lâminas circulares montadas num veio comum divide o bacalhau em postas;
- As postas são transportadas por outro tapete semelhante ao primeiro e recolhidas manualmente por um operador.

A principal desvantagem da utilização desta máquina, não se prende com o seu funcionamento, mas sim com o processo produtivo global. O ideal seria que o bacalhau fosse congelado inteiro e só posteriormente cortado, algo impossível de ser feito com este equipamento. Apesar de parecer algo contraditório, visto que a eficiência do processo de ultracongelção será pior no caso de um bacalhau inteiro (devido à área de transferência de calor), existem razões para se pretender mudar o ciclo produtivo. As principais prendem-se com uma melhor manipulação do produto mais sólido, facilitando o corte de zonas com espinhas aos operários e a geometria final do produto. Cortar o bacalhau em cru e efetuar a congelação posteriormente resulta num produto menos apelativo, visto que as zonas de corte ficam deformadas.

A empresa Soguima também corta bacalhau congelado, mas apenas de forma manual através de equipamentos de serra de fita comuns. Nesta parte produtiva estão colocados seis operadores, sendo um processo que implica bastante mão-de-obra. Depende também bastante da destreza do operador, o que é algo indesejável, acrescendo ainda o risco de lesões do mesmo. As serras de fita utilizadas são do fabricante Mado, modelo Selekt 2 MKB 651. Algumas especificações deste equipamento de serra de fita estão contidas na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Especificações do equipamento de serra de fita Mado Selekt 2 MKB 651. Adaptado de [18].

Especificações	
Potência [W]	1500
Largura máxima de corte [mm]	235
Altura máxima do produto [mm]	290
Velocidade linear de corte [m/s]	22
Atravancamento [mm] (comprimento x largura x altura)	800x750x1500

As características do dentado das serras de fita foram alvo de um estudo pormenorizado apresentado mais à frente neste trabalho no subcapítulo 4.1, pelo que não serão aqui descritas.

Em suma pode-se observar que existem limitações em ambos os processos utilizados pela empresa no seu ciclo produtivo, justificando assim a conceção deste novo equipamento.

2.5. SEGURANÇA ALIMENTAR

A segurança alimentar é um assunto de extrema importância a ter em consideração, não só no que toca à construção da máquina, mas que deve ser inerente a todo os processos produtivos desde a criação, captura ou colheita do produto até à venda. Durante a última década a União Europeia gastou 3,3 mil milhões de euros em políticas de segurança alimentar, facto que evidencia a importância da mesma [23].

A temática da segurança alimentar é extensa, e por esse motivo neste subcapítulo abordam-se apenas as principais organizações relacionadas com segurança alimentar, conceitos base, bem como algumas normas aplicadas na indústria.

Existem várias organizações de relevo na indústria alimentar no que toca a certificação e sugestão de boas práticas de higiene e segurança. Algumas delas não possuem qualquer tipo de poder governamental, não deixando de ser por isso importantes, dado que a indústria alimentar procura equipamentos e processos que lhes garantam segurança dos consumidores do seu produto.

Na União Europeia uma das organizações de maior destaque é a **EHEDG** (*European Hygienic Engineering and Design Group*). Este grupo publica vários documentos contendo recomendações sobre a construção de equipamentos para o processamento alimentar, no entanto não publicam normas [24].

A **FDA** (*Food and Drug Administration*) é uma organização governamental Norte-Americana responsável pela regulamentação de várias aspetos ligados à indústria alimentar e farmacêutica. Esta encarrega-se das normas relativas aos materiais que podem entrar em contacto com os produtos alimentares, um dos aspetos mais importantes na construção de equipamentos do tipo. Apesar do seu poder governamental só se estender aos Estados Unidos da América, esta organização é tomada como referência mundial em vários aspetos da indústria, especialmente no que toca a seleção de materiais e componentes. A própria EHEDG toma a FDA como referência no que concerne a materiais [24].

Outra organização relevante para o tema é a **3-A Sanitary Standards**. Esta é independente e sem fins lucrativos, destacando-se na área dos produtos lácteos, mas que hoje é aplicável a outros produtos alimentares. As recomendações da EHEDG originaram na 3-A e foram sendo desenvolvidas ao longo do tempo [1, 25].

Para além destas organizações, a União Europeia e mesmo os próprios países que a ela pertencem, emitem vários regulamentos próprios no que toca a processamento alimentar. De todos os regulamentos o de maior destaque e mais generalista é o Regulamento (CE) nº852/2004 do Parlamento Europeu [26]. Este enfatiza o uso do sistema HACCP (*Hazard Analysis and Critical Control Points*) como sistema de prevenção de riscos de segurança alimentar, sistema esse de enorme importância na indústria como se verá mais à frente.

Outra diretiva proeminente na indústria, não no que toca à indústria alimentar, mas no que concerne à indústria produtora de máquinas e equipamentos é a Diretiva de Máquinas 2006/42/EC aplicada em todos os Estados-membros da União Europeia. Esta consiste não só em regras generalistas da construção de máquinas, como também inclui algumas considerações especiais para maquinaria destinada à indústria alimentar. A Comissão Europeia lançou um documento intitulado “*Guide to application of the Machine Directive 2006/42/EC*” que deverá ser seguido para a conceção e construção dos equipamentos [27, 28].

Existem vários conceitos base ligados à indústria alimentar e conceção de equipamentos da mesma. Um dos conceitos mais importantes para sistemas de processamento é o de “**Washdown Environment**”. Este não é usualmente utilizado na sua tradução para português, mas pode traduzir-se como Ambiente de Lavagem. Aplica-se a máquinas e componentes de máquinas tais como motores, atuadores, rolamentos, entre outros. Basicamente, quando um componente é designado como compatível com *Washdown*, significa que se está perante algo que foi concebido tendo em atenção que este vai ser sujeito a ambientes de lavagem manuais ou automáticos, geralmente com água, químicos ou uma mistura de ambos. Estes componentes pautam-se pelo uso de materiais resistentes à corrosão, um bom escoamento de água e outros produtos resultantes da limpeza e também pela diminuição ou inexistência de ranhuras e cavidades onde se possam alojar bactérias [24, 29].

Durante os processos de fabrico, o produto entra em contacto com várias superfícies dos equipamentos. Segundo a EHEDG [25], designa-se por **Superfície de Contacto com o Produto** todas as superfícies de contacto intencional ou não intencional (ex: devido a salpicos) com o produto. O principal requisito destas superfícies é que não contaminem o produto de

qualquer forma, devendo por isso serem fabricadas com recurso a materiais e técnicas de fabrico adequados a tal (ex: processos que garantam baixa rugosidade da superfície de contacto). Simultaneamente designam-se como **Superfícies Sem Contacto com o Produto** todas as outras superfícies expostas dos equipamentos.

A EHEDG também define os conceitos de **Materiais de Construção Não Tóxicos** e **Materiais Não Absorventes** [25].

Materiais de construção não tóxicos devem ser entendidos como aqueles que, dentro das condições do uso pretendido, não libertem substâncias tóxicas. A título de exemplo, um material polimérico pode ser considerado material de construção não tóxico para temperaturas baixas, mas tóxico para condições de alta temperatura.

Materiais não absorventes são aqueles que, dentro das condições do uso pretendido, não retenham internamente substâncias com as quais entram em contacto. Este conceito é particularmente importante no que respeita à seleção de materiais poliméricos, não só para efeitos de segurança, como também para efeitos de qualidades sensoriais do produto (ex: a libertação de detergentes absorvidos pode causar alterações de sabor).

Existem outros conceitos relacionados com esta indústria, mas de menor importância, que podem ser consultados no glossário da EHEDG [30].

Algo que não é propriamente um conceito, mas sim uma abordagem sistemática de melhoramento de processos é o plano **HACCP** (*Hazard Analysis and Critical Control Points*). Segundo Cramer [31], é um sistema que identifica, avalia e controla riscos que são significativos para a produção de alimentos seguros. Este baseia-se em 7 princípios [32]:

1. Realização de uma análise de risco (biológica, química e física);
2. Determinação dos Pontos Críticos de Controlo (PCC);
3. Estabelecimento dos limites críticos para cada PCC;
4. Estabelecimento de um sistema para monitorizar cada PCC;
5. Estabelecimento da medida corretiva a tomar quando a monitorização indica que um PCC particular não está sob controlo;
6. Estabelecimento de procedimentos de verificação para a confirmação de que o sistema HACCP está a resultar de forma efetiva;
7. Criar documentação relativa aos procedimentos e registos apropriados destes princípios e sua aplicação.

Vários documentos e normas citam o uso deste sistema como sendo de elevada utilidade ou até mesmo de carácter obrigatório de forma a obterem certificação [26, 32, 33]. Uma dessas normas é a NP EN ISO 22000:2005 [34], traduzida da norma ISO correspondente pelo Instituto Português da Qualidade.

O sistema HACCP não apresenta relevância no que respeita à conceção do equipamento, mas é importante para a implementação de melhoramentos sistemáticos do mesmo, mitigando os fatores de risco presentes [35].

2.6. CONCEÇÃO E CONSTRUÇÃO PARA A INDÚSTRIA ALIMENTAR

De acordo com a EHEDG: “Apesar de um dos objetivos primários da conceção ser que o equipamento seja capaz de realizar a sua função de engenharia, por vezes os requisitos de higiene entram em conflito com isso. É imperativo que a segurança alimentar não seja posta em risco quando se procura um compromisso aceitável.” Traduzido de “EHEDG *Guidelines*” [25].

De forma a facilitar a conceção de um equipamento que seja seguro a nível alimentar, algumas organizações e fabricantes de componentes, fornecem guias com várias recomendações (“boas práticas”) no que toca a seleção de materiais, de processos de construção e aspetos mais específicos dos mesmos. Seguidamente apresentam-se algumas das recomendações mais típicas separadas em dois subcapítulos, um sobre materiais e outro sobre construção e processos de fabrico. Estes baseiam-se principalmente nas recomendações da EHEDG [25], mas também noutros documentos que serão referenciados ao longo do texto.

2.6.1. Materiais

A seleção de materiais deve ser feita de forma a garantir que o produto não é contaminado. No que concerne aos materiais que compõe as superfícies de contacto com o produto é necessário que estes sejam quimicamente inertes, tanto em relação ao produto, como em relação aos detergentes e desinfetantes utilizados para o uso pretendido. Devem também ser resistentes à corrosão, não tóxicos, mecanicamente estáveis e o seu acabamento não deve ser danificado durante o funcionamento. Já as superfícies sem contacto com o produto devem apenas ser mecanicamente estáveis, possuírem um bom acabamento e serem de fácil limpeza.

O material mais amplamente usado na construção de máquinas para a indústria alimentar é o aço inoxidável. Este oferece uma excelente resistência à corrosão e boas características mecânicas. Existem diversos aços inoxidáveis com características diferentes,

sendo o custo e a resistência à corrosão sob determinadas condições, os fatores preponderantes na seleção de uma liga deste tipo. A dureza é também importante para certas aplicações em que esta é requerida, tais com alguns tipos de guiamentos lineares, rolamentos, entre outras [24].

Tendo como base a classificação dos aços inoxidáveis segundo as normas AISI (*American Iron and Steel Institute*), existe uma série de uso comum na indústria alimentar, a série 300 [24].

Dentro da série 300 existem dois aços de destaque na indústria alimentar, o AISI 304 e AISI 316 [36]. Ambos possuem variantes tais como a 304L e 316L que correspondem a versões com teor reduzido de carbono. A redução do teor de carbono tem como objetivo a diminuição da formação de carbonetos de cromo durante o processo de soldadura [37, 38]. Existem também os aços 321 e 316Ti que correspondem a variantes dos aços 304 e 316 respetivamente, nos quais é adicionado o elemento de liga titânio. Este elemento combina-se com o carbono evitando também que este forme carbonetos de cromo na soldadura. Para grande parte das aplicações práticas os aços 304L e 316L são equivalentes aos respetivos aços 321 e 316Ti [39]. Estas devem ser as variantes escolhidas em construção soldada.

O aço 304/304L/321 possui boa resistência à corrosão para condições moderadas com temperaturas relativamente baixas (até 25°), baixos níveis de cloro e pH intermédio.

Para aplicações num ambiente mais agressivo é aconselhada a utilização de aço 316/316L/316Ti. Este contém a adição de molibdénio que promove a resistência à corrosão, sendo geralmente escolhido para aplicações de *washdown* com recurso a químicos e ambientes com presença de sal [24, 36]. Os aços da série 300 não são endurecíveis por tratamentos térmicos e por esta razão a sua utilização em tarefas que requeiram alta dureza é limitada [40].

Existem outros tipos de aço inoxidável de menor utilização na indústria como os da série 400. Os aços desta série, nomeadamente os do tipo martensítico, podem ser endurecidos por tratamento térmico devido ao seu elevado teor em carbono, sendo por isso utilizados em componentes que exijam dureza elevada, tais como guias lineares. A menor utilização destes aços deve-se ao facto de possuírem menor resistência à corrosão [41].

Outros tipos de aço inoxidável não serão mencionados devido à extensão do tema e ao facto do seu uso na indústria alimentar não ser comum.

As ligas de alumínio e ferros fundidos podem também ser utilizados, no entanto devem ser revestidos por uma camada protetora (anodização, revestimentos cerâmicos ou poliméricos).

Estas camadas são suscetíveis de se danificarem a longo prazo, deixando áreas de metal exposto, comprometendo a sua integridade. Por esta razão estes tipos de ligas metálicas não são as mais recomendadas [24, 29].

Os materiais poliméricos têm vindo a ganhar bastante destaque na indústria devido ao seu baixo custo e às suas propriedades, especialmente a sua resistência química e baixa densidade [29]. Existe uma grande variedade de materiais deste tipo compatíveis com utilização para fins alimentares. No documento “EHEDG *Guidelines*” [25] é possível consultar uma lista de materiais do género aprovados e frequentemente usados.

Na seleção de materiais poliméricos devem-se ter em atenção diversos fatores. A EHEDG recomenda a consulta prévia da legislação europeia presente na diretiva 2002/72/EC [42] para efetuar a seleção. Para além do material cumprir a legislação e de se adequar às características de engenharia necessárias ao seu bom desempenho, outros aspetos relevantes que se devem ter em atenção na escolha do mesmo são:

- Compatibilidade com os alimentos utilizados (resistência química);
- Compatibilidade com os detergentes e desinfetantes;
- Resistência à gama de temperaturas de utilização;
- Facilidade de limpeza;
- Capacidade de absorção de substâncias.

É de notar que vários materiais tidos como sendo polímeros, são na verdade materiais compósitos, constituídos por um polímero e um material que funciona como carga de enchimento. Estas cargas podem ser usadas para melhorar certas propriedades do material ou simplesmente para o tornar menos dispendioso. É importante que estas cumpram também a legislação e requisitos a que são sujeitas [24].

2.6.2.Práticas de Construção Recomendadas

A utilização de materiais compatíveis com a indústria alimentar, por si só, não garante segurança. Para que o equipamento seja totalmente seguro do ponto de vista alimentar é necessário que este seja concebido e construído de forma a que o produto final esteja isento de contaminantes. É fundamental que a criação de espaços favoráveis à geração e proliferação de bactérias seja reduzida ou eliminada. Acima de tudo há dois aspetos a considerar na conceção do equipamento, sendo eles a higiene durante o funcionamento e a facilidade de limpeza após o

funcionamento. Características como a geometria, acabamentos superficiais e capacidade de drenagem são determinantes nesses dois aspetos.

Os cuidados a ter com a geometria dos vários componentes que compõe o equipamento prendem-se sobretudo com a eliminação de áreas de acumulação de resíduos.

Para união de componentes em aço inoxidável, sempre que possível, deve-se recorrer a processos de soldadura. Outros tipos de união podem resultar em falhas e zonas descontínuas suscetíveis de acumular resíduos. Os degraus entre componentes devem também ser evitados.

As soldaduras devem ser contínuas e efetuadas, se possível, do lado oposto à zona de contacto com o produto. Devem também ser finalizadas com rebarbagem e polimento.

A utilização de elementos roscados deve ser evitada nas zonas de contacto com o produto, no entanto, se necessário, é possível a sua utilização desde que a rosca não esteja exposta (Figura 2.12). A utilização de porcas de calota é recomendada.

Recomenda-se a eliminação de arestas vivas empregando raios de curvatura iguais ou maiores que 6 milímetros nas zonas de contacto alimentar, especialmente nos raios interiores. No limite é possível ir até aos 3 milímetros de raio, mas para efeitos de certificação da EHEDG é necessário demonstrar que a higiene não é afetada. Porém, em situações que requeiram o encosto de dois componentes separados, as arestas devem ser vivas evitando que se depositem resíduos (Figura 2.13). Devem também ser evitados ângulos internos inferiores a 90°.

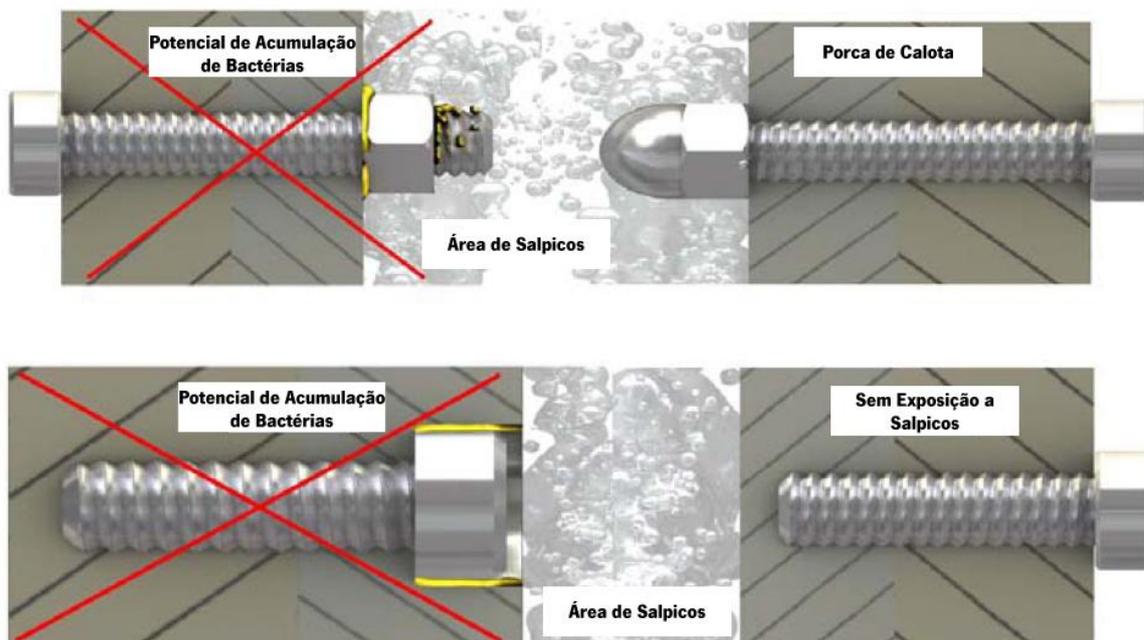


Figura 2.12 - Exemplos de montagem de componentes roscados.

Lado esquerdo) Não recomendado; Lado direito) Recomendado. Adaptado de [24].

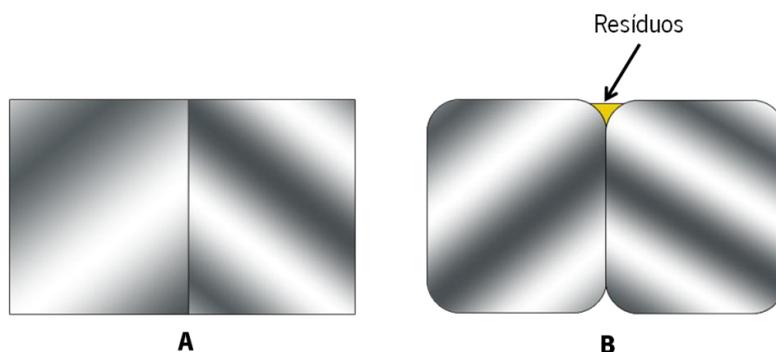


Figura 2.13 - Exceção à recomendação do uso de raios de curvatura.

A) Situação recomendada; B) Não recomendado.

A rugosidade superficial é também um aspeto a ser considerado. A EHEDG indica como referência valores abaixo dos 0,8 micrómetros de rugosidade R_a^2 para zonas de contacto com o produto [25]. Valores maiores podem ser utilizados se for demonstrável que os métodos empregues na limpeza são eficazes para as condições desejadas.

A drenagem de líquidos de equipamento deve ser adequada, garantindo que este não retém uma quantidade significativa de líquidos após a lavagem, e que todos os condensados formados durante o funcionamento sejam direccionados para longe do produto.

A base das máquinas deve ser elevada relativamente ao solo permitindo fácil limpeza da sua parte inferior. Para tal são geralmente utilizados suportes específicos ajustáveis que permitem também compensar possíveis inclinações do piso. A Figura 2.14 representa um exemplo deste tipo de suporte.



Figura 2.14 - Exemplo de suporte de nivelção ajustável. Retirado de [43].

Mesmo que todas estas recomendações sejam seguidas, não há garantia de que o equipamento irá cumprir os requisitos de higiene, pois só em funcionamento é que será possível observar tal facto. Apesar disso estas recomendações são vitais para a redução da probabilidade de falhas ao nível da higiene alimentar e da respetiva segurança do produto.

² Rugosidade média – Desvio médio aritmético do perfil de rugosidade.

**Capítulos 3 a 6 excluídos por
razões de confidencialidade**

Capítulo 7

ESTIMATIVA DE CUSTOS

Este capítulo pretende fornecer uma estimativa dos custos de construção do primeiro protótipo, bem como uma ligeira análise comparativa entre o uso do novo equipamento contra o processo atual utilizado na empresa Soguima.

Inicia-se por uma estimativa de custos que inclui os materiais de construção, mão de obra e dos componentes adquiridos a fornecedores. Esta foi efetuada de forma aproximada, permitindo apenas dar uma ideia dos custos. O custo detalhado do projeto poderia apenas ser determinado com uma orçamentação rigorosa que requer documentação técnica cuidada. Visto que este equipamento está ainda na fase de projeto do protótipo, tal documentação não existe. Além deste fator há que considerar que o protótipo poderá ser sujeito a diversas alterações que terão um impacto direto no seu custo global.

A análise comparativa baseia-se nalguns dos parâmetros de produção que o protótipo projetado deverá ser capaz de alcançar. Estes valores foram calculados com base nos tempos de acionamento da máquina, com vista a estimar uma cadência de produção. Também se consideraram os custos energéticos de mão-de-obra.

7.1. ESTIMATIVA DE CUSTO DO PROTÓTIPO

Como já referido, a estimativa do custo do protótipo foi feita de forma a providenciar alguma noção dos custos envolvidos para a sua realização. A Tabela 7.1 mostra a estimativa de custos efetuada.

Tabela 7.1 - Estimativa de custo do equipamento.

Tipo	Custo
Material de construção em aço inoxidável (tubos, chapa e varão)	≈2500 € [segundo a empresa Soluções M]
Cilindros pneumáticos	1254,35 € [segundo Festo]
Guias lineares	4044,24 € [segundo Iigus]
Servo motores	8930 € [segundo Heason Motion Solutions]
Motor da serra de fita	1163,20 € [segundo Global Industrial]
Outros componentes (cablagens, linhas pneumáticas, válvulas, elementos de ligação, etc)	2000 € [valor arbitrado]
Mão de obra de construção e montagem	4000 € [valor arbitrado]
Total	≈24000 €

7.2. COMPARAÇÃO ENTRE O PROCESSO ATUAL E O EQUIPAMENTO

O processo atual, como referido em capítulos anteriores é efetuado por operadores que trabalham em serras de fita.

Para o processo atual considera-se uma produção máxima horária de 2 toneladas e um total de 6 operários com um custo de cerca de 6 € por hora cada, segundo informações da empresa Soguima. Considerou-se também e uma potência de 1,5 kW por serra, que resulta num

consumo horário de aproximadamente 0,30 € para um preço da energia elétrica de 0,20 € por kW/h. Isto resulta num custo de processamento de 18,9 € por tonelada de produto cortado.

Já para o processo efetuado pelo equipamento é necessário calcular a cadência de produção expectável e o custo de operação. Assume-se que cada movimento de corte levará 2 segundos a ser efetuado (1 segundo de avanço e outro de recuo) e que o posicionamento demorará um total de 0,2 segundos para cada posição (avanços de 100 mm). Assume-se também um valor de 10 cortes por bacalhau. De forma a estabelecer uma cadência máxima comparativa com o processo atual, opta-se por fazer esta estimativa com o bacalhau de maior calibre com cerca de 6 kg cada um.

Com estes dados é possível estimar um tempo de corte por bacalhau de 22 segundos (20 segundos de avanços e recuos da mesa mais 2 segundos de tempo total dos movimentos de posicionamento), conseguindo então cortar cerca de 164 bacalhaus por hora. Multiplicando este valor pelo peso de 6 kg cada bacalhau é possível estimar uma produção horária de 984 kg. Para ter uma produção equiparada à produção manual de 2 ton/hora seriam necessárias duas máquinas, produzindo um total de 1968 kg de bacalhau cortado por hora.

O motor da serra de fita tem a mesma potência que cada uma das máquinas operadas manualmente, resultando então em 0,30 € por máquina por hora. Considera-se um acionamento praticamente contínuo do servo motor da mesa de 3 kW de potência, que gera um custo de 0,60 € por hora. Considera-se o acionamento do servo motor de posicionamento desprezável devido à operação intermitente e à baixa potência (220 W). Despreza-se também custo do ar comprimido, desconhecendo o sistema da empresa Soguima e seu respetivo custo, referindo apenas que esta análise deve ser feita num trabalho futuro.

Considerando a presença de um operador por máquina é possível estimar um custo de aproximadamente 7,01 € por tonelada de bacalhau cortado, valor este muito inferior ao custo de 18,9 €/ton do processo atual.

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo serão apresentadas as principais conclusões que foram retiradas ao longo da realização desta dissertação, bem como, os trabalhos futuros que se acham determinantes para melhorar e aperfeiçoar o projeto realizado.

8.1. CONCLUSÕES

A conclusão de maior destaque foi a grande diferença de custos de processamento expectáveis do sistema automatizado contra o processo atual da empresa Soguima, com um valor de mais de 2 vezes inferior a este. Tal facto, deve-se à redução significativa de mão de obra com o novo processo de corte de bacalhau congelado. Também é de referir que com este novo processo de corte o risco de danos físicos para o operador é muito reduzido em comparação com o sistema de corte atual com serras de fitas.

Com um custo inferior de produção, num mês de trabalho (20 dias) com uma produção de 16 toneladas diárias este equipamento poderá poupar à empresa cerca de 3800 € em custos de processamento mensais. Embora deva ser realizada uma análise de investimento mais

cuidada e detalhada, é possível estimar que o dinheiro investido em dois equipamentos seria recuperado ao fim de pouco mais de 12 meses, mostrando assim uma boa possibilidade de rentabilizar o equipamento rapidamente.

Por outro lado concluiu-se que o desenvolvimento de equipamentos para a indústria alimentar apresentou um desafio maior do que o esperado, ficando algumas partes do desenvolvimento aquém do que se pensou inicialmente realizar, sem no entanto comprometer os requisitos de projeto.

Outro aspeto a referir foi o facto dos testes experimentais de corte, embora feitos com pouco rigor, demonstrarem a apetência superior da serra de fita para o corte de produtos congelados, razão que leva à sua aplicabilidade geral na indústria para realizar esta tarefa.

8.2. TRABALHOS FUTUROS

A primeira sugestão de trabalhos futuros, é, como seria expectável, a construção de um primeiro protótipo real para testes de funcionamento, posterior otimização e preparação para o funcionamento industrial em contínuo. A partir deste, deveria também ser redigida a documentação técnica do produto. A certificação e o registo de patente seriam também possibilidades.

Como já referido, alguns aspetos idealizados durante a fase de projeto do equipamento ficaram aquém daquilo que se pensou ser possível concretizar no espaço de tempo. Um desses aspetos foi referido diversas vezes pela empresa e passaria por uma medição e deteção automática do tipo de bacalhau que a máquina estaria a cortar. Este passaria por um sistema de digitalização tridimensional, já existente noutros equipamentos de processamento alimentar, que faria um mapeamento do bacalhau congelado. A adição deste sistema permitiria também, mediante o fornecimento da densidade do produto, ajustar as larguras de corte de posta de forma a gerar produtos de um mesmo tipo com pesos aproximados de um valor predefinido, proporcionando um elevado controlo do peso final dos produtos vendidos para mercado.

Outro aspeto a considerar é a eliminação total de operários para o acionamento das máquinas, integrando-a diretamente na linha de produção, necessitando apenas de um supervisor para situações inesperadas. Para tal seria necessário criar um sistema de transporte e carregamento de bacalhau no alimentador da máquina e eliminar o processo manual de corte da primeira posta.

Para além destes, deve-se procurar desenvolver todos os aspetos relevantes que não foram desenvolvidos neste projeto devido a falta de tempo e de conhecimento, nomeadamente a parte de automação e controlo que se ficou por uma abordagem básica. Este aspeto terá de ser obrigatoriamente desenvolvido e otimizado caso o projeto avance para a fase de construção.

REFERÊNCIAS

- [1] G. Saravacos e A. Kostaropoulos, Handbook of Food Processing Equipment, Nova Iorque: Springer Science, 2002.
- [2] FAO, “Species Fact Sheets Gadus Morhua,” [Online]. Available: <http://www.fao.org/fishery/species/2218/en>. [Acedido em 8 Janeiro 2014].
- [3] M. Chaves, “Pescado Salgado Seco: O Bacalhau,” Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- [4] FAOSTAT, “Yearbook of Fishery Statistics - Capture production by principal species in 2012,” 2012. [Online]. Available: <ftp://ftp.fao.org/FI/STAT/summary/a1e.pdf>. [Acedido em 8 Janeiro 2014].
- [5] FAOSTAT, “Yearbook of Fishery Statistics - World fishery production: estimated value by groups of species,” 2012. [Online]. Available: <ftp://ftp.fao.org/FI/STAT/summary/appIIybc.pdf>. [Acedido em 8 Janeiro 2014].

- [6] C. Mallett, *Frozen Food Technology*, Londres: Blackie Academic and Professional, 1993.
- [7] “California Knife and Blade,” [Online]. Available: <http://www.caknife.com/industry/5/Food-Processing-Knives,-Food-Processing-Blades.aspx>. [Acedido em 24 03 2014].
- [8] H.-D. Tscheuschner, *Grundzüge der Lebensmitteltechnik*, Hamburgo: Behr's Verlag DE, 2004.
- [9] J. Ahmed e R. Mohammad, *Handbook of Food Process Design*, Oxford: Wiley-Blackwell, 2012.
- [10] KMT Waterjet, “Waterjet Cutting Food,” [Online]. Available: <http://www.kmtwaterjet.com/kmt-waterjet-food-cutting.aspx>. [Acedido em 21 Fevereiro 2014].
- [11] C. Wilkins, “Waterjet Cutting: The Other “Non-Traditional” Process,” *EDM Today*, 2003.
- [12] J. Wang e D. Shanmugam, “Cutting meat with bone using an ultrahigh pressure abrasive waterjet,” *Meat Science*, vol. 81, pp. 671-677, 2008.
- [13] A. Henning, “Cutting with high-pressure jet in the food industry,” *Fleischwirtschaft International*, vol. 6, pp. 30-33, 1997.
- [14] H2O Jet, “Food Cutting,” [Online]. Available: <http://www.waterjetparts.com/h2o/index.php>. [Acedido em 13 Janeiro 2014].
- [15] M. Povey, *Ultrasound in Food Processing*, Kent: Thomsom Science, 1998.
- [16] Sonics & Materials Inc., “Food Cutting,” [Online]. Available: <http://www.sonics.com/fc.htm>. [Acedido em 27 Fevereiro 2014].
- [17] Army Institute for Professional Development, *Bandsaw Operations*, 2005.
- [18] Mado, *Seleкта and Perfekta Plus*, Dornhan, 2013.
- [19] TPM, “Automatic Band Saw RB-2,” [Online]. Available: http://www.tpmonline.info/rb_2_pral_eng.html. [Acedido em 20 Fevereiro 2014].

- [20] Sky Industrial Partners Korea, “AUTOMATIC BAND SAW (RIB SLICER),” [Online]. Available: http://www.skyipk.com/bbs/board.php?bo_table=product&wr_id=142&sca=INDUSTRIAL_EQUIPMENT. [Acedido em 18 Janeiro 2014].
- [21] Metronics Technologies S.L., “Cortadora lomos de atún,” [Online]. Available: <http://www.mttec.com/index.php?id=216>. [Acedido em 10 Janeiro 2014].
- [22] Guoxin Machinery, “Guoxin Machinery,” [Online]. Available: http://gxmac.en.alibaba.com/productgroupdetail-221693400/Fish_Processing_Machinery.html. [Acedido em 15 Janeiro 2014].
- [23] European Commission, *Food Safety*, Bruxelas, 2014.
- [24] PBC Linear, “Linear Motion Design for Washdown Applications,” Setembro 2011.
- [25] EHEDG, “Guidelines,” [Online]. Available: <http://www.ehedg.org/?nr=9&lang=en>. [Acedido em 30 Abril 2014].
- [26] Parlamento Europeu, “REGULAMENTO (CE) n.º852/2004 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO,” *Jornal Oficial da União Europeia*, 2004.
- [27] European Commission, *Guidelines to application of Machinery Directive 2006/42/CE*, Bruxelas, 2010.
- [28] European Parliament, “DIRECTIVE 2006/42/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL,” *Official Journal of the European Union*, 2006.
- [29] Machine Design, “Design for washdown and sterilization,” [Online]. Available: <http://machinedesign.com/archive/design-washdown-and-sterilization>. [Acedido em 17 Abril 2014].
- [30] EHEDG, “EHEDG Glossary,” 2013. [Online]. Available: http://ehedg.org/uploads/EHEDG_Glossary_E_2013.pdf. [Acedido em 18 Janeiro 2014].

- [31] M. Cramer, *Food Plant Sanitation: Design, Maintenance, and Good Manufacturing Practices*, Florida: CRC Press, 2013.
- [32] World Health Organization and Food and Agriculture Organization of the United Nations, *Codex Alimentarius - Food Hygiene*, Roma, 2009.
- [33] CEN, *EN ISO 22000*, Bruxelas, 2005.
- [34] Instituto Português da Qualidade, *NP EN ISO 22000:2005 - Sistemas de Gestão de Segurança Alimentar*, Monte da Caparica, 2005.
- [35] G. M. Hall, *Fish Processing Technology*, Londres: Blackie Academic and Professional, 1997.
- [36] British Stainless Steel Association, “Selection of stainless steels for the food processing industries,” [Online]. Available: <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=45>. [Acedido em 4 Março 2014].
- [37] AKSteel, “Product Data Sheet - 316/316L Stainless Steel,” 2007. [Online]. Available: http://www.aksteel.com/pdf/markets_products/stainless/austenitic/316_316L_Data_Sheet.pdf. [Acedido em 24 Maio 2014].
- [38] ASM International, *ASM Metals Handbook: Volume 1 Properties and Selection: Irons, Steels and High Performance Alloys*, Ohio: ASM International, 1990.
- [39] British Stainless Steel Association, “Comparison of grades 316 (1.4401) and 316L (1.4404/1.4432) to 316Ti (1.4571),” [Online]. Available: <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=71>. [Acedido em 30 Maio 2014].
- [40] Speciality Steel Industry of North America, “Design Guidelines for the Selection and Use of Stainless Steel,” [Online]. Available: http://www.ssina.com/download_a_file/designguidelines.pdf. [Acedido em 30 Maio 2014].
- [41] E. Partington, “Materials of Construction - The Roles of Stainless Steels,” *Journal of Hygienic Engineering and Design*, vol. I, pp. 27-30, 2012.

- [42] European Parliament, “Comission Directive 2002/72/EC relating to plastic materials and articles intended to come into contact with foodstuffs,” *Official Journal of the European Communities*, 2002.
- [43] Global Sources, “Leveling Feet for Machine,” [Online]. Available: <http://p.globalsources.com/IMAGES/PDT/B1048154825/Leveling-Feet.jpg>. [Acedido em 12 Junho 2014].
- [44] L. Silva, *Apontamentos de Teoria do Projeto Mecânico*, Guimarães: Departamento de Engenharia Mecânica - Universidade do Minho, 2012.
- [45] VDI, *Systematic Approach to the Design of Technical Systems and Products*, Dusseldorf: VDI-Verlag, 1987.
- [46] N. Cross, *Engineering Design Methods*, West Sussex: Wiley, 2000.
- [47] Universidade Federal de Santa Catarina, [Online]. Available: http://www.eps.ufsc.br/disserta/jamilton/capit_2/imagens/img00001.gif. [Acedido em 13 Junho 2014].
- [48] B. Pereira, D. Rocha, G. Ferreira, H. Silva, J. Atilano, J. Gonçalves e T. Moreira, “Máquina para corte de bacalhau ultracongelado,” 2013.
- [49] Y. Haik e T. Shahin, *Engineering Design Process*, 2^a ed., Stamford: Cengage Learning, 2010.
- [50] F. Lobash, J. Lyons, C. Morrison e S. Rustad, “Apparatus and method utilizing a water jet for cutting frozen fish slabs into a plurality of individual portions”. Estados Unidos da América Patente US5031496 A, 1991.
- [51] R. Harrison e C. Morse, “Apparatus for dividing frozen fish slabs”. Estados Unidos da América Patente US 5860348 A, 1999.
- [52] Starrett, *Band Saw Baldes for Food Processing*, Athol.
- [53] Munkfors, *Bandsaw blades for frozen fish*, Munkfors.
- [54] T. Atkins, *The Science and Engineering of Cutting*, Oxford: Elsevier, 2009.

- [55] Air-Oil Systems, “OSP Rodless Cylinders by Quincy Ortman Fluid Power,” [Online]. Available: <http://www.airoil.com/products/view/497/osp-rodless-cylinders.html>. [Acedido em 10 Agosto 2014].
- [56] Igus, “drylin® ZLW: Mesa linear acionada por correia para condições extremas,” [Online]. Available: http://www.igus.pt/wpck/7212/DryLin_ZLW_Linearachsen_fuer_extreme_Bedingungen. [Acedido em 23 Agosto 2014].
- [57] Kollmorgen, *AKMH Selection Guide*, Radford, 2014.
- [58] Lanema, *Poliamidas Plásticos de Engenharia*, Ovar.
- [59] Festo, *Stainless Steel Cylinders*, 2014.
- [60] Vanguard Products, “Food Grade Silicone Products,” [Online]. Available: <http://www.vanguardproducts.com/food-grade-silicone.html>. [Acedido em 10 Junho 2014].
- [61] Igus, “Chumaceiras com flange igubal® - EFOM,” [Online]. Available: http://www.igus.pt/wpck/2488/igubal_Flanschlager_EFOM. [Acedido em 30 Agosto 2014].
- [62] Omron, “Servo Motor Selection Flow Chart,” [Online]. Available: http://www.ia.omron.com/data_pdf/guide/14/servo_selection_tg_e_1_1_3-13%28further_info%29.pdf. [Acedido em 10 Setembro 2014].
- [63] Igus, [Online]. Available: <http://www.igus.pt/Apps/drylinexpert/default.aspx>. [Acedido em 10 Setembro 2014].
- [64] Igus, [Online]. Available: http://www.igus.pt/wpck/4997/drylin_ewum. [Acedido em 15 Setembro 2014].
- [65] Igus, “DryLin® R - OTA - Chumaceira Linear Dupla,” [Online]. Available: http://www.igus.pt/wpck/2317/drylin_r_ota. [Acedido em 15 Setembro 2014].
- [66] Megadyne, *Megaflex*, Mathi, 2013.
- [67] Igus, “iglidur® - Coeficiente de atrito,” [Online]. Available: http://www.igus.pt/wpck/2328/iglidur_Reibwerte?C=PT&L=pt. [Acedido em 18 Setembro 2014].

- [68] Kollmorgen, *Application Sizing Guide*, Radford, 2014.
- [69] R. Amrstrong, “Load to Motor Inertia Mismatch: Unveiling The Truth,” em *DRIVES AND CONTROLS CONFERENCE*, Telford, 1998.
- [70] Kollmorgen, “Stainless Steel AKMH Series,” [Online]. Available: <http://www.kollmorgen.com/en-us/products/motors/servo/akmh-series/stainless-steel-akmh-series/>. [Acedido em 25 Setembro 2014].
- [71] Fine Wood Working, “Setting Bandsaw Blade Tension,” [Online]. Available: <http://www.finewoodworking.com/tool-guide/article/setting-bandsaw-blade-tension.aspx>. [Acedido em 30 Setembro 2014].
- [72] R. Norton, *Machine Design An Integrated Approach*, Upper Saddle River: Prentice-Hall Inc., 1998.
- [73] Associated Spring, *Design Handbook: Engineering Guide to Spring Design*, Bristol: Barnes Group Inc., 1987.
- [74] E. Seabra e J. Machado, *Apontamentos de Automação II*, Guimarães: Universidade do Minho.
- [75] Edulab Wiki, “GEMMA: Guide d'Etude des Modes de Marches et d'Arrêts,” [Online]. Available: <http://wiki.edu-lab.nl/%28S%28rhp5oj3shopykbulq4a5zmay%29%29/History.aspx?Page=GEMMA&Revision=12>. [Acedido em 28 Dezembro 2014].

ANEXO A

LISTA DE PROPOSTAS DE SERRAS CIRCULARES PARA OS TESTES

ANEXO B

DESENHOS DE CONJUNTO DO PROTÓTIPO FINAL

ANEXO C

INFORMAÇÃO TÉCNICA DO SISTEMAS DE GUIAMENTO LINEAR

ANEXO D

DADOS PARA A SELEÇÃO DE CORREIAS

ANEXO E

GRAFICETS DE FUNCIONAMENTO
