

Optimização dos processos de gestão de *stocks* de produtos acabados da Fábrica de Pastelaria e Confeitaria São Silvestre, Lda.

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia
de Gestão Industrial

Autor

André Miguel Martins Gonçalves

Orientador

Belmiro Duarte

Instituto Politécnico de Coimbra, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Departamento de Engenharia
Química e Biológica, Rua Pedro Nunes, Quinta da Nora, 3030-199, Coimbra, Portugal, e-mail: bduarte@isec.pt

Coorientador

Elisabete Costa

Diretora do departamento de qualidade da Fábrica de Pastelaria São Silvestre, e-mail:
elisabete.costa@saosilvestre.pt

Coimbra

2019

Agradecimentos

Todo o trabalho realizado e apresentado neste documento não seria possível de concretizar sem a ajuda das pessoas direta ou indiretamente relacionadas com o mesmo. Começo prontamente com um enorme agradecimento ao Professor Doutor Belmiro Duarte por toda a disponibilidade que mostrou ao longo dos nove meses de estágio prestando toda a ajuda possível no desenvolvimento científicos do trabalho.

Aos Engenheiros Elisabete Costa e João Pereira um forte agradecimento por toda a orientação, pela paciência demonstrada, pelas sugestões, críticas e incentivos, realizados durante os nove meses de estágio na Fábrica de Pastelaria e Confeitaria São Silvestre, Lda.

Quero agradecer também aos restantes colaboradores da fábrica, bem como ao gerente Luís Campos, por me terem recebido de forma sublime e mostrado sempre prontidão para me apoiar em qualquer actividade.

Um agradecimento muito especial à minha família por todo o apoio que me prestaram ao longo da minha vida académica.

Agradeço também aos amigos, que me motivaram constantemente para que todo este percurso fosse possível.

Resumo

No presente trabalho para além da descrição das actividades realizadas no período de estágio na Fábrica de Pastelaria e Confeitaria São Silvestre, Lda., no âmbito do Sistema de Gestão da Qualidade e do Sistema de Gestão de Produção, integradas no conteúdo leccionado no Mestrado de Engenharia de Gestão Industrial, propõe-se a resolução de um problema de gestão de *stocks* de itens perecíveis, com o objectivo de minimizar a perda de qualidade percebida dos produtos armazenados em câmara de conservação.

Para tal foi desenvolvido um modelo matemático que envolve a minimização do custo. O modelo determinístico proposto para a optimização de lotes em *stock* foi parametrizado com base em dados de oito produtos seleccionados, propícios ao flagelo da degradação da qualidade percebida. O modelo em causa envolve uma função custo para a qual contribuem os custos de produção e armazenagem, a degradação do nível de qualidade percebida e o período de armazenagem na câmara de conservação. Após a minimização a função devolve como saídas o tamanho das *batches* a produzir e os ciclos de produção para as mesmas. Todo o modelo desenvolvido foi traduzido para linguagem informática com recurso ao *software* Matlab®. Embora o tempo de aplicação do modelo, de forma a permitir uma análise de resultados mais concreta tenha sido reduzido, retiram-se dele algumas conclusões relevantes: o modelo proposto permitiu uma regularização no perfil de *stock* do produto ao qual se aplicou o modelo; esta regularização permite um maior controlo das existências em câmara de armazenagem fazendo com que processos de rastreabilidade sejam mais simples. O facto de as quantidades armazenadas diminuírem faz com que diminua consequentemente o risco de contaminações cruzadas entre lotes. O tempo que o produto passa armazenado diminui, fazendo com que este seja vendido com maior qualidade percebida, diminuindo, consequentemente, os desperdícios.

Palavras-Chave: Optimização, *stock* perecível, qualidade percebida, gestão da produção

Abstract

In the presente work, besides the description of the activities carried out during the intership period at Fábrica de Pastelaria e Confeitaria São Silvestre, Lda., within the scope of the Quality Management System and the Production Management System, integrated in the content of the Masters in Engineering of Industrial Management, it's proposed a solution to solve a perishable inventory management problem, that consists in minimizing the perceived quality loss of the products stored in the refrigeration chamber.

For this a mathematical model was developed that involves costs minimization. The deterministic model proposed for the optimization of perishable stocks was parameterized with the adquired data from eight selected products. The porposed model involves a function used to qualify production and storage costs, the degradation of the perceived quality level and the storage period in the refrigeration chamber. After optimization, the models returns as output the size of the batches and the respective production cycle for them. The model development was translated to computational language using Matlab® software. Although the time of application of the developed model, in order to allow a more concrete analysis of results, was short, it led to some conclusions: the new implemented policy for batch production allowed a stock regularization for the product under optimization. This regularization improves control in stock quatities stored in the refrigeration chamber wich simplifies traceability processes. The fact the stored products decrease means that the risk of cross contamination consequently decreases too. Shorten production cycles allow an increase of perceived quality as the perishable stocks spend less time in the storage chamber.

Keywords: Optimization, perishable stocks, perceived quality, Production Management

ÍNDICE

Agradecimentos.....	i
Resumo	iii
Abstract.....	v
Índice de Figuras	viii
Índice de Tabelas.....	x
Abreviaturas	xi
1 Introdução	13
1.1 Objetivos fundamentais no desenvolvimento do trabalho de estágio.....	13
1.2 Problemas a tratar	13
1.2.1 Caracterização do sistema de produção para <i>stock</i>	14
1.2.2 O conceito de qualidade	15
1.2.3 Optimização de lotes	16
1.3 Estrutura do relatório de estágio.....	18
2 Apresentação da Empresa.....	19
2.1 A Fábrica de Pastelaria e Confeitaria São Silvestre, Lda.....	19
2.2 Sistema de Gestão da Qualidade.....	22
2.2.1 Requisitos gerais do SGQ	24
2.2.2 Requisitos da documentação	26
2.2.3 Sistema HACCP	27
2.2.4 Norma ISO 9001:2015	29
2.2.5 Auditorias.....	29
2.3 Sistema de gestão de produção	30
2.3.1 Planeamento do fabrico de produto	30
3 Enquadramento Teórico.....	36
3.1 Gestão de <i>stocks</i>	36
3.1.1 <i>Stock</i> de Segurança	38
3.1.2 Optimização do nível de <i>stock</i>	38

3.1.3	Operações da gestão de <i>stocks</i>	39
3.1.4	Armazenagem.....	40
3.1.5	Gestão de entradas e saídas.....	40
3.1.6	Inventários	41
3.2	Modelos de gestão para inventários perecíveis	42
3.3	Estatística Inferencial.....	51
3.4	Programação Não Linear	52
4	Atividades Realizadas e Metodologias Desenvolvidas.....	54
4.1	Contribuição em contexto de trabalho para os sistemas de gestão	54
4.2	Estratégia de resolução do problema central.....	58
4.2.1	Componente Teórica.....	58
4.2.2	Modelos de armazém e de perda de qualidade percebida	61
4.2.3	Perda de qualidade modelada por cinética de ordem 0	62
4.2.4	Perda de qualidade modelada por cinética de ordem 1	63
4.2.5	Modelação das componentes de custo.....	63
4.2.6	Estruturação de dados necessários ao modelo.....	66
4.2.7	Tratamento estatístico dos dados adquiridos	71
4.2.8	Determinação de custos monetários	73
4.3	Resolução do modelo de optimização	77
5	Implementação e resultados da nova política de <i>stocks</i>	78
5.1	Aplicação da metodologia e resultados	80
6	Conclusões	85
	Referência Bibliográficas	87
	Anexos.....	91
	Anexo 1 – Imagem ilustrativa da Fábrica de Pastelaria São Silvestre	91
	Anexo 2 – Tabelas representativas de dados utilizados para a construção do modelo de optimização de lotes.....	91
	Anexo 3- Desenvolvimento do modelo de optimização em Matlab®.....	96

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Logo da Fábrica de Pastelaria São Silvestre.....	20
Figura 2.2 - Organograma da Fábrica de Pastelaria São Silvestre	21
Figura 2.3 - Representação das várias dimensões associadas ao conceito de qualidade, adaptado de Nunes (2012).....	22
Figura 2.4 - Processos SGQ e respetivas interações, adaptado de (Nunes, 2012)	25
Figura 2.5 - Diagrama representativo dos níveis de documentação relativa ao SGQ da Fábrica Pastelaria São Silvestre, Lda. Adaptado de (Costa, 2016).	26
Figura 2.6 - Ciclo PDCA, adaptado de (Betlloch-Mas, et al., 2018)	29
Figura 2.7 - Fluxo representativo da produção dos queques, adaptado de (Fábrica de Pastelaria São Silvestre Lda., 2019).....	35
Figura 3.1 - Diagrama com fluxo dos três tipos de stock, adaptado de (Roldão & Ribeiro, 2014) ...	37
Figura 3.2 - Evolução teórica do nível de stock, retirado de (Courtois, et al., 2003)	39
Figura 3.2-Degradação da qualidade de produtos alimentares com reações de ordem (n=0), e ordem (n=1), adaptado de (Fauza, et al., 2018).	50
Figura 4.1 - Controlo de pesos de pão de bico (em massa) do dia 23/11/2018.....	56
Figura 4.2 - Exemplo de um relatório de rastreabilidade retirado do sistema operacional <i>SIN/PAN</i>	57
Figura 4.3 - Modelo dinâmico de armazém.....	61
Figura 4.4 - Modelo de degradação de qualidade percebida para cinética linear e cinética de 1ª ordem	61
Figura 4.5 - Perfil de stock para os produtos seleccionados.....	68
Figura 4.7- Distribuição <i>t</i> -Student para os produtos seleccionados	72
Figura 4.8 – Diagrama de extremos e quartis (<i>boxplot</i>)	73
Figura 5.1- Perfil de stock dos Mil Folhas após aplicação da metodologia de optimização de lotes	81
Figura 5.2 - Comparação dos perfis de <i>stock</i> do produto <i>Mil Folhas</i> pré (esquerda) e pós (direita) optimização	82
Figura 5.3 - Diagrama de extremos e quartis	83
Figura A1-Fotografia da Fábrica de Pastelaria São Silvestre	91
Figura A3.1- Código Matlab referente aos dados da tabela 4.1	96
Figura A3.2 - Código Matlab responsável pela criação dos três cenários da variação da procura. .	97

Figura A3.3 - Código responsável pela representação dos componentes C_f , C_v e C_s	97
Figura A3.4 - Construção da função de minimização e respetivas restrições	98
Figura A 3.5- Estrutura da função a minimizar	98

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 Exemplos de características da qualidade controladas em determinados setores de produção, adaptado de Nunes (2012)	23
Tabela 2.2- Princípios do sistema HACCP, adaptado de (FQA- Formação Qualidade e Auditoria Agro-Alimentar, Lda, 2002).....	28
Tabela 3.1- Compilação bibliográfica	39
Tabela 4.1-Nomenclatura dos componentes do modelo de lote óptimo para produtos perecíveis.60	
Tabela 4.2- Procura associada a cada ciclo de produção	70
Tabela 4.3- Procura diária dos produtos	71
Tabela 4.4-Custos necessários ao modelo de optimização de lotes	74
Tabela 4.5- Dados necessários ao modelo de optimização de lotes	76
Tabela 5.1 - Resultados obtidos para a optimização de lotes.....	79
Tabela 5.2 - Componentes de custo por batch e respectiva importância relativa.....	79
Tabela A2.1 - Potências dos equipamentos utilizados	92
Tabela A2.2 - Tempos de operação dos equipamentos	92
Tabela A2.3- Tarifário de média tensão utilizado para curtas utilizações	93
Tabela A2.4- Tempo de operação	93
Tabela A2.5 – Custo de matéria-prima por unidade	94
Tabela A2.6- Tarifário de média tensão utilizado para longas utilizações	94
Tabela A2.7- Parâmetros relativos aos custos de armazenagem	95
Tabela A2.8 – Preço de venda de unidades	95

Abreviaturas

FPCSS- Fábrica de Pastelaria e Confeitaria São Silvestre, Lda.

DP – Departamento de Qualidade

SGQ- Sistema de gestão da qualidade

SGP- Sistema de gestão da produção

MQ- Manual da Qualidade

PCC- Ponto crítico de controlo

HACCP- *Hazard Analysis and Critical Control Point*

RFID- *Radio Frequency Identification*

FEFO- *First Expire First Out*

FIFO- *First In First Out*

1 Introdução

De forma a proporcionar um contacto com o ambiente empresarial, realizou-se um estágio curricular na Fábrica de Pastelaria e Confeitaria São Silvestre, Lda. integrado no segundo ano do Mestrado em Engenharia de Gestão Industrial (MEGI), leccionado no Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC). O presente documento detalha as atividades desenvolvidas durante o período de estágio. Neste quadro, ele visa formalizar o documento escrito como objecto de avaliação relativo à unidade curricular de Estágio/Projecto/Dissertação do MEGI.

1.1 Objetivos fundamentais no desenvolvimento do trabalho de estágio

O trabalho de estágio realizado e reportado no presente relatório foi desenvolvido durante um período de nove meses com início a 1 de outubro de 2018 e término a 30 de junho de 2019. O objetivo principal deste estágio foi analisar e otimizar os processos de gestão de *stocks* de produtos de pastelaria acabados. No decorrer das atividades laborais diárias existiu também o acompanhamento e contribuição em várias áreas relativas à gestão industrial da organização, como as actividades associadas ao SGQ (Sistema de Gestão da Qualidade), ao protocolo HACCP e, ainda, contribuições no âmbito da gestão e organização dos problemas quotidianos da unidade industrial em questão. A seguir analisa-se o problema fulcral tratado no âmbito do estágio.

1.2 Problemas a tratar

Como já foi referido anteriormente o principal problema tratado no âmbito do trabalho realizado no estágio foi a análise e optimização de processos de gestão de *stocks* de produtos acabados de pastelaria armazenados numa sala de conservação térmica onde a temperatura deve permanecer aproximadamente a $-18,0^{\circ}\text{C}$. No que toca ao controlo de *stocks* da FPCSS, Lda. existem algumas adversidades que necessitam de resolução, como o tempo de armazenamento de produtos com baixa rotatividade. Isto é, produtos com procura reduzida em que ocorre a perda de qualidade percebida ao longo do tempo de armazenamento. Tipicamente no momento em que o produto é acabado supõe-se que este esteja no seu estado de qualidade percebida máxima e ao ser armazenado por períodos de tempo largos ocorre degradação com perda inequívoca da qualidade. O período ideal de armazenamento para manter elevado nível de qualidade percebida é considerado, na prática, de 180 dias. Este período, estipulado pelo departamento de qualidade da empresa, é assumido como o

período em que o produto, apesar de se encontrar perto do ideal do ponto de vista organolético, isto é sabor, odor e textura e do ponto de vista microbiológico, deixa de ter a qualidade percebida para ser vendido. No entanto agregado a este problema vem também a adversidade do espaço de armazenagem. Apesar do período de vida em armazém estipulado pelo DQ da fábrica de 180 dias, aproximadamente 6 meses, legalmente o produto pode continuar armazenado e ser vendido posteriormente a esse prazo, levando conseqüentemente à acumulação de produto acabado na câmara de conservação, o que pode levar também a contaminações cruzadas de lotes.

Conjugadamente, os problemas requerem uma adequada gestão de *stocks*, que deve fundamentalmente visar i) a elevada qualidade percebida do produto; e ii) gestão adequada dos custos de conservação em câmara de armazenagem. Todos estes problemas foram identificados como relevantes para a gestão de *stocks* otimizada (mínimo custo, máxima qualidade percebida oferecida ao cliente). Naturalmente, que por forma a avançar no sentido da otimização é inicialmente necessário caracterizar o sistema e posteriormente otimizá-lo.

1.2.1 Caracterização do sistema de produção para *stock*

A Fábrica de Pastelaria e Confeitaria São Silvestre, Lda. utiliza no seu processo de produção de produtos congelados, dois métodos de fabrico para *stock* de produtos congelados. O primeiro método abarca a congelação de produtos crus, isto é, produtos não sujeitos ao processo de cozedura. Estes, no dia em que saem para o cliente, são previamente descongelados e sujeitos ao processo de cozedura. Após esse processo são arrefecidos e expedidos para os consumidores. O segundo método difere do primeiro no aspeto em que o produto é congelado após a sua confeção, ou seja, seguido ao processo de cozedura os produtos passam por um túnel de congelação rápida (a cerca de -30°C) permitindo salvaguardar as características qualitativas do produto. Após a passagem pelo túnel (cerca de duas horas) os itens são encaminhados para a câmara de conservação onde permanecem em *stock* e vão escoando consoante a procura.

Aqui encontra-se um dos obstáculos a ultrapassar na resolução do problema fulcral da otimização de lotes. A produção no segundo método descrito não segue nenhum modelo que permita a otimização dos lotes produzidos, ou seja, independentemente da procura, o fabrico destes lotes está padronizado para ser confeccionado sempre da mesma forma; ou seja quando o lote em prateleira na câmara de congelação está perto do fim é fabricada uma *batch* com tamanho muito superior ao necessário que permanece armazenada na câmara de

conservação. Aqui há produtos com mais saída do que outros, e para os que apresentam maior taxa de venda a confeção de lotes apresenta menores ciclos de produção, no entanto as quantidades são igualmente desmedidas daquilo que é necessário para corresponder à procura, fazendo com que muito produto se vá acumulando, trazendo algumas das consequências já mencionadas como a perda da qualidade percebida devido à extensão do tempo de prateleira. Por outro lado, surge a problemática da falta de espaço de armazenagem e aumenta-se a probabilidade de existir contaminação cruzada de lotes o que leva à ineficácia da rastreabilidade caso seja necessário identificar algum lote não conforme.

A armazenagem por congelação é uma mais-valia quando se pretende salvaguardar a qualidade de produtos perecíveis. Este é um método bastante eficaz quando se deseja proteger os produtos da profanação microbiológica prolongando assim o seu tempo de prateleira. Contudo, existe uma contrapartida, ou seja, a congelação embora assegure a integridade alimentar, acaba ela própria por degradar o alimento fazendo com que para longos períodos de armazenagem este vá perdendo algumas das suas qualidades organoléticas adquirindo sabor e odor, que do ponto de vista da qualidade percebida são aspetos relevantes no consumo. Esta perda tem associados a si diversos potenciais custos como reclamações, normalmente contornáveis e objeto de melhoria, e danos reputacionais, que, sendo menos frequentes, podem traduzir-se em prejuízos de imagem.

1.2.2 O conceito de qualidade

A problemática detetada pelo DQ da fábrica, relativo à perda de qualidade percebida, isto é, produtos com longo tempo de prateleira que foram retirados e não apresentavam as qualidades organoléticas que se esperavam, apresentando sabores e odores, que à partida, não eram os desejados pela maioria dos consumidores, abre a porta a uma possibilidade de melhoria. Esta adversidade foi detetada através de reclamações de clientes e de consumo próprio através da prova de produtos, armazenados na câmara de conservação.

A qualidade de um produto é um conceito complexo, trata-se de uma característica multidimensional para o qual não existe uma definição global. A pesquisa de Sebastianelli & Tamini (2002) com base no trabalho de Garvin (1984;1987), apresenta a qualidade do produto baseada em oito dimensões: a performance, características técnicas, confiabilidade, conformidade, durabilidade, operacionalidade, estética e qualidade perceptual. Destas dimensões destacam-se quatro que podem ser aplicadas aos produtos da FPCSS, Lda. sendo

estas, a conformidade, a durabilidade, a estética e a qualidade percebida. Segundo a definição de Garvin (1984;1987) a primeira determina o grau para o qual as características físicas e de performance vão ao encontro das especificações de concepção, a segunda é uma medida da vida útil do produto, no caso da indústria alimentar trata-se do período de caducidade, a terceira refere-se à aparência, sabor, odor e ao toque do produto, ou seja é uma questão de preferências pessoais. Por último a qualidade percebida é a dimensão associada à imagem, à marca, ou até mesmo à publicidade, tratado-se assim de um conceito largamente subjetivo.

Como se mencionou anteriormente com a resolução dos problemas de *stock* procura-se manter uma elevada qualidade percebida do produto. Note-se que há autores que abordam este conceito na literatura, como Stylidis, et al., (2015), que referem que do ponto de vista da engenharia, a qualidade percebida é representada sobretudo pelos estados de concepção iniciais. Existe, assim, a necessidade de padronizar a terminologia e as definições relacionadas com a qualidade percebida de forma mais concreta. Os autores mencionam ainda o trabalho de Zeithaml (1988) onde este descreve a qualidade percebida como julgamento subjectivo do consumidor tendo em conta uma superioridade generalizada do produto ao invés de uma qualidade objectiva.

São traçadas, assim, duas classes para a qualidade perceptual: uma aproximação orientada para o marketing, que se foca na utilização do consumidor e uma segunda orientada para a engenharia na busca de uma qualidade que implique a existência mínima de defeitos.

1.2.3 Optimização de lotes

Com base no que foi descrito anteriormente identificou-se a necessidade de combater o problema relacionado com a perda de qualidade percebida. No entanto, para além das adversidades que esta perda pode trazer para as empresas, existem ainda outras consequências que advêm da inexistência de um método optimização de lotes também referida.

Este conjunto de problemáticas associadas à gestão de *stocks* leva a que seja necessário desenvolver um modelo de optimização de lotes. Pretende-se, assim, desenvolver um modelo matemático com bases em programação não-linear com o objetivo de minimizar os custos associados à produção que permitam determinar o tamanho de lote óptimo, bem como os tempos para os ciclos de produção.

A gestão olha para a optimização de forma simples, isto é, diminuir os custos e aumentar os lucros. Deste ponto de vista pretende-se que a optimização de lotes consiga gerir a produção de tal modo a que seja possível restringir a confecção de produtos apenas ao que é necessário para satisfazer a procura diária. Na realidade é difícil produzir de acordo com o que se vende por dia, pois a procura diária oscila, o que faria com que a produção tivesse que variar de acordo com esta ondulação o que não é prático em gestão de fabrico. Deste modo, é necessário optimizar a confecção de lotes para um nível de produção que satisfaça a procura e ao mesmo tempo seja condizente com as limitações de fabrico, isto é, mão de obra e equipamentos disponíveis, pois a FPCSS, Lda. tem um vasto leque de oferta.

A produção de *batches* dos produtos tem agregada a si três tipos de custo fundamentais: i) custos de produção, que envolvem custos de mão de obra, custos energéticos e custos de matéria-prima; ii) custos de armazenagem, ou seja, os custos alocados à conservação dos itens produzidos na respectiva câmara de conservação; e ainda iii) custos de imagem, ou seja, custos associados à qualidade percebida dos produtos da empresa. Estes são representados por custos devido à degradação em câmara de refrigeração.

Com base no problema que se identificou o objectivo fulcral visa diminuir os custos de degradação de qualidade percebida através da optimização de lotes diminuindo conseqüentemente prejuízos de imagem. A optimização pretende minimizar as quantidades a fabricar por *batch*, bem como os respectivos ciclos de produção. No entanto a frequência dos mesmos aumenta, pelo que se existirem diminuições nos custos totais de produção serão pouco significativas já que a procura será a mesma, quer antes, quer após a minimização. Assim, interessa à gestão debruçar-se nas reduções significativas, isto é, os custos de armazenagem e os custos de degradação de qualidade percebida.

Com a optimização de lotes, o tempo que estes necessitam de permanecer na câmara será menor, diminuindo assim, a exposição do produto às adversidades causadas pela congelação, embora estas se manifestem sobretudo a longo prazo. A empresa beneficiará, assim, de uma diminuição nos prejuízos de imagem, que se espera quantificar através de uma diminuição nos custos de degradação de qualidade percebida. Com isto combate-se também outros problema agregado à questão da produção por lotes, a questão do espaço de armazenagem em câmara. Com esta optimização o armazém de refrigeração ganha espaço o que, eventualmente, abre a possibilidade de empresa poder explorar outros nichos de mercado desenvolvendo novos produtos sem ter de pensar em ampliar a sala de conservação.

A questão da rastreabilidade e das contaminações cruzadas também são solucionadas através desta optimização, embora estes problemas sejam de reduzida frequência.

Para além da proposta de resolução do problema de lotes armazenados em câmara de conservação descrito, o documento que se apresenta, aborda também as actividades realizadas diariamente no período laboral de estágio no âmbito do Sistema de Gestão da Qualidade e do Sistema de Gestão da Produção, integrados no programa do MEGI.

1.3 Estrutura do relatório de estágio

A secção que se apresenta descreve a estrutura do presente relatório. O relatório está dividido em seis capítulos onde se descrevem as actividades levadas a cabo durante o período de estágio, bibliografia e anexos. O capítulo 1, é introdutório sendo composto por três secções onde na primeira são descritos os objetivos fundamentais do trabalho realizado durante os nove meses de estágio. De seguida abordam-se os problemas a tratar e o capítulo fecha com uma descrição do que se pretende com a optimização de lotes. No capítulo 2, dividido em três secções, é feita a apresentação da Fábrica de Pastelaria e Confeitaria São Silvestre, Lda., do seu Sistema de Gestão da Qualidade e do Sistema de Gestão da Produção. Segue-se o capítulo de revisão bibliográfica, capítulo 3. Aqui resume-se a pesquisa literária realizada de forma a obter bases para o desenvolvimento do modelo de optimização de lotes. O capítulo em questão é constituído por quatro secções, sendo a primeira referente à gestão de *stocks* tradicional, ou seja, apresenta as bases teóricas para a gestão de *stocks*. A segunda aborda modelos desenvolvidos para gestão de inventários de bens perecíveis, sobretudo aplicados à indústria alimentar, fazendo-se seguir uma compilação da bibliografia utilizada onde se agrupam as referências por categorias. Na terceira secção são descritos os parâmetros estatísticos utilizados no tratamento bem como a programação não linear aplicada.

O capítulo 4, é constituído por duas secções. A primeira relata as actividades realizadas quotidianamente na empresa, no âmbito do SGQ e do SGP. A segunda descreve a estratégia aplicada à resolução do problema de optimização de lotes. Segue-se o capítulo 5, onde se descreve a aplicação dos métodos desenvolvidos e se analisam os resultados obtidos. No sexto e último capítulo, expõem-se as conclusões obtidas com o trabalho realizado; quer das actividades laborais quotidianas como da aplicação do modelo de optimização de lotes desenvolvido.

2 Apresentação da Empresa

O presente capítulo descreve a origem da empresa, o mercado que esta abastece atualmente e analisa sucintamente os sistemas de gestão implementados, isto é, o Sistema da Gestão da Qualidade e o Sistema de Gestão da Produção. A análise do primeiro sistema assenta na documentação disponibilizada pela empresa, sendo que a análise do segundo tem a sua base no sistema informático de suporte à entrada de fluxos. No caso Fábrica de Pastelaria São Silvestre, os dois sistemas funcionam integrados, o que é detalhado no Manual da Qualidade, isto é, o SGQ está intrinsecamente ligado a cada operação do sistema de produção.

2.1 A Fábrica de Pastelaria e Confeitaria São Silvestre, Lda.

Do trabalho de um casal de ex-emigrantes na Alemanha, o Sr. Amílcar e a D. Madalena, nasce a *Fábrica de Pastelaria e Confeitaria São Silvestre, Lda.* Tudo começou em 1983 quando o casal se dedicou à exploração comercial de um estabelecimento denominado *Pastelaria Royal*. As potencialidades que a doçaria tradicional ofereceu a este casal, sobretudo na zona da Lousã, no conselho de Coimbra, foram grandes e ao tomar consciência de tal facto o casal, em 1990, constituiu a fábrica. Na mesma década em meados de 1992, a empresa decidiu investir na produção, e através do apoio vindo de fundos comunitários, realizou um forte investimento na unidade de produção. A área de produção viu assim o seu tamanho aumentar de 50 para 400 m² e no que à tecnologia diz respeito, adquiriram-se os equipamentos que na altura eram topo de gama no setor. Foi também adquirido um novo ponto de venda e o balcão que era único até à altura, viu o seu espaço ser remodelado. O investimento realizado era vital, no que aos objetivos dos promotores dizia respeito, e a ideia central era apostar no trinómio Preço-Qualidade-Serviço.

Em 2002, foi construída na zona industrial do Alto Padrão, Lousã, uma unidade fabril modernizada com uma área de 1600 m². Contudo, devido ao avolumar dos negócios a área total viu novamente o seu espaço ser aumentado, pois para além de venda direta ao balcão, a aposta na distribuição também se fortaleceu, sendo a fábrica fornecedora de pequenas, médias e grandes superfícies como por exemplo Sonae, Aldi, Intermarché, Minipreço, bem como escolas e ainda empresas nas regiões de Coimbra, Leiria, Torres Novas, Castelo Branco, Tomar, Abrantes e arredores.

A unidade fabril emprega atualmente cerca de 70 colaboradores, sendo constituída pela fábrica mãe, responsável por toda a produção dos itens de pastelaria e padaria, bem

como por uma rede constituída por quatro balcões (pastelarias) e um restaurante de cozinha rápida denominado de *Foodstore*. Todos estes postos de venda, incluindo o restaurante, se encontram situados no concelho da Lousã.

A Fábrica de Pastelaria e Confeitaria São Silvestre, Lda. tem visto o seu sucesso fortemente determinado pela aposta em matéria-prima e produto final de qualidade e num serviço de atendimento ao cliente personalizado, o que implica assim a existência de uma grande gama de produtos e um sistema de produção *batch* (em série) de razoável eficiência. A organização é essencialmente conhecida pela diferenciação qualitativa, facto que a destaca dos demais concorrentes da zona. Na figura 2.1 apresenta-se o logo da empresa, em anexo (Anexo I) encontra-se uma imagem ilustrativa das instalações da fábrica.



Figura 2.1 Logo da Fábrica de Pastelaria São Silvestre

Na página seguinte é possível analisar o organograma da empresa, Figura 2.2, esquema que representa a hierarquia da organização, alocando às funcionalidades os colaboradores responsáveis pelas mesmas. A FPCSS, Lda. é uma empresa certificada pela norma ISO 9001 desde 2005, que vive segundo um modelo de Gestão da Qualidade. No âmbito da política de melhoria da qualidade a unidade tem implementado o protocolo HACCP desde o início da unidade fabril. Este protocolo está por sua vez integrado no SGQ contribuindo com procedimentos e práticas de referência no âmbito do Procedimento de Gestão de Controlo do Processo. Na secção seguinte analisa-se sumariamente o SGQ, a sua configuração e a interligação entre ele e a garantia de qualidade oferecida ao cliente.

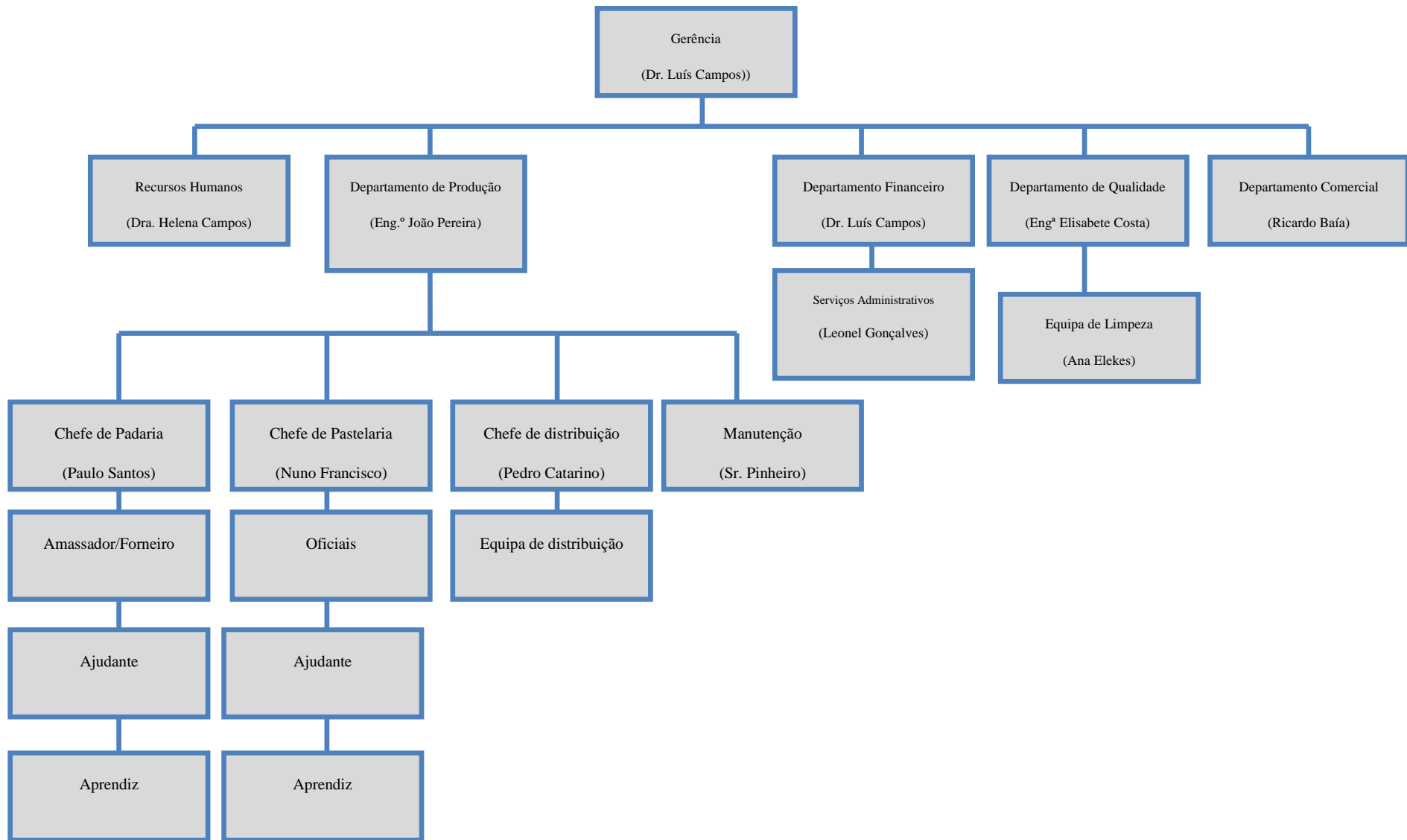


Figura 2.2 - Organograma da Fábrica de Pastelaria São Silvestre

2.2 Sistema de Gestão da Qualidade

A qualidade trata-se de um conceito relativo pois resulta da perceção de cada indivíduo perante um estímulo, o que leva à inexistência de um conceito universal que satisfaça todo o tipo de organização ou cultura. A qualidade é referenciada por várias dimensões, ver Figura 2.3. Embora existam diversas perceções de qualidade, esta está sempre associada à satisfação das necessidades dos clientes, assim como ao preço que os mesmos estão dispostos a pagar por ela. A qualidade é expressa por um conjunto de características medidas, podendo as mesmas serem comparadas com um conjunto de características previstas na concepção do produto. É, assim, uma grandeza multidimensional pois é possível configurar imensos referenciais, um para cada produto ou mesmo para cada consumidor. A análise da qualidade pode ser feita através de alguns parâmetros, como por exemplo características, performances funcionais, disponibilidade/fiabilidade, segurança e fatores sensoriais. Na tabela 2.1 serão apresentados exemplos de alguns setores de produção bem como as respetivas características de qualidade controladas (Nunes, 2012).

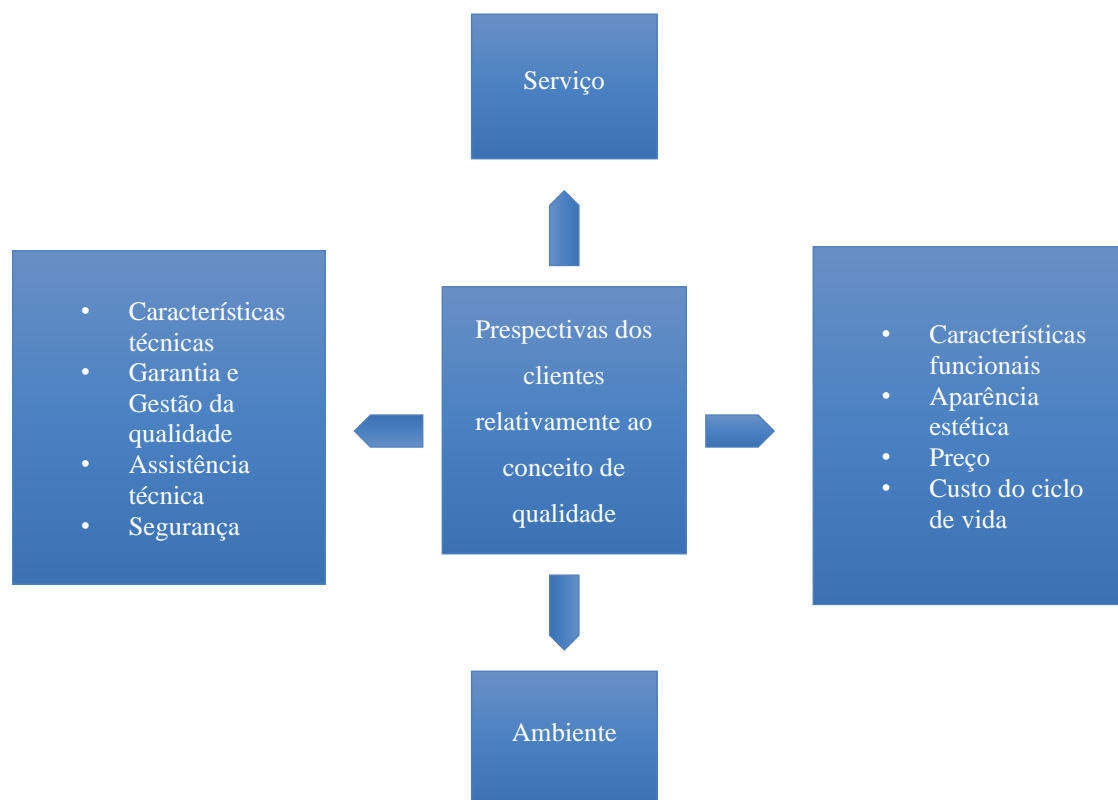


Figura 2.3 - Representação das várias dimensões associadas ao conceito de qualidade, adaptado de Nunes (2012).

Observando a tabela 2.1, no setor agroalimentar, consideram-se como características da qualidade vulgarmente controladas, o peso, o volume, teores de gordura, de açúcar e corantes. Todas estas características são controladas precisamente pelo departamento de qualidade da Fábrica de Pastelaria e Confeitaria São Silvestre, Lda. a qual se integra no sector alimentar.

Tabela 2.1 Exemplos de características da qualidade controlada em determinados setores de produção, adaptado de Nunes (2012)

Sector	Características da qualidade (exemplos)
Agroalimentar	Peso, volume, forma, teores de gordura, açúcar e corantes
Automóvel	Dimensões, peso do veículo, potência do motor
Construção	Dimensões (divisões), espessura das paredes, coeficientes de isolamento térmico e acústico.

Atualmente no mercado são inúmeras as organizações, pequenas, médias e grandes que necessitam de sobreviver à concorrência. Em tempos em que a oferta é grande, por vezes muito superior à procura, qualquer pormenor que distinga uma organização, de forma positiva de uma concorrente é um fator fundamental no que toca a conquistar o mercado. Um sistema de gestão da qualidade é, assim, uma mais-valia relativa a este aspeto. O cumprimento de normas e requisitos relativos à produção e desenvolvimento de produtos é um ponto positivo na conquista de clientes. É muito frequente, uma empresa possível cliente de outra, realizar uma auditoria antes de tomar a decisão de fechar negócio.

A implementação de um sistema de gestão da qualidade em qualquer organização requer esforço, planeamento e a colaboração por parte de todos dentro da empresa. Um aspeto de grande relevância é a seleção dos serviços de consultoria (caso haja necessidade), bem como os serviços de certificação através de um *Accredited Certification Body* (ABC), sendo que no caso de Portugal estes organismos pertencem à IPAC, Instituto Português de Acreditação (Silva & Melo, 2016). Neste sentido FPCSS, Lda. é credenciada pela ISO 9001:2015, referente aos requisitos de um sistema de gestão da qualidade. Ao cumprir estes

requisitos e especificações, a norma garante confiança aos clientes, dando cumprimento às suas expectativas. A análise subsequente, onde se detalham alguns dos pilares do SGQ não pretende ser exaustiva. Na prática, ela foi estruturada por forma a enquadrar as atividades desenvolvidas quotidianamente durante o período de estágio, as quais serão posteriormente listadas no capítulo 4.

2.2.1 Requisitos gerais do SGQ

Existe uma série de processos do sistema de produção regulados pelo SGQ sendo alguns deles listados a seguir:

- Gestão de encomendas;
- Gestão de compras;
- Conceção e desenvolvimento de produto;
- Produção e fornecimento do produto;
- Gestão de recursos;
- Gestão do SGQ;
- Gestão de informação e dados;
- Medição e monitorização.

No mapa de processos mostrado na Figura 2.4 é possível analisar as interações entre processos do SGQ da FPCSS, Lda.

Analisando a Figura 2.4, observam-se os processos basilares do Sistema de Gestão da Qualidade que são fundamentalmente os processos de gestão, de apoio e os processos fundamentais. Após efetuado o pedido do cliente, podem ser despoletados os seguintes processos: gestão de compras, produção e fornecimento do produto e gestão de recursos, conceção e desenvolvimento. Posteriormente analisam-se os requisitos necessários, isto é, recursos humanos, materiais, equipamentos e meios técnicos de suporte necessários ao fabrico do produto. Simultaneamente estabelecendo-se, com o cliente, contactos necessários, para esclarecimento de qualquer dúvida e concretizar a produção de forma a satisfazer as suas expectativas. O processo de conceção e desenvolvimento pode surgir a partir de uma iniciativa interna, quando se pretende desenvolver um produto novo, seja para abrir o leque existente aos clientes regulares ou de forma a explorar novos nichos de mercado, ou então surgir devido a um pedido específico por parte de um cliente.

Sempre que se verifique uma necessidade integrada no âmbito da aquisição de meios ou matérias-primas, de suporte ao fabrico de um produto, ou alocação de recursos humanos,

materiais e subcontratados, surge a interação entre os processos de gestão de encomendas e de compras (Costa, 2016).

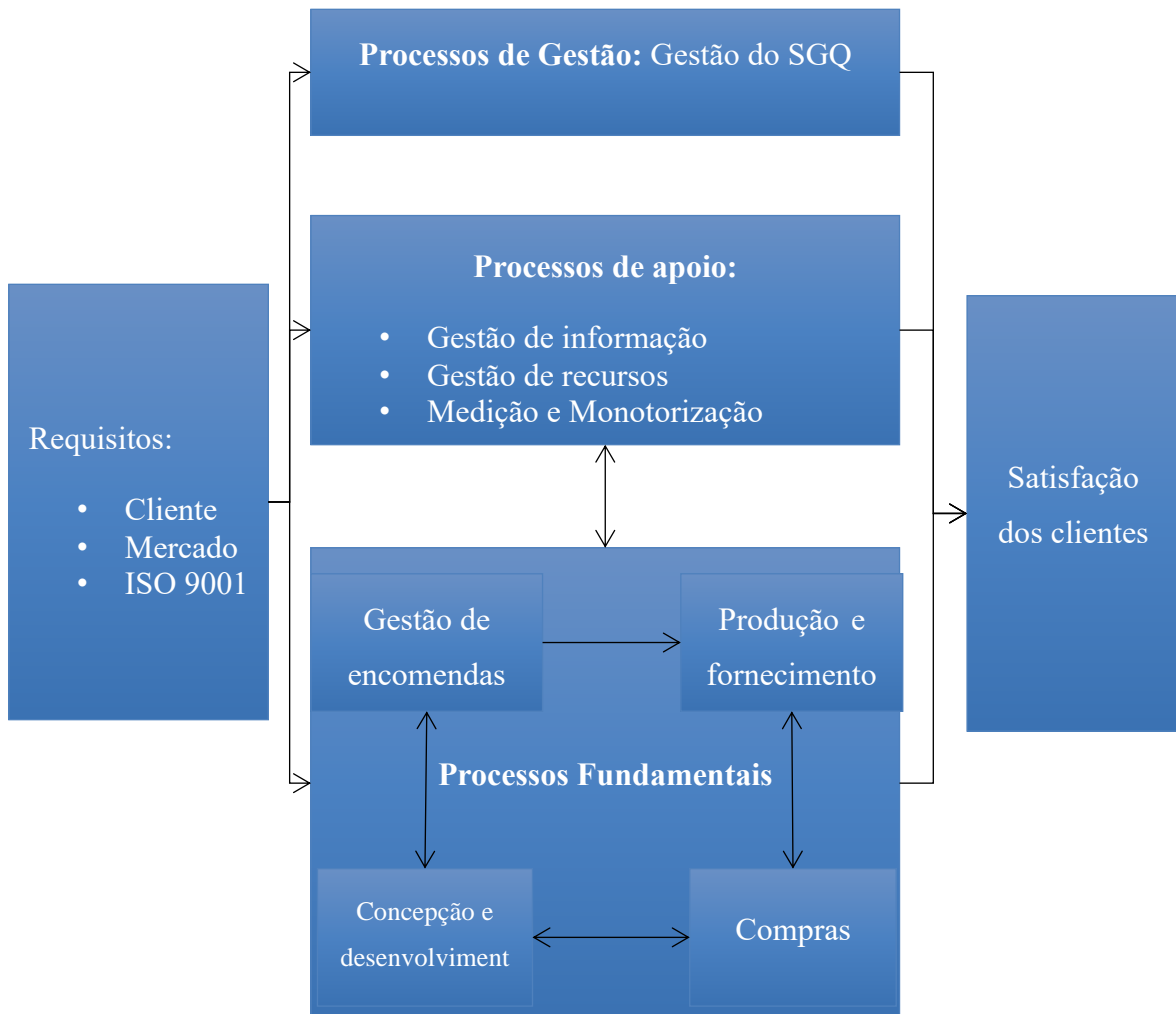


Figura 2.4 - Processos SGQ e respetivas interações, adaptado de (Nunes, 2012)

A gestão de recursos, medição e monitorização da qualidade e a gestão de informação e de dados são considerados processos de suporte que têm por base a informação e as necessidades dos restantes processos, proporcionando a melhoria contínua do sistema e satisfazendo as necessidades dos restantes. O processo de medição e monitorização avalia regularmente o grau de satisfação do cliente, atuando no processo de gestão de encomendas, bem como na produção e gestão de clientes, como fonte de informação para otimizar as metodologias adotadas. O processo de Gestão do SGQ aborda toda a parte de análise de dados e necessidades dos restantes processos, o que pode levar a melhorias no sistema através do estabelecimento de estratégias para a otimização de processos (Costa, 2016).

2.2.2 Requisitos da documentação

O SGQ é baseado numa estrutura documental com três níveis de atuação: estratégico, organizacional e operacional. A hierarquia da documentação pode ser analisada na Figura 2.5, que ilustra simultaneamente a documentação associada a cada nível.



Figura 2.5 - Diagrama representativo dos níveis de documentação relativa ao SGQ da Fábrica Pastelaria São Silvestre, Lda. Adaptado de (Costa, 2016).

É de notar na figura 2.5 que o protocolo vulgarmente usado para garantir ao cliente a segurança alimentar está situado ao nível organizacional, também designado como nível tático.

O nível estratégico remete-se às orientações globais da organização, quer a nível funcional, quer a nível estrutural, que servem de referência ao SGQ, tendo como suporte documental o Manual da Qualidade (MQ) específico da empresa em questão, os objetivos, a política da qualidade e a identificação dos processos. No que ao nível organizacional diz respeito, este descreve de forma integrada as disposições necessárias para cumprir os requisitos, sendo formalizado nos seguintes documentos: procedimentos da qualidade, manual de funções, manual de HACCP. Por último, no nível operacional, são utilizadas instruções de trabalho, esquemas que sistematizam de forma sequencial as etapas necessárias à execução de determinadas tarefas. Como auxiliares no desenvolvimento de ações estabelecidas utilizam-se impressos, documentos externos, normas, entre outros. Como

suporte ao SGQ da empresa é utilizado, como referido acima, um MQ onde se define naturalmente:

- A política de qualidade;
- O SGQ, nomeadamente a sua organização, meios e funcionamento;
- As responsabilidades dos departamentos e as respetivas interligações;
- Os procedimentos que permitem à organização a garantia da qualidade dos seus produtos

O MQ tem ainda como função:

- Servir de documento de referência a todos os colaboradores da empresa no que toca à qualidade;
- Permitir uma visão global do funcionamento da organização (Costa, 2016).

2.2.3 Sistema HACCP

Seguindo a hierarquia documental apresentada na secção 2.2.2, segue-se a descrição de um aspeto imprescindível a nível organizacional, o plano de HACCP, o qual merece aqui uma análise específica pela relevância no sector alimentar.

O sistema HACCP (*Hazard Analysis and Critical Control Point*) teve a sua origem nos anos 60 na empresa Pillsbury (EUA) nos laboratórios do exército dos Estados Unidos em colaboração com a NASA, sendo o propósito principal produzir alimentos seguros para o programa espacial da América do Norte. A metodologia em questão é recomendada para empresas do setor alimentar, desde 1980, por organizações como a Organização Mundial de Saúde (OMS), a Comissão Internacional de Especificações Microbiológicas dos alimentos (ICMSF) e a Organização das Nações Unidas para a Agricultura (FAO). O comité da Higiene dos Alimentos da Comissão do *Codex Alimentarius* publicou em 1993 um Guia para a aplicação do Sistema HACCP. Ainda no mesmo ano a União Europeia aprovou a Diretiva 93/94 do Conselho de 14 de Junho, depois transposta para o Direito Nacional através do Decreto-Lei nº 7/98, de 18 de Março.

O HACCP é um sistema preventivo de controlo de segurança alimentar que identifica os perigos específicos e as medidas preventivas para o seu controlo em todas as etapas de produção. Baseia-se numa abordagem sistemática, documentada e verificável. Este sistema envolve orientações que prevêm um conjunto de medidas preventivas, limites de controlo/parâmetros, procedimentos de verificação e ainda um conjunto de medidas corretivas. Apresenta-se a seguir, na tabela 2.2, um modelo genérico de um sistema de

autocontrolo concebido e baseado em 7 princípios gerais (FQA- Formação Qualidade e Auditoria Agro-Alimentar, Lda, 2002).

Tabela 2.2- Princípios do sistema HACCP, adaptado de (FQA- Formação Qualidade e Auditoria Agro-Alimentar, Lda, 2002)

Princípio 1- Identificação dos perigos e avaliação da sua severidade. Listagem de perigos e especificação de medidas preventivas de ataque.

Princípio 2- Determinação dos pontos críticos de controlo (PCC's) usando a árvore de decisão.

Princípio 3- Estabelecimento de limites em pontos críticos de controlo, que separem a aceitabilidade da não aceitabilidade com vista à prevenção, eliminação ou redução dos riscos identificados.

Princípio 4- Estabelecimento e aplicação de processos eficazes de vigilância em pontos críticos de controlo.

Princípio 5- Estabelecimento de medidas corretivas quando a vigilância indicar que um ponto crítico não se encontra sob controlo.

Princípio 6- Estabelecimento de procedimentos, a efetuar regularmente para verificar que as medidas referidas nos princípios de 1 a 5 funcionam eficazmente.

Princípio 7- Elaboração de documentos e registos adequados à natureza e dimensão das empresas, a fim de demonstrar a aplicação eficaz dos princípios 1 a 6.

A aplicação da metodologia HACCP é possível em todos os segmentos e setores da cadeia alimentar. A capacidade de determinada organização em implementar os princípios da metodologia em questão está dependente do seu grau de cumprimento das boas práticas de fabrico e de higiene. Para que a implementação seja bem-sucedida é necessário total compromisso e empenho da administração, bem como de todos os colaboradores. Contudo a aplicação deste protocolo deve basear-se na realidade específica da organização. Existe uma série de etapas a seguir para aplicar de forma correta os princípios descritos na tabela 2.2 que se podem encontrar no manual (Formação Qualidade e Auditoria Agroalimentar, Lda. 2002).

2.2.4 Norma ISO 9001:2015

Como já fora referido na secção 2.2 a Fábrica de Pastelaria São Silvestre é acreditada pela norma ISO 9001:2015. A certificação obtida por uma empresa indica a conformidade de determinados padrões para determinadas tarefas no desenvolvimento ou fabrico de produtos ou serviços. Especificamente, evidencia que o SGQ implementado está em conformidade com a norma, o que decorre de uma auditoria prévia. A certificação, de acordo com os requerimentos de alguns padrões, é o resultado satisfatório de uma avaliação independente conduzida por terceiros. Perante este caso, um padrão a seguir, trata-se de um documento, de aplicação voluntária que contém especificações técnicas baseadas nos resultados de desenvolvimento experimental e tecnológico que garante a conformidade com níveis de qualidade e segurança. Embora existam diferentes sistemas de acreditação, são os padrões da família ISO 9000 que regem os sistemas de gestão da qualidade de prestígio internacional e que incorporam vários aspetos do controlo de qualidade. O processo de acreditação envolve três fases: documentação, avaliação e classificação. Assim, após a última fase, se os resultados forem apropriados a certificação é emitida. O SGQ, na sua fase estacionária, segue os princípios do ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*), ciclo que pode ser observado na figura 2.6, e que é o motor da melhoria contínua (Betlloch-Mas, et al., 2018).

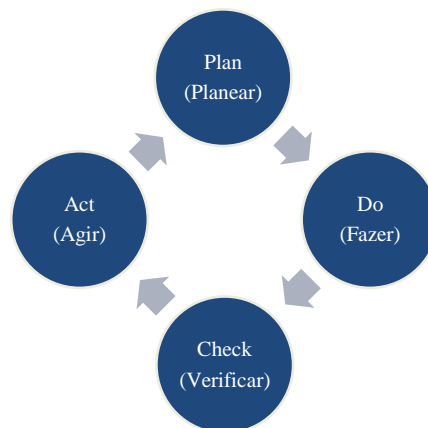


Figura 2.6 - Ciclo PDCA, adaptado de (Betlloch-Mas, et al., 2018)

2.2.5 Auditorias

Periodicamente a FPCSS, Lda. planeia e executa de forma sistemática auditorias internas de modo a averiguar o cumprimento dos requisitos do SGQ especificados pela fábrica e avalia se os mesmos se encontram em conformidade com os pressupostos da norma de referência.

Recorre-se a pessoal não envolvido nas actividades a serem auditadas para realizar as auditorias, garantindo, assim, a imparcialidade. Anualmente a empresa é alvo também de auditorias provenientes da SGS, entidade responsável por certificar e auditar o cumprimento de todos os requisitos da norma instalada, a ISO 9001:2015.

2.3 Sistema de gestão de produção

Outro dos sistemas fundamentais da empresa é o sistema de gestão da produção. Descrevem-se de seguida os principais aspetos do sistema em questão, os quais são referentes a Processos relacionados com o cliente, Concepção e Desenvolvimento, Compras, Produto e Fornecimento de Serviço, Identificação e Rastreabilidade, Monitorização, Medição e Melhoria Contínua.

2.3.1 Planeamento do fabrico de produto

O planeamento da produção inclui a definição de objetivos para os processos, requisitos aplicáveis, atividades, informação para a confeção do produto, documentos (suporte ao fabrico), recursos (acções de formação, equipamentos de monitorização), processos e parâmetros a controlar, bem como registos. De seguida é analisado o papel de cada um.

Armazenagem e utilização de produto

Os mecanismos de armazenamento de produtos perecíveis na FPCSS, Lda. funcionam com base na metodologia FEFO. Isto é, produtos cujo período de caducidade está mais perto de expirar são os primeiros a sair para produção. No que toca à matéria-prima ou produto semi-acabado existem três categorias na fábrica. A primeira engloba os produtos armazenados a temperatura ambiente num armazém geral, como farinhas, misturas para pastelaria, geleias e cremes de decoração, pastas de açúcar, etc. A segunda engloba produtos armazenagem é feita em câmaras de refrigeração com temperaturas entre 2° e 5° C, como ovos, enchidos, queijos, manteigas, cremes de ovo entre outros. Por último, os produtos congelados, maioritariamente semi-acabados, são armazenados em câmaras de congelação com temperaturas, preferencialmente, abaixo de 18°C negativos. Toda a mercadoria recepcionada que não apresente uma data de validade, como embalagens, plásticos, loiças, cartões, etc., é armazenada e retirada seguindo o princípio FIFO, ou seja é utilizada por ordem de chegada.

Processos Relacionados com o cliente

A organização previamente a fechar um compromisso de entrega de produto a um cliente, revê os requisitos relacionados com o mesmo de forma a garantir que:

- Os preceitos de processamento do produto estão definidos;
- As eventuais diferenças relativamente aos requisitos do produto são resolvidas;
- A empresa tem aptidão para cumprir os requisitos definidos (Costa, 2016).

Surge aqui um aspeto de enorme relevância, a comunicação com o cliente. Esta compete aos Departamentos de Qualidade, Produção e Financeiro, por forma a garantir toda a existência da informação necessária de modo a assegurar a identificação e satisfação das necessidades e expetativas dos clientes, nomeadamente:

- Informação sobre produto;
- Questionários, contratos ou encomendas, incluindo retificações ou alterações;
- Retorno de informação do cliente.

Concepção e Desenvolvimento

A empresa identifica e analisa os requisitos do mercado ou produto, os requisitos legais e regulamentares, informações resultantes de concepções anteriores, informações adicionais e alterações resultantes da atividade de revisão. Durante este processo são obtidos resultados, é gerada toda a documentação e registos resultantes de todo o processo de controlo. De modo a garantir a adequabilidade e eficácia dos vários resultados das fases de concepção e desenvolvimento são realizadas revisões onde se identificam problemas a ter em consideração e a resolver em fases posteriores. A validação do produto resultante do processo de concepção é efetuada pela equipa responsável e posteriormente, através da recolha de informação nos postos de venda, é analisada a aceitação do produto. São identificadas, registadas e controladas todas as alterações da concepção e desenvolvimento (Costa, 2016).

Aplicação informática *SIM!PAN*

Todas as actividades realizadas ao nível da produção têm como suporte informático a aplicação *SIM!PAN*, *software* de gestão integrada para a indústria de panificação e pastelaria. Através desta são lançados os mapas de produção, é realizada a faturação de encomendas e gestão de compras, entre outros. A aplicação apresenta três interfaces, sendo uma alocada às operações de escritório e as outras duas associadas a operações de produção. São efetuados todos os registos de produção pelo colaborador responsável após fabrico de

produto antes da etapa de cozedura, através da segunda interface. A terceira serve para imprimir as etiquetas com toda a informação relativa ao produto, desde o nome, informação nutricional e ingredientes utilizados. Na aplicação está acessível toda a informação relativa a *stocks* desde o produto em prateleira, não cozido e respectiva câmara de armazenagem bem como as saídas de produtos para clientes que constam nos mapas de faturação. A aplicação desempenha ainda um papel fundamental no que toca à avaliação de fornecedores e à rastreabilidade dos lotes produzido pois é através do *software* que se realizam os respetivos relatórios.

Compras

Um processo fundamental à produção é o que remete para a gestão de compras a efetuar. A FPCSS, Lda. especifica os produtos a adquirir, inspecciona os mesmos e avalia de forma contínua os seus fornecedores, presentes numa lista de fornecedores qualificados, acessível no *software* de apoio à produção *SIM!PAN*.

Toda a informação relativa à avaliação dos produtos recepcionados fica registada no controlo de recepção efetuado através da aplicação informática referida. Consta no documento da compra toda a informação relevante, relativa à descrição do produto a adquirir e a respetiva validação da compra. No plano de controlo de recepção, encontra-se definida a forma como são realizadas todas as verificações necessárias para cada tipo de produto. Caso a gerência entenda necessário pode pedir uma verificação do produto comprado nas instalações do fornecedor, sendo feita a referência a esta intenção no documento de compra.

Produto e fornecimento de serviço

De modo a garantir a qualidade dos seus produtos, a fábrica planeia e leva a cabo a produção e fornecimento do produto sob condições controladas, pondo ao dispor dos colaboradores toda a informação necessária, assegurando a utilização dos equipamentos de forma apropriada, assim como a disponibilidade dos dispositivos de monitorização e medição necessários ao controlo dos processos.

O planeamento da produção é efetuado com recurso ao *software SIM!PAN*, sendo que são efetuadas as devidas atualizações aquando do desenvolvimento de novos produtos ou processos de confecção. Cabe ao diretor de produção, departamento financeiro ou ao departamento de qualidade esta responsabilidade. A informação necessária, bem como a documentação e recursos aplicáveis, estão definidos nas ordens de produção e instruções de trabalho. A revogação de produtos que apresentem não conformidades cabe ao chefe das

operações, departamento da qualidade, ou pessoa nomeada para tal na ausência dos dois anteriores.

Identificação e rastreabilidade

A organização utiliza um método de rastreabilidade e identificação de produtos baseado em *kanbans* aplicado no processo de produção. A identificação é assegurada desde a receção da matéria-prima até ao produto final. Este processo pode ser analisado por um relatório fornecido pelo sistema de suporte *SIM/PAN*; na secção 4.1 analisa-se um exemplo de aplicação.

Monitorização e medição do produto

Os processos de produção são supervisionados pelos diretores de qualidade ou de produção. A metodologia de monitorização e medição é realizada através da análise de indicadores, assegurando, desta forma os cumprimentos dos requisitos do cliente, conformidades do sistema e, ainda, da gestão da melhoria contínua. É efetuado um controlo estatístico através da medição de alguns parâmetros físicos dos produtos como peso, comprimento antes e pós cozedura. Posteriormente todos os dados são analisados por recurso a aplicações computacionais. A análise aos indicadores é efetuada nas revisões do SGQ e em reuniões de acompanhamento trimestrais tendo como objetivo o acompanhamento das metas estabelecidas. Quando se verifica que os objetivos propostos não foram atingidos é avaliada a necessidade de implementar acções corretivas (Costa, 2016).

Satisfação dos clientes

Anualmente a fábrica realiza relatórios de satisfação do cliente, que maioritariamente são efetuados por via telefónica, onde o responsável pela elaboração do relatório questiona o cliente relativamente à qualidade do produto e do serviço de distribuição anotando as respostas dos inquiridos numa grelha específica do inquérito. Aos clientes que preferem responder diretamente em papel é-lhes enviado um inquérito em formato digital posteriormente remetido com as respostas assinaladas. Todos os inquéritos são posteriormente tratados e analisados. Após tratamento os mesmos servirão de suporte a auditorias e acções de melhoria.

Fornecedores

Relativamente a fornecedores o contacto é feito por duas vias, presencial e telefónica. O contacto presencial por norma dá-se aquando da entrega de material, seja este matéria-

prima, produto semi-acabado, produtos para os balcões ou embalagens para expedição, entre outros. Na receção do material é confirmada a carga com a fatura apresentada, bem como a sua conformidade. O contacto telefónico normalmente parte da necessidade de se efetuarem encomendas ou reclamar alguma não conformidade apresentada na faturação ou na carga entregue.

Melhoria contínua

Atualmente a melhoria contínua está cada vez mais incorporada no cerne de qualquer organização, ou pelo menos nas que se pretendem distinguir da concorrência de modo atacar o mercado mais eficazmente. Deste modo a Fábrica de Pastelaria e Confeitaria São Silvestre, Lda. assegura a melhoria contínua e a eficácia SGQ através da análise de:

- Resultados das auditorias internas;
- Resultados das acções corretivas e preventivas;
- Análise de indicadores de performance e balanço da qualidade;
- Revisão do SGQ.

Fluxograma de produção

Com o culminar das descrições do sistema de gestão da produção segue-se um fluxograma, figura 2.7, que contextualiza a linha de produção onde trabalhei durante o período de estágio. Note-se que a resolução do problema optimização de lotes descrito na secção 1 visa os *stocks* de produto acabado, representando-se na figura seguinte pelo passo “armazenagem em câmara de congelação de PA”.

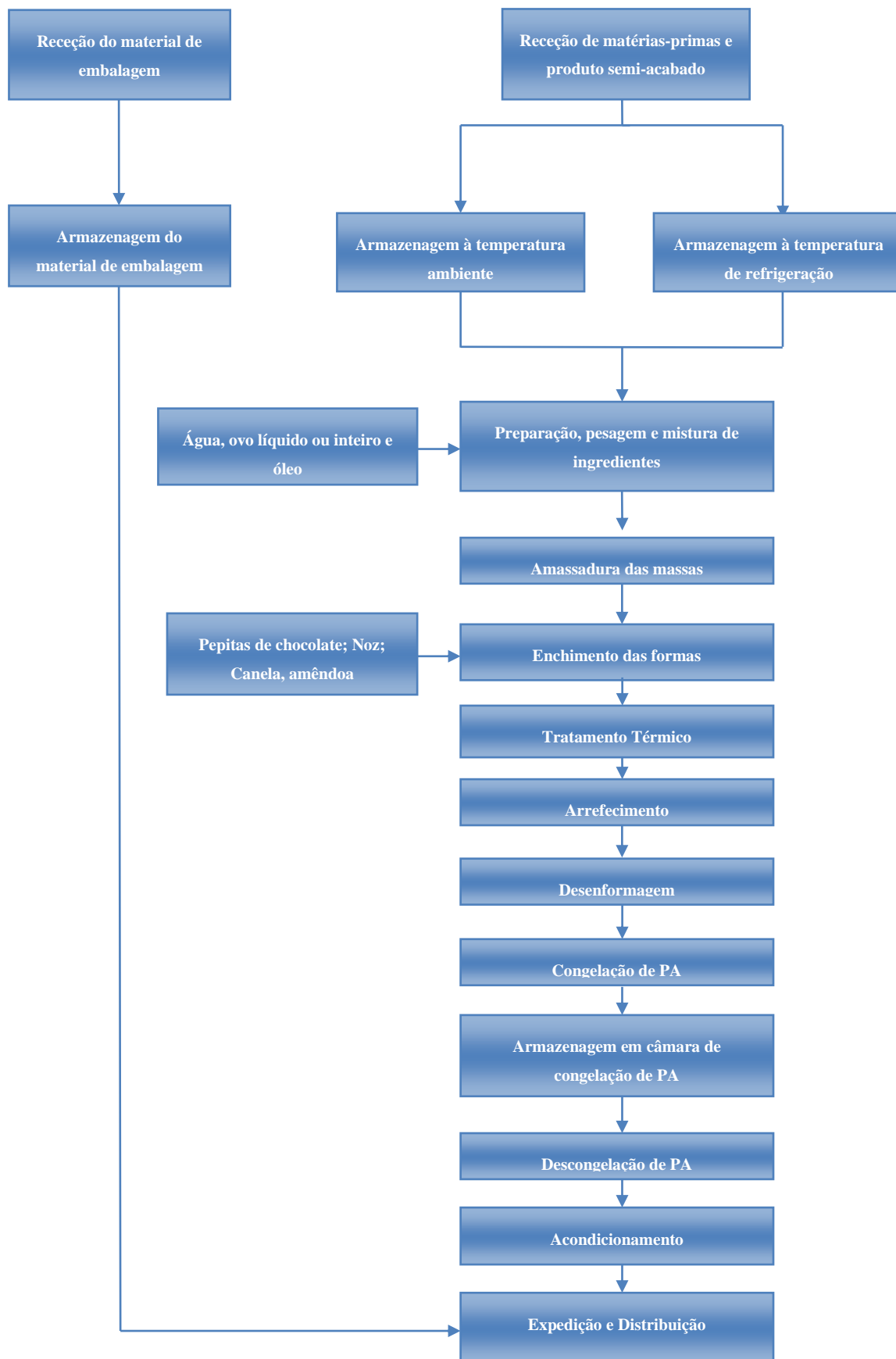


Figura 2.7 - Fluxo representativo da produção dos queques, adaptado de (Fábrica de Pastelaria São Silvestre Lda., 2019)

3 Enquadramento Teórico

No capítulo anterior descreveram-se os fundamentos genéricos dos sistemas onde a actividade diária do estágio esteve centrada. É de notar que estes fundamentos, apesar de relevantes, apenas vagamente influenciam as actividades conducentes à optimização de *stocks* que conforme se estabeleceu no capítulo 1, constitui o problema central analisado no âmbito do estágio. O seu ataque requer uma análise consubstanciada do estado do conhecimento relativamente à gestão de *stocks*, particularmente quando aplicada a produtos perecíveis. Assim, este capítulo tem por objectivo caracterizar o estado da arte da gestão de *stocks* de produtos alimentares. O seu objetivo não é fazer uma análise extensiva das metodologias existentes, mas antes configurar as bases da estratégia proposta para a resolução do problema. O presente capítulo divide-se em três subsecções. A primeira refere-se aos princípios básicos da gestão de *stocks* e a algumas das operações fundamentais, bem como a optimização de inventários. A segunda foca-se em modelos de gestão de *stocks* perecíveis enfatizando a optimização de lotes pela minimização do custo de produção em *batch*, e da degradação da qualidade percebida modelada por cinéticas de degradação comuns. A terceira e última parte aborda de forma superficial alguns conceitos genéricos da estatística uma vez que serão necessários no tratamento de dados a levar a cabo para parametrizar o modelo de optimização de *stocks* desenvolvido. Finalmente, analisa-se sumariamente os conceitos fundamentais referentes à optimização não linear.

3.1 Gestão de *stocks*

A gestão de materiais, normalmente, implica a gestão da corrente de informação associada ao seu fluxo ao longo da linha de produção, desde a origem até ao consumidor final. A gestão de *stocks*, por seu lado, incide apenas sobre as existências (matérias primas, trabalhos em curso, componentes e produtos acabados) armazenadas e em espera para posterior utilização. Por sua vez a gestão da cadeia de abastecimento (*Supply Chain Management*) trata-se de um conceito que tende progressivamente a enquadrar aspetos tradicionais no que à gestão de materiais diz respeito e que abrange a gestão de compras, armazenagem e distribuição, criando assim uma perspetiva integrada à gestão de materiais. Esta conceptualização é hoje normal ao nível da gestão de inventários.

No diagrama que se segue, Figura 3.1, podem observar-se três tipos de *stock* a ter em conta e que conjugadamente determinam para a optimização da produção.

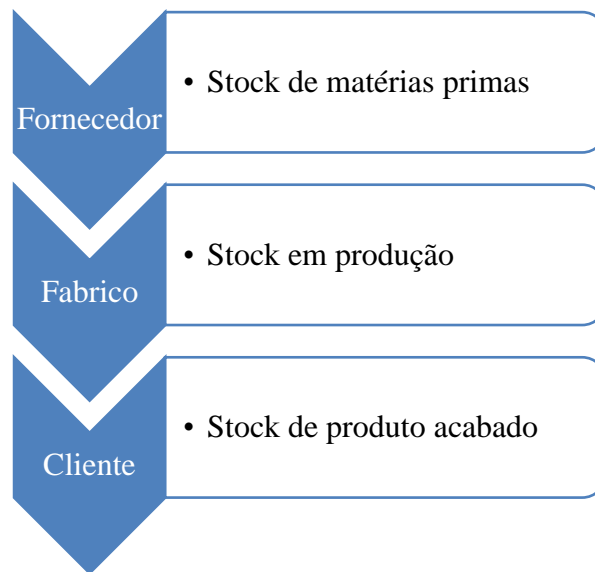


Figura 3.1- Diagrama com fluxo dos três tipos de stock, adaptado de (Roldão & Ribeiro, 2014)

Posto isto, os objetivos fundamentais que existem na criação de um stock são os seguintes:

- Garantir a segurança contra variações na procura interna e externa;
- Manter a independência entre operações e criar flexibilidade;
- Criar uma defesa contra atrasos na entrega por parte de fornecedores.

O cumprimento destas funções tem, no entanto, custos associados cuja tendência é serem minimizados utilizando técnicas específicas e, criando sistemas de informação que permitam nomeadamente:

- Determinar as necessidades a tempo;
- Conseguir o abastecimento de forma a evitar ruturas de produção;
- Definir quais os materiais que importam manter em *stock*;
- Reduzir encargos de funcionamento;
- Manter uma elevada rotação de *stocks* de forma a melhorar a rentabilidade da empresa (Roldão & Ribeiro, 2014).

Para além dos tipos de *stock* referidos consideram-se ainda outros dois tipos, *stocks* “imprevistos”, ou seja, involuntários, e *stocks* “intencionais”, porque se consideram inerentes ao modo de produção. De forma mais detalhada listam a seguir as origens de *stocks* imprevistos:

-
- Erros nas previsões de procura;
 - Produção em quantidades superiores às necessárias com a consequente tendência de aumento dos *stocks*;
 - Produção por lotes (caso da FPCSS, Lda.)
 - Diferença de cadência dos meios de produção ou do seu funcionamento aleatório.

Quanto à origem dos *stocks* intencionais, ela tem como fontes:

- Produção antecipada devido a prazo prolongado entre a encomenda e a produção;
- Produção antecipada para nivelar flutuações da procura;
- *Stock* necessário para compensar as irregularidades na gestão do fabrico, do controlo e dos transportes;
- *Stock* de segurança para situações de avaria das máquinas ou produtos com defeito;
- *Stocks* resultantes da produção de lotes de grande dimensão, de modo a evitar longos tempos de mudança de campanha (Courtois, et al., 2003).

A seguir detalham-se alguns conceitos relevantes nesta caracterização.

3.1.1 **Stock de Segurança**

Para a maioria das situações, o valor da procura não é conhecido nem constante o que origina a necessidade de manter um *stock* de segurança que cubra eventuais flutuações da procura e evite ruturas. A função deste inventário de segurança é assegurar proteção contra a variação de prazos de entrega e dos consumos através da criação de um patamar abaixo do qual o *stock* só deverá baixar em casos excecionais, minimizando o perigo de rutura.

O *stock* de segurança previne aumentos inesperados da procura, bem como prazos de entrega maiores que o esperado. Aspetos fundamentais a conhecer neste contexto são:

- o nível de procura;
- a forma como se comporta a procura (padrões de procura).

Desta forma, o *stock* de segurança depende fundamentalmente do padrão da procura conjugada com o prazo de entrega, sendo função do serviço ao cliente e do risco que se pretende assumir na relação com o mesmo (Roldão & Ribeiro, 2014).

3.1.2 **Otimização do nível de *stock***

O principal objetivo na optimização de *stocks* foca-se em conjugar a minimização do mesmo com um nível satisfatório de serviço ao cliente. Aqui um aspeto fundamental é a natureza do produto. O nível de *stock* depende naturalmente de dois fatores: as entradas e as saídas.

Contudo, muitas vezes não é possível atuar em relação às saídas (reclamadas pela produção) e a única forma de regular o nível médio de *stock* é modificar a política de entradas.

Na Figura 3.2 observa-se um caso genérico de consumos regulares e de entradas periódicas no tempo, de quantidades Q , sendo o *stock* médio igual a $Q/2$. Ao analisar o comportamento representado constata-se que para diminuir o nível médio do *stock* basta reduzir o tamanho do lote Q , contudo esta afirmação não é uma analogia simples pois a produção de um lote envolve custos (de emissão das encomendas para as compras e da mudança de campanha de fabrico) e consequentemente estes custos aumentam com o número de *batches*. Atinge-se um momento em que o aumento do custo das *batches* ultrapassa o ganho financeiro da redução de *stock* fazendo com que o resultado global não seja o mais favorável. Posto isto, o objetivo passa por determinar uma quantidade Q que conduz a um custo global mínimo enquadrando a soma dos custos de armazenagem e produção, designando-se esta quantidade por quantidade económica (Courtois, et al., 2003).

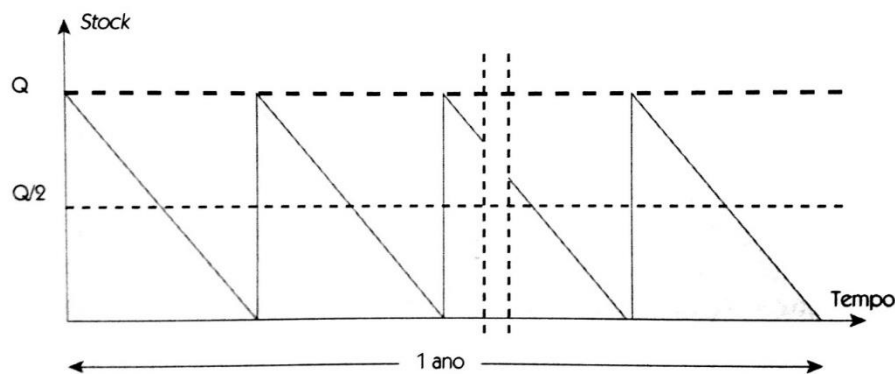


Figura 3.2 - Evolução teórica do nível de stock, retirado de (Courtois, et al., 2003)

3.1.3 Operações da gestão de *stocks*

A gestão de *stocks* numa empresa representa um processo que tem de ser tratado com todo o cuidado e com o maior detalhe. Só assim será possível conhecer e controlar o estado dos *stocks* permanentemente. Para que se tenham estes cuidados é necessário seguir um conjunto de operações, onde se destacam:

- a armazenagem;
- a gestão das entradas/saídas;
- os inventários.

Seguidamente analisam-se cada uma destas componentes.

3.1.4 Armazenagem

Os *stocks* de uma empresa são guardados em armazéns, por vezes apenas somente num, mas noutros casos são necessários dois ou mais armazéns. Isto de forma a manter os produtos, sejam matéria-prima ou produtos acabados, arrumados no período que medeia entre a receção e a sua utilização/expedição. Esta gestão enquadra dois tipos de organização:

- **Gestão mono-armazém** - para este tipo de organização todos os produtos são armazenados e geridos num único local. Tem a vantagem de simplificar a gestão dos *stocks*, mas envolve necessariamente numerosas movimentações com os respetivos atrasos e custos.
- **Gestão multi-armazéns** - de forma a minimizar as movimentações às vezes é preferível distribuir os *stocks* por diversos armazéns. Cada armazém agrupa produtos por tipo (produtos acabados, matérias-primas) ou em função da proximidade geográfica.

Para os produtos também é possível distinguir dois modos de gestão:

- **Gestão mono-localização** - cada artigo é armazenado num único local, o que facilita o controlo das quantidades desse mesmo artigo, bem como as operações de controlo de inventário. Contudo, apresenta os problemas da movimentação agregados à gestão mono-armazém.
- **Gestão multi-localizações** - neste tipo de gestão um artigo pode ser armazenado em vários locais. As operações de movimentação tornam-se mais fáceis, mas por outro lado torna-se difícil ter uma visão global dos *stocks*. Além de problemas de controlo de inventário que este tipo de gestão gera, é possível ter um artigo em rutura num armazém e encontrá-lo disponível num outro. No entanto, é um tipo de modelo gestão que está mais de acordo com a gestão no ponto de utilização indicada pelo método *just-in-time*.

3.1.5 Gestão de entradas e saídas

De forma a permitir o controlo das quantidades em *stock*, cada movimento dos itens armazenados (entrada ou saída) deve corresponder sempre a uma transação. Para que esta última seja adequada, o ideal é que os movimentos sejam registados em tempo real pelo sistema informático de gestão de *stocks*. Assim, é possível conhecer o estado do inventário

em tempo real. A relação entre as quantidades reais em *stock* e as quantidades indicadas pela gestão de *stocks* (sistema de informação) depende do rigor com que os movimentos são registados. Um erro de introdução de dados traduzir-se-á numa disparidade entre a realidade e as quantidades indicadas nos ficheiros. Para uma gestão rigorosa é fundamental restringir o acesso aos armazéns apenas a pessoas autorizadas.

A gestão das entradas e saídas compreende dois tipos de transação:

- **Receção** - consiste na entrada de um produto em armazém. Para este tipo de transação é necessário verificar a conformidade e a quantidade dos produtos recebidos.
- **Entrega** - os artigos solicitados são retirados de *stock* com base na encomenda do cliente (produtos acabados) ou numa ficha de saída (produtos fabricados).

3.1.6 Inventários

De forma a verificar a qualidade do estado dos *stocks*, isto é, verificar diferenças existentes entre stock real e os registos informáticos, é necessário, periodicamente actualizar inventários e, eventualmente, actualizar o registo informático. A realização da tarefa de inventário consiste, assim, na recontagem dos produtos em prateleira armazenados podendo ser encontrados três tipos de inventário, a listar:

- **Inventário permanente** - consiste em manter, de forma permanente, actualizadas as quantidades de cada artigo em *stock* através das transações (caso da FPCSS, Lda.).
- **Inventário intermitente** - este tipo de inventário é realizado no fim do exercício contabilístico, significando que é feito geralmente uma vez por ano. Abrange todos os artigos da empresa, gerando uma elevada carga de trabalho inclusive podendo perturbar a atividade da empresa
- **Inventário rotativo** - consiste em examinar o *stock* por grupo de artigos e em verificar a sua exatidão em termos de quantidade e localização dos mesmos. São definidas, usualmente, frequências de realização de inventário rotativo diferentes de acordo com a importância do artigo. Será realizado, por exemplo, um inventário trimestral para os artigos de classe A, um inventário semestral para os artigos de classe B e um inventário anual para os de classe C (Courtois, et al., 2003).

3.2 Modelos de gestão para inventários perecíveis

Muitos dos conceitos apresentados na secção 3.1 são referentes a *stocks* para produtos que aparentemente não necessitam de condições especiais de armazenagem, pois existe outro tipo de *stocks*, designados de bens perecíveis, que exigem requisitos muito específicos de acondicionamento. Estes podem ser alimentos, ingredientes, matérias-primas ou até mesmo medicamentos. De modo geral, são produtos que apresentem um período de caducidade e degradação com impacto nas características da qualidade.

A grande parte dos bens perecíveis são armazenados em salas de congelação, sendo este um modo de preservação alimentar bastante efetivo. Contudo, alguns sistemas de congelação mostram eficiências baixas o que promove a criação de cristais de gelo nos produtos levando à degradação da qualidade percebida dos mesmos. Nestes casos, o ideal será manter o produto em prateleira o mínimo de tempo possível (Zhang , et al., 2018).

A extensão do tempo de prateleira é importante, não apenas para produtores de bens alimentares, como também para empresas vendedoras de aplicações e equipamentos de refrigeração/congelação, uma vez que estes equipamentos afetam a qualidade do produto alimentar e proporcionam o aumento do desperdício. Praticamente os processos de refrigeração e congelação estendem o tempo de caducidade destes bens. No entanto, apesar destes métodos de conservação, a qualidade percebida do produto vai-se degradando com o tempo de armazenamento (Remington, 2017).

Um grande problema adjacente a *stocks* perecíveis é o seu tempo limitado de prateleira, como já se referiu, o que provoca a necessidade de garantir condições específicas de temperatura e humidade, seja a nível de armazenagem seja de transporte. Falhas no cumprimento destes requisitos podem resultar na perda de qualidade dos produtos, o que de forma direta leva a perdas financeiras. Todos estes pormenores dão relevo ao facto de que é imprescindível melhorar toda a logística agregada a este tipo de bens, incluindo a otimização dos processos de controlo dos inventários. Quando se aborda esta problemática o grande foco incide na otimização dos tamanhos dos lotes a produzir, tempos de produção, custos dos materiais e dos respetivos produtos, armazenamento e manutenção das ordens de produção (Filina-Dawidowicz & Postan, 2016)

Fauza *et al* (2018) fala na existência de perda de valor, devido à perda de qualidade percebida, perdas essas que podem ser exponenciais ou lineares, consoante as características do produto. Este fenómeno nasce do facto da vontade do cliente em adquirir

um determinado bem alimentar diminuir à medida que o produto se aproxima do final da sua data de validade (Fauza, et al., 2018).

Muitos modelos de optimização de inventários perecíveis foram desenvolvidos e analisados extensivamente, seja por aproximação determinística, seja incorporando componentes estocásticas. Em aproximações determinísticas os parâmetros são assumidos como conhecidos e o objetivo é formulado sob restrições fixas. Na realidade, a informação disponível sobre os inventários de produtos degradáveis, muitas vezes não está actualizada ou precisa, mas sim vaga, imprecisa ou insuficiente. Consequentemente, a modelação matemática de tais sistemas de armazenamento com precisão específica nem sempre é direta. Quanto a este aspeto a teoria da probabilidade proporcionou um bom ponto de partida no que toca à tomada de decisão sob condições de risco e incerteza (Goyal & Giri, 2000).

Como anteriormente se referiu, no que toca a produtos alimentares a sua qualidade percebida diminui com o tempo enquanto a sua quantidade em *stock* permanece a mesma durante certos períodos. A respeito da armazenagem, o trabalho levado a cabo por Fauza *et al* (2018) pretende desenvolver um modelo onde são usadas três variáveis, nomeadamente, a taxa de saída, o tamanho do *batch*, e o modo de transporte. As referidas variáveis são determinadas de modo a minimizar o custo total do sistema da cadeia de abastecimento. Estas aproximações adequam-se a produtos alimentares frescos, onde a degradação física pode ser facilmente avaliada pelos clientes. O objetivo fundamental, neste caso, é desenvolver um modelo de produção-inventário integrado para produtos alimentares tendo em conta o valor perceptual perdido. Vários testes mostraram que o modelo exponencial de perda de valor perceptual permite aumentar o lucro caso seja utilizado para gerir produtos onde a disponibilidade de pagamento do cliente decresce linearmente à medida que o bem se aproxima da sua data de caducidade. Com os parâmetros utilizados verificou-se que a performance do modelo exponencial obteve resultados mais satisfatórios do que um modelo clássico, uma vez que os lucros conjuntos do modelo proposto aumentaram significativamente (Fauza, et al., 2018).

Os resultados do trabalho de Filina-Dawidowicz & Postan (2016) mostraram que o modelo de optimização proposto pode fornecer uma base metodológica para companhias de abastecimento nas suas atividades de investimento e medidas para melhorar as tecnologias de armazenagem para produtos perecíveis. Para este propósito é necessário criar uma base de dados relevante, colher informação essencial relacionada com os parâmetros iniciais do modelo de optimização e aplicar o respetivo modelo.

Haijema (2014) debruça-se sobre a investigação de redução de custos a qual pode ser alcançada através de políticas ótimas de *stock* dependentes do volume de saídas (*picking*) e eliminação, obtidas através de programação dinâmica estocástica (*Stochastic Dynamic Programming*) aplicada a um problema de otimização. As encomendas são produzidas antes da incerteza da procura ser revelada. Quando a procura se torna demasiado baixa, uma política de eliminação é ativada de forma a eliminar o excesso de *stock* (produtos com maior tempo de prateleira).

O controlo de inventário de produtos perecíveis envolve pelo menos três problemas de otimização: determinar uma política de encomendas, uma política de emissão de ordens (preparação de encomendas) normalmente conhecida da literatura como *picking*, e ainda uma política de eliminação de produtos. Desta forma, a política de encomendas prescreve a quantidade ótima a encomendar, a política que trata das expedições (*picking*) define a ordem pela qual os produtos são retirados da prateleira e por último a política de eliminação de material trata da quantidade a retirar de *stock*. Em muitos estudos as políticas de encomendas costumam ter como limite inferior o *stock* base e no que toca a modelos para *picking* estes costumam ser do género FIFO (*First In First Out*), LIFO (*Last In Last Out*) ou uma mistura das duas metodologias.

Cada um dos três problemas de otimização referidos pode ser formulado como um problema de decisão Markoviano. A função objetivo a minimizar trata-se de uma função linear baseada nos custos de inventário, custos de escassez de produto, custos de desperdício e ainda custos de descontos ou perdas de valor por emitir ordens de *picking* de produto antigo, com término de validade no dia em que a encomenda é preparada. Nos modelos Markovianos utilizados assume-se um único tipo de consumidor cuja procura pode ser satisfeita por produtos com qualquer idade m . Considera-se também a otimização integral dos modelos de encomenda e de eliminação de produtos. Haijema (2014) apresenta um modelo de decisão de Markov que simultaneamente otimiza as duas políticas referidas podendo ser usado isoladamente para cada uma. As políticas de encomenda e eliminação, dependentes do nível de *stock*, são calculadas através da formulação do problema de otimização como um modelo com horizonte infinito, podendo este ser resolvido através de iterações, tratando-se de um caso especial de programação dinâmica estocástica. No entanto, quando decisões de encomenda e rejeição de produto são realizadas simultaneamente, estas são modeladas em duas etapas diferentes de forma a evitar elevada dimensionalidade do

problema. Assim, as duas têm por base o estado do *stock*, tratando-se do número de itens armazenados de cada categoria de idade m .

O objetivo fundamental é minimizar os custos totais para um horizonte infinito. Os custos totais para n dias são divididos em custos expectáveis por dia, o que se pode denominar também de contribuição direta para a função objetivo. Os custos por dia são ainda repartidos em custos por etapas. A primeira etapa está relacionada com o período em que é feita a encomenda e vai até ao instante imediatamente antes da decisão de eliminação de bens. A segunda fase decorre a partir da decisão de rejeição de produtos até à nova ordem de encomenda do dia seguinte, fase que enquadra apenas custos de desperdício.

Longos tempos de cálculo podem dificultar a aplicação direta dos modelos na prática, ainda assim os mesmos, e os seus resultados, são de valor prático:

- Os resultados indicam o quanto se pode ganhar ao usar políticas de optimização invés de políticas baseadas no nível de *stock*;
- Os resultados de modelos optimizados de eliminação de produtos desencadeiam pesquisas de estratégias da forma de melhorar a gestão dos inventários (Haijema , 2014).

Tecnologias como *Radio Frequency Identification* possibilitam uma administração eficiente de quantidade e dos tempos de inventário (Broekmeulen & Donselaar, 2009). O modelo baseia-se em procura estocástica, padrões de procura semanais, tempos de espera positivos e tamanhos de lotes. Na maioria das vezes, no que toca a literatura, é assumida uma política de uso de produto do tipo *FIFO*, mas na prática os consumidores preferem o modelo *LIFO*, particularmente em ambientes que os mesmos consigam analisar a data de caducidade do produto e onde lhes é permitido seleccionar os itens que pretendem adquirir.

Broekmeulen e Donselaar (2009) utilizaram no seu trabalho uma simulação discreta de eventos do processo retalhista de produtos perecíveis. A política de reposição de inventário proposta é chamada de política EWA (*Estimated Warehouse Arrival*). Descrevendo este modelo, a ordem de reposição é criada apenas quando a posição do inventário está estritamente abaixo do nível que é suposto. Para este caso um número de itens, cada um com tamanho Q , é requerido, para trazer o inventário para a posição desejada, ou então para que este fique apenas acima do nível mínimo. É de notar que o estado do inventário é a soma do inventário em *stock* e o inventário em trânsito. E de acrescentar que o nível de reposição de inventário é definido para cada dia da semana separadamente, uma vez que é necessário lidar com padrões semanais de procura. Com a vantagem da tecnologia

RFID, o modelo EWA torna-se uma solução bastante prática para um retalhista que gere grandes quantidades de produtos perecíveis (Broekmeulen & Donselaar, 2009).

No trabalho desenvolvido por Avinadav *et al.* (2013) os autores formulam um modelo para determinar os preços ótimos, quantidades a encomendar e períodos de reposição para itens perecíveis com procura dependente de tempo e preços. Assume-se tempos de prateleira fixos e a taxa de procura é decrescente apresentando uma curva linear para o preço de venda e uma forma polinomial após a reposição. Os autores provam que o problema de maximização com três variáveis pode ser reduzido a um problema de uma variável sendo esta a duração do período de reposição.

O modelo matemático de otimização de lotes de Chen *et al.* (2013) pretende superar algumas falhas do trabalho de Liao *et al.* (2012). Estes autores pretendem também aplicar alguns resultados teóricos aplicáveis a programas convexos fracionais de forma a provar que o custo total variável anual é uma função pseudo-convexa. Consequentemente, existe uma única solução ótima, o que simplifica a procura pela solução mínima global a uma solução mínima local (Chen, et al., 2013).

Zhang e Wang (2018) referem que a qualidade decresce de forma aleatória ao longo do período de armazenamento, o que provoca a formação de múltiplos níveis de qualidade, tornando os registos de inventário imprecisos. Isto é, torna-se difícil fazer uma análise precisa das quantidades armazenadas para os diferentes níveis de qualidade apresentada pelos produtos. De forma a resolver tal problema os autores desenvolveram um modelo matemático para o sistema de armazenamento de bens perecíveis com três níveis de qualidade, usando um grupo de três equações diferentes para cada um. No caso os estados dos produtos em *stock* são: “fresco”, “menos fresco” e “inaceitável”. O preço de venda é uma variável de decisão para maximizar os ganhos totais (Zhang & Wang, 2018).

A pesquisa de Yang e Tseng (2015) pretende desenvolver um modelo que quantifique a qualidade dos produtos alimentares refrigerados e o seu valor remanescente. Este modelo usa dados reais de taxas de deterioração dependentes da temperatura. Os autores afirmam que quantificar a qualidade e o valor remanescente do produto deveria ser um aspeto fundamental para o negócio e que a deterioração deve ser tida em conta no que à gestão de inventários perecíveis diz respeito, uma vez que produtos alimentares se degradam durante o tempo de prateleira. O modelo proposto demonstra que temperaturas mais altas de armazenamento reduzem os lucros e forçam a ciclos mais curtos de encomenda (Yang & Tseng, 2015).

No que se refere a ordens de quantidades de lote económicas, Muriana (2016) apresenta um modelo matemático estocástico para produtos não embalados, incluindo custos de rutura de *stock*, bem como custos de caducidade dos bens. São tomadas em consideração as flutuações da procura sendo modeladas com base numa distribuição normal. Tendo sido estudado o impacto das mesmas no tempo de armazenamento, teve em consideração a sua natureza estocástica (Muriana, 2016).

Em muitas unidades de produção é bastante comum encontrar taxas significativas de degradação de bens, consequência de exaustão física, perda de funcionalidade e volume ou até obsolescência. Assim, a perecibilidade previne um produto de ser utilizado após a sua data de expiração. Acevedo-Ojeda *et al*, (2018) discutem problemáticas de tamanho de lote óptimo incorporando a perecibilidade de materiais crus e analisam como estas considerações reforçam restrições específicas num conjunto de decisões fundamentais. Os autores estudam três variantes de dois níveis de tamanho de lote agregando diferentes tipos de perecibilidade de materiais crus: (a) tempo de prateleira fixo; (b) deterioração funcional; e (c) deterioração funcional de volume. São propostas formulações de programação inteira mista para cada uma destas variáveis de decisão, bem como a realização de experiências computacionais envolvendo análise de sensibilidade (Acevedo-Ojeda, et al., 2018).

Uma questão fundamental na otimização de lotes que deve ser levada em conta é o espaço que se tem para armazenar os produtos. Ghosh *et al* (2015) demonstram o impacto dessa limitação no modelo desenvolvido, modelo esse que descreve um inventário multi-item no qual o espaço disponível de armazém é limitado. Na pesquisa, os autores assumem procura dependente do nível de *stock* e que a degradação dos produtos é constante ao longo do tempo. Os autores chegam a uma solução ótima para o problema com base numa solução analítica (Ghosh, et al., 2015).

A investigação levada a cabo por Jing e Mu (2019) propõe um modelo de previsão para tamanhos de lotes para inventários perecíveis. O modelo assenta em duas condições: (1) taxas de degradação de *stock* e respetivos custos de armazenamento, independentemente da idade dos produtos em inventário; e (2) a possibilidade de substituição de um produto para satisfazer a procura de outro. São usadas duas propriedades estruturais da solução óptima como base para o desenvolvimento de um algoritmo de programação dinâmica que resolve o problema. (Jing & Mu, 2019).

Bai & Kendall (2008) consideram um cenário em que a procura é modelada deterministicamente e é afetada pelo *stock* perecível armazenado e o seu nível de frescura. Os autores consideram que última era representada por um modelo exponencial.

Muitos dos bens perecíveis apresentam um tempo de vida fixo, o que acarreta custos de degradação lineares. A aproximação utilizada por Nandakumar e Morton (1993) decorrente de uma heurística de limites quase obtusos envolve problemas de inventários. Os autores revelam com base em vários estudos computacionais de programação linear, que políticas heurísticas fornecem soluções aproximadamente ótimas (Nandakumar & Morton, 1993).

Existe uma questão fundamental no que se refere à gestão de *stocks* perecíveis, o tamanho ideal da *batch* para reposição de produtos. Abad (2000) afirma que quando se está perante um produto degradável, a procura precisa de ser acumulada de forma a conter custos devido à deterioração. Na sua pesquisa, o autor considera o problema de determinar/otimizar o tamanho do lote de bens perecíveis, sob produção finita e degradação exponencial. É demonstrado ainda que um problema com restrições não-lineares apresenta características convexas que o tornam de fácil resolução. Alguns investigadores conseguem resolver o problema original recorrendo a *software* de programação não-linear comum tal como o Solver do *MS Excel* e garantir que a solução devolvida é um mínimo global (Abad, 2000).

O tempo de vida de produtos alimentares é frequentemente determinado por um indicador de concentração, ou um índice de qualidade que cai abaixo ou excede um certo valor limite fixado. Como Peled e Normand (2015) referem, diferentes indicadores escolhidos indicam diferentes tempos de prateleira para a mesma temperatura de armazenamento. Na sua pesquisa estes autores demonstram que caso existam dois indicadores, tais como, duas vitaminas instáveis, a ordem segundo a qual a sua concentração passa os respetivos limites, pode depender, não apenas, das cinéticas de degradação de cada uma, mas também dos perfis de temperatura de armazenagem, caso sejam não isotérmicos. Teoricamente, a ordem de deposição observada em armazenagem acelerada não necessita de ser indicativa da ordem real para temperaturas mais baixas, excepto se as reacções de degradação seguirem a mesma ordem cinética e o parâmetro que repercute a taxa da dependência da temperatura seja igual para ambas. O trabalho realizado considera reacções de degradação simuladas e hipotéticas que seguem cinéticas de ordem 0 e de primeira ordem, para a qual a taxa de degradação obedece ao modelo exponencial (Peleg & Normand, 2015).

Em Fauza *et al* (2013) é desenvolvido um modelo que associa a procura à produção. A variação da qualidade percebida é tratada de forma diferente consoante se considerem produtos crus ou acabados. Para produtos crus o modelo cinético é utilizado para representar o decréscimo de qualidade durante o período de armazenagem, enquanto para produtos acabados, é utilizado para descrever a perda de valor devido à sua redução. É formulado, assim, um modelo matemático representando o sistema integrado procura-produção de materiais crus e produtos acabados. O objetivo principal é maximizar os lucros totais por unidade de tempo do sistema, manipulando algumas variáveis, nomeadamente o ciclo de produção (T), o número de produtos crus a produzir, a procura num ciclo de produção (m) e ainda o número de itens acabados produzidos num ciclo de produção (n) (Fauza, et al., 2013).

Muitos dos modelos existentes referem que a perda de qualidade está diretamente associada à perda de quantidade de *stock*, como por exemplo em inventários de gasolina, álcool ou material radioativo. No entanto, as características perecíveis para produtos alimentares são diferentes requerendo outro tipo de abordagem (Fauza, et al., 2013).

De modo a relacionar as as fontes bibliográficas que sustentam teoricamente a resolução do problema de optimização de lotes apresentado neste trabalho segue-se a tabela 3.1, que as sintetiza e agrega por tópico.

Tabela 3.1- Compilação bibliográfica

Tópico	Referências
Degradação devido ao tempo de prateleira	(Remington, 2017)
	(Filina-Dawidowicz & Postan, 2016)
	(Fauza, et al., 2018)
Modelos estocásticos	(Haijema , 2014)
	(Zhang & Wang, 2018)
	(Muriana, 2016)
Modelos determinísticos	(Zhang & Wang, 2018)
	(Yang & Tseng, 2015)
	(Ghosh, et al., 2015)

(Bai & Kendall, 2008)

(Fauza, et al., 2013)

Uma aproximação quantitativa denominada de *modelo cinético* é vulgarmente adotada para representar a perda de qualidade percebida de alimentos crus. Neste modelo a qualidade dos itens degrada-se consoante o ambiente e o tempo de armazenagem de acordo com a equação (3.1):

$$\frac{dq}{dt} = kq^n \quad (3.1)$$

onde q representa o nível de qualidade percebida medido e t representa o tempo, normalmente em meses para alimentos com maior tempo de conservação e em dias para produtos mais facilmente detoráveis. A constante k refere-se à taxa de degradação e é dependente do ambiente de conservação (ex.: temperatura, etc.); por último, n representa um parâmetro correspondente à ordem da reação; este valor influencia o padrão da perda de qualidade descrita na figura 3.3, onde se comparam os perfis para $n = 0$ e $n = 1$ que são os mais comuns na prática.

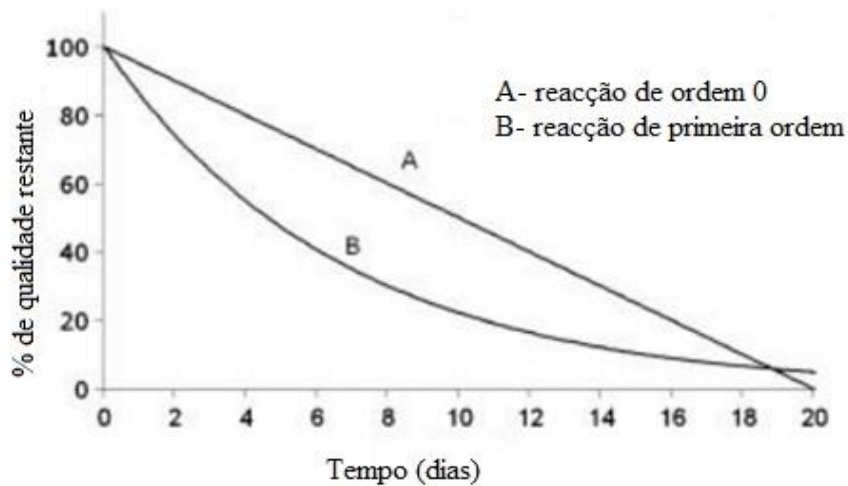


Figura 3.2-Degradação da qualidade de produtos alimentares com reações de ordem ($n=0$), e ordem ($n=1$), adaptado de (Fauza, et al., 2018).

Como se pode ver na figura 3.3, a qualidade diminui à medida que o tempo passa; esta degradação pode ser considerada linear para reações de ordem zero ($n = 0$), ou não

linear caso se trate de uma cinética de primeira ordem ($n = 1$), onde o perfil é exponencial negativo. Por parte dos clientes, a qualidade do produto é avaliada através da data de validade e das propriedades organoléticas, facto que leva a que os consumidores prefiram adquirir bens alimentares com períodos de caducidade mais extensos, o que mostra que a data de validade influencia diretamente o negócio. Contudo, existem ainda algumas limitações para este modelo. Por exemplo o facto, de se considerarem apenas inventários para bens alimentares ainda no nível da produção, pois o tipo de gestão para estes bens é bastante complexa e necessita de ser tratada de forma integrada incluindo a cadeia de abastecimento. O segundo problema advém da teoria de preservação dos alimentos. Uma vez que é possível controlar/minimizar o nível de degradação através de ajustes de temperatura, fazendo com que esta seja um fator fundamental a ter em consideração. Por último, assumiu-se um fator de degradação constante ($n = 0$), para este modelo, enquanto muitos alimentos apresentam um fator de degradação exponencial ($n = 1$). O modelo desenvolvido no presente trabalho é largamente inspirado pela conceptualização de Fauza, *et al.*, (2013)

3.3 Estatística Inferencial

A seguir analisam-se as bases conceptuais, quer do tratamento estatístico de dados que foi usado para caracterizar a procura a partir de dados recolhidos, quer da optimização não linear usada para resolver o problema do lote óptimo e correspondente tempo de ciclo.

A extração de conhecimento a partir de dados de processo é hoje comum. Tipicamente, ela envolve uma área da Estatística designada por Estatística Descritiva, que visa i) caracterizar quantitativamente o processo à custa da informação extraída de amostras; e ii) estabelecer intervalos de confiança para as métricas extraídas (Yu, et al., 2016).

No contexto do presente trabalho, a caracterização de dados de procura requer a avaliação da tendência central (medida pela média) e da dispersão (medida pelo desvio padrão). As funções destes indicadores encontram-se estabelecidas em qualquer manual básico de estatística como por exemplo (Ross, 1987).

Um outro problema típico ao nível da extração de conhecimento é a parametrização de modelos a partir de dados. Estes modelos podem numa fase subsequente ser usados para validação e previsão. No âmbito do trabalho, a procura de cada um dos produtos é de carácter estocástico, em razão da variabilidade do mercado e da produção não ter um nível de variabilidade desprezável. Assim a variável procura média em cada ciclo de produção foi

comparada com uma distribuição teórica contínua de referência. Tipicamente, a distribuição mais comumente usada para estes fins é a normal, representada por $N(\mu, \sigma)$, onde μ é a média do processo e σ o seu desvio padrão. No entanto, como o tamanho da amostra extraída para alguns dos produtos é pequeno e μ e σ têm de ser estimados a partir delas, usou-se como distribuição teórica de referência a distribuição t – Student, $T(\mu, \sigma, n - 1)$, onde os parâmetros têm o mesmo significado que anteriormente e n é o número de graus de liberdade (neste caso observações) (Ross, 1987). Apesar dos dados adquiridos terem natureza estocástica, uma vez que a procura varia com as flutuações do mercado, existe uma conversão natural para valores determinísticos, neste caso, da procura diária média, isto é, de D para $D^{méd}$ e do desvio padrão de σ e s , pois de acordo com os parâmetros para o modelo de lote óptimo é necessário considerar ter valores fixos para dar entrada.

3.4 Programação Não Linear

Nesta secção analisam-se sumariamente as bases fundamentais da optimização não linear. A optimização é uma área da matemática que visa determinar a solução mais eficaz para problemas modelados por funções objectivo e sujeitos a restrições de correntes de relações a verificar no espaço das variáveis de decisão. Tipicamente, a estas relações chamam-se restrições e o domínio objecto de análise designa-se por espaço de verossimilhança (Mangasarian, 1994). Na sua génese, um problema de optimização visa determinar os níveis das variáveis de decisão (primárias e auxiliares) que maximizam/minimizam a performance medida pela função objectivo. À diferença entre o número de restrições e o número de variáveis de decisão chama-se o número de graus de liberdade do problema.

Há várias classes de problemas de optimização desde lineares (onde as restrições e a função objectivo são lineares relativamente às variáveis de decisão) e não lineares, em que uma das funções envolvidas (restrição ou função objectivo) é não linear. Por outro lado, é também típica a classificação dos problemas de optimização em contínuos (caso em que todas as variáveis de decisão têm um domínio de possibilidades contínuo) e inteiros, típicos de cenários em que algumas das variáveis de decisão são inteiras ou restritas a um número finito de valores.

No caso do trabalho aqui desenvolvido o problema de optimização resultante é do tipo não linear contínuo. Isto é, assume-se que a função objectivo e/ou as restrições são não lineares, mas as variáveis de decisão são contínuas na região de verossimilhança. Um

problema desta classe, usualmente designado por *Non Linear Programming* - NLP (Programação Não Linear em português) pode ser representado por:

$$\begin{aligned} \min_x \quad & f(\mathbf{x}) \\ & h(\mathbf{x}) = 0 \\ & g(\mathbf{x}) \leq 0 \\ & \mathbf{x} \in X \end{aligned}$$

onde $f(\mathbf{x})$ é a função objectivo, $h(\mathbf{x})$ é um vector de funções contínuas envolvidas em restrições de igualdade, $g(\mathbf{x})$ um vector de funções contínuas envolvidas em restrições de desigualdade, \mathbf{x} é o vector de variáveis de decisão e X é o domínio de verossimilhança. Note-se desde já que o problema de determinação de lote óptimo pode envolver variáveis de decisão inteiras, por exemplo o tamanho da *batch*. No entanto, os problemas de optimização não linear inteira (que caem na classe MINLP – *Mixed Integer Non Linear Programming*) são complexos pelo facto da região de verossimilhança não ser normalmente convexa. Isto requer a pesquisa sucessiva de óptimos locais até à prova de que da solução obtida garante a optimalidade global. Aqui, este problema da integralidade de algumas variáveis de decisão é ultrapassado relaxando essas variáveis. Isto é, elas são assumidas como contínuas, o que permite formular o problema como um de classe NLP ao invés de ter um da classe MINLP. Obviamente que a solução óptima do problema NLP pode não ser igual à do problema original, mas para fim de implementação prática é uma boa solução de partida. Mais, pelo facto de o problema ser de pequena dimensão a aproximação da solução do NLP a soluções inteiras para fins de implementação não conduz a uma perda elevada da performance da solução. Daí ser esta a estratégia usada na tese. Os algoritmos usados para resolver problemas do tipo NLP são o (i) Método do Ponto Interior (Terlaky, 1996); (ii) Método do Gradiente Reduzido (Sun & Yuan, 2006); e (iii) o Método da Região de Confiança (Conn, et al., 1987).

No caso deste trabalho, usa-se o Método da região de confiança implementado no Matlab® pela rotina *fmincon*. Para uma análise mais detalhada deste algoritmo consultar Venkataraman (2002).

4 Atividades Realizadas e Metodologias Desenvolvidas

No âmbito dos sistemas de gestão analisados no capítulo 2, segue-se uma secção onde serão descritas as atividades desenvolvidas numa base diária durante o período de estágio. O capítulo encontra-se dividido em duas secções, onde a primeira detalha as contribuições em contexto de trabalho quotidiano, enquanto a segunda aborda o desenvolvimento do modelo de optimização referente ao problema central do trabalho.

4.1 Contribuição em contexto de trabalho para os sistemas de gestão

A receção de matérias-primas e respetiva verificação do acondicionamento e da qualidade da entrega enquadrada na gestão da qualidade era uma das tarefas desempenhadas por mim, diariamente. Após recepcionar a mercadoria confirmava a qualidade das embalagens, bem como períodos de caducidade dos produtos entregues. Concluído este processo encaminhava os produtos, com recurso a porta-paletes, para a respetiva zona de armazenamento, aplicando o estilo de gestão multi-armazéns, descrito na secção 3.2.1. Aqui os produtos refrigerados eram levados para as câmaras de refrigeração e os itens congelados para as de congelação; os restantes bens armazenados à temperatura ambiente num armazém geral. Para colocação das cargas perecíveis em prateleira seguia o princípio FEFO descrito na secção 2.3.1, os restantes itens, dispunha em prateleira seguindo o princípio FIFO. Mercadoria como embalagens, filme para acondicionar cargas, cuvetes, caixas de cartão e outros materiais, programava a sua arrumação seguindo um estilo multi-localização, descrito na secção 3.2.1. Isto porque, por vezes, o mesmo artigo é necessário na área de produção ou na zona de expedição. Posteriormente à receção das cargas e respetivo acondicionamento, introduzia as facturas referentes à mercadoria no sistema informático da FPCSS, Lda., descrito na secção 2.3.1, permitindo, assim, fazer o controlo da matéria existente em armazém, bem como a introdução do produto no sistema de facturação.

Ainda no âmbito da gestão da qualidade, o controlo do embalamento e da etiquetagem de produtos acabados e prontos a vender foi outra das tarefas levadas a cabo por mim durante o período de estágio. Existem algumas condições a serem respeitadas aquando do embalamento, pois a temperatura do produto é um fator determinante. Uma vez que quando este é embalado ainda quente, ocorre a libertação de vapor e o posterior arrefecimento provoca condensação dentro da embalagem o que leva a desenvolvimento de

bolores e tal deve ser acautelado. As condições do plástico envolvente também são importantes Assim, eu procedia à verificação da qualidade do embalamento dos produtos. No que toca à etiquetagem, a confirmação de que as datas de validade estão corretas e que a rotulagem do produto apresenta a designação apropriada, foram tarefas de relevância no que se refere à gestão da qualidade realizadas por mim quotidianamente, pois grande parte dos clientes não aceita produto que não verifique estas condições.

Na gestão da produção um fator relevante é o controlo de pesos de produtos, antes e após cozedura. Neste contexto estive envolvido num estudo que visou a análise de alguns pesos de produtos crus e acabados, enquadrando-se esta tarefa no controlo estatístico do processo, apresentada na secção 2.3.1. Verifiquei que os alguns dos itens pesados se encontravam acima da especificação, o que consequentemente levou a algumas perdas de valor para a organização. Para produtos não cozidos, após pesagem, e respetivo controlo das margens de valor esperado para a gramagem, estes eram segregados caso não cumprissem os limites, não avançando para a fase de acabamento. A figura 4.1, representa a carta de controlo estatístico do processo para o peso do produto e ilustra a aplicação dos princípios do controlo do peso do pão de bico não cozido referente ao dia 23 de Novembro de 2018. A especificação para este produto (previamente ao processo de cozedura) é de 60 g, contudo como o processo de produção é artesanal, o que acarreta um controlo menos preciso, são admitidos produtos dentro das margens observadas na figura, sendo a inferior 58 g e a superior 62 g, os restantes itens que apresentem peso fora desta gama são imediatamente segregados.

A curto prazo este estudo não é impactante, no entanto se não for efetuado, a longo prazo podem manifestar-se perdas económicas para a fábrica pois não é viável para a empresa vender produto com peso fora da gama especificada. Valores superiores à especificação representam perda de valor direta, valores inferiores implicam o descontentamento por parte dos clientes levando consequentemente a perdas financeiras caso se percam os consumidores.

Levado a cabo o estudo estatístico, que efectuei durante o mês de novembro foi possível junto do chefe de operações acertar os pesos das massas produzidas reduzindo assim a probabilidade de futuras perdas monetárias e a variabilidade do processo.

Pesos Pão de Bico (massa) 23/11/2018

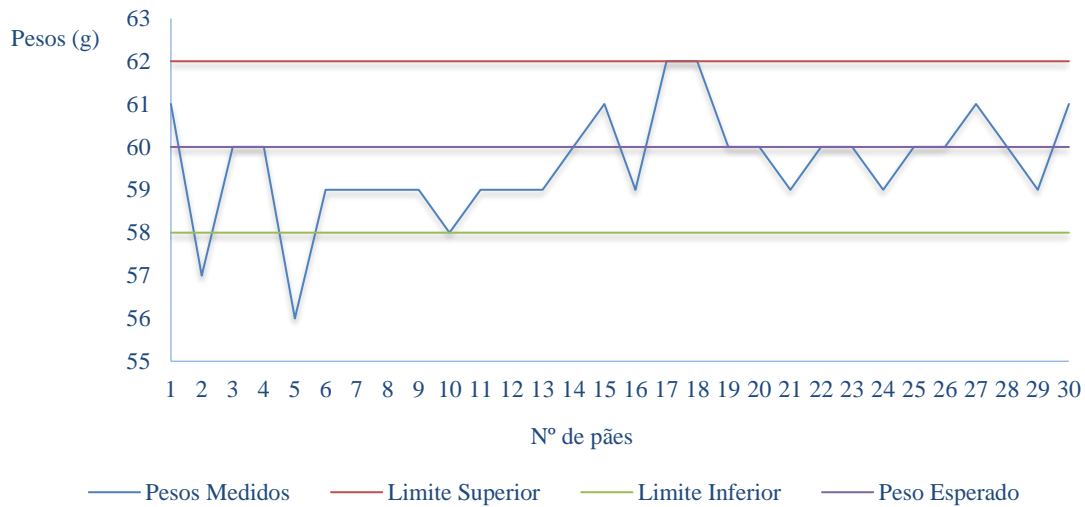


Figura 4.1- Controlo de pesos de pão de bico (em massa) do dia 23/11/2018.

Periodicamente efetuava um acompanhamento aos processos de produção que implicava a supervisão do *modus operandi* da linha, de forma a observar e identificar falhas, perdas de tempo, ou possibilidade de sugerir métodos de inovação ou melhorias para aumentar o rendimento e a eficiência. Este acompanhamento permitiu também a observação dos produtos em fabrico, de modo a analisar as condições de saída dos mesmos.

Relativamente à gestão da qualidade um ponto fundamental é a rastreabilidade dos itens produzidos, seja antes, ou após a cozedura. Assim, eu efectuava ao controlo do rastreamento com recurso a *kanbans*, cartões contendo uma identificação com código de barras que após leitura no sistema, permitia o acesso a todas as matérias-primas, validades, lotes, bem como fornecedores. Para tal, era fundamental que os colaboradores fizessem os respetivos registos de produção atribuindo o processo a um *kanban*; onde fui encarregado de dar apoio e monitorizar esta introdução de informação. Posteriormente era realizado um relatório de rastreabilidade, exemplo observável na figura 4.2, como garantia de qualidade de produto acabado. Este é documento sujeito a verificação em auditoria.

Rastreabilidade

Critério : Lote Etiqueta Parâmetros : Lote = I180011197PROD014

Produto						
Código	Designação	Qty.	Uni.	Embalamento		
PROD014	Pasta Duplo Chocolate Grossa	6	UN	02-10-2018		
Registos : 1						
Clientes						
Código	Nome	Qty.	Uni.	Data	Documento	
Registos : 1						
O. Produção						
Data	Código	Designação	Qty.	Uni.	Lote	
02-10-18	169153	Batido Duplo Chocolate	40.600	51	I180011197BATIDO33	
Registos : 1						
Ingredientes						
Código	Designação	Qty.	Uni.	Lote Interno		
MATP0001	Agua	6	LT			
MATP0055	Ovo Inteiro Liquido	6	KG	I210918F004003		
MATP0265	Cake Duplo Chocolate	30	KG	I070918F115002		
Registos : 3						
Fornecedores						
Código	Nome	Produto	Lote Fornecedor	Entrada		
F115	Montepan	Cake Duplo Chocolate	1823035	07-09-18		
F115	Montepan	Cake Duplo Chocolate	I070918F115002	02-10-18		
F004	DISPAN	Ovo Inteiro Liquido	I210918F004003	01-10-18		
F004	DISPAN	Ovo Inteiro Liquido	L1100260181	21-09-18		

Figura 4.2 - Exemplo de um relatório de rastreabilidade retirado do sistema operacional *SIN/PAN*

De forma a avaliar a satisfação de clientes enquadrado no processo de gestão da produção e a satisfação dos colaboradores agregada à melhoria contínua, processos descritos na secção 2.3.1, realizei inquéritos de satisfação a ambas as partes. Para os clientes os respetivos inquéritos foram efetuados, maioritariamente, por via telefónica onde registava as respostas dos inquiridos em papel com grelhas de avaliação às perguntas efetuadas. Quanto aos colaboradores, realizei os inquéritos em formato de papel onde os inquiridos respondiam às questões colocadas. Posteriormente, tratei os dados, com recurso ao MS Excel. As principais conclusões mostraram uma satisfação de 98% por parte dos clientes e de 91% referente aos colaboradores, tendo estes resultados sido integrados no balanço da qualidade. Posteriormente estes documentos serviram de suporte a visitas de auditorias.

Para além destas actividades acompanhei auditorias internas e externas, nomeadamente da SGS, referente à norma ISO 9001. Previamente contribuí para a preparação da auditoria e posteriormente para o tratamento de não conformidades e oportunidades de melhoria no atendimento a clientes. Realizei tarefas como a receção de encomendas, receção e gestão de reclamações, bem como gestão das atividades da equipa de distribuição.

No âmbito da gestão da produção, gestão de encomendas, compras e *stocks*, verifiquei mensalmente o inventário, que cai no modelo descrito na secção 3.1.6. Isto foi feito com recurso a um leitor scanner PDA, permitindo validar em sistema as quantidades existentes em armazém.

4.2 Estratégia de resolução do problema central

Nesta secção inicia-se a apresentação da metodologia proposta para resolver o principal problema identificado para a gestão de *stocks* da fábrica, ver capítulo 1. Este trabalho constitui a parte inovadora deste estágio e envolve três tarefas sequenciais, a saber:

- o desenvolvimento de um modelo de lote ótimo para um conjunto de itens de pastelaria que permita determinar os ciclos de produção e os tamanhos das *batch* mais adequados face aos vários tipos de custo, incluindo os custos devidos à perda de qualidade percebida, ver subsecção 4.2.1;
- a construção de uma base de informação requerida pelo modelo atrás desenvolvido, presente na subsecção 4.2.2;
- a implementação do modelo e respectiva análise de resultados (ver capítulo 5).

4.2.1 Componente Teórica

Com o objetivo de tratar o problema central do trabalho realizado, propõe-se o desenvolvimento de um modelo matemático onde se pretende ter consideração alguns aspetos que não se encontraram nas referências analisadas na secção 3, daí o facto do mesmo poder trazer alguma novidade no que à optimização de lotes perecíveis diz respeito.

É de notar que o objectivo do modelo é, para um conjunto limitado de produtos de pastelaria, determinar: (i) o tamanho da *batch* (número de itens a fabricar); (ii) o tempo de ciclo, isto é, o tempo entre *batches*, por forma a otimizar uma soma de custos envolvendo custos de armazenamento, custos de ordem (associados à produção de uma *batch*), custos de produção que englobam componentes fixas e variáveis e, finalmente, custos referentes à perda de qualidade percebida devido ao armazenamento. Este último aspecto tem alguma inovação em termos de modelação e torna mais complexo o modelo de lote ótimo aqui proposto para produtos perecíveis. Note-se que o modelo considera que os custos específicos por item produzido são conhecidos, bem como a procura média.

A seguir listam-se as considerações do modelo proposto:

- A produção ocorre antes de um período T onde a procura é constante;

-
- O tempo de produção considera-se desprezável relativamente ao período T ;
 - A procura é constante, e caso na prática tal não se verifique, assume-se uma procura média;
 - Os custos associados à produção são divididos em fixos, abarcando as matérias-primas e energia, designados por C^f , e custos variáveis, representados por custos de mão de obra refletindo o número de ciclos necessários para obter a produção de uma *batch*, e aqui designados por C^v ;
 - Os custos de armazenamento traduzem o consumo energético da câmara de conservação quando referido ao conjunto de itens armazenados;
 - A perda de qualidade percebida durante o tempo de prateleira, T_f , traduz os custos decorrentes da degradação. Todos os itens em câmara de conservação são afetados por este inconveniente, o qual se reflete após um determinado período, $T_f > T$, na perda de produto para comercialização. No instante T_f a perda de qualidade percebida é igual ao preço do produto ao público, uma vez que ele deixa de poder ser vendido sem risco de reclamação;
 - A perda de qualidade ao longo do tempo t no intervalo $[0, T_f]$ segue uma cinética de ordem 0, o que significa que se assume uma perda de qualidade linear, tendo como base o trabalho de Fauza *et al* (2013) e de Remington (2017) introduzido na secção 3.2. Consequentemente, os resultados que se obtiveram são referentes a esta cinética. No entanto a metodologia aqui proposta pode ser generalizada para cinéticas de degradação de ordem elevada, uma vez que o efeito apenas se nota ao nível dos custos de qualidade percebida;
 - O nível de qualidade é medido tendo como referência a qualidade do produto imediatamente após a produção. Aí, em $t = 0$, $q(t) = 1$. Após algum tempo $t > 0$, $q(t) < 1$ e quando $t \rightarrow +\infty$, então $q(t) \rightarrow 0$.

A tabela 4.1 apresenta a nomenclatura de todas as componentes utilizadas no desenvolvimento do modelo matemático de optimização de lote.

Tabela 4.1-Nomenclatura dos componentes do modelo de lote óptimo para produtos perecíveis

P	Volume de produção necessário a um ciclo (unidades)
T	Período de tempo entre dois ciclos de produção consecutivos (dias)
D	Procura diária do produto (unidades/dia)
S	Quantidade armazenada (unidades)
t	Instante temporal genérico
τ	Variável de tempo auxiliar
c_m	Custo de matéria-prima necessária à produção de uma unidade comercializada (€/unidade)
c_e	Custo de energia necessária à produção de uma unidade comercializada (€/unidade)
c_o	Custo da mão-de-obra necessária à produção de uma unidade comercializada (€/batch)
c_c	Custo de armazenamento de um item na câmara de conservação (€/ (unidade. dia))
p	Preço de venda de uma unidade de produto- representa o custo após T_f devido à perda de qualidade percebida (€/unidade).
C^{pt}	Custo de produção total (€)
C^f	Custos fixos totais associados à produção P (€)
C^v	Custos variáveis totais associados à produção P (€)
C^s	Custo total de armazenamento em camara de refrigeração (€)
C^q	Custo devido à degradação da qualidade percebida durante o armazenamento em camara de refrigeração (€)
k	Taxa de degradação de qualidade percebida ao longo do tempo (1/dia)
$q(t)$	Qualidade do produto para o instante t (para $t = 0$, $q(t) = 1$; para $t = T_f$, $q(t) = Q_m$)
$\Delta q(t)$	Perda de qualidade desde $t = 0$ até t
Q_m	Nível de qualidade percebida mínimo para a qual o produto deixa de poder ser comercializado
T_f	Período para o qual se atinge Q_m

4.2.2 Modelos de armazém e de perda de qualidade percebida

A figura 4.3 representa o modelo dinâmico dos lotes armazenados na câmara de conservação. É possível observar o comportamento das variáveis P , T e D , descritas na tabela anterior. No entanto o modelo representado foi construído com base no modelo de lotes teórico tipicamente usado para qualquer tipo de produto não perecível ou perecível descrito na secção 3.1.2.

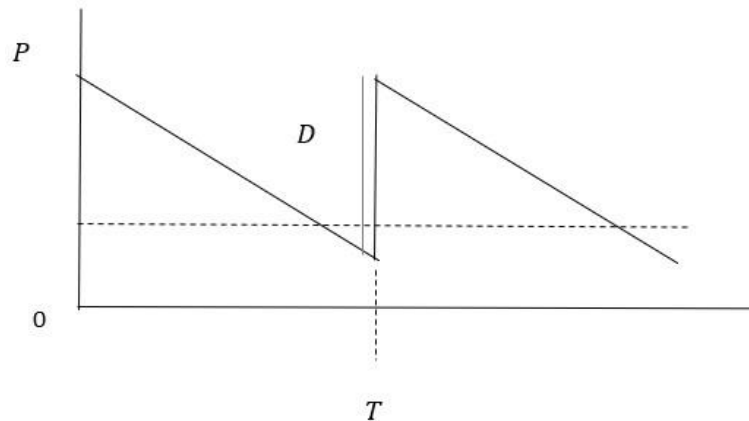


Figura 4.3-Modelo dinâmico de armazém

O modelo conceptualiza que uma *batch* de tamanho P entra instantaneamente no sistema sendo armazenada. Após isso, durante um período T , os itens são consumidos a uma taxa média D , a qual é a procura média. A figura 4.4, construída com base no trabalho de Fauza *et al.*, (2013) mostra a forma como se comporta a perda de qualidade percebida, durante o tempo de prateleira em câmara de congelação, para uma cinética linear, onde se representam as variáveis Q_m , T e T_f , descritas na tabela 4.1.

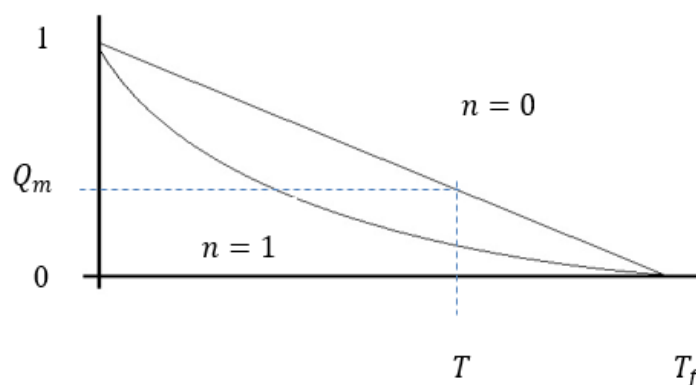


Figura 4.4 Modelo de degradação de qualidade percebida para cinética linear e cinética de 1ª ordem

O modelo parte da assumpção que imediatamente à produção a qualidade percebida é igual a 1 e depois se degrada linearmente à medida que o tempo de armazenamento aumenta. Quando $t = T_f$, então o produto é tido como tendo qualidade percebida nula e todo o seu valor comercial se perdeu. Por outro lado, $T_f \gg T$. A Figura 4.4 compara o comportamento de uma cinética com $n = 0$ face a uma com $n = 1$ para a perda de qualidade percebida.

A seguir são estabelecidas equações para a perda da qualidade percebida. Esta perda é aqui modelada como se tratasse de uma cinética de ordem 0, com base no trabalho de Fauza *et al.*, (2013). Posteriormente, analisa-se uma alternativa em que a perda de qualidade percebida é bem descrita por uma cinética de ordem 1.

4.2.3 Perda de qualidade modelada por cinética de ordem 0

Admita-se que $q(t)$ é descrito pela equação diferencial

$$\frac{dq}{dt} = -k, \quad (4.1)$$

Integrando a equação em ordem a t num intervalo genérico $[0, \tau]$ vem

$$q(\tau) - q(0) = -k\tau. \quad (4.2)$$

Como se admite que para $\tau = 0$, $q(0) = 1$ e que para $\tau = T_f$, $q(\tau) = Q_m$ então a taxa de degradação de qualidade é dada por

$$k = \frac{1 - Q_m}{T_f}. \quad (4.3)$$

Agora, substituindo k em (4.2), vem, para a qualidade percebida

$$q(t) = 1 - \frac{1 - Q_m}{T_f} t. \quad (4.4)$$

Por sua vez a perda de qualidade é

$$\Delta q(t) = 1 - \frac{1 - Q_m}{T_f} t. \quad (4.5)$$

4.2.4 Perda de qualidade modelada por cinética de ordem 1

De forma a expandir a aplicação da estratégia do modelo com cinética de ordem 1, segue-se o desenvolvimento de uma equação para a perda de qualidade percebida ao longo do tempo seja, agora, $q(t)$ dado pela relação

$$\frac{dq}{dt} = -kq, \quad (4.6)$$

Integrando a equação em ordem a t num intervalo genérico $[0, \tau]$ vem

$$\frac{q(t)}{q(0)} = e^{-kt}. \quad (4.7)$$

Com base nos pressupostos anteriores, a taxa de degradação é

$$k = -\frac{\log(Q_m)}{T_f}. \quad (4.8)$$

Por substituição, resulta

$$q(t) = 1 - Q_m^{\frac{t}{T_f}} \quad (4.9)$$

Finalmente, a perda de qualidade percebida para este cenário é dada por

$$\Delta q(\tau) = Q_m^{\frac{\tau}{T_f}} \quad (4.10)$$

A seguir são modeladas as várias componentes de custo envolvidas no modelo.

4.2.5 Modelação das componentes de custo

Os custos de produção totais são dados pela expressão seguinte

$$C^{pt} = C^f + C^v = P(c_m + c_e) + \frac{DT}{P} c_o \quad (4.11)$$

De notar que o termo C^v é linearmente dependente do número de *batches* a produzir num ciclo de duração T e por cada *batch* é necessário imputar o custo da mão-de-obra alocado a essa produção. Consequentemente, quanto mais *batches* forem produzidas maior

será a necessidade de mão-de-obra. Pode considerar-se o rácio DT/P como a frequência de produção de uma *batch* e, no limite, (quando $P = DT$) esta será igual a 1. Normalizando, os custos C^{pt} relativamente ao período T , obtém-se como resultado

$$\frac{C^{pt}}{T} = \frac{P(c_m + c_e)}{T} + \frac{Dc_o}{P} \quad (4.12)$$

Custos de armazenamento em câmara de frio

A seguir modelam-se os custos de armazenamento dos produtos na câmara de conservação. Considera-se que o número de unidades de produto em câmara num instante t é $P - Dt$. Assim o número de unidades ao longo de um período T é dado por:

$$S(T) = \int_0^T (P - Dt) dt = PT - \frac{DT^2}{2} \quad (4.13)$$

Normalizando agora em ordem ao período T e tendo em consideração os custos de armazenamento para calcular C^s/T , vem

$$\frac{C^s}{T} = \frac{S(T)c_c}{T} = \left(P - \frac{DT}{2} \right) c_c. \quad (4.14)$$

Custos de perda de qualidade

Por último caracterizam-se os custos de perda de qualidade do produto em *stock*. Assumindo uma degradação de qualidade percebida linear vem:

$$C^q = \int_0^T (P - Dt) \frac{1-Q_m}{T_d} t dt \times p = T^2 \frac{(1-Q_m)(3P-2DT)}{6T_f} p. \quad (4.15)$$

Normalizando em ordem a T vem:

$$\frac{C^q}{T} = T \frac{(1-Q_m)(3P-2DT)}{6T_f} p. \quad (4.16)$$

Já para uma cinética de ordem 1, vem

$$\frac{C^q}{T} = \left[-\frac{T_f (P \log(Q_m) + DT_f)}{T \log(Q_m)^2} + \frac{\frac{T}{T_f} T_f (P \log(Q_m) + DT_f - DT \log(Q_m))}{T \log(Q_m)^2} \right] p, \quad (4.17)$$

inegavelmente uma expressão de maior complexidade. Finalmente, obtida toda a base conceptual, formalize-se o modelo.

Modelo de optimização

O modelo de optimização aqui proposto assume uma degradação de qualidade percebida linear. A escolha por esta cinética resulta de vários estudos nomeadamente, Remington, (2017), onde se verificou que a perda de qualidade percebida segue uma dinâmica linear. É certo que esse estudo é para salmão, mas supõe-se que os resultados se podem generalizar a produtos de pastelaria. No entanto, é também razoável afirmar que a estratégia se adaptaria totalmente a situações de degradação modeladas por cinéticas de primeira ordem. O modelo envolve assim a optimização, neste caso a minimização, da soma dos custos (C^{pt} , C^s , C^q) relativamente a T e P , isto é:

$$Z = \min_{P,T} \frac{P(c_m + c_e)}{T} + \frac{Dc_o}{PT} + \left(P - \frac{DT}{2}\right) c_c + T \frac{(1 - Q_m)(3P - 2DT)}{6T_f} p \quad (4.18)$$

$$P \geq DT, \quad (4.19)$$

$$T \in N, \quad (4.20)$$

onde as restrições do problema são (4.19) e (4.20). A relação (4.19) resulta de a imposição de P ter de ser, pelo menos, igual ao que se consome durante o período T . A restrição (4.20) é aplicada de forma a impor uma política para a qual o ciclo é repetido em número inteiro de vezes, o que se torna desejável para o planeamento da produção (repetição de campanhas). Finalmente, a função objectivo do problema, é dada pela expressão (4.18) sendo que Z identifica o óptimo correspondente ao custo mínimo por ciclo. Assumindo $P = DT$, o modelo resume-se a

$$Z = \min_T D (c_m + c_e) + \frac{c_o}{T} + \frac{DT}{2} c_c + T^2 \frac{(1 - Q_m)D}{6T_f} p \quad (4.21)$$

$$T \in N, \quad (4.22)$$

derivando agora a função objetivo em ordem a T e assumindo $P = DT$ e relaxando T para valores reais resulta a condição de optimalidade

$$\frac{D}{2}c_c - \frac{c_o}{T^2} + \frac{DT(1 - Q_m)}{3T_f}p = 0, \quad (4.23)$$

que resolvida permite obter T ótimo. Assim, apesar do problema apresentar uma forma fechada que permite a solução analítica, a parte do princípio que $P = DT$. Ora, não impondo esta igualdade a solução analítica é mais complexa e a solução numérica uma alternativa. Será esta a estratégia usada no trabalho. Para tal utilizar-se-á o *software* Matlab® versão R2016a e a função *fmincon* que usa o algoritmo da região de confiança para resolver o problema NLP resultante. Esta rotina adequa-se à resolução de problemas não lineares com restrições e onde as variáveis inteiras são relaxadas.

Um aspeto adicional necessita de ser analisado neste ponto. O problema (4.18)-(4.20) requeria que T fosse inteiro (ver equação (4.20)), o que leva o problema para a classe MINLP. Por forma a evitar isto, T é relaxado e assumido como contínuo. Em resultado desta estratégia o problema reformulado cai na classe NLP. Como forma de corrigir esta simplificação, a solução final do problema NLP é aproximada para o inteiro acima, sendo esta a solução a implementar na prática.

4.2.6 Estruturação de dados necessários ao modelo

Após o desenvolvimento do modelo e a identificação da metodologia de resolução, ter-se-á que construir uma base de informação com os dados para a sua alimentação. É de notar que os dados em causa se referem a custos (das várias componentes) e procura D , e portanto, é necessário a parametrização do modelo. Esta é levada a cabo a partir de dados de operação recolhidos na unidade.

O estudo aqui reportado envolveu 8 produtos seleccionados propícios a serem afetados pela degradação pelo efeito da conservação em câmara fria. A lista de produtos seleccionados é:

- Mil folhas;
- Bolo brigadeiro (fatia);
- Pata de veado;
- Queijada de leite;
- Queijada de cenoura;

-
- Guardanapo;
 - Pirâmide;
 - Ratinhos de Chocolate.

O passo seguinte à seleção de itens a tratar, foi a construção do perfil de *stocks* dos mesmos para consequentemente determinar a procura média. Para tal, efetuou-se uma contagem diária dos itens em câmara, durante aproximadamente 3 meses, período necessário à obtenção de um conjunto de dados significativo para os produtos selecionados, e posterior registo. Os registos de *stocks* formam um perfil semelhante ao teórico encontrado na literatura (ver secção 3.1.3), embora o declive não seja linear. Devido a oscilações mais ou menos aleatórias os declives representam a procura de produto correspondente ao período de um ciclo de produção (entre duas *batches* consecutivas). O declive dos itens armazenados tem início no dia em que se produz a *batch* e termina no dia anterior ao fabrico de uma nova *batch* sendo determinado com base na relação

$$D = \frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1} \quad (4.24)$$

onde P_1 representa a quantidade total de produto armazenado no dia em que foi confeccionada a *batch*, P_2 designa a quantidade de produto existente no dia imediatamente antes de ser produzida uma nova *batch*, respetivamente; t_1 e t_2 são os instantes referentes às quantidades existentes P_1 e P_2 . Note-se que, este valor de D é um valor médio, mas que para efeitos de modelo é suficiente.

A informação referente à evolução dos *stocks* de cada um dos produtos identificados ao longo dos três meses já mencionados é a seguir apresentada (ver Figura 4.5 e 4.6) onde a ordenada é a quantidade em *stock* e a abcissa o dia do período de tempo considerado. As quantidades registaram-se através da contagem dos produtos existentes em prateleira na sala de conservação, uma vez que os registos efectuados no *SIM!PAN* não especificam o número de unidades produzidas nem as que permanecem em *stock* após consumo.

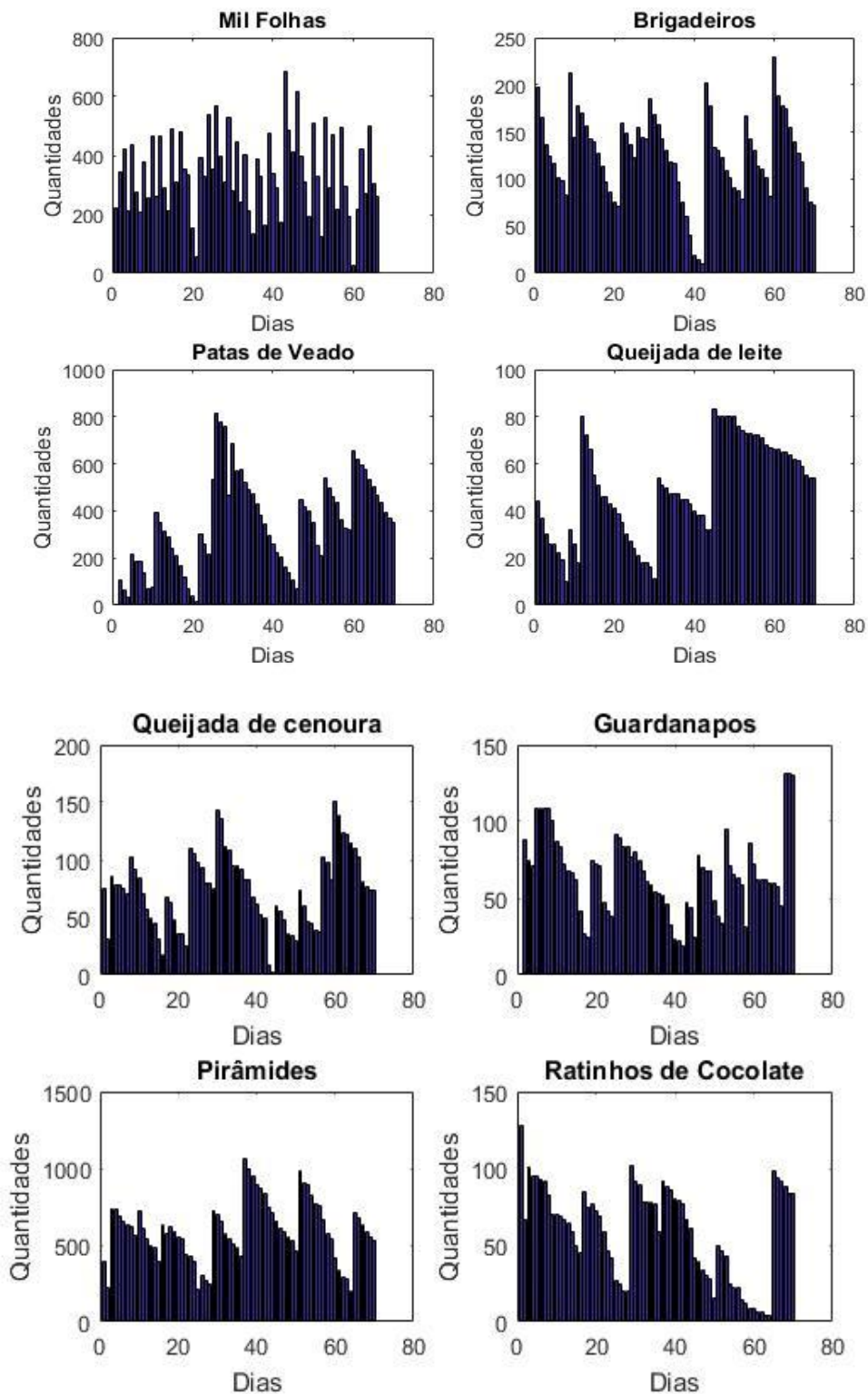


Figura 4.5- Perfil de stock para os produtos selecionados

Note-se que alguns produtos têm produções por *batch* mais elevadas (ex.: *Mil Folhas*) em virtude de a procura ser também mais elevada. É igualmente de referir que o perfil de *stock* observado para os produtos é próximo do anteriormente identificado para situações teóricas, figura 3.2. Com base nos perfis das quantidades armazenadas calcularam-se os declives médios com recurso à expressão (4.24). O declive em questão reportado ao período correspondente a cada ciclo de produção, representa, assim, a procura média agregada a esse período. Após o cálculo de alguns declives para diferentes ciclos é possível calcular uma média global da procura para os três meses em que se registaram as quantidades em *stock*, obtendo-se a procura média diária para o produto. Na tabela 4.2 listam-se os valores de procura para cada ciclo e na tabela 4.3 os valores da procura média.

Tabela 4.2- Procura associada a cada ciclo de produção

Produtos	Procura correspondente a um ciclo de produção (unidades)																			
Mil Folhas	209	115	38	126	182	106	68	183	131	246	204	135	92	136	142	192	237	71	148	121
Brigadeiros	16	12	12	6	13	14	14	16												
P. de Veado	28	38	42	116	116	36	47	37	33											
Q. Leite	5	7	4	2	1															
Q. Cenoura	4	11	8	6	10	6	6	10	8											
Guardanapo	9	6	6	4	12	8	5													
Pirâmides	30	66	47	28	43	46	27													
R. Chocolate	4	6	6	6	3	4														

Analisando os valores apresentados na tabela a 4.2, observa-se que a quantidade de dados obtidos para o *Mil Folhas* é superior a todos os outros produtos, facto que advém, como referido anteriormente, da procura diária deste produto ser maior o que acarreta, consequentemente, menores ciclos de produção.

Examinando a tabela 4.3 é possível ver que os produtos com maior procura são os *Mil Folhas*, como já foi referido anteriormente, as *Patatas de Veado* e as *Pirâmides*. Para os restantes a procura diária é muito menor, levando a maiores tempos de prateleira, o que faz com que o problema da degradação e da perda de qualidade percebida incida neles de forma mais significativa.

Tabela 4.3- Procura diária média dos produtos

Produtos	<i>D</i>
Mil Folhas	144
Brigadeiros	13
P. de Veado	55
Q. Leite	4
Q. Cenoura	8
Guardanapo	7
Pirâmides	41
R. Chocolate	5

4.2.7 Tratamento estatístico dos dados adquiridos

Após a aquisição de dados e dos cálculos dos declives (cálculo da procura média por ciclo), procedeu-se a alguns estudos estatísticos simples que envolveram a caracterização da medida central e da variabilidade, referidos na secção de revisão de referências (secção 3.3). Nomeadamente foram calculados os primeiros e segundos momentos da distribuição da procura para os vários produtos. Na figura que se segue, 4.7, é possível observar a distribuição de frequências dos valores apresentados na tabela 4.2 e a respetiva distribuição

teórica, para quatro dos produtos estudados. A distribuição teórica que se utilizou para modelar os dados foi a distribuição *t*-Student conforme se referiu na secção 3.3. No entanto esta, não é muito adequada para alguns dos produtos, uma das razões sendo o baixo número de observações de que se dispõem. Outras distribuições teóricas podem ser usadas para a comparação (ex: a uniforme). No entanto, assumiu-se que o processo opera segundo um modelo normal, que é típico de processos industriais, e que sendo o número de amostras reduzido (inferior a 30) a distribuição *t*-Student seria potencialmente a mais adequada.

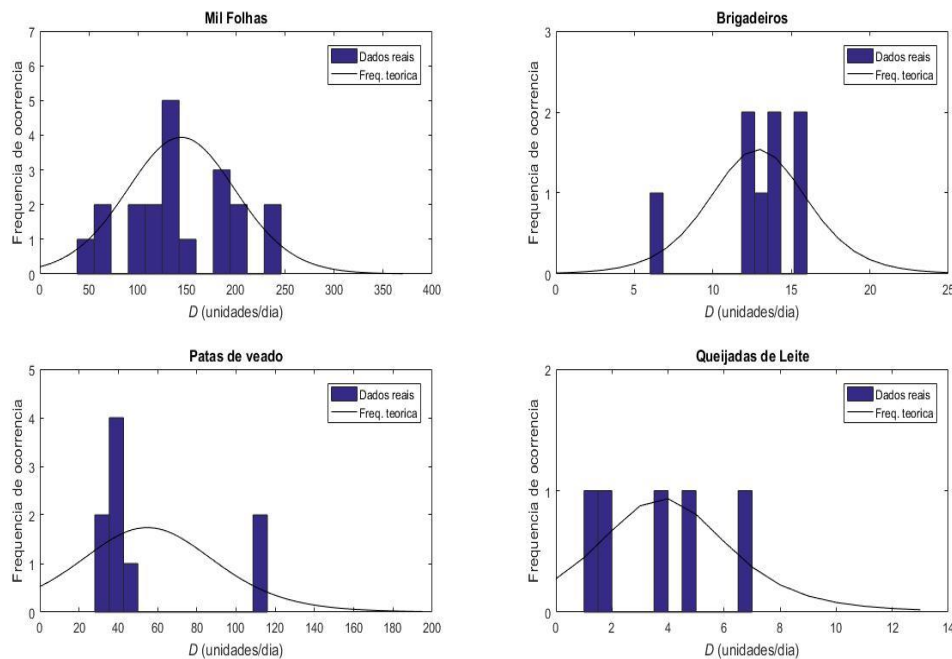


Figura 4.7- Distribuição *t*-Student para os produtos seleccionados

No seguimento da análise dos dados adquiridos foi construído um diagrama de quartis e extremos, conhecido também como *boxplot*, no qual se consegue ter uma perceção da distribuição, em torno dos valores médios de *D* mais esclarecedora. De realçar o facto de que os valores presentes no diagrama se encontram sob a forma de percentagem, de forma a facilitar a sua interpretação. Esta representação contém os valores do quociente entre os declives e a quantidade máxima presente em *stock*, na câmara de armazenagem.

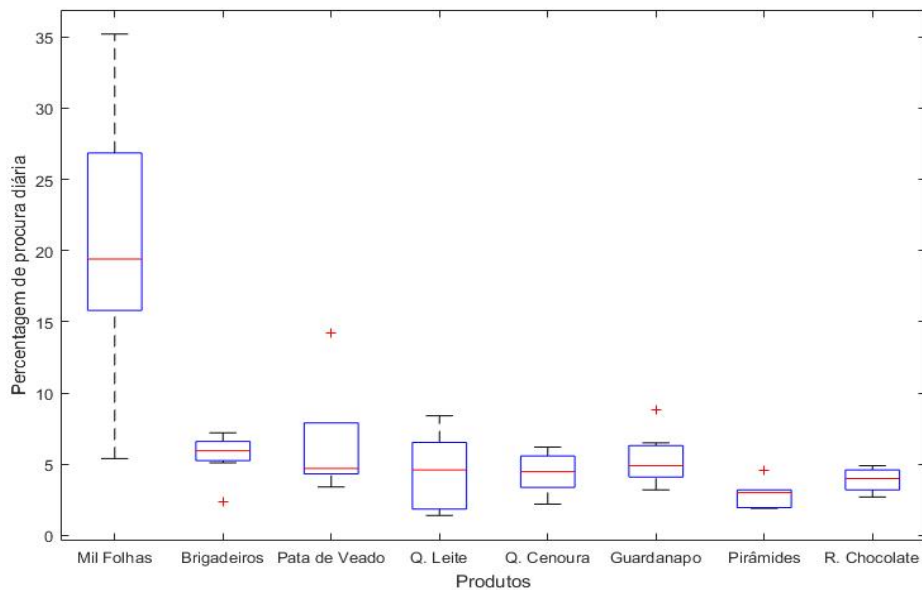


Figura 4.8 – Diagrama de extremos e quartis (*boxplot*)

Observando a figura 4.8, nota-se a presença de linhas horizontais vermelhas que representam o valor médio de D , neste caso em percentagem. As caixas delimitadas a azul representam a gama na qual a maioria dos valores da procura se encontra, destas saem linhas verticais, a tracejado, que representam o desvio padrão para a procura. Existem ainda valores, denominados de *outliers*, correspondentes a pontos a vermelho, que representam quantidades elevadas relativamente aos valores que eram esperados para a procura dos produtos em questão.

Efetuada todo o tratamento estatístico dos dados, que permitem estabelecer a procura média, procedeu-se de seguida aos cálculos de todos os custos necessários à construção do modelo de optimização de lotes.

4.2.8 Determinação de custos monetários

Um aspeto relevante, referido anteriormente, são os custos monetários requeridos pelo modelo. Assim, o cálculo dos componentes c_e, c_m, c_0 e c_c , descritos na tabela 4.1, é fundamental para a optimização dos lotes. Na tabela 4.4, estão listadas as expressões usadas na sua determinação.

Tabela 4.4 - Custos necessários ao modelo de optimização de lotes

Tipologia	Equação
	$c_e = P_{eq} \times t_f \times C_e^v$ (4.25)
Produção	$c_m = W \times C_m^v$ (4.26)
	$c_o = t_o \times C_o^v$ (4.27)
Armazenamento	$c_c = P_{eq} \times t_{arm} \times C_e^v$ (4.28)

Ao observar a tabela 4.4 verifica-se que esta está dividida em duas partes, custos monetários de produção, onde se caracterizam c_e, c_m, c_o , e custos de armazenamento, nomeadamente, c_c .

Relativamente aos custos de produção, o primeiro componente é determinado com base na multiplicação de três variáveis, a primeira P_{eq} , representa a potência expressa em (kW) dos equipamentos utilizados ao longo da linha para o fabrico de uma *batch*. A variável t_f (h) refere-se ao tempo de funcionamento dos respectivos equipamentos no fabrico e, por último C_e^v (€/kW.h) representa o custo da energia eléctrica tarifada pela empresa fornecedora. O segundo componente dos custos de produção refere-se ao custo de matéria-prima e é determinado pela multiplicação do peso, em kg de produto, e representado pela variável W , pelo preço de uma unidade de peso (€/kg de produto), representado pela variável C_m^v . Por último, os custos de mão-de-obra são obtidos pela multiplicação de duas variáveis, t_o , isto é, o tempo (h) despendido pela mão-de-obra responsável pela confecção da *batch*, e C_o^v , que corresponde ao custo de mão-de-obra numa base horária (€/h).

Para terminar, os custos de armazenamento, referem-se ao custos despendidos para conservar os lotes na respetiva sala de armazenamento. Este custo é obtido através do produto de três variáveis, P_{eq} , que representa a potência (kW) dos equipamentos responsáveis pela climatização da câmara de congelação, t_{arm} , referente ao tempo (h) de prateleira e C_e^v , que mais uma vez, se refere ao tarifário da energia eléctrica. Todos os dados necessários à realização dos cálculos dos componentes dos custos listados encontram-se nas tabelas apresentadas no Anexo 2.

Na tabela 4.5, são compilados todos os dados necessários à parametrização do modelo de optimização de lotes. Note-se que para todos os produtos se atribui um valor de $T_f = 180$ dias, ou seja o tempo máximo, definido pelo Departamento de Qualidade da FPCSS, Lda., para o qual a qualidade percecionada do produto atinge o seu valor mínimo, isto é $Q_m = 0$.

Realça-se, ainda, o facto de que na tabela estão presentes, os parâmetros necessários à representação dos dados da procura pela distribuição t -Student, ver secção 3.3, o desvio padrão (S) da procura D para cada produto e ainda o número de observações, N , que define o número de graus de liberdade da distribuição. Estas variáveis serão uteis para a construção de diferentes cenários de procura.

Destaca-se também o facto de que os valores do custo de armazenagem são iguais para todos os produtos em questão, e cerca de dez a cem vezes menores que os restantes custos, pois como se mencionou anteriormente, neste componente são tidas em consideração todas as unidades armazenadas na câmara de conservação e não apenas os lotes em prateleira dos produtos seleccionados para estudo.

Tabela 4.5 - Dados necessários ao modelo de optimização de lotes

Produto	C_e (€/uni)	C_o (€/batch)	C_m (€/uni)	C_c (€/uni.dia)	p (€/uni)	D (uni/dia)	s (uni/dia)	N	T_f (dias)	Q_m
Mil folhas	0,0179	1,0714	0,2625	0,00162	0,37	144	57	20	180	0
Brigadeiros	0,0309	0,6786	0,3184	0,00162	0,55	13	3	8	180	0
Pata de Veado	0,0061	1,4286	0,0958	0,00162	0,37	55	35	9	180	0
Q. de Leite	0,0802	0,7857	0,1729	0,00162	0,46	4	2	5	180	0
Q. de Cenoura	0,1507	0,7900	0,1601	0,00162	0,46	8	2	9	180	0
Guardanapos	0,0310	1,4286	0,1229	0,00162	0,46	7	2	7	180	0
Pirâmides	0,0025	2,7857	0,551	0,00162	0,37	41	14	7	180	0
R. de Chocolate	0,0441	2,78	0,551	0,00162	0,41	5	1	6	180	0

Antes de detalhar a resolução numérica do modelo (4.18)-(4.20) definem-se aqui diferentes cenários considerados. Na prática, observou-se a partir da análise estatística dos dados de procura que há uma razoável variabilidade. Assim, e em vez de se considerar a variável estocástica o que tornaria mais complexo o problema de optimização, geram-se três cenários para a procura de cada um dos produtos, correspondentes a:

1. Elevada procura (EP), onde

$$D^{EP} = D + t_{1-\alpha, N-1} \cdot S / \sqrt{N} \quad (4.29)$$

Nesta equação D corresponde à procura média e S ao desvio padrão da amostra (ver tabela 4.5), N é o número de amostras, $t_{\alpha, N-1}$ é o valor da distribuição t -Student normalizada para um intervalo de confiança α e $N - 1$ graus de liberdade. Para efeitos de cálculo foi considerado α igual a 0,25, mas outros valores podem ser considerados;

2. Procura média (PM), onde a procura é efectivamente igual ao valor D listado na tabela 4.5;
3. Baixa procura (BP), onde

$$D^{BP} = D - t_{\alpha, N-1} \cdot S / \sqrt{N} \quad (4.30)$$

onde as variáveis têm a mesma interpretação definida anteriormente.

Neste contexto, a aplicação informática permitirá determinar T e P para cada um dos oito produtos considerados e cada um dos três cenários de procura listados.

4.3 Resolução do modelo de optimização

O modelo foi resolvido à custa de uma rotina programada em Matlab®. O procedimento lê os dados do modelo a partir de um ficheiro, constrói os cenários de procura listados (EP, PM e BP) e resolve o problema para cada um deles. Os resultados são reportados num ficheiro de texto. Para cada cenário e produto resolve-se o problema (4.18)-(4.20) usando uma rotina de optimização disponível no Matlab®. Especificamente, usa-se a *fmincon*, a qual se baseia no Método da Região de Confiança. As tolerâncias relativa e absoluta impostas em qualquer cenário e produto são iguais a 10^{-6} .

5 Implementação e resultados da nova política de *stocks*

Neste capítulo apresentam-se os resultados do modelo para o conjunto de produtos considerados e os cenários listados no capítulo 4. Na secção 5.1 analisam-se os resultados da implementação da política óptima obtidos relativamente a um produto.

Inicialmente os cenários listados foram simulados correndo o código implementado para cada um deles.

Os valores óptimos de T na Tabela 5.1, estão na forma fraccional, tal como são obtidos a partir da resolução do problema (4.18)-(4.20). A implementação da política óptima requer que se aproxime o valor de T para o inteiro mais próximo, o que decorre do facto de ser mais prático para a empresa operar com tempos de ciclo inteiros em virtude de tal interferir com o sequenciamento dos operadores.

Analisando a Tabela 5.1 distinguem-se três colunas referentes aos três cenários definidos da procura. Assim, na coluna da esquerda apresenta-se o cenário mais pessimista onde a procura corresponde ao limite do intervalo de confiança para D . Na coluna central, estão os resultados para a procura média diária D , ou seja, o cenário mais provável, de acordo com a análise estatística levada a cabo. Na terceira coluna está representado o cenário mais optimista, onde os valores para a procura diária estão no limite superior do intervalo de confiança. Conforme esperado, para todos os produtos o cenário BP conduz a tempos de ciclo maiores que o cenário PM e o cenário EP. Por outro lado, o tamanho de *batch* tem o comportamento oposto; ou seja, à medida que a procura aumenta a *batch* é maior. Outro aspecto a notar é que os tempos óptimos (T) de armazenamento são bastante inferiores a T_f (180 dias), de ordem de 2 a 9 dias.

Analisam-se também, em jeito de exemplo, as parcelas que contribuem para o custo de produção de uma *batch* e a sua importância relativa, comparando os cenários pré e pós optimização. Para tal considera-se apenas o *Mil Folhas* e o cenário pós optimização PM, que são bons exemplos para qualquer outro cenário. A Tabela 5.2 mostra os custos de produção, de armazenagem e de perda de qualidade por *batch*. É de notar que a parcela de custos com maior importância relativa são os custos de produção totais, C^{pt} , uma vez que estes representam 98% dos custos totais da produção de uma *batch* para os dois cenários, pré e pós optimização, mostrando que embora exista uma descida nos custos de produção totais com a optimização esta não é significativa.

Tabela 5.1 Resultados obtidos para a optimização de lotes

Produtos	Cenário BP		Cenário PM		Cenário EP	
	<i>T</i> (dias)	<i>P</i> (unidades/ <i>batch</i>)	<i>T</i> (dias)	<i>P</i> (unidades/ <i>batch</i>)	<i>T</i> (dias)	<i>P</i> (unidades/ <i>batch</i>)
Mil folhas	2,3	294	2,2	318	2,1	341
Brigadeiros	3,9	43	3,7	48	3,5	53
Pata de Veado	3,7	149	3,4	185	3,1	217
Q. de Leite	7,7	15	6,1	25	5,4	32
Q. de Cenoura	5,1	36	4,9	39	4,7	42
Guardanapo	6,5	39	6,2	43	5,9	48
Pirâmides	4,9	167	4,6	190	4,4	211
R. de Chocolate	9,7	39	9,0	45	8,5	51

Obtidos todos os resultados, o passo seguinte foi aplicar a política de otimização de lotes ao processo de fabrico. Na impossibilidade de aplicar a política óptima a todos os produtos em estudo, devido a implicações em alguns processos operativos quotidianos, seleccionou-se apenas um dos produtos. Neste caso, o *Mil Folhas*, uma vez que se trata do item com maior rotação, permitindo assim alguma rapidez na análise de resultados. Tratando-se do produto com maior procura, o cenário escolhido para testar em processo de fabrico foi o mais optimista, onde se considera uma procura no limite superior do intervalo de confiança. Foi criado assim um novo procedimento de produção para os *Mil Folhas* na FPCSS, Lda. que implica a confecção de 400 unidades por *batch* e um ciclo de produção de dois dias. Apesar dos resultados mostrarem que para a otimização de lotes o ideal seria $P = 341$ unidades/*batch* definiu-se $P = 400$ unidades/*batch* após concordância ao nível das partes envolvidas no processo produtivo, pois tal política tem implicações na gestão corrente da produção. Note-se que este valor está próximo da política óptima obtida para o limite superior do intervalo de confiança de 75 % para a procura média (cenário EP).

De seguida analisam-se os resultados ilustrativos da aplicação do novo processo de confecção dos *Mil Folhas*.

5.1 Aplicação da metodologia e resultados

Na figura 5.1 está representado o perfil de *stock* obtido após implementação do método de otimização de lotes. É de referir que comparativamente ao período em que se fez a recolha de dados para levar a cabo a otimização da política, cerca de três meses, o período para recolha de dados após a implementação foi inferior tendo sido feito apenas durante o último mês de estágio. No entanto, existem, alguns aspetos que se devem salientar. Através da observação do perfil, nota-se uma regularização dos ciclos de produção com valores de T a variar entre 2 a 4 dias, bem como a regularização das quantidades produzidas por *batch*. Esta regularização permite um maior controlo das quantidades em prateleira, fazendo com que haja um controlo mais eficaz dos lotes existentes, o que de um ponto de vista microbiológico acaba por ser também vantajoso reduzindo o risco de contaminações cruzadas. Do ponto de vista da qualidade percebida, ao diminuir as quantidades produzidas por *batch*, as quantidades em prateleira acabam por ser reduzidas fazendo com que o produto passe menos tempo na câmara de conservação; este aumento de rotação faz

com que o cliente beneficie, com maior frequência, de produto mais fresco. Isto é, com maior qualidade percebida e que se reduzam consequentemente desperdícios.

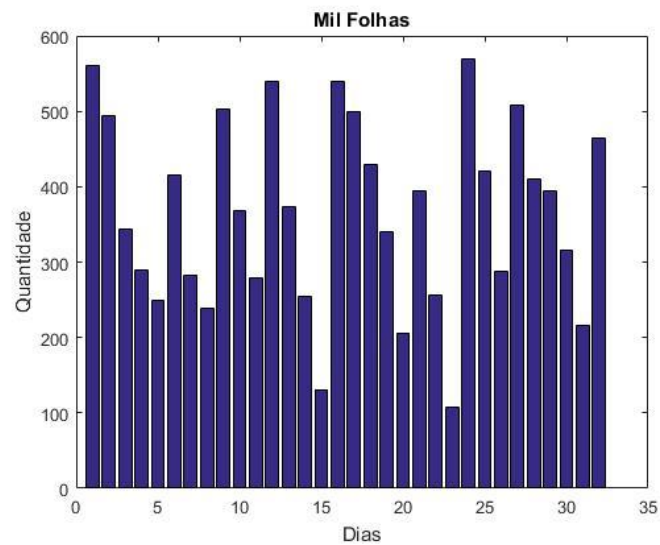


Figura 5.1- Perfil de stock dos Mil Folhas após aplicação da metodologia de otimização de lotes

A figura 5.2 mostra o perfil de *stock* dos *Mil Folhas* referente ao período pré-otimização (à esquerda e pós otimização (à direita) Na prática, observa-se que antes da otimização do stock de *Mil Folhas* tem uma grande irregularidade, devido ao facto do mesmo ser um produto com grande procura e do facto da inexistência de mão-de-obra suficiente para que os ciclos de produção sejam regulares. Assim, são produzidas *batches* com tamanhos muito superiores ao que se espera necessário diariamente de forma a cobrir todas as oscilações que advenham da procura, trazendo assim as consequências já referidas da perda de qualidade percebida. No diagrama de barras à direita verifica-se uma regularização da produção dos *Mil Folhas*, facto que se traduz num perfil de *stock* mais aproximado ao teórico. Esta regularização traz as vantagens mencionadas relativamente ao controlo de lotes, e até mesmo ao nível da rastreabilidade. Na prática devido à redução das quantidades em *stock* torna-se mais fácil o controlo do produto existente permitindo uma maior perceção do produto vendido e de quando foi fabricado, bem como do nível da qualidade percebida através da redução de tempos de prateleira diminuindo, consequentemente, os desperdícios. A nível financeiro esta regularização, e pelas consequências que se mencionaram, pode ser a longo prazo vantajoso para a Fábrica de Pastelaria e Confeitaria São Silvestre Lda.

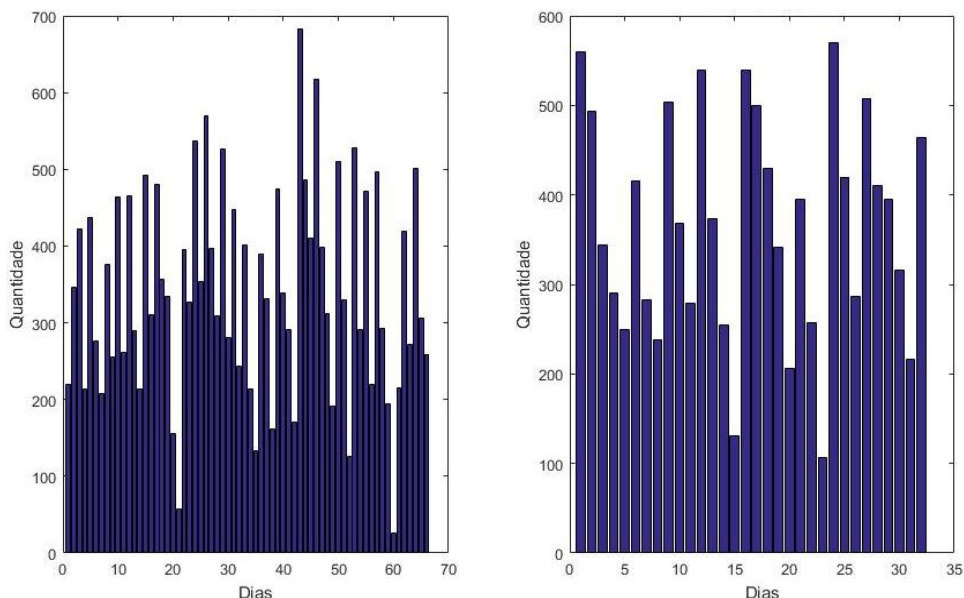


Figura 5.2 - Comparação dos perfis de *stock* do produto *Mil Folhas* pré (esquerda) e pós (direita) optimização

Contudo, existem ainda outros aspetos a salientar. Pela análise da figura 5.2, mais especificamente no diagrama da direita, nota-se que os ciclos de produção T aplicados à nova política de fabrico na verdade não correspondem aos 2 dias como se referiu; observam-se ciclos que variam entre 2 e 4 dias. Esta adversidade surge do facto da nova política de optimização de lotes não ser implementada ao fim de semana, pois existe uma redução a nível da distribuição, o que leva a que se baixe o ritmo de produção ficando este restringido aos clientes e aos produtos fornecidos durante este período semanal. Outro aspecto com implicações diretas no ciclo de confecção dos *Mil Folhas* é o facto de apenas mão de obra específica estar encarregue do fabrico deste produto. Ora conjugando isto com as folgas semanais dos operadores responsáveis pela produção dos *Mil Folhas* surge assim a impossibilidade de restringir T a 2 dias bem como P a 400 unidades. Em suma é necessário existir um fabrico de *Mil Folhas* que cubra estas adversidades.

Considerando agora a novo método de fabrico efetuou-se o mesmo tratamento de dados descrito na secção 4.2.6 relativamente ao novo perfil de *stock* dos *Mil Folhas*. Determinou-se portanto um novo valor de D , correspondente a 109 unidades, bem como o respectivo desvio padrão, $s = 29$ unidades. A comparação entre os primeiros e os novos valores apresentados para estes parâmetros pode ser analisada através da observação do diagrama de extremos e quartis representado na Figura 5.2.

A análise dele, mostra o decréscimo de 24,3% da média da procura diária, que diminui de 144 para 109 unidades, representada pela linha vermelha. É, também, notável o significativo decréscimo do desvio padrão de 54,3%, passando de 57 unidades para 29 unidades.

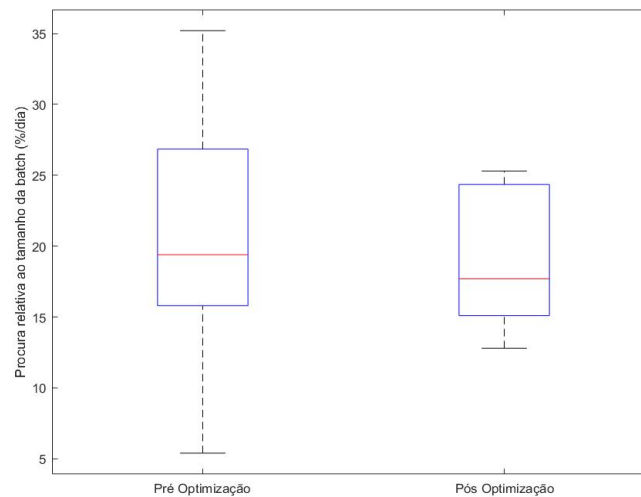


Figura 5.2 - Diagrama de extremos e quartis

De modo a quantificar as custos totais de produção, de armazenagem e de perda de qualidade percebida em câmara de conservação relativos à produção de lotes de *Mil Folhas*, determinaram-se as quantidades referentes a cada um destes parâmetros bem como a sua importância relativa, para o cenário pós-optimização. A Tabela 5.2, mostra os valores para cada componente de custo em €/batch e as percentagens relativas ao peso de cada um. Ao analisar os valores nota-se um significativo domínio dos custos de produção totais relativamente às outras duas componentes, representando assim praticamente a totalidade dos custos relativos ao fabrico das *batches* de *Mil Folhas*, com um peso de 98,53 %. Olhando para os custos de armazenagem e de perda de qualidade percebida, nota-se uma clara proximidade entre ambos, no entanto os custos de perda de qualidade percebida são superiores em 0,03 %. Aplicando o modelo de optimização aos lotes de *Mil Folhas* estes têm associado a si um custo de perda de qualidade percebida devido ao armazenamento em câmara de conservação de 0,89€, para valores de $P = 400$ unidades e $T = 2$ dias. Note-se que os *Mil Folhas* são um dos produtos com rotação mais elevada que os restantes estudados pelo que para outros produtos os custos de armazenagem e de perda de qualidade percebida podem ter maiores importâncias relativas tendo assim maior impacto ao nível dos custos.

Tabela 5.2-Componentes de custo por batch e respectiva importância relativa

Cenário	Parâmetro	Custo (€/batch)	Importância Relativa %
Pós Optimização	C^{pt}	112,93	98,53
	C^s	0,83	0,72
	C^q	0,86	0,75
	Total	114,62	

6 Conclusões

O trabalho quotidiano na Fábrica de Pastelaria e Confeitaria São Silvestre, Lda., permitiu adquirir capacidade e conhecimentos relativamente ao ambiente industrial, a nível de gestão de processos de produção e controlo estatístico. Permitiu também a interação com: i) fornecedores no que toca à gestão de *stocks* de matéria-prima e qualidade dos produtos recepcionados; ii) colaboradores, ao nível da resolução de questões do dia-a-dia referentes à satisfação dos mesmos posteriormente avaliada através de relatórios de satisfação; iii) clientes, enquadrando a gestão de encomendas, faturação e distribuição, bem como a avaliação da satisfação; e iv) o *software* de apoio à gestão da fábrica, onde se realizam os registos de produção, relatórios de rastreabilidade, gestão de facturação de fornecedores e clientes, entre outros. Permitiu também o contacto com a legislação aplicada à indústria alimentar, tanto ao nível das normas ISO:9000 como do protocolo HACCP envolvendo a preparação e respetivo acompanhamento de auditorias por parte de entidades internas e externas.

Para além do trabalho quotidiano realizado desenvolveu-se uma ferramenta computacional para a resolução de um problema existente na fábrica, nomeadamente a optimização de lotes em *stock* na câmara de conservação. Muitos dos produtos em prateleira na câmara de conservação acabam por passar muito tempo armazenados fazendo com que a sua qualidade percebida decresça à medida que o tempo de conservação decorre. Para a optimização deste processo desenvolveu-se de um modelo de programação matemática para a optimização dos lotes de produtos armazenados em câmara de conservação. Com base na determinação de parâmetros prévios como a procura diária do produto e a estrutura de custos, a ferramenta fornece ao utilizador, para três cenários diferentes de níveis de procura, as quantidades óptimas a produzir por *batch*, bem como os respectivos ciclos de produção.

Este estudo foi realizado para oito produtos, mas na impossibilidade de aplicar as políticas de produção óptimas preconizadas pelo modelo de optimização selecionou-se entre estes oito o produto com maior rotação, designadamente o *Mil Folhas*, de maneira a que a análise dos resultados fosse possível dentro do tempo de estágio que restava. Dos três cenários simulados, considerou-se para procedimentação o mais optimista ao fabrico das *batches* dos *Mil Folhas*. Notou-se uma aproximação do perfil de *stock* obtido referente ao perfil teórico objectivo; assim, o decréscimo nas quantidades fabricadas por *batch* leva a maior controlo dos lotes existentes em prateleira na câmara de conservação reduzindo, consequentemente, os tempos de armazenagem. Isto permite que o produto passe menos

tempo sujeito às condições de congelação, que embora seja um bom método de conservação, acaba por degradar o produto fazendo com que a qualidade percebida diminua. Para além disso esta estratégia garante um maior controlo a nível microbiológico no que às contaminações cruzadas diz respeito. Assim, ao estar menos tempo armazenado o produto chega ao consumidor com maior qualidade percebida trazendo vantagens económicas à empresa a longo prazo. O nível de regularização dos perfis de *stock* pode ser quantificado pelos valores obtidos através do novo perfil de *stock* para os lotes de *Mil Folhas*. Através da análise do decréscimo do desvio padrão do cenário pré-optimização para o cenário pós-optimização, em que este valor diminuiu em 54,3 % passando de $s = 57$ unidades para $s = 29$ unidades.

Para terminar deixam-se sugestões de alguns aspetos que podem ser aperfeiçoados de maneira a melhorar o desempenho da FPCSS, Lda. ao nível da gestão de *stocks*: i) sugerir à empresa que presta suporte informático à fábrica para simplificar a forma de efetuar os registos de produção de maneira a facilitar a compreensão por parte dos colaboradores responsáveis. Tal assegura rapidez da tarefa e, conseqüentemente, que exista um melhor controlo da produção bem como o controlo de *stocks*, quer de produto semi-acabado, quer de produto acabado; ii) aumentar a frequência do controlo estatístico aos produtos acabados alargando o leque de itens controlados, permitindo, a longo prazo, reduzir perdas financeiras provenientes de falhas; iii) desenvolver um sistema de gestão e controlo de existências de matérias-primas/encomendas, de forma a reduzir algumas quantidades que permanecem em armazém por longos períodos de tempo tornando-se inutilizáveis por terem atingido o limite de validade; iv) quanto à nova política de optimização de lotes desenvolvida sugere-se a introdução no modelo do sequenciamento dos operadores, uma vez que existem trabalhadores específicos encarregues da produção de certos produtos. A incorporação desta relação permite um nível de optimização mais próxima da prática; por último v) continuar com a filosofia de melhoria contínua de forma a permitir o desenvolvimento e crescimento da Fábrica de Pastelaria e Confeitaria São Silvestre, Lda.

Referência Bibliográficas

- Abad, P. L., 2000. Optimal lot size for a perishable good under conditions of finite production and partial backordering and lost sale. *Computers and Industrial Engineering*, Volume 38, pp. 457-465.
- Acevedo-Ojeda, A., Contreras, I. & Chen, M., 2018. Two-level lot-sizing with raw-material perishability and deterioration. *Journal of the Operational Research Society*, 10 Dezembro. pp. 1-16.
- Amran, T. G. & Fatima, Z., 2017. Lagrange Multiplier for Perishable Inventory Model Considering Warehouse Capacity Planning. *AIP Conference Proceedings*, 15 Junho .
- Avinadav, T., Herbon, A. & Spiegel, U., 2013. Optimal inventory policy for a perishable item with demand function sensitive to price and time. *International Journal Production Economics*, 6 Abril, Volume 144, pp. 497-506.
- Bai, R. & Kendall, G., 2008. A Model for Fresh Produce Shelf-Space Allocation and Inventory Management with Freshness-Condition-Dependent Demand. *INFORMS Journal on Computing*, Volume 20(1), pp. 78-85.
- Betlloch-Mas, I., Ramón-Sapena, R., Abellán-García, C. & Pascual-Ramírez, J., 2018. Implementation and Operation of an Integrated Quality Management System in Accordance with ISO 9001:2015 in a Dermatology Department. *ACTAS Dermo-Sifiliográficas*, Agosto. pp. 1-10.
- Broekmeulen, R. A. C. M. & Donselaar, K. H. v., 2009. A heuristic to manage perishable inventory with batch ordering, positive lead-times, and time-varying demand. *Computers and Operations Research*, Volume 36, pp. 3013-3018.
- Chen, S.-C., Chang, C.-T. & Teng, J.-T., 2013. A comprehensive note on "Lot-sizing decisions for deteriorating items with two warehouses under an order-size-dependent trade credit. *International Transactions In Operational Research*, 2 Julho, Volume 21, pp. 855-868.
- Conn, A. R., Gould, N. I. M. & Toint, P. L., 1987. *Trust-Region Methods*. Filadélfia: SIAM.
- Costa, E., 2016. *Manual da Qualidade*. 00 ed. Lousã(Coimbra): Fábrica Pastelaria São Silvestre, Lda. .

- Courtois, A., Pillet, M. & Martin-Bonnefous, C., 2003. *Gestão da Produção*. 7ª ed. Paris: Lidel-Edições Técnicas, Lda.
- Edgar, T. F., Himmelblau, D. M. & Lasdon, L. S., 1988. *Optimization of chemical processes*. 2ª Edição ed. Austin(Texas): McGraw-Hill.
- Fábrica de Pastelaria São Silvestre Lda., 2019. *Plano HACCP, Queques*. Lousã, Coimbra: Fábrica de Pastelaria São Silvestre, Lda..
- Fauza, G., Amer, Y. & Lee, S.-H., 2013. Model of an Integrated Procurement-Production System for Food Products Incorporating Quality Loss during Storage Time. *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing*, Volume 1, pp. 17-21.
- Fauza, G., Prasetyo, H. & Amanto, B. S., 2018. Development of an integrated production-inventory model for food products considering exponential perceived value loss. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Volume 403.
- Filina-Dawidowicz, L. & Postan, M., 2016. Optimal inventory control for perishable Items under additional cost for deterioration reduction. *LogForum*, 4 Fevereiro, Volume 12 (2), pp. 147-156.
- FQA- Formação Qualidade e Auditoria Agro-Alimentar, Lda, 2002. *HACCP-Manual de Formação*. Coimbra: s.n.
- Ghosh, S. K., Sarkar, T. & Chaudhuri, K., 2015. A multi-item inventory model for deteriorating items in limited storage space with stock-dependent demand. *American Journal of Mathematical and Management Sciences*, 28 Janeiro, Volume 34:2, pp. 147-161.
- Goyal, S. K. & Giri, B. C., 2000. Recent trends in modeling of deteriorating inventory. *European Journal of Operational Research*, 13 Julho, Volume 134, pp. 1-16.
- Haijema , R., 2014. Optimal ordering, issuance and disposal policies for inventory management of perishable products. *Internacional Journal of Production Economics*, Junho , Volume 157, pp. 158-169.
- Jing, F. & Mu, Y., 2019. Forecast horizon for dynamic lot sizing model under product substitution and perishable inventories. *Computers and Operations Research*, 30 Maio, Volume 110, pp. 77-87.
- Mangasarian, O. L., 1994. *Nonlinear Programming*. Wisconsin (Madison): SIAM.

-
- Muriana, C., 2016. An EOQ model for perishable products with fixed shelf life under stochastic demand conditions. *European Journal of Operational Research*, 27 Abril, 255(Production, Manufacturing and Logistics), pp. 388-396.
- Nandakumar, P. & Morton, T. E., 1993. Near myopic Heuristics for the Fixed-Life Perishability Problem. *Management Science*, 12 Dezembro, Volume 39, pp. 1490-1498.
- Nunes, C., 2012. *Desenvolvimento de metodologias para a optimização da Gestão da Manutenção da Fábrica São Silvestre, Ltda*, Coimbra: Tese de Mestrado.
- Peleg, M. & Normand, M. D., 2015. Simulating shelf life determination by two simultaneous criteria. *Food Research International*, 11 Setembro, Volume 78, pp. 388-395.
- Remington, M. C. A., 2017. *The Effect of Freezing and Refrigeration on Food Quality*, s.l.: TigerPrints.
- Roldão, V. S. & Ribeiro, J. S., 2014. *Gestão das Operações - Uma Abordagem Integrada*. 2ª ed. Lisboa: Monitor.
- Ross, S. M., 1987. *Introduction to Probability and Statistics for Engineers and Scientists*. Califórnia, Berkeley: John Wiley & Sons, Inc.
- Sebastianelli, R. & Tamini, N., 2002. How product quality dimensions relate to defining quality. *International Journal of Quality & Realiability Management*, Volume 19, pp. 442-453.
- Silva, A. M. d. & Melo, R. M. d., 2016. A multicriteria approach for selecting consultancy and certification services related to Quality Management. *Gestão e Produção, São Carlos*, 7 Junho, Volume 25, pp. 160-174.
- Stylidis, K., Wickman, C. & Soderberg, R., 2015. Defining perceived quality in the automotive industry: an engineering approach. *Science Direct*, Volume 36, pp. 165-170.
- Sun, W. & Yuan, Y.-X. Y., 2006. *Optimization Theory and Methods Non Linear Programming*. Nova Iorque: Springer.
- Terlaky, T., 1996. *Interior Point Methods of Mathematical Programming*. Norwell: Kluwer Academic Publishers.
- Venkataraman, P., 2002. *Applied Optimization with MATLAB Programming*. Rochester: Wiley-Interscience.

Yang, M.-F. & Tseng, W.-C., 2015. Deteriorating Inventory Model for Chilled Food. *Mathematical Problems in Engineering*, 15 Março, Volume 2015, pp. 1-10.

Yu, C.-s., Shao, T.-t. & Li, D.-m., 2016. Distribution of standard deviation of an observable among superposed states. *Annals of Physics*, 1 Julho, Volume 373, pp. 43-51.

Zhang , P., Zhu, Z. & Sun, D.-W., 2018. Using Power Ultrasound to Accelerate Food Freezing Processes: Effects on Freezing Efficiency and Food Microstructure. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 31 Maio .pp. 1-33.

Zhang, Y. & Wang, Z., 2018. Integrated Ordering and Pricing Policy for Perishable Products with Inventory Inaccuracy. *14th International Conference on Automation Science and Engineering*, pp. 1230-1236.

Anexos

Anexo 1 – Imagem ilustrativa da Fábrica de Pastelaria São Silvestre



Figura A1-Fotografia da Fábrica de Pastelaria São Silvestre

Anexo 2 – Tabelas representativas de dados utilizados para a construção do modelo de otimização de lotes

Na tabela A2.1 é possível observar as potências dos equipamentos utilizados para a confeção das *batches* dos produtos alvos de estudo no presente trabalho. De referir que tanto o túnel como a câmara são compostos pelos mesmos componentes apesar das temperaturas aplicadas e dos tempos de utilização serem diferentes, ou seja, estes equipamentos têm propósitos diferentes.

Tabela A2.1- Potências dos equipamentos utilizados

	Equipamento	Potência (kW)
Produção	Forno	15,200
	Amassadeira	1,500
	Batedeira	3,000
	Túnel	4,266
Armazenagem	Câmara	4,266

A tabela seguinte, tabela A2.2, demonstra os tempos de funcionamento de cada equipamento utilizado durante a produção de uma *batch*. É de realçar o facto de que tanto para as pirâmides como para ratinhos de chocolate o processo de cozedura serve apenas como ponto de controlo crítico de modo a garantir a segurança alimentar, onde se faz atingir uma temperatura de 85°C no interior do produto, valor esse medido com recurso a um termopar. Para determinação dos tempos realizou-se a cronometragem a partir do momento em o equipamento era ligado para o efeito de confeição até ao momento em que se desligava o mesmo.

Tabela A2.2 - Tempos de operação dos equipamentos

	Tempo de operação para uma <i>batch</i>		
	Amassadeira/batedeira	Forno	Túnel
Mil Folhas	0,33	0,50	2,50
Brigadeiros	0,17	0,50	2,00
Pata de Veado	0,17	0,17	2,50
Q. Leite	0,25	1,25	1,50
Q. Cenoura	0,25	1,25	1,50
Guardanapo	0,17	0,08	1,50
Pirâmides	0,17	0,17 (PCC)	1,33

R. Chocolate	0,17	0,17 (PCC)	1,33
--------------	------	------------	------

A tabela A2.3 representa o tarifário utilizado para curtas utilizações, isto é, para processos de confecção de *batches*, sejam processos de cozedura ou PCC's.

Tabela A2.3- Tarifário de média tensão utilizado para curtas utilizações

Período I e IV (primeiro e último trimestres do ano)	
Curtas Utilizações	€/kW.h
Ponta	0,2128
Cheias	0,1205

Na tabela A2.4, encontram-se os tempos despendidos pelos colaboradores no fabrico das *batches*.

Tabela A2.4- Tempo de operação

Produto	Tempo de operação (horas)
Mil Folhas	0,58
Brigadeiros	0,23
Patas de Veado	0,33
Q. Leite	0,37
Q. Cenoura	0,37
Guardanapos	0,67
Pirâmides	0,32
R. Chocolate	0,32

Seguidamente na tabela A2.5 apresentam-se os custos de matéria-prima por unidade produzida. O preço da matéria-prima, €/kg (c/IVA), é obtido com recurso ao *SIM!PAN*, bem como as receitas, que explicitam os pesos de cada ingrediente e consequentemente o peso

total por *batch*, com isto é obtido o preço total por receita, €/kg de receita. Os pesos unitários de cada bolo foram adquiridos com recurso a uma balança, onde se pesaram algumas unidades calculando posteriormente a média dos pesos obtidos.

Tabela A2.5 – Custo de matéria-prima por unidade

Produto	€/unidade
Mil Folhas	0,262
Brigadeiros	0,318
Patas de Veado	0,096
Q. Leite	0,173
Q. de Cenoura	0,160
Guardanapos	0,123
Pirâmides	0,550
R. de Chocolate	0,550

A tabela A2.6 especifica o tarifário para longas utilizações, ou seja, o caso da câmara de armazenagem que trabalha 24 horas ininterruptamente. Os valores demonstrados quer na tabela A2.3 quer na tabela A2.6 foram retirados da página web da EDP, onde estão disponíveis todos os tarifários.

Tabela A2.6- Tarifário de média tensão utilizado para longas utilizações

Longas utilizações	€/kW.h
Ponta	0,1832
Cheias	0,1101
Vazio	0,0777
Super Vazio	0,0666

Na tabela A2.7 são demonstrados os parâmetros relativos aos custos de armazenagem. Inicialmente encontrou-se o custo diário da câmara de armazenagem com base na potência dos equipamentos e no tempo de funcionamento da mesma, já referido anteriormente. De avultar o facto de que para o custo de armazenamento foi necessário ter em conta todos os itens armazenados na câmara e não apenas os produtos que foram alvo de estudo. Assim efetuou-se o quociente entre o custo diário de armazenamento e todas as unidades armazenadas na câmara.

Tabela A2.7- Parâmetros relativos aos custos de armazenagem

Custo diário (€)	10,16
Unidades em <i>stock</i>	6272
Armazenamento (€/unidade armazenada)	0,00162

Note-se que as unidades em *stock* dispostas na tabela A7 são referentes ao dia em que se fez a contagem total das mesmas podendo este valor oscilar consoante as quantidades produzidas dos produtos acondicionados na câmara.

De seguida, na tabela A2.8, observam-se os valores de p , isto é, o preço de venda de uma unidade de produto representando assim o custo após T_f devido à perda de qualidade percebida. Com recurso ao *SIM!PAN* obtém-se os preços de venda quando $T_f = 0$ e consequentemente $Q_m = 1$.

Tabela A2.8 – Preço de venda de unidades

Produto	p (€/unidade)
Mil folhas	0,37
Brigadeiros	0,55
Pata de Veado	0,37
Q. de leite	0,46
Q. de cenoura	0,46

Guardanapos	0,46
Pirâmides	0,37
R. de Chocolate	0,41

Anexo 3- Desenvolvimento do modelo de optimização em Matlab®

No presente anexo detalha-se o trabalho desenvolvido no *software* utilizado no que toca à construção do modelo de optimização de lotes e respetivos parâmetros. Na figura A3.1 é possível observar as linhas que dizem respeito aos componentes apresentados na tabela 4.1, (ver secção 4.2.1) bem como a linha responsável por carregar o ficheiro de texto que contém os valores correspondentes aos mesmos.

```

global cs cf cv p dem qmin tf
%
% read data
data      = load('data_stocks.txt');
nprod     = size(data, 1);
cm        = data(:,1);
ce        = data(:,2);
co        = data(:,3);
cc        = data(:,4);
price     = data(:,5);
Dmedio    = data(:,6);
DesvD     = data(:,7);
Nobs      = data(:,8);
Td        = data(:,9);
Qm        = data(:,10);
    
```

Figura A3.1- Código Matlab referente aos dados da tabela 4.1

A Figura A3.2 refere-se à representação dos três cenários para os resultados finais dos lotes a produzir, que variam de acordo com a incerteza da procura.

```

% for each product compute the confidence intervals for mean
alpha      = 0.25;
for i=1:nprod
    for j=1:3
        if j==1
            Dz(i,j) = floor(Dmedio(i)+tinv(alpha/2,Nobs(i)-1)* ...
                DesvD(i)/sqrt(Nobs(i)));
        elseif j==2
            Dz(i,j) = Dmedio(i);
        else
            Dz(i,j) = ceil(Dmedio(i)+tinv(1-alpha/2,Nobs(i)-1)* ...
                DesvD(i)/sqrt(Nobs(i)));
        end
    end
end
end
%
% options for solver

```

Figura A3.2 - Código Matlab responsável pela criação dos três cenários da variação da procura.

Estão representados na tabela 4.1, (secção 4.2.1) três componentes que caracterizam os custos fixos totais associados à produção, $C_m + C_e = C^f$, os custos variáveis totais associados à produção $C_o = C^v$, e o custo total de armazenamento em câmara de refrigeração C^s . Para representar os elementos referidos criaram-se as linhas de código representadas na Figura A3.3.

```

for i=1:nprod
    %
    % specify the costs
    cf      = cm(i)+ce(i);
    cv      = co(i);
    cs      = cc(i)/100;
    p       = price(i);
    tf      = Tf(i);
    qmin    = Qm(i);
    for j=1:3

```

Figura A3.3 - Código responsável pela representação dos componentes C^f , C^v e C^s .

Prosseguindo o desenvolvimento do código, segue-se um aspeto determinante na resolução do problema proposto, a utilização de uma função de minimização. Para o caso em questão foi utilizada a *fmincon*, função incluída na *toolbox* de optimização do Matlab, (ver secção 3.4). Na figura que se segue, Figura A 3.4, este processo abre com uma linha responsável por carregar os valores de D , e associar os mesmos aos três cenários referidos anteriormente. Seguem-se três linhas, onde na primeira se atribui um valor inicial, P_0 e T_0 , representados no código por x_0 , entre 2 e 200 para que as iterações possam ter início. As

duas linhas seguintes representam, o limite inferior e superior dos valores esperados para P e T . Seguem-se duas linhas representativas das igualdades lineares do modelo, nomeadamente a restrição (4.19), ver secção 4.2.5. A linha seguinte diz respeito à construção da função de optimização utilizada, *fmincon*, onde, como se pode ver na figura A 3.4, se introduzem todos os componentes anteriormente construídos no código. As últimas duas linhas correspondem aos resultados que se pretendem obter para os ciclos de produção em dias, $x(1)$ e para os tamanhos dos lotes a produzir $x(2)$.

```

for j=1:3
%
% other data
dem      = Dz(i,j);
%
% data [T, P]^T
x0       = [2; 200];
lb       = [0.1; dem];
ub       = [10; 20*dem];
%
% algebraic constraint
Aneq     = [dem, -1];
bneq     = [0];
[x, fval] = fmincon(@cost, x0, Aneq, bneq, [], [], lb, ub, [], options);
per(i,j) = x(1);
demand(i,j) = x(2);
end

```

Figura A3.4 - Construção da função de minimização e respetivas restrições

Para terminar, a Figura A3.5 representa a estrutura da função Z , representada pela expressão (4.18), que se pretende minimizar e à qual se atribui a designação $cost(x)$. Aqui são definidas as variáveis $x(1)$ e $x(2)$ correspondentes a T e P respectivamente, bem como as componentes C^{pt} , C^s e C^q descritas na tabela 4.1.

```

function [z] = cost(x)
%
% global cs cf cv p dem qmin tf
%
% reconstruction of variables
T      = x(1);
P      = x(2);
%
%
cst    = (P-dem*T/2)*cs;
cpr    = P/T*cf+dem/P*cv;
cqu    = T*(2*dem*T-3*P)*(qmin-1)/(6*tf)*p;
z      = cst+cpr+cqu;
end

```

Figura A 3.5- Estrutura da função a minimizar