

# **Análise de Variabilidade num Processo Industrial de Produção de bolachas**

*Ana Fátima Maia Carneiro*

**Dissertação de Mestrado**

Orientador na FEUP: Prof. Américo Lopes de Azevedo

Orientador na Empresa: Eng.<sup>a</sup> Luísa Santos Tavares



**Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial**

2017-06-26



*Everything is vague to a degree you do not realize  
until you have tried to make it precise.*

Bertrand Russell

## Resumo

Em ambiente de produção alimentar de elevado volume, é particularmente importante garantir que os parâmetros e variáveis chave dos processos se encontram dentro dos limites de conformidade. Nesse sentido, a sua monitorização afigura-se crucial para garantir a qualidade pretendida. Com alguma frequência, são necessários ajustes e alterações ao processo para que o produto seja adequado para consumo, se enquadre na embalagem ou corresponda a requisitos de qualidade. Na maioria dos casos, os problemas que surgem não são causados por um fator isolado. São o resultado de interações entre vários fatores, incluindo ingredientes, configurações dos parâmetros e outras condições de processamento.

Na indústria de produção de bolachas, a espessura e o peso de uma bolacha são duas das características de qualidade mais importantes. Independentemente do produto adquirido pelo cliente, o peso declarado no pacote é considerado como sendo uma especificação, pelo que qualquer desvio dessas características dos seus respetivos valores nominais conduz a uma variação no peso. Uma alteração desta medida representa um problema com consideráveis implicações, pelo facto de poder levar à insatisfação dos clientes, caso se registre peso a menos, ou a uma perda de lucro da empresa, pelo excesso de produto que se reflete em desperdício.

A presente dissertação enquadra-se num projeto de melhoria contínua desenvolvido numa empresa industrial de produção de bolachas, enquadrado numa opção estratégica de crescimento e expansão futura. Um dos desafios considerados foi alcançar a estabilização do processo de produção, através da definição de especificações que garantam a minimização da variabilidade e a redução do excesso de peso do produto. Para compreender a influência das variáveis do processo, é utilizada uma abordagem dedutiva, fundamentada teoricamente e testada experimentalmente. Este estudo focou-se numa linha de produção piloto que, posteriormente, servirá de base às outras linhas da unidade.

Dado os produtos confeccionados na empresa não se apresentarem controlados a nível de peso, foi necessário efetuar um estudo de controlo de qualidade, cujo objetivo final se refletiu na implementação de um controlo estatístico do processo, através de cartas de controlo de variáveis. Numa fase inicial, a característica encontrava-se fora de controlo estatístico, não só pela liberdade confiada aos operadores para alteração dos parâmetros das máquinas, resultando em inúmeras discrepâncias, como também por um conjunto de falhas técnicas não controladas e de rotinas de trabalho não normalizadas. Tomou-se como crítico definir valores específicos dos parâmetros como forma de atender às características do produto ao longo do tempo, restringindo-se a liberdade dos operadores e potenciando a otimização e autonomia do processo. Para a normalização da produção, foram criadas instruções de trabalho, baseadas em novas formas de atuação.

Com perspetiva de aplicação futura, foi desenhado um novo sistema de medição para avaliação do peso, espessura e cor do produto e também um modelo que reflita o ciclo de melhoria contínua, através da análise da estabilidade e da capacidade do processo. Projetou-se ainda um sistema de avaliação de custos baseado na função perda de Taguchi, como forma de se perceber o impacto do excesso de peso para a empresa. Decorrente do projeto, a empresa passou a dispor de um maior controlo sobre o processo produtivo, tendo sido conseguida uma redução do excesso de peso de 6%, superior à prevista de 3%. Minimizada a variabilidade, a empresa encontra-se na posição de se afirmar num mercado cada mais competitivo, tendo sido reduzido o custo de não qualidade em 75%.

Os resultados obtidos comprovam a eficácia da metodologia Lean Six Sigma como a ferramenta chave na procura por um melhor desempenho operacional, premiando todo o esforço investido no combate ao desperdício e na busca da excelência. A construção de um F-VMEA permitiu a identificação e priorização das ações a tomar, recorrendo-se a métodos estatísticos, entre os quais o desenho de experiências, para a sistematização do controlo da variação do processo.

# Analysis of Variability in an Industrial Process of Biscuit Production

## Abstract

In a high-volume food production environment, it is particularly important to ensure that key process variables and parameters are within the specification limits. Therefore, their monitoring is crucial to ensure the desired quality. Often, adjustments and changes to the process are required for the product to be suitable for consumption, fit into the package or meet quality requirements. In most cases, problems are not caused by an isolated factor. In fact, they are the result of interactions between several factors, including ingredients, parameter settings and other processing conditions.

In the biscuit manufacturing industry, the thickness and weight of the biscuit are two of the most important product's quality characteristics. Regardless of the product purchased by the customer, the declared weight in the package is considered a specification, so any deviation of these characteristics from their nominal values leads to a change in weight. A variation of this measure represents a problem with considerable implications: if there is less weight it may lead to customer dissatisfaction, if there is overweight, the excess of product represents waste which reflects a loss of profit for the company.

The present dissertation is part of a continuous improvement project developed in an industrial biscuit production company, framed in a strategic option of growth and future expansion. One of the challenges considered was to achieve the stabilization of the production process, by defining specifications that ensure the minimization of variability and reduction of the excess weight of the product. In order to understand the influence of the process variables, a deductive approach is used, being theoretically based and experimentally applied. This study was reflected in a pilot production line that will later serve as a basis for the other lines of the unit.

Since the products made at the company did not appear to have the weight controlled, a quality control study was necessary, whose final objective was reflected in the implementation of a statistical control of the process, through variable control charts. At an early stage, the characteristic was out of statistical control, not only because of the freedom entrusted to the operators to change machine parameters, resulting in numerous discrepancies, but also a number of uncontrolled technical failures and non-standard work routines. It was taken as critic to define specific values of the parameters as a way to meet the characteristics of the product over time, restricting the freedom of the operators and enhancing the optimization and autonomy of the process. For the normalization of production, working instructions were created, based on new ways of acting.

With a future application in perspective, a new measurement system was proposed to evaluate the weight, thickness and color of the product. It was also created a model that reflects the cycle of continuous improvement through the analysis of the stability and the capacity of the process. It was projected the creation of a cost evaluation system based on the Taguchi loss function, as a way of perceiving the impact of the excess weight on the company. As a result of the project, the company started to have greater control over the production process, and a 6% excess weight reduction was achieved, higher than the target of 3%. With the variability minimized, the company is in a position to establish itself in a more competitive market, reducing the cost of non-quality by 75%.

The results obtained prove the effectiveness of the Lean Six Sigma methodology as the key tool in the search for better operational performance, rewarding all the effort invested in combating waste and in the pursuit of excellence. The construction of a F-VMEA allowed the identification and prioritization of the actions to be taken, using statistical methods, among which the design of experiments, to systematize the control of the process variation.

## Agradecimentos

Ao Instituto Kaizen, em especial à minha orientadora Luísa Tavares, pela exigência, amizade e confiança demonstrada ao atribuir-me este projeto, contribuindo para o meu crescimento profissional. Ao meu líder de equipa, Rui Tenreiro, por toda a motivação e rápida integração na equipa, e ao meu amigo Nuno, pelo indispensável apoio numa fase inicial do projeto.

À empresa, a qual agradeço a oportunidade de ter desenvolvido este projeto nas suas instalações. Um especial agradecimento à Administração, pelo interesse contínuo no projeto, e ao Engenheiro da Manutenção, elo fundamental na resolução de alguns dos obstáculos cruciais para a continuidade do projeto.

Ao Professor Américo Azevedo, não só pela incansável disponibilidade demonstrada em todos os momentos do projeto, mas principalmente pela dedicação que sempre o destacou enquanto profissional. Mais do que um excelente professor, alguém que sempre me fez acreditar que com paixão tudo é possível e que me continuará a inspirar em tudo aquilo que fizer com coração.

À Professora Henriqueta da Nóvoa, pelo auxílio num momento-chave do projeto.

A todos os Professores da Faculdade de Engenharia, que me incutiam, diariamente, rigor, excelência e profissionalismo.

Ao meu namorado, Tiago, com todo o meu amor e ternura o meu mais sincero agradecimento pelos cinco anos de apoio, pelos promissores anos que virão e por tudo o que não cabe num simples parágrafo. Sem Ele, nada seria igual e muito menos apaixonante.

Aos meus amigos, em particular à minha melhor amiga Andreia, pela genuína amizade desde que somos crianças e pelo constante apoio sentido de perto mesmo quando se está longe.

Aos meus pais, por me demonstrarem que a dedicação e a humildade são a combinação perfeita para atingirmos os nossos objetivos.

Por fim, ao meu irmão, Filipe, que está sempre presente em todos os momentos da minha vida.

A Todos, o meu muito obrigada.

## Índice de Conteúdos

1	Introdução .....	1
1.1	Enquadramento do projeto e motivação .....	1
1.2	Setor agro-alimentar em Portugal .....	1
1.3	Descrição do projeto .....	3
1.4	Objetivos e questões de investigação .....	4
1.5	Metodologia.....	4
1.6	Estrutura da dissertação .....	5
2	Enquadramento teórico .....	6
2.1	Qualidade na indústria alimentar.....	6
2.2	Variabilidade nos processos .....	6
2.3	Metodologias de Melhoria da Qualidade.....	8
2.3.1	Six Sigma.....	8
2.3.2	Lean Six Sigma.....	13
2.3.3	Planeamento da Mudança Organizacional .....	14
3	Definição do problema .....	15
3.1	Caracterização .....	15
3.2	Definição do objetivo .....	19
3.3	Processo produtivo .....	19
3.3.1	Descrição das operações .....	20
3.4	Síntese.....	23
4	Análise de variabilidade .....	24
4.1	Formulação da variável peso .....	24
4.2	Fatores potenciais de variabilidade.....	25
4.2.1	Estudo do sistema de medição.....	26
4.2.2	Estudo do processo produtivo .....	28
4.2.3	Caracterização das variáveis.....	31
4.3	Análise exploratória.....	32
4.4	Controlo estatístico do processo .....	39
4.5	Síntese.....	40
5	Proposta de solução.....	41
5.1	F-VMEA na indústria alimentar .....	41
5.2	Ações implementadas.....	42
5.3	Próximas ações.....	50
5.3.1	Sistema de medição .....	50
5.3.2	Processo iterativo de melhoria.....	51
5.3.3	Sistema de avaliação de custos .....	52
5.4	Principais resultados .....	53
5.5	Síntese.....	55
6	Conclusões e trabalho futuro .....	56
6.1	Principais conclusões.....	56
6.2	Perspetivas de trabalho futuro .....	59
	Referências .....	60
	ANEXO A: Classificação CAE do grupo 10 e respetivo volume de vendas .....	65
	ANEXO B: Cronograma do projeto .....	67
	ANEXO C: Controlo metrológico de produtos pré-embalados.....	68
	ANEXO D: O porquê de Six Sigma .....	69
	ANEXO E: Benefícios, limitações e barreiras da implementação do CEP na indústria alimentar .....	71
	ANEXO F: Layout da Unidade da linha F .....	73
	ANEXO G: Dados recolhidos dos testes de R&R .....	74

ANEXO H: Sessões de Brainstorming .....	75
ANEXO I: Eficiência da linha F por turno e por mês .....	76
ANEXO J: F-VMEA .....	77
ANEXO K: Ciclo SDCA integrado no plano de normalização .....	80
ANEXO L: Espaço das pesagens: antes e depois dos 5S .....	81
ANEXO M: Dados para o planeamento experimental.....	82
ANEXO N: Amostras de cor da bolacha Maria .....	83

## **Siglas**

ANOVA – *Analysis of variance*

CAE – Código de Classificação das Atividades

CEE – Comunidade Económica Europeia

CEP – Controlo Estatístico do Processo

$C_p$  – Índice da Capacidade Potencial do Processo

$C_{pk}$  – Índice da Capacidade Efetiva do Processo

CTQ – *Critical To Quality*

DMAIC – *Define, Measure, Analyse, Improve and Control*

I&D – Inovação e Desenvolvimento

$P_p$  – Índice de Desempenho Potencial do Processo

$P_{pk}$  – Índice de Desempenho Efetivo do Processo

R&R – Repetibilidade e Reprodutibilidade

VOC – *Voice Of the Customer*

**Índice de Figuras**

Figura 1 – Evolução das exportações 2010-2016 (fonte: FIPA (2017)).....	2
Figura 2 - Perspetiva global da metodologia aplicada.....	4
Figura 3 - Desenvolvimento da implementação do CEP na indústria alimentar (fonte: adaptado de Lim, Antony, and Albliwi (2014)).....	11
Figura 4 - Melhoria de um processo através da centralização da média e da redução da variabilidade dos resultados (fonte: Baba (2008)).....	13
Figura 5 – Natureza da vantagem competitiva das três filosofias (fonte: adaptado de Arnheiter and Maleyeff (2005)).....	13
Figura 6 - Percentagem de excesso de peso em cada linha de produção, para cada mês .....	16
Figura 7 - Percentagem de excesso de peso por produto e mês .....	16
Figura 8 – Distribuição dos custos do excesso de peso .....	18
Figura 9 - Fluxograma do processo produtivo .....	19
Figura 10 - Formação do lençol de massa (fonte: adaptado de Manley (2011)).....	22
Figura 11 - Formação da espessura de massa (fonte: adaptado de Manley (2011)).....	22
Figura 12 – Processo de relaxamento da massa (fonte: adaptado de Manley (2011)) .....	22
Figura 13 – Comparação da geometria real com a considerada para efeitos práticos.....	24
Figura 14 - Etapa de empacotamento, considerando a projeção do processo vista de cima (vista superior).....	25
Figura 15 - Peso médio obtido pela controladora de peso a 5 de janeiro de 2017 .....	27
Figura 16 - Peso médio obtido pela controladora de peso a 14 de fevereiro de 2017 .....	27
Figura 17 - Diagrama de causa e efeito .....	29
Figura 18 - Diagrama de relações dos fatores envolvidos no excesso de peso .....	31
Figura 19 - Árvore de análise para o estudo da variância .....	32
Figura 20 - Medição da espessura de cada bolacha.....	32
Figura 21 – Delimitação da zona a efetuar a medição.....	32
Figura 22 – Relação peso – espessura de bolachas .....	33
Figura 23 - Relação número de bolachas – peso do pacote.....	34
Figura 24 – Relação altura – peso pacote .....	34
Figura 25 - Coeficiente de variação do peso em cada etapa de operação .....	35
Figura 26 - Intervalos de confiança de 95% de Tukey para o peso das bolachas de acordo com a localização do tapete.....	36
Figura 27 - Intervalos de confiança de 95% de Tukey para a espessura das bolachas de acordo com a localização do tapete .....	36
Figura 28 – Notação utilizada para a análise da transversalidade do tapete, considerando 4 zonas .....	36
Figura 29 - Notação utilizada para a análise da transversalidade do tapete, considerando 8 zonas .....	37

Figura 30 – Peso médio do pacote por turno no período entre setembro de 2016 a fevereiro de 2017 .....	38
Figura 31 - Relação entre o mês e o turno e a sua influência no peso (análise focada no mês) .....	38
Figura 32 - Relação entre o mês e o turno e a sua influência no peso (análise focada no turno) .....	38
Figura 33 - Análise focada no mês .....	39
Figura 34 - Análise focada no turno .....	39
Figura 35 - Carta de controlo $x$ -R e análise de capacidade para o peso dos pacotes .....	40
Figura 36 - Representação do modelo do F-VMEA (fonte: adaptado de Luo et al. (2015))....	41
Figura 37 - Efeitos principais do açúcar e da farinha no peso.....	44
Figura 38 - Interação do açúcar e da farinha no peso do pacote .....	44
Figura 39 - Efeitos principais do 2º laminador horizontal (L) e do cunho (C) no peso .....	47
Figura 40 - Gráfico da função response optimizer atendendo à variável peso.....	47
Figura 41 - Aparelho de medição do comprimento de uma pilha de bolachas .....	51
Figura 42 - Processo iterativo de melhoria.....	52
Figura 43 - Carta de controlo $x$ -R e análise de capacidade para o peso dos pacotes .....	53
Figura 44 - Classificação CAE do grupo 10 (fonte: INE (2007)) .....	65
Figura 45 - Volume de vendas de produtos do grupo 10 (fonte: INE (2015)) .....	66
Figura 46 - Distribuição normal (fonte: Baba (2008)). .....	69
Figura 47 - Representação do deslocamento de $1.5\sigma$ da média do processo (fonte: adaptado de: Baba (2008)). .....	70
Figura 48 - Benefícios da implementação do CEP na indústria alimentar (fonte: adaptado de Lim et al. (2015)).....	71
Figura 49 – Limitações na implementação do CEP na indústria alimentar (fonte: adaptado de Lim et al. (2015)).....	71
Figura 50 - Barreiras na implementação do CEP na indústria alimentar (fonte: adaptado de Lim et al. (2015)) .....	72
Figura 51 – Layout da unidade da linha F.....	73
Figura 52 - Avaliação do processo e das suas variáveis.....	75
Figura 53 - Ponto de situação do projeto e plano semanal .....	75
Figura 54 – Comunicação dos desenvolvimentos e delineamento das próximas sessões .....	75
Figura 55 - Representação gráfica da eficiência da linha F.....	76
Figura 56 – F-VMEA construído em dinâmica de grupo .....	79
Figura 57 - Processo de criação de todas as normas .....	80
Figura 58 - Norma associada à distribuição do retalho .....	80
Figura 59 – Armário das pesagens antes dos 5S .....	81
Figura 60 – Armário das pesagens depois dos 5S .....	81

Figura 61 – Amostras de cor da bolacha Maria, correspondendo a amostra 3 à melhor solução ..... 83

**Índice de Tabelas**

Tabela 1 - Distribuição das vendas por subsetor (CAE) da indústria alimentar (fonte: adaptado de INE (2015)).	2
Tabela 2 – Análise SWOT da indústria alimentar	3
Tabela 3 – Classificação ABC dos produtos da linha F relativa ao ano de 2016.	17
Tabela 4 – Peso (%) de cada um dos fatores de produção	18
Tabela 5 – Resultados da amostragem (em g) obtidos na máquina controladora de peso	27
Tabela 6 – Plano diário do controlador de qualidade (atendendo às características relacionadas com o peso).	27
Tabela 7 – Dados da altura de 20 pacotes com 32 bolachas.	34
Tabela 8 – Análise estatística dos dados	34
Tabela 9 - Resultados obtidos alterando a percentagem de distribuição de retalho	43
Tabela 10 - Resultados obtidos alterando a quantidade de amónio.	45
Tabela 11 - Resultados obtidos alterando a quantidade de produto moído	48
Tabela 12 - Resultados obtidos alterando a altura do carregador	48
Tabela 13 - Benchmarking realizado a produtos Maria 200 g, envolvendo 5 marcas portuguesas	55
Tabela 14 - Comparação da situação inicial do processo com o estado após a implementação do projeto	58
Tabela 15 – Comportamento dos dados antes e depois da implementação do projeto	58
Tabela 16 - Cronograma do projeto Excesso de Peso	67
Tabela 17 – Erros admissíveis por defeito nos conteúdos efetivos (Fonte: adaptado de Portaria 1198/91 de 18 dezembro. )	68
Tabela 18 - Distribuição normal centralizada/descentralizada versus qualidade sigma (fonte: adaptado de Perez-Wilson (2000)).	70
Tabela 19 - Pesagem de 3 pacotes (em g), efetuada por 3 operadores	74
Tabela 20 – Medição da espessura de 3 pacotes (em mm), efetuada por 3 operadores	74
Tabela 21 - Ordem de recolha das amostras para o planeamento experimental.	82

## 1 Introdução

O projeto de dissertação curricular<sup>1</sup> enquadra-se numa proposta de intervenção no âmbito da melhoria operacional numa empresa<sup>2</sup> industrial do ramo alimentar, cujo *core* se centra na produção de bolachas.

Neste capítulo, é feita uma apresentação e contextualização do projeto em questão, sendo descritos os objetivos definidos e a metodologia adotada para consumação dos mesmos.

### 1.1 Enquadramento do projeto e motivação

A produção industrial de bolachas considera a monitorização de um conjunto de variáveis/atributos, do processo e produto, no sentido de assegurar as especificações de conformidade aplicadas. A integridade do produto, o peso e os alérgenos são apenas alguns desses pontos críticos. Não obstante, manter a consistência da qualidade ao longo de um processo continua a ser um desafio de muitas empresas do setor alimentar (Atchley 2013).

Tornou-se pertinente analisar de que forma a empresa considerada ao abrigo da presente dissertação pode continuar a crescer de forma sustentada, melhorando procedimentos e rotinas de trabalho todos os dias. Face a uma estratégia de internacionalização que conduzirá a empresa a aumentar a produção em 40%, demarcou-se como sendo crítico o excesso de peso dos pacotes. Este problema é uma componente de custo representativa, pelo que se prevê uma subida avultada dessa perda monetária para a empresa, caso o problema não seja travado antes do aumento da produção. Tal se traduz, de forma direta, numa perda de competitividade, estando ainda o cliente a ser afetado pela variabilidade inerente ao processo.

O presente projeto surge neste campo de ação, sendo efetuada uma análise detalhada ao processo, definida uma metodologia de controlo da sua variabilidade e estabelecido um método de normalização das ações propostas.

### 1.2 Setor agro-alimentar em Portugal

O setor agro-alimentar caracteriza-se por possuir uma grande dispersão subsetorial e empresarial, constituindo, no seu todo, um espaço vital na economia europeia e nacional (ENEI 2014). A um ritmo crescente, tornou-se evidente a sua profunda alteração no perfil das empresas face ao tradicional, não só pela preocupação em fazer corresponder os seus produtos às expectativas do consumidor, mas também pela aposta contínua na qualidade e na diferenciação das matérias-primas e do produto acabado (Alberto 2015).

Apesar da instabilidade e das mudanças de ciclo económico, o setor agro-alimentar manteve-se sólido de acordo com o mais recente relatório divulgado pela Crédito y Caución (2016), operador líder em seguro de crédito interno e de exportação em Portugal. O seu estudo divulgou que este setor deve continuar a crescer nos próximos anos, registando um aumento de 1,8% em 2017. Pertencente a este ramo, em Portugal, estão contabilizadas 11.047 empresas, maioritariamente de pequena e média dimensão, responsáveis por um volume de negócios de 15.384 milhões de euros e por cerca de 108.041 trabalhadores (FIPA 2016). Desde 2010, este foi o maior valor alcançado de número de empresas e de colaboradores para o efeito. De acordo com a SISAB (2017), maior feira mundial de produtos portugueses dos setores alimentar e de

---

<sup>1</sup> Parte integrante do 5.º ano do ciclo de estudos integrado conducente ao grau de Mestre em Engenharia Industrial e Gestão da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

<sup>2</sup> Por motivos de confidencialidade, não se referencia o nome da empresa em questão.

bebidas, esta indústria ocupa um espaço de relevo na economia portuguesa, representando 16% do total da indústria nacional.

Através dos dados obtidos pelo INE (2015), construiu-se a Tabela 1 que apresenta a influência de cada subsetor na indústria alimentar. Os grupos que se destacam são respeitantes ao abate de animais, preparação e conservação de carne e de produtos à base de carne (23%) e à fabricação de produtos de padaria e outros produtos à base de farinha, com 14%. Englobado neste último subsetor, encontra-se a fabricação de bolachas, biscoitos, tostas e pastelaria de conservação (subclasse 10720, segundo a classificação do CAE - ANEXO A), inserindo-se a presente dissertação neste contexto.

Tabela 1 - Distribuição das vendas por subsetor (CAE) da indústria alimentar (fonte: adaptado de INE (2015))

<i>Subsetor</i>	<i>%</i>
101 - Abate de animais, preparação e conservação de carne e de produtos à base de carne	23%
<b>107 - Fabricação de produtos de padaria e outros produtos à base de farinha</b>	<b>14%</b>
109 - Fabricação de alimentos para animais	14%
105 - Indústria de laticínios	13%
104 - Produção de óleos e gorduras animais e vegetais	8%
108 - Fabricação de outros produtos alimentares	8%
102 - Preparação e conservação de peixes, crustáceos e moluscos	7%
103 - Preparação e conservação de frutos e de produtos hortícolas	6%
106 - Transformação de cereais e leguminosas; fabricação de amidos, de féculas e de produtos afins	5%

Ao nível das exportações, este setor contribui para a internacionalização da economia portuguesa. De acordo com o Gabinete de Planeamento Política e Administração Geral (GPP) do Ministério da Agricultura e do Mar (2013), o crescimento médio das exportações do complexo agro-alimentar foi de 7,9%, taxa superior à do crescimento médio anual das exportações de bens (3,4%). Ao longo dos anos, tal como a Figura 1 ilustra, estes dados têm vindo a sofrer evoluções positivas, refletindo a importância do setor agro-alimentar na economia portuguesa, com um potencial de crescimento.

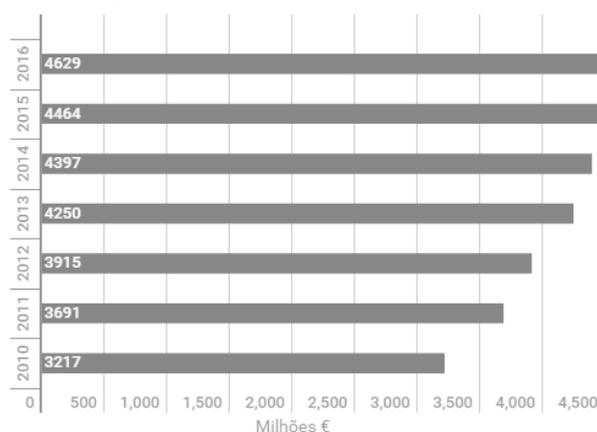


Figura 1 – Evolução das exportações 2010-2016 (fonte: FIPA (2017))

De forma a sintetizar o posicionamento deste setor no contexto industrial, realizou-se uma análise SWOT, presente na Tabela 2, com o intuito de estudar o ambiente interno (forças e fraquezas) e externo (oportunidades e ameaças). É de destacar como fraqueza a reduzida qualificação dos recursos humanos, face à crescente ameaça de um mercado cada vez mais competitivo, com margens reduzidas. A procura pela qualidade, diferenciação e inovação acaba por constituir uma oportunidade para se destacarem na indústria transformadora, fidelizando o consumidor com produtos de confiança.

Tabela 2 – Análise SWOT da indústria alimentar

<p><b>Forças</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Setor de elevado destaque na indústria transformadora;</li> <li>• Principal atividade industrial em Portugal e na Europa;</li> <li>• Comércio de produtos com características únicas, específicos das regiões onde são produzidos;</li> <li>• Elevada diversificação e diversidade de produtos;</li> <li>• Experiência e reputação na internacionalização e no comércio internacional.</li> </ul>	<p><b>Fraquezas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduzida qualificação dos recursos humanos;</li> <li>• Grande dependência de matérias primas provenientes do comércio externo;</li> <li>• Grande pressão por parte da distribuição;</li> <li>• Reduzido investimento em I&amp;D;</li> <li>• Fraco poder de negociação das empresas;</li> <li>• Reduzida capacidade financeira;</li> <li>• Diminuto acesso ao mercado de capitais.</li> </ul>
<p><b>Oportunidades</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mutabilidade dos hábitos alimentares dos consumidores: maior predisposição para novos produtos;</li> <li>• Cooperação entre as empresas do setor e instituições científicas e universitárias;</li> <li>• Procura por qualidade, diferenciação e inovação;</li> <li>• Crescimento promissor no volume de negócios, exportações e importações;</li> <li>• Potencial para exploração noutras mercados.</li> </ul>	<p><b>Ameaças</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mercado (interno e externo) muito competitivo, com margens cada vez mais baixas;</li> <li>• Barreiras à entrada de produtos oriundos das exportações nacionais;</li> <li>• Subida do preço das matérias-primas;</li> <li>• Não harmonização fiscal.</li> </ul>

### 1.3 Descrição do projeto

Caracterizada por estar em contraciclo com a crise, a empresa em estudo orgulha-se de produzir bolachas com a mais rigorosa segurança alimentar e a tradição sempre aliada com a inovação. O investimento em investigação e desenvolvimento de novos produtos, bem como na melhoria dos já existentes, é uma estratégia de longo prazo e para a qual o esforço tem sido crescente. Neste âmbito, o projeto de melhoria contínua nasceu em maio de 2016, após uma fase de diagnóstico à cadeia de valor, desde o pedido do cliente ao envio do produto, tendo como foco eliminar as tarefas de não valor acrescentado e tornar os processos cada vez mais ágeis, céleres e flexíveis. Reduzir os desperdícios e otimizar as máquinas e o tempo foram os objetivos delineados para a mudança cultural e melhoria do desempenho global da empresa.

Na esfera deste projeto, o presente estudo é respeitante a um dos problemas detetados: a variabilidade e o excesso de peso que se verifica nos pacotes de bolachas. Os produtos produzidos são vendidos aos consumidores em pacotes de peso declarado, pelo que, para satisfazer o cliente, o peso de um pacote não deve situar-se abaixo de um valor mínimo. A estratégia da empresa tem sido produzir acima do valor estipulado em várias linhas de produção, resultando numa variação instável do peso, com repercussões no lucro da empresa.

Assim, este estudo, de duração prevista de 5 meses, foca-se na perspetiva de melhorar substancialmente a rentabilidade da empresa através da redução da variabilidade e do excesso de peso. Para que tal seja possível, é necessário que se proceda à:

- I. identificação das características adequadas para fins de controlo,
- II. fixação de valores-alvo adequados para essas características e
- III. manutenção do processo, tendo em consideração a variabilidade inerente à operação.

Esta mudança apenas será possível com o envolvimento e contributo de todos os elementos da organização, pelo que é crucial, num mundo empresarial cada vez mais dinâmico e competitivo, que as empresas procurem soluções que as tornem mais sólidas perante alterações e inovações.

## 1.4 Objetivos e questões de investigação

Efetuada um diagnóstico para a escolha de uma linha de produção representativa do problema, foi objeto de estudo a linha F, na qual se desenvolveram procedimentos e se implementaram práticas com o principal objetivo de analisar a variabilidade do processo. Através da identificação das principais fontes de variação, definiu-se como meta reduzir em, pelo menos, 3% o excesso de peso do produto Maria 200 g.

Tendo em consideração os objetivos, pretende-se dar resposta às seguintes questões-chave:

- Quais os fatores que têm influência no peso de uma bolacha e qual a sua diferenciação por grau de criticidade na variação do processo?
- Qual o valor-alvo para o número de bolachas de um pacote, de tal modo que haja uma diminuição da sua variabilidade e, simultaneamente, do número de pacotes desperdiçados por problemas de empacotamento?
- Será o sistema de medição usado o mais indicado para o controlo do peso dos pacotes e da espessura das bolachas?
- Qual a metodologia a aplicar para melhorar o controlo dos parâmetros mais críticos?
- Como dotar a equipa de produção de técnicas de resolução de problemas, de forma a que as causas de um problema sejam tratadas diretamente na raiz da sua origem?

Obtida uma resposta para cada uma das questões, existe a possibilidade de se replicar a mesma abordagem para as restantes linhas, representando este um estudo piloto.

## 1.5 Metodologia

A metodologia seguida neste estudo teve por base técnicas qualitativas e quantitativas, exploradas na ótica de um método dedutivo - Figura 2.



Figura 2 - Perspetiva global da metodologia aplicada

Este projeto dividiu-se em três macro fases, planeadas através de um diagrama de Gantt, presente no ANEXO B. Para o estudo de cada uma delas, definiu-se três abordagens diferentes de tratamento: desenvolvimento (D), workshop (W) e seguimento (S). A primeira permite o estudo individual da fase e dos seus atributos; o workshop possibilita o envolvimento de todos os elementos da linha de produção numa dinâmica de grupo e o cultivo de novas ideias através de observações no terreno e sessões de *brainstorming*; a última é respeitante à implementação de novas ações e práticas de melhoria identificadas.

Após a escolha da linha piloto, tornou-se necessário analisar o processo, identificar as suas operações e respetivas funções e especificações. Esta análise foi suportada pela recolha de dados e observações de modo a caracterizá-lo, tendo-se recorrido à metodologia Lean Six Sigma. Na definição do problema, tornou-se imperativo ir ao Gemba (terreno), identificar o MUDA (desperdício), o MURI (esforço extenuante) e o MURA (variabilidade), e recolher dados sobre as principais variáveis do processo, após a sua identificação. Mediante o estudo, alinhou-se os objetivos, confrontando a ambição da empresa com a análise efetuada até então.

Seguidamente, numa análise de causas, foram discutidas quais as potenciais origens do problema, organizadas por tema num diagrama de Espinha de Peixe. Traçou-se um diagrama de relações, identificando-se as conexões entre as variáveis. Posteriormente, em equipa, selecionou-se, através de um F-VMEA, as que iriam permitir, à partida, obter resultados mais significativos. A realização de um desenho/planeamento de experiências (DOE) permitiu variar, em conjunto, os níveis dos fatores e observar as respetivas alterações na variável-resposta. Esta técnica de planeamento simplifica o estudo do funcionamento do processo quando se desconhece as relações funcionais entre as variáveis de resposta (ou de saída) e as variáveis de entrada (fatores) representativas do sistema.

De modo a eliminar as causas críticas, foi elaborado, em paralelo, um plano de ações para a implementação das melhorias identificadas. O resultado do seu efeito no indicador, definido inicialmente, ditou o seguimento do projeto. Perante o sucesso das ações, calcularam-se os benefícios, avançando-se para as etapas seguintes – normalização e comunicação. Revelou-se crucial o treino dos operadores para as novas mudanças e o esclarecimento das razões para a adoção de tais procedimentos.

No âmbito dos estudos efetuados, foi produzido um relatório técnico que detalha os principais testes realizados e os resultados que suportam as análises. Estas assentam num nível de significância de 5%, tendo-se recorrido, como ferramenta auxiliar, ao programa de análise estatístico Minitab.

## **1.6 Estrutura da dissertação**

A dissertação encontra-se desenvolvida ao longo de 6 capítulos, onde é possível encontrar uma explicação mais detalhada de todo o contexto e metodologia do projeto.

No presente capítulo é realizada uma introdução ao projeto, aos seus objetivos e à metodologia de investigação traçada. É também feita uma breve contextualização do setor agro-alimentar em Portugal.

O capítulo 2 é referente à análise bibliográfica, sendo efetuado um enquadramento teórico dos conceitos e metodologias que serviram de suporte no desenrolar de toda a dissertação.

No capítulo 3 é caracterizada a situação inicial (*AS IS*) do projeto em análise, com foco na identificação e descrição do problema, do processo produtivo e das respetivas operações.

O capítulo 4 detalha o problema, permitindo um conhecimento mais alargado do processo e das suas variáveis em termos estatísticos. Também se encontra reportado o modo como a empresa mensura o problema e alguns dos constrangimentos técnicos detetados decorrentes da investigação.

O capítulo 5 descreve as soluções propostas para a resolução do problema, assim como os principais resultados decorrentes da sua implementação e as ações desencadeadas para a contínua visão de melhoria (*TO BE*).

Por último, no capítulo 6, são refletidas as principais conclusões e sugestões de melhoria para implementação numa perspetiva futura.

## 2 Enquadramento teórico

No presente capítulo são revisitados os fundamentos teóricos que serviram de base ao desenvolvimento do projeto, assim como as principais metodologias adotadas.

### 2.1 Qualidade na indústria alimentar

A indústria alimentar é caracterizada pela perecibilidade dos seus produtos, variabilidade na qualidade das suas matérias-primas, diversidade de receitas e técnicas de processamento, sazonalidade e condições de colheita imprevisíveis (Dora et al. 2013, Luning and Marcelis 2006). Em comparação com a América do Norte e com a Austrália, McDonald, Kaditi, and Banse (2008) evidenciaram a falta de competitividade da indústria alimentar na Europa. Estabelecendo uma analogia com outras indústrias, como a automóvel e aeroespacial, apresenta um dos desempenhos mais baixos (Mann, Adebajo, and Kehoe 1999). De acordo com a pesquisa realizada por Grigg (1998), tal avaliação é devida à fraca qualidade que é cada vez mais evidenciada nos dias correntes. A qualidade alimentar não depende apenas do produto, mas também de fatores intrínsecos aos processos de produção (Orr 1999).

O termo "Qualidade" assenta num conceito subjetivo, relacionado com as perceções de cada indivíduo. Por um lado, pode representar a adequação do produto ao consumidor, satisfazendo as suas expectativas. Contudo, do ponto de vista do produtor, representa a conformidade do produto às suas especificações. Na maioria dos casos, estas especificações correspondem ou excedem o que o consumidor exige como sendo um mínimo de qualidade (Montgomery 2007).

Na indústria de produção alimentar, o controlo de qualidade é, na maior parte dos casos, crítico e insuficiente, na medida em que é utilizado para inspecionar a qualidade dos produtos finais, acumulando sucessivamente falhas e ineficiências na condução de esforços de melhoria contínua (Paiva 2013). Atualmente, as empresas encontram-se fortemente desafiadas por mercados direcionados para o consumidor que exige, cada vez mais, desenvolvimentos na qualidade dos produtos alimentares (Pable, Lu, and Auerbach 2010). Para fazer face a esta mudança, George (2004) reconhece a qualidade como sendo uma das mais importantes armas competitivas. Cada vez mais as organizações têm a consciência de que os bens e serviços de alta qualidade podem trazer consideráveis vantagens na fidelização e captação de novos clientes. Em resposta a tais requisitos, iniciou-se a procura por soluções através do controlo e de técnicas de melhoria de qualidade, tendo por base práticas de *Food Quality Management* (FQM) orientadas para os objetivos (Dora et al. 2013, Luning and Marcelis 2006).

### 2.2 Variabilidade nos processos

A variabilidade pode ser definida genericamente como uma oscilação da média ou de um ponto ideal do processo, estando presente em todos os sistemas de produção. Ela é representada pela variabilidade das suas saídas, que, por sua vez, é função da variabilidade das entradas (Montgomery 1991). Quando essas variabilidades são significativas em relação às especificações, existe o risco de se ter produtos não conformes, sendo um dos motivos da existência do controlo do processo. Em consequência de um sistema de controlo desadequado, a variabilidade pode ser completamente previsível, ou, no pior caso, advir de fatores aleatórios.

Pelo avultado impacto que provoca no desempenho de qualquer organização, a capacidade de medir, compreender e gerir a variabilidade assume um papel crucial na gestão efetiva de um processo. Face ao desafio de a eliminar, os cientistas têm-se debruçado sobre esta temática há mais de 80 anos. Uma vez que a variabilidade só pode ser descrita em termos estatísticos (Edith and Ochubiojo 2012), o estudo tem conduzido a algumas abordagens estatísticas modernas. Uma medida relativa da variabilidade de uma variável aleatória, maioritariamente usada, é o desvio padrão dividido pela média, denominado coeficiente de variação (CV) (Hopp and

Spearman 2011). Como demonstrado na pesquisa<sup>3</sup> levada a cabo por W. S. Gosset, elementos de técnicas estatísticas, que são comumente aplicados noutros setores, podem distinguir-se com sucesso na área alimentar (Grigg 1998, Grigg and Walls 2007, Surak 1999).

A qualidade na indústria alimentar está relacionada com um conjunto de múltiplas características, tais como propriedades sensoriais, físicas, de segurança, valor químico e nutricional, peso líquido do produto, teor de gordura, pressão, temperatura, entre outros (Elsayed 2000, Grigg and Walls 2007). Para a maioria das indústrias, é difícil obter produtos que atendam sempre a essas mesmas características. No entanto, se a diferença registada for insignificante, pode não ter qualquer impacto para o consumidor (Sumnu and Sahin 2008, Juran and Godfrey 1999, Delgado 1997, Juran 1999). Como forma de estudar esse diferencial, todos os estágios do processo devem ser controlados, mantendo cada característica no valor desejado, chamado de "valor-alvo". Estes valores encontram-se geralmente enquadrados numa gama que não afete a função ou o desempenho do produto.

O controlo de qualidade, *in loco*, tem como objetivo minimizar a dispersão natural dos resultados, uma vez que a variabilidade é inversamente proporcional à qualidade (Montgomery 2000). Também Shewhart (1931) teve a percepção de que a qualidade e a variabilidade são conceitos antagónicos, isto é, quando a qualidade é o parâmetro desejado, a variabilidade cria atuações diferentes para as mesmas causas. Atingindo melhores níveis de qualidade, consegue-se reduzir a variabilidade do processo e do produto e aumentar a exatidão para alcançar metas e objetivos.

A variabilidade num processo pode ser causada por alterações nos procedimentos de trabalho e por efeitos mais complexos, como configurações, interrupções aleatórias e problemas de qualidade. Para identificar estratégias, é importante compreender as suas causas, desde a origem da aleatoriedade até à sua propagação, e os respetivos efeitos. No início da produção, o seu efeito é mais perturbador do que no final, apesar de a redução da variabilidade ser mais sentida na extremidade dianteira, por concentrar o efeito de todas as fontes de variabilidade (Hopp and Spearman 2011).

### **Legislação aplicável em Portugal**

Para se ter conhecimento dos parâmetros de produção a respeitar, em qualquer processo, a aceitação ou a rejeição de um lote depende sobretudo da legislação aplicável ao respetivo país. Incidindo o estudo num processo industrial de produção de bolachas, o produto acabado considerado recebe a menção de pré-embalado. De acordo com o artigo 2º da Diretiva 76/211/CE (2015), *é um produto cujo acondicionamento foi efetuado antes da sua exposição para venda ao consumidor em embalagem que solidariamente com ele é comercializada, de tal modo que a quantidade de produto contido na embalagem tenha um valor previamente escolhido e não possa ser alterada sem que a embalagem seja aberta ou sofra uma alteração perceptível.*

Tipicamente, os produtos depois de serem embalados são pesados, de modo a que o peso seja uma variável controlável. Este processo é uma questão importante na proteção ao consumidor, pela acreditação de que os produtos adquiridos têm o peso indicado (Grigg 1998).

Em Portugal, o controlo metrológico de produtos pré-embalados encontra-se regulamentado pelo Decreto-Lei n.º 199/2008 de 8 de outubro e pela Portaria 1198/91 de 18 dezembro. No ANEXO C, podem ser consultados os fundamentos relativos ao cumprimento das normas legais relacionadas com o peso.

---

<sup>3</sup> Dirigida à fundamentação e ensaio da aplicação estatística no controlo de qualidade.

## 2.3 Metodologias de Melhoria da Qualidade

Atualmente, existem várias metodologias de melhoria contínua que são utilizadas recorrentemente pelas organizações como forma de elevarem os seus parâmetros de qualidade. Independentemente do método seguido, têm um carácter universal, dividindo-se, na sua generalidade, em duas grandes fases: o diagnóstico e a resolução (Juran and Godfrey 1999). Nos pontos seguintes, as mais utilizadas serão objeto de análise, representadas pelas metodologias Six Sigma e Lean Six Sigma. É também abordado o planeamento da mudança organizacional para destacar a contribuição da gestão do conhecimento na melhoria contínua de um processo produtivo, quando apoiada por uma cultura organizacional favorável.

### 2.3.1 Six Sigma

Apesar de existirem diversas estratégias para a melhoria da qualidade em produtos e serviços, a aplicação de métodos de melhoria contínua e a adoção de técnicas na indústria alimentar não são tão avançadas quanto as utilizadas nas outras indústrias, existindo ainda poucas referências ao Six Sigma<sup>4</sup> (Dora et al. 2013, Mann, Adebajo, and Kehoe 1999). Esta metodologia é uma evolução dessas estratégias, pois inovou a forma de utilizar diversas ferramentas e conceitos já conhecidos de outros programas de qualidade, como por exemplo, a redução da variação do processo defendido há muitos anos por Deming e Taguchi. Contudo, mostrou-se inovador na medida em que integra diferentes ferramentas de forma estruturada, com foco em resultados financeiros.

No sentido genérico, o sigma mede a variabilidade ou a não-uniformidade existente num processo ou característica. Desta forma, se o valor do sigma é baixo, significa que há pouca variabilidade no produto ou processo e melhor é a sua característica (Perez-Wilson 2000). Pande, Neuman, and Cavanagh (2000) afirmam que esta metodologia é uma adaptação e aprimoramento da gestão da qualidade total que, na ótica de Calcutt (2001), baseia-se em informações para reduzir o desperdício, aumentar a satisfação dos clientes e melhorar os processos. Esta abordagem torna claro a poupança de custos, uma vez que o sucesso dos projetos está diretamente relacionado com o *bottom-line*<sup>5</sup> (Zu, Robbins, and Fredendall 2010). Mike Harry, um dos criadores do programa de qualidade Six Sigma, afirma que é uma estratégia que deve permear toda a organização, desde a manufatura aos serviços, não ficando restrita apenas à área da qualidade (Rotondaro 2002). Eckes (2001) acrescenta ainda que, além dos benefícios financeiros gerados, conduz ao aumento da satisfação dos colaboradores.

É essencial que o Six Sigma seja interpretado não apenas como uma abordagem científica, mas como uma cultura a implementar nas organizações. De facto, o seu efeito pode ser considerado superior ao controlo estatístico de processo (Goh 2002), por constituir uma boa medida do impacto da melhoria da qualidade e da calibração clara do progresso.

O Six Sigma interliga um conjunto de métodos e ferramentas estatísticas para o estudo da variabilidade dos processos. Esta metodologia tem como alicerce um modelo conhecido pela sigla DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve e Control*), utilizado para a melhoria dos processos (Pysdek and Keller 2003), com foco na qualidade dos produtos (Pande, Neuman, and Cavanagh 2001). Kwak and Anbari (2006) descrevem-no como um circuito fechado que procura eliminar etapas não produtivas, focando-se em novas técnicas de análise e resolução dos problemas. Baseado no ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*), uma vez identificados e estudados os pontos de oportunidade, faz-se o planeamento e a implantação de ações, em geral com benefícios significativos para os resultados da organização (Linderman et al. 2003).

---

<sup>4</sup> Consultar ANEXO D para uma melhor compreensão do seu significado etimológico.

<sup>5</sup> Expressão usada na contabilidade com o sentido de resultado líquido.

Segundo McClusky (2000), genericamente cada uma das siglas permite:

- D (*Define*) - Definir com precisão o objetivo do projeto, a identificação dos clientes, as suas expectativas e exigências, os limites do projeto e o seu início e fim;
- M (*Measure*) - Determinar o foco do problema, efetuando uma recolha de dados que permita validar e quantificar o problema e, ainda, obter dados de várias fontes para determinar os tipos de defeitos e métricas;
- A (*Analyse*) - Determinar as causas de cada problema prioritário, identificar as lacunas entre o desempenho atual e o desejado, identificar oportunidades de melhoria e explorar fontes de variação;
- I (*Improve*) - Propor, avaliar e implementar soluções para cada problema prioritário, utilizando tecnologia e disciplina no desenvolvimento e implementação de um plano de ação;
- C (*Control*) - Definir planos a longo prazo com o objetivo de evitar a reincidência de problemas. Tal exige a implementação de um plano de monitorização contínua e o desenvolvimento de normas, institucionalizando melhorias através da modificação de sistemas e estruturas.

Existe uma variedade de ferramentas, técnicas e métodos utilizados que compõem estas etapas, pelo que, seguidamente, descrever-se-á com maior detalhe as que irão deter de uma maior aplicabilidade prática na presente dissertação.

#### *a) Define*

São identificados os indicadores *Critical to Quality* (CTQ), isto é, quais os indicadores críticos no âmbito da qualidade e que serão alvo de estudo e de análise nas fases posteriores do DMAIC (Maxey, Rowlands, and Upton 2004). Esta etapa é suportada por análises económicas, decisivas na seleção e identificação do problema que se reveste de maior importância (Federico and Beaty 2003).

#### *b) Measure*

Com o crescente grau de automação na indústria alimentar, o espetro da quantidade de dados recolhidos e arquivados é cada vez mais alargado. É nesta etapa que se identificam as variáveis com maior relevância para o processo em estudo, através de ferramentas como histogramas ou diagramas de Pareto (Banuelas, Antony, and Brace 2005). Como forma de garantir que o sistema de medição reflete de forma eficaz e precisa o estado atual do processo, são adotados testes de R&R, ou seja, testes de reprodutibilidade e repetibilidade (Pysdek and Keller 2003). O termo repetibilidade reflete a variação na medição obtida através de um equipamento de medição, quando utilizado várias vezes pelo mesmo operador na medição de uma característica de um produto. Já a reprodutibilidade corresponde à média das medições gerada por diferentes operadores, utilizando o mesmo equipamento na medição de uma característica de um produto, ou seja, ao erro associado por aplicação do mesmo método.

#### *c) Analyse*

De acordo com a norma ISO 9001:2008 para que uma organização funcione de forma eficaz tem de determinar e gerir um conjunto de atividades interligadas. Para identificar e verificar as causas que possam afetar as principais variáveis de entrada e saída vinculadas aos seus objetivos, é necessário existir um conhecimento aprofundados dos processos. Nesse sentido, a

Comissão Técnica 80<sup>6</sup> do Instituto Português da Qualidade fomenta a adoção de uma abordagem por processos para aumentar a satisfação do cliente ao ir ao encontro dos seus requisitos, quando se desenvolve, implementa e melhora a eficácia de um sistema de gestão da qualidade. Genericamente, um processo pode ser definido como um conjunto de causas que tem como objetivo produzir um ou mais efeitos específicos. Estas causas resultam de uma combinação de fatores, como máquinas, materiais, métodos, medições, mão de obra e meio ambiente, representados como sendo as variáveis de entrada de um processo. O primeiro passo da metodologia de análise de causas passa por mapear todas as fontes de variação do processo. Para se realizar esta etapa, é necessário um conhecimento aprofundado das suas operações e um planeamento adequado para a recolha de dados, utilizando-se como ferramenta para a representação do fluxo um fluxograma (Breyfogle III 2003).

O objetivo desta fase também incide na identificação de relações de causa-efeito e no seu estudo para interpretação das suas causas de variação. O diagrama de causa e efeito, também conhecido por Diagrama Espinha de Peixe, Ishikawa ou Diagrama 6M, é a ferramenta eficaz para o efeito, sendo enumeradas as possíveis causas de um determinado problema (Ishikawa 1993) e apresentada a relação existente entre o resultado de um processo (efeito) e os seus fatores (causas) (Werkema 1995). Para que a sua utilização surta um melhor resultado, aquando da sua construção deve-se envolver pessoas com conhecimentos e perspetivas diferentes, de forma a que não seja negligenciada informação relevante. De acordo com Kumar and Sosnoski (2009), umas das técnicas passa por realizar *brainstormings*, permitindo gerar um grande número de ideias num curto espaço de tempo, além de oferecer resultados menos tendenciosos.

É ainda comum, nesta etapa, recorrer-se a uma análise 5W2H (Truscott and Truscott 2003), respondendo às 7 perguntas: o quê? (*what*); quando? (*when*); onde? (*where*); quem? (*who*); qual? (*which*); como? (*how*); quanto? (*how much*), e também a várias técnicas estatísticas para análise dos dados, tais como cartas de controlo, testes de hipóteses e estudos de correlação.

Kaoru Ishikawa acreditava que 95% dos problemas das organizações podiam ser resolvidos através de 7 Ferramentas Básicas da Qualidade, algumas das quais enunciadas anteriormente: fluxogramas, fichas de verificação, histogramas, cartas de controlo, gráficos de correlação, diagramas de Pareto e de Ishikawa. Segundo Rooney (2007), cada uma destas ferramentas é indispensável, na medida em que têm finalidades diferentes.

Nas últimas décadas, surgiu um novo conjunto de ferramentas da autoria de Mizuno (1988), destacando-se o diagrama de relações como umas das ferramentas da etapa *Analyse* mais importantes para analisar ligações entre diferentes aspetos de um problema complexo.

#### **d) Improve**

O objetivo desta fase é selecionar e implementar soluções, focadas nas causas-raiz validadas na fase anterior, capazes de impactar no problema, eliminando-o ou minimizando os seus efeitos.

Segundo Stamatis (2003), o uso de um *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) de processos permite identificar, avaliar e obter possíveis soluções para as potenciais falhas nos processos de produção, de forma a que sejam cumpridos todos os requisitos de conformidade do produto final. Na indústria alimentar, muitas dessas falhas que afetam a conformidade dos produtos são causadas por variações, tendo sido desenvolvido, numa fase mais tardia, um método dedutivo de identificação e gestão de fontes de variação, chamado *Variation Mode and Effect Analysis* (VMEA) (Johansson et al. 2006).

Uma outra técnica estatística que é adotada na melhoria de produtos e processos através de estudos experimentais é o desenho de experiências (DOE) (Costa, Pires, and Ribeiro 2006).

---

<sup>6</sup> A Comissão Técnica 80 – Gestão da Qualidade e Garantia da Qualidade - foi criada pelo Instituto Português da Qualidade (IPQ) e é coordenada pela Associação Portuguesa para a Qualidade (APQ).

Através desta ferramenta, determina-se a influência de cada fator de variação na característica de qualidade do produto em análise, identificando-se a combinação ótima de fatores e a que níveis é mais aconselhável operarem. Mais precisamente, pode ser definida como um conjunto de testes, em que mudanças intencionais são feitas às variáveis de entrada de um processo ou sistema, de modo a que se possa observar e identificar as razões para essas mudanças na resposta de saída (Montgomery 1991). De acordo com a pesquisa de Tay and Butler (1999), os dois tipos de metodologias mais usados passam por técnicas mais clássicas ou pelos métodos de Taguchi. Embora existam várias abordagens, há uma profunda lacuna entre o desenvolvimento teórico e a sua aplicação efetiva na indústria. As dificuldades enfrentadas são muitas vezes negligenciadas e têm causado certa relutância na sua implementação (Bjerke 2002).

**e) Control**

Nas etapas *Measure* e *Control*, é aplicado o controlo estatístico do processo (CEP), constituindo um componente importante do Six Sigma como forma de sustentar as melhorias (Montgomery 2007, Schroeder et al. 2009).

Através do controlo por amostragem de características pré-determinadas do produto em estudo, o CEP possibilita a deteção de causas especiais de variabilidade do processo que possam prejudicar a qualidade do produto final (Mitra 2016). Segundo Harry (1998), existem, basicamente, duas formas do CEP contribuir para o aumento do lucro das empresas. A primeira prende-se com a redução de despesas, uma vez que diminui potencialmente os custos de produção através da redução da variabilidade, ou dito de outra forma, por meio da estabilização e melhoria da capacidade do processo. A segunda por se apresentar como um agente propulsor de receitas, pelo que ao melhorar a capacidade, aumenta o tempo para a produção de produtos conformes.

Atentando à Figura 3, é possível analisar, ao longo das últimas décadas, a evolução do CEP na indústria alimentar. Apesar de ser conhecido pelo seu sucesso em setores como o da indústria automóvel, este componente apresenta um desenvolvimento mais tardio nesta indústria.

Desenvolvimento da implementação do CEP na indústria alimentar						Papel do CEP na aprendizagem organizacional	
			A segurança dos produtos alimentares e a proteção dos consumidores		Padrões de qualidade e certificações	CEP em programas de melhoria de negócios	
	Foco na indústria de enlatados	A importância de aspetos de gestão	Garantia de qualidade na indústria alimentar	CEP na gestão da qualidade alimentar		Statistical Thinking	
	Técnicas estatísticas básicas para monitorizar a qualidade alimentar	Controlo de qualidade preventivo	Melhoria dos standards nacionais	Foco no consumidor na indústria alimentar		Atividades de melhoria da qualidade ligadas ao planeamento estratégico de negócios	
	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
Ferramentas de qualidade, técnicas e programas	- Inspeção; - Plano de amostragem; - Cartas de controlo.	- Desenho de experiências; - CEP; - Capacidade do processo; - Zero defeitos.	- Controlo de qualidade total; - Custos de qualidade.	- Gestão da qualidade total (TQM); - ISO 9000; - HACCP; - Círculos de qualidade.			• ISO 9000:2000; • Lean; • Six Sigma; • Lean Six Sigma.

Figura 3 - Desenvolvimento da implementação do CEP na indústria alimentar (fonte: adaptado de Lim, Antony, and Albliwi (2014))

Como princípio básico, o CEP permite uma estratégia preventiva em detrimento de uma focada na inspeção e deteção de erros após a sua ocorrência (Brault and Giguère 2003). No ANEXO E encontram-se tabelados os oito tipos de benefícios que a literatura reconheceu como resultado da sua implementação, sendo os mais citados a redução dos produtos defeituosos, a melhoria da gestão da segurança alimentar e a poupança de custos. Reconhecidas as razões para a sua utilização, são também identificadas as desvantagens do seu uso, tais como a sua complexidade, o custo e a lacuna de ferramentas de *Statistical Thinking*. Segundo os autores Van der Spiegel

et al. (2003), as vantagens desta técnica encontram-se ainda pouco claras, condenadas ao fracasso.

### **Aplicação de cartas de controlo**

As cartas de controlo são uma ferramenta importante na operacionalização do CEP. Apesar de a implementação de técnicas estatísticas de controlo não ser um requisito obrigatório da norma ISO 9001:2008, é vista como uma ferramenta de monitorização e redução de variabilidade, apontada à satisfação do cliente. Paralelamente, segundo a norma ISO 10014:2006<sup>7</sup>, o objetivo do seu uso é aumentar o conhecimento do processo e orientá-lo a comportar-se de forma desejada. Pelos motivos referidos, é uma metodologia que permite cogitar em ganhos económicos e impactos ao nível da imagem comercial (Trienekens and Zuurbier 2008).

Após a seleção das características de qualidade a serem estudadas, deve-se analisar uma que atualmente experiencie um grande número de não-conformidades (Juran 1999) e/ou controlar um parâmetro que é crítico para a qualidade ou segurança alimentar (Djekic et al. 2013). As características de qualidade podem ser classificadas como variáveis ou atributos. Na maioria dos casos encontram-se correlacionadas, sendo que um controlo univariado para monitorar as características individuais pode não ser adequado para a deteção de alterações na qualidade global do produto (Abu-Shawiesh, Kibria, and George 2014). Procedimentos mais eficientes sugerem as cartas de controlo de variáveis como sendo as que permitem obter um maior número de informações a respeito do desempenho de processo no ramo alimentar (Tomic and Rajkovic 2014). Deste grupo de cartas, as de controlo de média ( $\bar{x}$ ) e de amplitude (R) são as mais importantes sob o ponto de vista da qualidade do produto, sendo usada a da média para quantificar a capacidade do processo e a da amplitude para a sua dispersão e reprodutibilidade (Duarte 2011). A utilização de subgrupos de amostras é um aspeto importante no uso de cartas de controlo, pelo que se encontra recomendado a utilização de 3, 5 ou 7 elementos em processos de fabrico do setor alimentar (Burr 2005).

### **CEP na redução de variabilidade**

A variabilidade é inerente a todos os processos devido a duas causas principais: causas comuns ou aleatórias e causas especiais ou assinaláveis. A primeira causa é relativamente insignificante, mas ocorre muito frequentemente e em grande número. Já a segunda é imprevisível e, normalmente, única. No entanto, esta é suficiente para produzir perturbações fortes no processo, pelo que a sua influência deve ser reduzida (Samohyl 2009).

Um processo está sob controlo estatístico quando apresenta uma variabilidade estatisticamente estável e uniforme ao longo do tempo (Mahesh and Prabhuswamy 2010). Constituindo o CEP uma ferramenta de qualidade para detetar a ocorrência de causas assinaláveis e eliminar a variabilidade nos processos, a literatura reconheceu o seu potencial para analisar problemas de qualidade e melhorar o desempenho, tanto do processo de produção como do produto, em todas as indústrias (Gildeh, Iziy, and Ghasempour 2014).

A avaliação da capacidade do processo - fornecer produtos que atendam às especificações de projeto – é um mecanismo que permite avaliar em quanto o CEP reduz a variabilidade do processo e, com base nos resultados, proceder-se à formulação de possíveis melhorias a implementar. No entanto, essa capacidade só pode ser analisada se o processo for estável (Deming 1990). Independentemente do setor de aplicação, existem variações decorrentes de causas especiais que acarretam oscilações na média e/ou na dispersão, tornando impossível caracterizar a distribuição de um processo. Assim, as soluções que levam a um bom controlo do mesmo devem ter em consideração a redução da variação e a centralização da média dos resultados entre os limites de especificação, tal como se representa na Figura 4.

---

<sup>7</sup> A ISO 10014:2006 fornece as diretrizes para a obtenção de benefícios financeiros e económicos, decorrentes da aplicação dos princípios de gestão da qualidade ISO 9000.

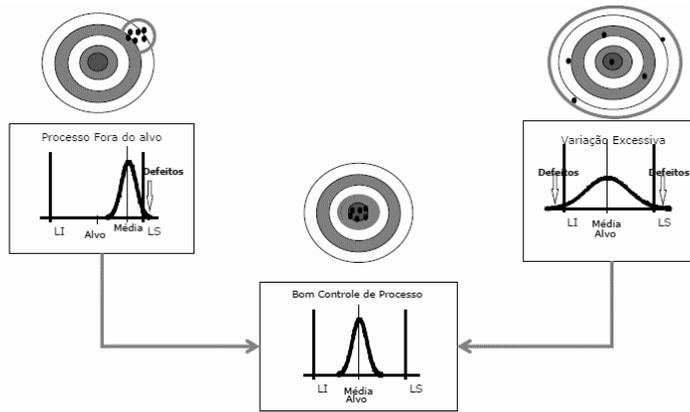


Figura 4 - Melhoria de um processo através da centralização da média e da redução da variabilidade dos resultados (fonte: Baba (2008))

### 2.3.2 Lean Six Sigma

Na procura por padrões cada vez mais elevados de qualidade, as empresas apontam metodologias Lean Manufacturing e Six Sigma como sendo fatores críticos para o seu sucesso. A filosofia Lean tem como princípio o aumento da produtividade, reduzindo os desperdícios e melhorando o fluxo de trabalho. Ao melhorar o desempenho dos processos, potencia a satisfação do consumidor e do *bottom-line* (Snee 2010). Por outro lado, o Six Sigma tem uma abordagem com maior foco na qualidade e na diminuição da variação dos processos, envolvendo, pelo seu carácter quantitativo e pela exigência de um conhecimento estatístico avançado, um menor número de pessoas. Assim, o Lean Six Sigma pode oferecer melhores resultados que a condução dos dois programas independentes (Arnheiter and Maleyeff 2005). George (2002) também refere a união destas metodologias como benéfica, pelo facto de as virtudes de uma metodologia poderem compensar certas lacunas da outra. Essa visão é corroborada por Mi Dahlgaard-Park et al. (2006), que constataram que ambas têm em comum propostas objetivas para a procura da excelência operacional. Na prática, a sua aplicação tem despertado a consciência de que melhorias ao nível do processo têm um impacto significativo e forte na qualidade (Sousa and Voss 2002).

A Figura 5 compara as três filosofias - Six Sigma, Lean e Lean Six Sigma - do ponto de vista do consumidor e do produtor. Como conjecturado, esta simbiose é benéfica tanto para o produtor como para o consumidor, uma vez que é possível a organização oferecer maior valor ao cliente, a um menor preço.

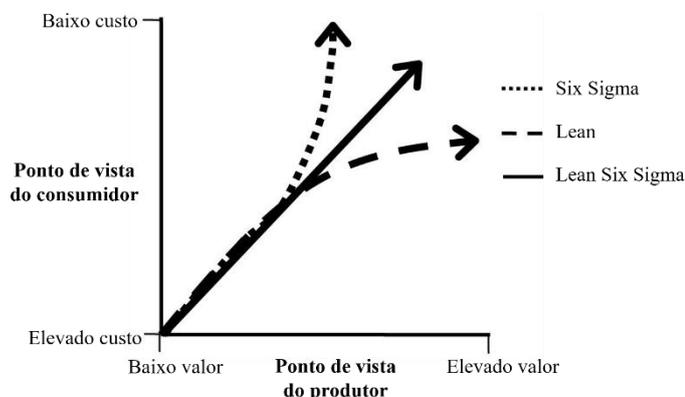


Figura 5 – Natureza da vantagem competitiva das três filosofias (fonte: adaptado de Arnheiter and Maleyeff (2005))

Também de acordo com Clegg, Pepper, and Spedding (2010), a combinação das filosofias Lean e Six Sigma formam a ferramenta chave para a melhoria dos processos. Embora distintas, são

complementares e compatíveis entre si. Ao passo que o Lean permite identificar as áreas a serem alvo de melhoria, o Six Sigma reúne a metodologia adequada para fazer face aos problemas encontrados, guiando o processo rumo ao objetivo delineado. Um estudo levado a cabo por Maleszka and Linke (2016), em algumas das grandes empresas de produção alimentar na Europa, permitiu avaliar o impacto de ferramentas Lean Six Sigma no processo de gestão. De acordo com os resultados, registou-se maior controlo dos custos internos, o que levou a um aumento da margem de lucro, traduzida em vantagem competitiva.

### 2.3.3 Planeamento da Mudança Organizacional

Estudos de controlo de qualidade, especialmente na indústria alimentar, desviam a direção empresarial para nutrir um pensamento estatístico em todo o negócio (Bjerke and Hersleth 2001, Grigg and Walls 2007). De acordo com o estudo conduzido por Lim, Antony, and Albliwi (2014), o desafio mais citado à implementação do CEP foi a resistência à mudança (17%). Neste setor, ela representa muito mais que uma questão dominante (Surak 1999). Comparada com o setor de saúde que enfrentou um desafio semelhante (Glasgow, Scott-Caziewell, and Kaboli 2010, Thor et al. 2007), a indústria alimentar é mais conhecida pela sua natureza conservadora (Glasgow, Scott-Caziewell, and Kaboli 2010). O medo na implementação contribui para essa resistência e está enraizada na falta de experiência e capacidade dos colaboradores para a sua implementação (Hung and Sung 2011). No ANEXO E, podem ser consultadas com maior detalhe as barreiras à implementação da melhoria contínua nesta indústria.

Nadler, Gerstein, and Shaw (1993) destacam a diferença cultural entre organizações como um dos principais fatores no desenvolvimento e implantação de programas de qualidade. Neste contexto, um guia de implementação do CEP deve ser flexível o suficiente para se adaptar às necessidades particulares de cada organização, setor ou processo (Owen 2013).

Independentemente do tipo de abordagem a ser seguida, segundo Montgomery (2007), antes de se monitorizar um processo deve-se verificar se o mesmo se encontra sob controlo estatístico. Esse processo requer consciencialização, treino e esforço por parte da equipa envolvida para detetar e eliminar as causas especiais, reduzir a variabilidade do processo e estabilizar o seu desempenho. Pysdek and Keller (2003) acrescentaram ainda, como outro requisito, o envolvimento da liderança de topo.

#### Normalização

A padronização das tarefas operacionais é uma atividade condicional à implementação efetiva do CEP. Quanto mais adequados forem os métodos de trabalho e executados da mesma forma por várias pessoas, menor será a variabilidade registada no processo, sendo assim explicada a eficiência do CEP. A normalização é o meio para assegurar a repetibilidade e a solidez dos resultados (Campos 1992). Contudo, o treino deve ser realizado para diferentes níveis hierárquicos e a profundidade dos mesmos deve variar de acordo com estes níveis (Schonberger 1988). De acordo com Holt et al. (2007), o treino deve incluir o conceito de variabilidade natural/especial, a relevância dos limites de controlo e a respetiva interpretação dos gráficos. Ao normalizar-se o melhor método, são garantidas sequências de trabalho fiáveis e flexíveis, trabalhando-se constantemente na sua melhoria. A vantagem deste princípio é também a identificação rápida dos desvios e a eliminação de desperdícios e tempo, tornando o processo mais transparente (Branco 2009).

A consulta literária documentada, com particular incidência no ramo alimentar, revelou-se promissora para o decorrer do projeto desenvolvido. Tendo uma visão global da sequência de trabalho defendida até ao momento, foi possível reunir as ferramentas essenciais para traçar a melhor estratégia de resolução do problema.

### 3 Definição do problema

Neste capítulo, é apresentada uma análise pormenorizada do problema e do processo produtivo, requisitos essenciais para uma melhor compreensão do projeto, com impacto direto no desenho de soluções.

#### 3.1 Caracterização

Para estruturar a descrição do problema, recorreu-se às etapas *Define*, *Measure* e *Analyse* do modelo DMAIC, tendo por base a técnica dos 5W2H. Foi utilizada uma abordagem diferencial, procurando-se descrever o que constitui o problema, as razões de o ser e em que circunstâncias ele não ocorre.

##### a. Âmbito

Decorrente da instabilidade do processo produtivo, a empresa enfrenta como problema operacional a variabilidade do peso dos seus pacotes, incorrendo num aumento de desperdício de produto final.

Existem dois casos possíveis de sobredosagem, a sobredosagem planeada e a sobredosagem não planeada, cuja fórmula exprime a diferença entre a especificação do peso líquido e o valor que é declarado no rótulo. A sobredosagem planeada diz respeito a uma segurança previamente planeada pela Direção da empresa como forma de se garantir o cumprimento dos requisitos legais. Pelo contrário, a sobredosagem não planeada gera desperdício e ocorre por diversos fatores, os quais correspondem aos elementos que se pretendem investigar.

##### b. Medição de desempenho

É condição necessária compreender como é o que o problema é mensurado e detetado, tendo-se definido um indicador para acompanhar, avaliar e interferir no rumo do projeto. O excesso de peso de um pacote caracteriza-se pela equação 3.1, sendo o peso médio auferido pelas pesagens e o peso nominal o definido para o pacote.

$$\% \text{ Excesso de Peso}_{\text{pacote}} = \frac{\text{Peso médio} - \text{Peso nominal}}{\text{Peso nominal}} \quad (3.1)$$

Para obter a percentagem do excesso de peso de uma linha de produção, utiliza-se a equação 3.2.

$$\% \text{ Excesso de Peso}_{\text{linha}} = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{kg produzidos}_i \times \% \text{ excesso peso}_i)}{\sum_{i=1}^n \text{kg produzidos}_i} \quad (3.2)$$

Para este cálculo, recorre-se a uma média ponderada, pois nem todos os produtos têm a mesma contribuição para o problema em análise. A importância de cada um encontra-se representada com base no número de quilogramas produzidos. Desta forma, a análise baseia-se naquilo que foi efetivamente produzido e não no número de registos, uma vez que cada registo é feito com uma determinada frequência (horária), o que pode não corresponder ao tempo de produção.

##### c. Objeto de estudo

As linhas de produção são capazes de produzir diferentes tipos de bolachas, podendo diferir a receita, o formato do produto acabado, a temperatura de cozimento, a cobertura, os recheios, entre outras particularidades.

Como forma de se proceder ao correto entendimento do problema global, tomou-se como a melhor prática o estudo de uma linha de produção, selecionando-se apenas um determinado produto, como forma de isolar outras possíveis variáveis, particulares de cada linha. Ainda que

para o processo de replicação seja necessário ter em consideração esses aspetos, é crucial que a escolha da linha e do produto piloto seja representativa do problema.

Antes de se conduzir a uma análise quantitativa e tendo conhecimento prévio de que o volume de produção irá aumentar, investigou-se quais as linhas que iriam operar para corresponder a essa procura. Validou-se que a linha de produção F seria a escolhida, uma vez que é umas das linhas com uma menor taxa de ocupação e que se encontra funcionalmente apta para os produtos que irão sofrer esse aumento de produção.

Considerando como espetro temporal os 6 meses antecedentes ao início do presente estudo - setembro de 2016 a fevereiro de 2017 - analisou-se, para cada mês, todas as linhas de produção. É de realçar que o estudo não envolveu um período de tempo superior, dada a elevada probabilidade de um determinado produto não ser consecutivamente produzido na mesma linha durante um período mais abrangente. Através dos dados obtidos pelo controlo de qualidade, foi possível obter o peso médio das pesagens efetuadas e comparar com o peso nominal. Obtido o desvio para cada produto, em cada mês, através do indicador definido, apurou-se a linha F como sendo a responsável pelo maior excesso de peso da empresa, como se pode constatar pela Figura 6.

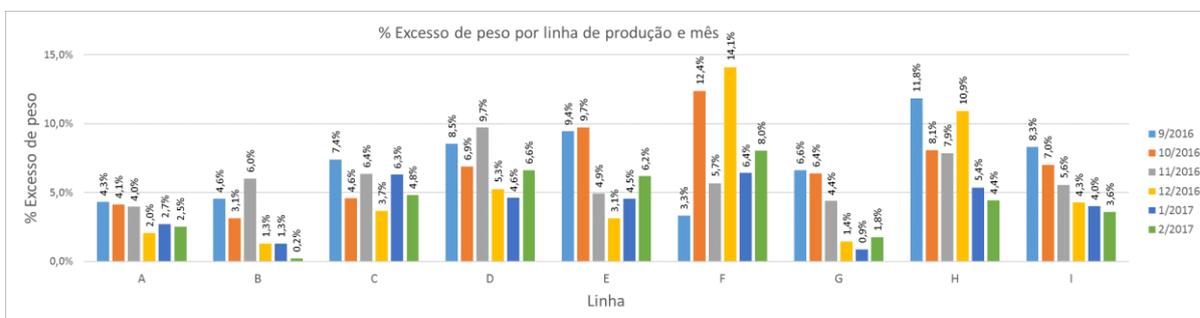


Figura 6 - Percentagem de excesso de peso em cada linha de produção, para cada mês

Conjugando a maior facilidade em proceder-se a testes experimentais com a vantagem de apresentar uma maior variabilidade de saída, a linha de produção F constituirá a linha piloto do presente estudo. Importa salientar que o número de registos se manteve estável nos meses em análise, descartando a possibilidade de o aumento do peso médio nos meses de outubro e dezembro resultar de um decréscimo da produção. O facto de a produção ser de curta duração, poderia levar à existência de vários arranques com implicações na estabilidade do processo. O processo produtivo e as operações desta linha encontram-se descritos na seção 3.3.

#### d. Seleção do produto

Existindo conhecimento da instabilidade do peso dos produtos ao longo da produção, analisou-se de que forma este facto se relaciona com os meses de produção em análise - Figura 7.

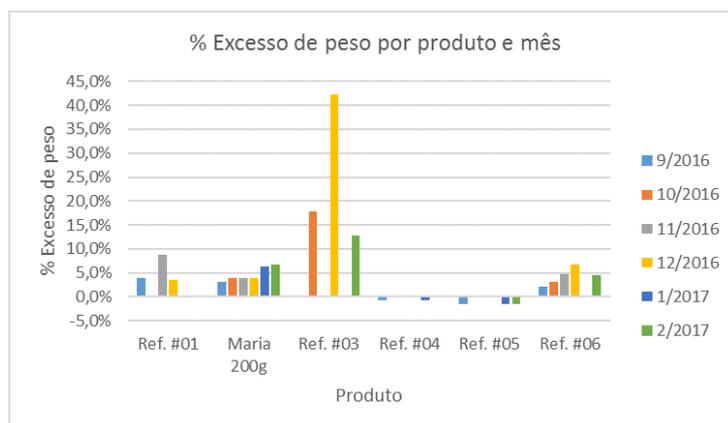


Figura 7 - Percentagem de excesso de peso por produto e mês

Contrabalançado esta análise prévia com o planeamento da produção para os meses seguintes, o produto com a referência #01 deixou de ser produzido nesta linha de produção. Os produtos Maria 200 g e os respeitantes à referência #06 apresentam uma percentagem de excesso de peso com tendência crescente, apesar de o último produto ter registado um decréscimo no último mês de análise. A referência #03, apesar de se destacar pelo maior excesso de peso, diz respeito a um produto com requisitos de mercado muito específicos e produções esporádicas. Em oposição, as referências #04 e #05 apresentam défice de peso, possuindo um modo de embalagem diferente da maior parte dos produtos.

No contexto da indústria alimentar, é cada vez mais crucial que a produção e a rentabilidade operacional sejam geridas em paralelo. Excluídas as referências #01, #04 e #05 da análise, uma vez registada uma elevada diferença nos restantes produtos, traçou-se a curva de experiência ABC<sup>8</sup>. Tal permite apoiar a decisão, até porque o que se pretende é reduzir o excesso de peso nos produtos em que a empresa detenha uma maior margem de lucro. Por motivos de confidencialidade, apenas se apresenta na Tabela 3 a respetiva classificação.

Tabela 3 – Classificação ABC dos produtos da linha F relativa ao ano de 2016

Produto	Classificação
Bol. Maria 200 g	A
Ref. #06	B
Ref. #03	C

Como o produto Maria encontrava-se classificado como A - elevado consumo - e apresentava uma maior estabilidade no que respeita ao indicador do excesso de peso, reuniu as condições favoráveis para ser alvo de estudo. Ao introduzir-se o controlo estatístico neste produto, não só seria, à partida, mais fácil a sua aplicação, como também permitiria, numa primeira fase, um maior *input* para a rentabilidade da empresa. Definiu-se como ponto de partida um excesso de peso de 3,86%.

Para este produto, encontra-se definido um peso nominal por pacote de 202,7 g, sendo o valor de 2,7 g correspondente à tara. Considera-se excesso de peso um pacote com peso nominal superior a 202,7 g. A espessura estabelecida para cada bolacha encontra-se definida no intervalo compreendido entre [5; 6] mm.

#### e. Impacto financeiro

Quando um pacote é produzido com um peso superior ao nominal, duas situações podem ocorrer:

- a) o produto é expedido para o cliente;
- b) o produto é rejeitado pela máquina controladora de peso e tem de ser recuperado na linha.

Para o caso a), a empresa apenas incorre no custo do excedente de matéria-prima, ao passo que na situação b) é contabilizado o custo de reprocessamento – mão de obra (M.O.D) e energia - e o da película que é desperdiçada. Um custo que não se encontra contabilizado é o associado com o tempo de produção, ou seja, com a eficiência, medida pela quantidade de produto comercializável num determinado momento. É um aspeto crucial para a empresa produzir o

<sup>8</sup> A classificação ABC apresenta uma configuração na qual 20% dos artigos são considerados A e respondem por 80% do valor do consumo anual. Considerou-se, como medida de comparação para o cálculo do consumo, a quantidade de quilogramas produzida, dados os diferentes formatos do produto e pesos nominais. Os artigos B representam 30% do total de número de artigos e 15% do valor do consumo anual. Os restantes 50% dos itens e 5% do valor de consumo anual são considerados classe C.

mínimo de desperdício e o máximo de produção. Na Figura 8, encontram-se representados esses dois momentos.

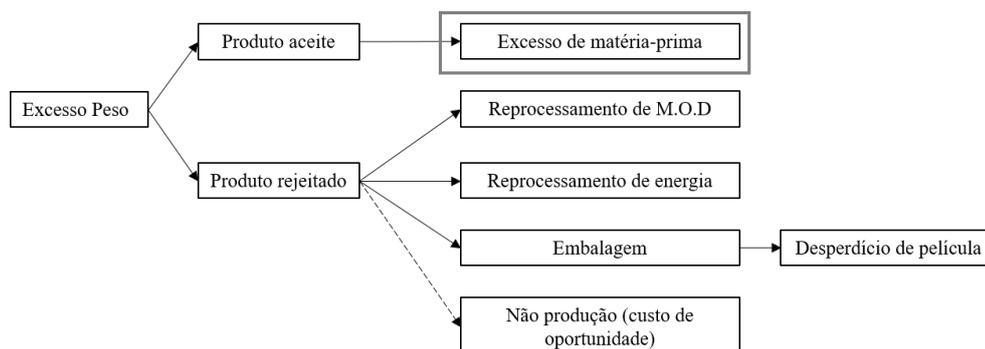


Figura 8 – Distribuição dos custos do excesso de peso

Uma vez que a empresa não efetuava o registo histórico dos produtos rejeitados pela máquina controladora de peso, o custo do excesso de peso não contabilizará o caso b). Não obstante, a máquina controladora de peso encontrava-se programada para rejeitar pacotes apenas quando o peso fosse superior a 249,5 g, pelo que, devido ao elevado limite superior, não representaria uma parcela significativa.

Assim, o custo do excesso de peso deve atender à equação 3.3.

$$\text{Custo Excesso Peso}_{\text{linha F}} = \text{Custo de produção}_{\text{linha F}} \times \% \text{Custo MP}_{\text{linha F}} \times \% \text{Excesso de Peso}_{\text{linha F}} \quad (3.3)$$

O excesso de peso da linha F apresentava um valor de 5,60%. Apurou-se o peso de cada fator de produção, como se demonstra na Tabela 4, de modo a obter a influência da matéria-prima, classificada em 50,41%.

Tabela 4 – Peso (%) de cada um dos fatores de produção

Fator	M.P	Embalagem	M.O.D	Energia	Paletização + Picking
Ponderação (%)	50,41%	24,26%	12,88%	9,28%	3,17%

Por motivos de confidencialidade, não se detalha a parcela respeitante ao custo de produção da linha, responsável por 13,25% do custo total de produção da unidade operacional em questão.

Assim, para a linha F e considerando a situação a), o custo do excesso de peso representava 2,86% do custo total de produção da respetiva unidade operacional, sendo o produto piloto responsável por 1,97%<sup>9</sup> desse custo total. Simulando a rejeição dos pacotes com excesso de peso pela máquina controladora (situação a + b), o custo para a linha representaria 5,12% do custo total de produção dessa unidade.

#### f. Crítico para a Qualidade

Os retalhistas e armazenistas representam os principais clientes da empresa em estudo, pelo que é crítico assegurar que o produto não só cumpre o peso em termos legislativos, como também se encontra nas condições de embalagem e acondicionamento especificadas. Desta forma, é necessário validar com os clientes os requisitos cruciais à definição dessas especificações, para que os resultados da interface *Voice Of the Customer (VOC) – Critical To Quality (CTQ)* sejam exponenciados.

<sup>9</sup> Recorda-se que o excesso de peso do produto Maria 200 g apresentava um valor de 3,86%.

### 3.2 Definição do objetivo

Caracterizado o problema, o objetivo é manter o processo sob controlo (regular e previsível) e a média de peso líquido o mais próximo possível da sua especificação, tanto para fins de conformidade legal como para efeitos de redução de custos operacionais.

Definiu-se como principal meta quantitativa uma redução do excesso de peso de, pelo menos, 3% para o produto Maria 200 g da linha F. Optou-se por desdobrar o objetivo ao produto, pelo facto de existir a possibilidade de determinados produtos não serem produzidos no decorrer do estudo.

### 3.3 Processo produtivo

Tão importante como uma descrição apropriada do produto e do problema é o conhecimento de todas as etapas do processo produtivo e a respetiva interação lógica entre essas mesmas etapas. É considerado como requisito a sua correta compreensão como forma de a análise cobrir todas as variáveis. Através do fluxograma da Figura 9, é possível observar a sequência do processo de fabrico, as fases em que ocorrem entrada, reprocessamento de matérias-primas e de produtos intermédios e onde os resíduos são removidos.

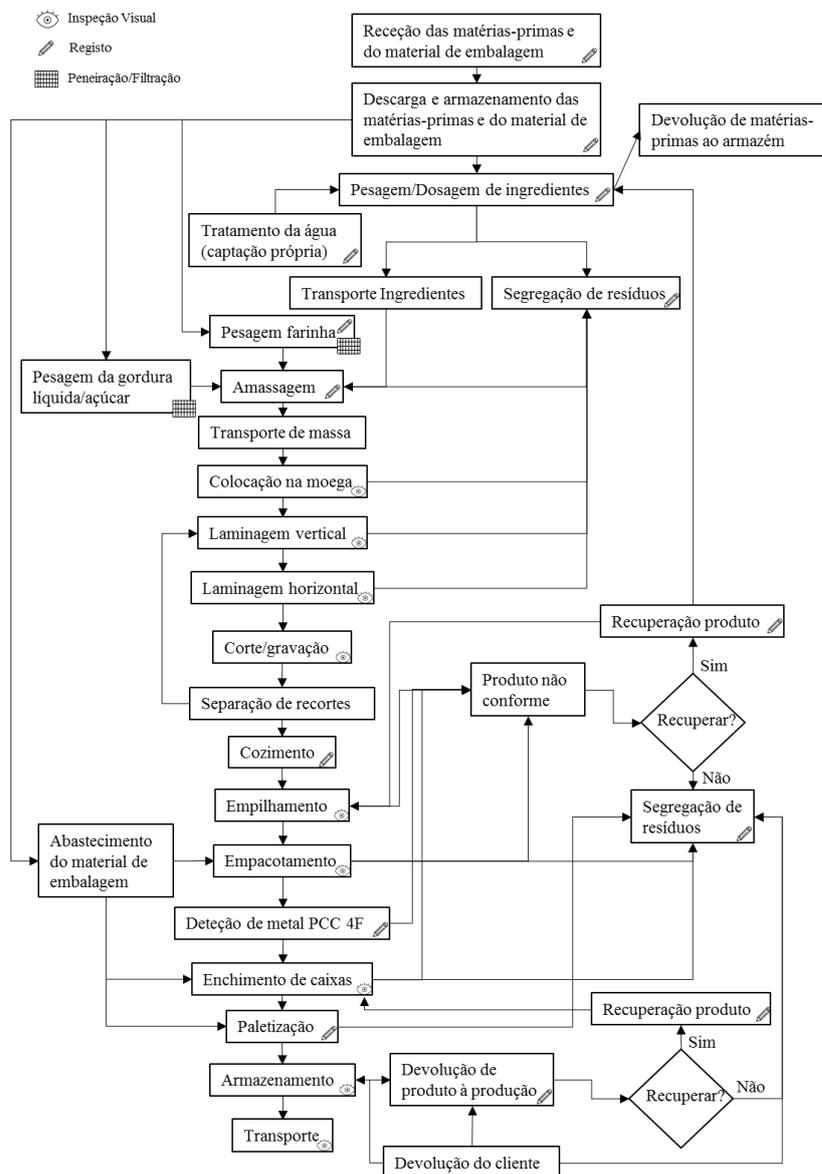


Figura 9 - Fluxograma do processo produtivo

Para a linha F, os diferentes ingredientes são misturados de acordo com a receita, sendo produzidos dois carros de massa, após a mistura uniforme na amassadeira. Estes permanecem em espera, até que a massa do primeiro carro seja colocada na moega<sup>10</sup>. A folha de massa com a espessura e a largura requeridas é formada através de uma série de operações que ocorrem posteriormente. Entre a entrada da massa na moega e a formação do tapete de massa, o segundo carro de massa fica a repousar por um tempo não controlado, o qual pode durar até cerca de 45 minutos. Enquanto o segundo carro está em espera, uma nova massa encontra-se a ser preparada nas amassadeiras, dando origem a mais dois carros.

Seguidamente, o procedimento envolve uma compressão contínua da massa, passando-a por uma série de rolos de calibração – os laminadores - que vão reduzindo sucessivamente a sua espessura. Em primeiro lugar, a massa passa por um laminador vertical e, seguidamente, por dois laminadores horizontais. As formas desejadas são cunhadas, cortando-se pedaços de massa em matrizes idênticas, montadas num rolo rotativo. A massa que rodeia as peças formadas, denominada de retalho, é recolhida e recirculada de forma a rentabilizar o desperdício inerente ao processo de cunhagem, sendo incorporada numa próxima massa previamente à fase de compressão.

Ocorrida a desintegração das peças da folha de massa, outro transportador leva-as em direção ao forno, onde são cozidas. Subsequentemente, as bolachas são transportadas para a seção de embalagem através de vários transportadores, ocorrendo o seu arrefecimento. Nesta etapa, o produto permanece à temperatura ambiente, após o cozimento. O carregador, volumétrico, cria uma pilha de bolachas, sendo o comprimento deste canal ajustado para definir a altura do pacote de bolachas. A pilha é arrastada pelos separadores móveis dentro do canal para a unidade de montagem do pacote, sendo cada pilha envolvida por película na empacotadora. Neste equipamento, é montada a bobine no suporte apropriado, a película e as fitas (carimbo e abertura fácil) ao redor dos rolos de transmissão, de forma a garantir um correto empacotamento.

Constituído o pacote de bolachas, o mesmo passa pelo detetor de metais e, seguidamente, pela máquina controladora de peso dinâmico, sendo descartados os pacotes com resíduos metálicos e cujo peso se encontra fora dos limites especificados. O detetor de metais é essencial para garantir a segurança da saúde do consumidor, impedindo que o produto contaminado siga para o cliente. Por sua vez, o sistema de pesagem controla o peso final do pacote, assegurando-se que o mesmo se encontra dentro do intervalo de peso definido.

O produto, depois de se encontrar numa caixa de transporte, é disposto na paleta. Quando a paleta já tem a quantidade indicada, é envolvida com um estirável e, de forma a garantir a rastreabilidade do produto, é feita a respetiva etiquetagem. Seguidamente, segue para o armazém de produto acabado ou diretamente para o cais de expedição.

No ANEXO F, é possível localizar, utilizando o *layout* da unidade em que a linha se encontra, todas as operações enunciadas.

### 3.3.1 Descrição das operações

Esta subseção pretende explorar algumas etapas do processo produtivo com o propósito de pormenorizar as especificações relevantes para a resolução do problema.

#### Matérias-primas

Apesar de o armazém de determinadas matérias-primas estar a baixas temperaturas para sua conservação, evitando o desenvolvimento microbiológico ou a sua degradação química, a maioria destes produtos não se encontra a temperatura controlada. As que se utilizam em maiores quantidades, como é o caso da farinha e do açúcar, são colocadas em silos. A descarga

---

<sup>10</sup> Depósito, em forma de pirâmide invertida, onde a massa é armazenada.

efetua-se para as amassadeiras, existindo uma diferença entre o valor que o operador programa, de forma a cumprir a receita, e o que realmente o equipamento descarrega. A pesagem manual dos restantes ingredientes é feita de forma manual, através da qual o operador é responsável pela sua recolha e pesagem em balanças eletrónicas, consoante as necessidades para a receita em uso. Muitas vezes, os erros (humano e de calibração dos equipamentos) apenas são perceptíveis no produto final, pelo que, quando esta etapa falha, o erro deteta-se mais tarde.

A farinha de trigo é a principal matéria-prima das massas para bolachas. Não é um componente essencial para o sabor do produto, mas sim para a consistência da massa, formato e dureza.

A sacarose é o principal açúcar utilizado na indústria alimentar, constituindo uma matéria-prima base para o fabrico de bolachas. Este ingrediente confere um carácter doce e cor dourada, com importância nas características organolépticas e na conservação dos produtos, pelo seu poder em reter humidade e melhorar a estabilidade em relação à rancificação das gorduras. A massa ao possuir mais açúcar, tem menos humidade, o que faz com que o peso desça e engrosse mais. De acordo com Manley (2011), quanto maior é a sua quantidade, maior é a dureza da bolacha.

A água exerce um papel importante na preparação das massas, atuando na formação do glúten e na solubilização dos ingredientes da receita, proporcionando consistência, maleabilidade e elasticidade. Aquando do contacto com a farinha de trigo, possibilita a formação da massa, através das interações que promove com os outros ingredientes, formando uma rede proteica, o glúten, responsável pela textura rígida após a cozedura (Maache-Rezzoug et al. 1998, Sumnu and Sahin 2008). A falta de água inibe a formação completa do glúten e o desenvolvimento regular da massa, pelo que também o seu excesso provoca o enfraquecimento do glúten, retardando a formação da massa (Campêlo 2004).

O bicarbonato de amónio é usado maioritariamente como fermento para bolachas, promovendo a maciez devido à sua rápida e forte liberação de amónio, responsáveis pela expansão da massa. Pela ação do calor, decompõe-se rapidamente em dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), amónio e água (Azenha 2005), aumentando a expansão das bolachas e a formação de um aspeto mais uniforme.

O bicarbonato de sódio é uma substância que, na presença de líquido, expelle CO<sub>2</sub> na forma de bolhas de ar. Não precisa de uma temperatura para reagir, embora o gás seja libertado mais rapidamente sob altas temperaturas (Canela-Raws 2003). É de grande importância que a distribuição dessas bolhas seja homogénea, possibilitando assim que o gás carbónico também se possa distribuir de igual forma na massa para um crescimento uniforme (Bobbio and Bobbio 1992). As propriedades mecânicas do glúten e dos demais ingredientes devem possuir elasticidade suficiente nas paredes das bolhas, oferecendo resistência ao aumento da pressão do ar, do CO<sub>2</sub> e do vapor de água formados (Bobbio and Bobbio 1992). Caso tal não se verifique, ocorre a alteração da espessura da bolacha.

### **Amassadeira**

A amassagem é um dos pontos do processo que requer atenção, pois cada tipo de farinha necessita, pelas suas especificidades, de uma quantidade de água diferente. Nesta operação, realizada automaticamente por uma amassadeira, todas as matérias-primas são misturadas com o objetivo de obter uma massa homogénea. Após o tempo programado, é efetuado o controlo da temperatura da massa e uma inspeção visual e tátil. De notar que o tempo desta etapa é variável, não existindo uma norma de trabalho definida, e, mediante essa inspeção, a massa poderá sofrer um novo processo de amassagem, de duração mais curta, decidida empiricamente.

### **Laminadores**

Os laminadores são formados por vários cilindros, como se pode constatar na Figura 10, usados para reduzir gradualmente a espessura do manto de massa até chegar ao molde da bolacha. O transporte da massa entre os laminadores é realizado por telas transportadoras. Estas são colocadas entre os laminadores, com sistemas de rolos, possuindo diferentes velocidades. Ao

regular-se a velocidade dos rolos, define-se a quantidade de massa a ser processada. É importante que se regule nesta etapa essa quantidade, de forma a evitar acumulações ou falta de massa nos mesmos. De seguida, a massa é obrigada a passar entre dois pares de redutores (*gauge roll*) que definem a espessura de massa (Figura 11). Quanto maior for essa redução, maior é o ‘stress’ sobre a massa, decorrente do menor espaçamento entre os dois rolos.

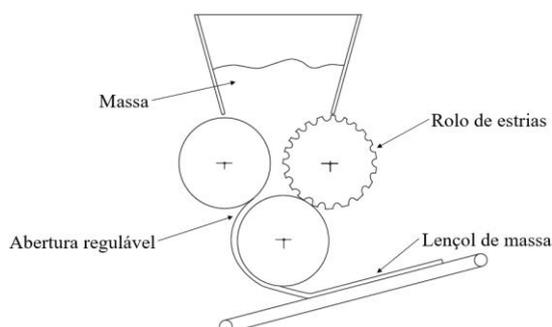


Figura 10 - Formação do lençol de massa (fonte: adaptado de Manley (2011))

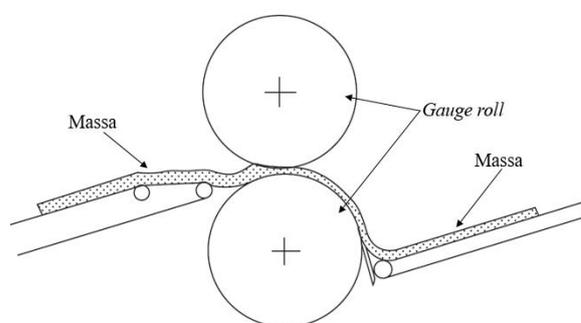


Figura 11 - Formação da espessura de massa (fonte: adaptado de Manley (2011))

### Descanso da massa antes da cunhagem

Após a passagem pelos laminadores, o descanso ocorre para que a massa, depois de homogeneizada, sofra um processo de estabilização dos seus componentes, facilitando e melhorando as condições de produção. Tal é conseguido pela diferença de velocidade nos tapetes, de modo a que exista um tapete independente na linha, com tamanho inferior, e cuja velocidade é mais lenta que a do resto da linha (Figura 12). O facto de a massa 'descansar' tem como propósito que o fermento atue, tornando-a menos densa e impedindo que a massa quebre na passagem entre os tapetes.

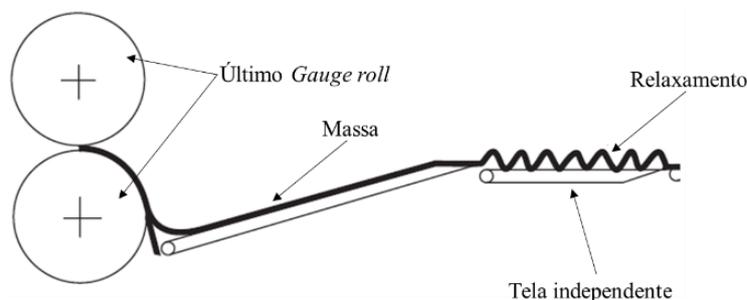


Figura 12 – Processo de relaxamento da massa (fonte: adaptado de Manley (2011))

### Cunho

Um cilindro de corte e impressão é responsável pela marcação pretendida da bolacha. Nesta fase do processo, é importante assegurar que a massa adere à tela, sendo direccionado o retalho à massa fresca e encaminhada a massa com a forma de bolacha para o forno.

### Forno

A temperatura constitui uma variável relevante no processo, na medida em que um aumento de temperatura aumenta a energia cinética das moléculas, promovendo a sua agitação e a velocidade da reação. Como resultado, os reagentes atingem mais rapidamente o complexo ativado, que é o estado intermediário entre os reagentes e os produtos de uma reação. No momento em que a massa se encontra nas amassadeiras, o gás carbónico proveniente do bicarbonato de amónio tem a tendência de se juntar às bolhas de ar, pelo que, quando estão no forno, por aumento de pressão, esses gases expandem-se e são responsáveis pelo crescimento da massa (Bobbio and Bobbio 1992). A escolha das temperaturas é crucial, uma vez que,

segundo a regra de Van't Hoff, um aumento de 10°C na temperatura dobra a velocidade da reação (Angelucci 2010).

O forno é constituído por quatro zonas aquecidas e controladas independentemente, em que em cada uma delas se regista diferentes temperaturas e aplicações de calor, a nível superior e inferior (Manley 1998b). As duas primeiras zonas são responsáveis, principalmente, pelo desenvolvimento da bolacha, ao passo que as restantes ditam o brilho e a cor.

Durante a cozedura, a bolacha sofre a influência de três tipos de alterações, escalonadas em três fases, nomeadamente alterações a nível dimensional, no desenvolvimento da cor e aroma e na perda de humidade (Manley 2011). A primeira diz respeito ao início da expansão da massa e perda de humidade, ao passo que a segunda está associada à perda de peso e ao culminar da expansão da massa, começando o aparecimento da cor. A terceira caracteriza-se pelo aumento da intensidade de cor da superfície, diminuindo a espessura e o peso da bolacha. É durante a cozedura que a bolacha vai adquirindo consistência pela formação da estrutura de glúten.

### 3.4 Síntese

Perante a crescente necessidade de eliminar custos de não conformidade, o Six Sigma constitui um meio vital para reduzir a variabilidade dos processos críticos. Elegeu-se esta metodologia para estruturar o problema por possuir as ferramentas necessárias para aumentar a qualidade do produto e do processo. Contudo, o resultado dificilmente será alcançado sem uma mudança cultural e uma normalização de todas as etapas, principalmente pela forte influência do fator humano no processo. Sendo assim, o Lean Six Sigma irá permitir alcançar o objetivo, agregando a rapidez e eficácia do Six Sigma à melhoria contínua e eficiência do Lean.

Direcionado o alinhamento estratégico como catalisador, selecionou-se a linha de produção F como sendo a mais representativa do problema e com maior facilidade de implementação de mudanças, do ponto de vista prático. De entre os produtos produzidos, escolheu-se o respeitante à Maria 200 g, por ser o que maior impactua no rendimento operacional da empresa e cuja tendência de variabilidade tem vindo a sofrer um crescimento considerável. Definiu-se como objetivo uma redução do excesso de peso de, pelo menos, 3%, contribuindo para uma maior aproximação da média do peso líquido do produto à especificação definida. Como forma de perceber de que modo cada fator influencia a qualidade do produto final, tornou-se pertinente analisar o processo e as respetivas operações.

No próximo capítulo, é analisada a variabilidade, tendo sido recolhidos e tratados dados sobre o processo, necessários para suportar decisões e investigar possíveis fontes de variação.

## 4 Análise de variabilidade

A correta análise do problema torna-se indispensável para uma melhor compreensão da sua complexidade e da abordagem a ser seguida em posterior intervenção. Nesse sentido, é realizada uma extensão das fases *Measure* e *Analyse* do DMAIC, iniciadas anteriormente.

### 4.1 Formulação da variável peso

O peso da embalagem depende, principalmente, do número de bolachas e respetivo peso individual, e da tara, cujo valor depende do produto e do cliente. Por motivos de simplificação e pela reduzida contribuição para o problema em questão, não se incluiu na equação 4.1 a influência dos espaços existentes entre as bolachas, decorrentes de possíveis bolhas de ar.

$$Peso_{pacote} = \sum_{i=1}^N Peso_{cada\ bolacha} + tara \quad (4.1)$$

Desmembrada a primeira parcela da segunda parte da equação 4.1, o peso de cada bolacha depende da sua densidade e do seu volume, tal como se apresenta na equação 4.2. Assumindo um volume cilíndrico, este encontra-se representado pela espessura e pela área. Uma vez que o comprimento do pacote, definido pela altura do carregador, é dependente do número de bolachas acomodadas, então é possível definir-se a espessura de cada bolacha com base no comprimento total. É de destacar que ao volume da bolacha não é necessário excluir os furos demarcados pelo cunho, uma vez que a cunhagem restringe o movimento do material, concentrando a deformação. Considera-se desprezável eventuais espaços que possam surgir entre a última bolacha do pacote ( $x$ ) e a película, resultante da bolacha  $x + 1$  ultrapassar o comprimento definido para o carregador.

$$Peso_{cada\ bolacha} = \rho_{bolacha} \times A \times e + \delta \quad (4.2)$$

Onde:

$\rho$ , é a densidade, a uma dada pressão e temperatura

$A$ , é a área

$e$ , é a espessura

$\delta$ , é um fator de correção de forma

Pelo facto de a bolacha apresentar bordas semiesféricas, é possível observar na Figura 13 que o cálculo da espessura e do volume não é consentâneo com a forma geométrica real da bolacha, considerando-a como um retângulo. Por essa razão, considera-se a influência de um fator de correção de forma. Não obstante, para a dimensão do problema em questão, este ajuste toma um valor irrisório, tendo-se assumido uma aproximação à unidade.



Figura 13 – Comparação da geometria real com a considerada para efeitos práticos

Sendo a área determinada pela gravação do cunho, o diâmetro da bolacha é fixo, pelo que a área tem sempre o mesmo valor. Apesar da tara depender da altura do pacote, o seu valor não varia significativamente (consultar seção 4.3). Assim, encontra-se demonstrado que a variabilidade do peso do pacote é devida, principalmente, ao número de bolachas, à sua espessura e densidade, variáveis da equação 4.3.

$$Peso_{pacote} = \rho_{bolacha} \times A \times e \times N^{\circ} bolachas + tara \quad (4.3)$$

Por sua vez, é equivalente à equação 4.4:

$$Peso_{pacote} = \rho_{bolacha} \times A \times H_{pacote} + tara \quad (4.4)$$

Onde:

$H_{pacote}$ , é a altura de um pacote

A espessura das bolachas deve ser tal que uma pilha com um número específico de bolachas possa ser acomodada dentro da altura do canal do empilhamento. De acordo com o estudo levado a cabo por Gauri (2003), as bolachas são acomodadas numa pilha, desde que a sua altura total fique compreendida no intervalo  $[h_{carregador} - e_{uma_bolacha}; h_{carregador}]$ . Como a altura total de  $x$  bolachas deve seguir uma distribuição normal, a altura alvo deve ser equidistante da altura do carregador e da altura do carregador menos a espessura de uma bolacha. Tal produz a equação 4.5, onde se pretende demonstrar que o erro normal associado é de, aproximadamente, uma bolacha (vide Figura 14). Nesta empresa, perante o problema de não existir uma espessura constante em todas as bolachas, o número de bolachas em cada pacote variava entre 30 a 36 bolachas.

$$Z - Y \approx Y - \left( Z - \frac{Y}{x} \right) \quad (4.5)$$

Onde:

$x$ , é o número de bolachas

$Y$ , é a altura média de  $x$  bolachas

$Z$ , é altura do carregador

$\frac{Y}{x}$  representa a espessura de cada bolacha, pelo que  $Z - \frac{Y}{x}$  corresponde à altura de um pacote com  $x - 1$  bolachas. Assim, da segunda parcela da equação, resulta a espessura de uma bolacha. Esta é a diferença entre a altura do carregador e um pacote de bolachas, tal como se encontra retratado na Figura 14.

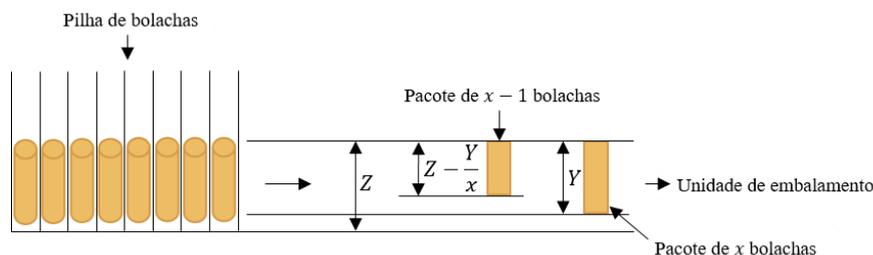


Figura 14 - Etapa de empacotamento, considerando a projeção do processo vista de cima (vista superior)

## 4.2 Fatores potenciais de variabilidade

Segundo Werkema (1996), a variação total de um processo de produção pode ser considerada como a resultante das variabilidades individuais de cada um dos fatores representados na equação 4.6.

$$\sigma_{total}^2 = \sigma_{met}^2 + \sigma_{mo}^2 + \sigma_{máq}^2 + \sigma_{sm}^2 + \sigma_{ma}^2 + \sigma_{mp}^2 \quad (4.6)$$

Onde:

$\sigma_{total}^2$ , é a variância total do processo

$\sigma_{met}^2$ , é a variância devida ao método de trabalho

$\sigma_{mo}^2$ , é a variância devida à mão de obra

$\sigma_{máq}^2$ , é a variância devida à máquina

$\sigma_{sm}^2$ , é a variância devida ao sistema de medição

$\sigma_{ma}^2$ , é a variância devida ao meio ambiente

$\sigma_{mp}^2$ , é a variância devida à matéria-prima

Considerando a variância devida ao processo produtivo definida pela equação 4.7, então é possível inferir que a variação total depende do sistema de medição e do processo produtivo (equação 4.8).

$$\sigma_{processo}^2 = \sigma_{met}^2 + \sigma_{mo}^2 + \sigma_{maq}^2 + \sigma_{ma}^2 + \sigma_{mp}^2 \quad (4.7)$$

$$\sigma_{total}^2 = \sigma_{sm}^2 + \sigma_{processo}^2 \quad (4.8)$$

Onde:

$\sigma_{processo}^2$ , é a variância total devida ao processo produtivo

Cada um desses fatores é constituído por variáveis controláveis e incontroláveis, que ocasionam tanto variações decorrentes de causas comuns quanto de causas especiais. Conhecer estas variáveis é fundamental para a implementação do CEP, pois permite que sejam tomadas ações, de forma preventiva, visando a redução da influência das fontes de variação antes da sua aplicação.

#### 4.2.1 Estudo do sistema de medição

Além de se investigar a capacidade dos sistemas de medição utilizados para medir os dados do processo, é importante garantir que estes estejam calibrados<sup>11</sup>. Desta forma, é crucial ajustar o sistema de medição para o valor mais próximo do apresentado por um padrão de referência, de forma a corrigir eventuais erros sistemáticos.

Na empresa existem dois sistemas de medição usados, o controlo automático e o manual.

##### Controlo automático

No controlo automático, as pesagens são efetuadas por uma máquina controladora de peso no final da linha, ainda que a empresa não aceda aos seus dados para posterior análise. As controladoras de peso fornecem valores mais precisos do que os métodos tradicionais, ajudando ainda a segregar, no momento, as unidades de embalagem que se encontrem fora dos limites impostos pela empresa.

Internamente, encontrava-se definido para o produto piloto um peso mínimo de rejeição com o valor de 196 g. De acordo com a Portaria 1198/91 de 18 dezembro, o erro admissível por defeito, a partir do qual existe um incumprimento legislativo para a quantidade nominal de 200 g, é de 9 gramas, pelo que pacotes com peso superior a 191 g não entram em desacordo com a norma estabelecida. Contudo, é necessário garantir que a média do peso do lote de produção é igual ou superior a 200 g. Importa também referir que existem sempre limitações nas medições, devido a um grau de erro associado ao equipamento. Quanto ao limite superior de rejeição, 249,5 g, pelo seu elevado valor, não quantifica apropriadamente o excesso de peso.

Extraídos os dados, delimitou-se os registos de peso para um valor superior a 160 g, dada a máquina ser sensível a pacotes que eventualmente se encontravam danificados, conduzindo à pesagem de bolachas individualmente. Existe também a possibilidade de haver um constrangimento de pacotes antes da pesagem, seguindo mais do que um pacote ao mesmo tempo na máquina e impossibilitando a deteção de pacotes com peso inferior ao limitado pela empresa. Em todos os dias analisados – período compreendido entre setembro de 2016 e fevereiro de 2017 – denota-se a existência de uma baixa fiabilidade da máquina, pela forma como o arredondamento é realizado: existe um padrão diferenciador relativamente aos números ímpares. Selecionando dois dias aleatoriamente, encontra-se evidente que pesos ímpares têm um menor número de registos, face aos números pares, em todo o histórico do dia - Figura 15

<sup>11</sup> “Um sistema de medição ineficiente tem um impacto gigante na performance, porque conduz a uma tomada de decisão com informação errada” (Montgomery 2009).

e Figura 16. Ainda, os dados disponíveis para consulta encontram-se previamente arredondados, sem opção de visualização dos dados reais.

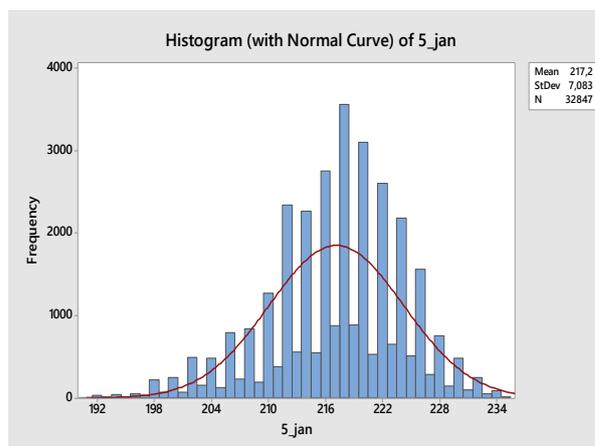


Figura 15 - Peso médio obtido pela controladora de peso a 5 de janeiro de 2017

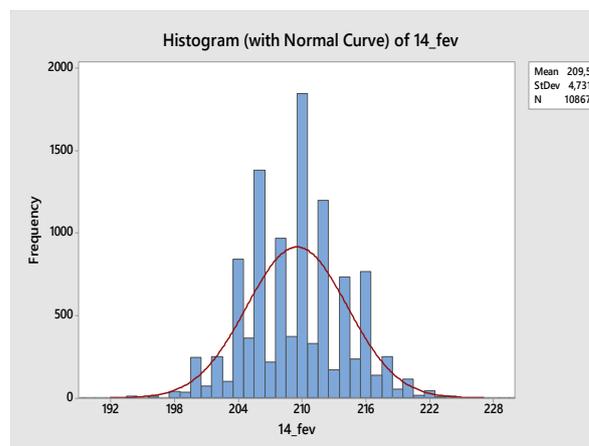


Figura 16 - Peso médio obtido pela controladora de peso a 14 de fevereiro de 2017

Como forma de verificar a existência de uma avaria ou de uma transcrição incorreta dos dados, realizou-se o teste de pesar o mesmo pacote na máquina controladora de peso durante 40 vezes – teste de precisão. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados da amostragem (em g) obtidos na máquina controladora de peso

Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
214,1	1,3	209,3	215,8

O pacote pesado numa balança laboratorial apresentava um valor  $217,26 \pm 0,005$  g e numa balança digital  $217,2 \pm 0,05$  g. Em todas as pesagens, a controladora de peso registou um valor inferior, pelo que se pode extrapolar que, devido ao equipamento, se estava a rejeitar pacotes que se encontravam dentro dos limites, incorrendo-se em custos de mão de obra, película e energia, associada à recuperação de produto. É de destacar a criticidade do grau de fiabilidade que se encontra associada a este método, sendo também através da leitura das pesagens, obtida no visor do equipamento, que os chefes de linha se guiam para efetuarem ajustes.

### Controlo manual

O único controlo com consequência imediata na produção é efetuado de forma manual, no qual o controlador de qualidade recolhe um conjunto de amostras em duas etapas, conforme descritas na Tabela 6.

Tabela 6 – Plano diário do controlador de qualidade (atendendo às características relacionadas com o peso)

TIPO	MATERIAL	PARÂMETRO/CARACTERÍSTICA	INSTRUÇÃO DE TRABALHO	INSTRUMENTO / MODO DE CONTROLO	FREQUÊNCIA DE INSPEÇÃO
A	Bolacha	Verificação da espessura e cor	Retirar 3 bolachas na zona imediatamente a seguir ao forno, escolhidas aleatoriamente	Visual; Paquímetro <sup>12</sup>	1h
B	Pacote	Verificação da impressão final, fio, peso e cor	Retirar 5 pacotes consecutivos, escolhidos aleatoriamente	Visual; Balança digital	1h

<sup>12</sup> O paquímetro digital apresenta com uma resolução de 0,01 mm e uma precisão de  $\pm 0,02$  mm.

Caso a cor, o peso ou a espessura estejam fora dos limites especificados, o produto é classificado como não conforme a recuperar. No caso de a bolacha estar queimada, é classificada como não conforme. Perante tais ocorrências, é preenchida uma ficha de não conformidades e entregue ao chefe de linha para que possíveis ajustes sejam realizados pelo mesmo. Importa referir que o controlador apenas atenta ao valor médio dos parâmetros para emitir o alerta, menosprezando a influência de eventuais valores extremos da série.

### Estudos de repetibilidade e reprodutibilidade

Para investigar a variabilidade na medição manual decorrente de problemas com os instrumentos de medição e/ou na metodologia de pesagem, foram realizados estudos de repetibilidade e reprodutibilidade cruzados (R&R). Pretende-se, através da equação 4.9, determinar quanto da variação do processo é devido à variação do sistema de medição, sendo designado este teste de cruzado pelos objetos em estudo serem mensurados por cada operador, múltiplas vezes.

$$\sigma_{sm}^2 = \sigma_{repe}^2 + \sigma_{repro}^2 \quad (4.9)$$

Onde:

$\sigma_{repe}^2$ , é a variância devida à repetibilidade

$\sigma_{repro}^2$ , é a variância devida à reprodutibilidade

Foram efetuadas pesagens a 3 pacotes e medições a 3 bolachas pelos operadores do controlo de qualidade de cada turno. O resultado desta amostragem encontra-se no ANEXO G. De referir que, durante a análise, foi utilizada a mesma balança e acompanhado o procedimento para que fosse descartada qualquer irregularidade. Como forma de eliminar fontes de erro, assegurou-se a aleatoriedade das medições e cinco réplicas de cada fator em análise. As próximas inferências têm em consideração o estudo realizado no capítulo 2 do relatório técnico.

No que diz respeito ao peso do pacote, a repetibilidade é de apenas 0,0004 e a reprodutibilidade assume um valor nulo. Isto significa que 100% da variação total nas medições é devido a diferenças entre os pacotes. Esta alta percentagem de contribuição é um indicativo de que o sistema consegue distingui-los com sucesso. Ao comparar a variação do sistema de medição com a variação total, a percentagem de variação do processo é de cerca de 0,24%. De acordo com o AIAG<sup>13</sup>, uma vez que este valor é menor do que 10%, o sistema de medição é aceitável.

Considerando as medições à espessura da bolacha, no que diz respeito à repetibilidade, registou-se a existência de variações, contribuindo em 52,41% para a variação total. Dada a percentagem respeitante às diferenças entre bolachas ser muito baixa, significa que existem problemas com o equipamento de medição. Por outro lado, também surtiu uma diferença a medição de uma mesma bolacha por diferentes operadores. Observando o *modus operandi* do processo de medição, foi possível verificar que os operadores colocavam a barra do paquímetro aleatoriamente, pelo que a falta de normalização do processo de medição é agravada pela presença irregular de bolhas de ar na superfície da bolacha. A percentagem de variação do processo é de 96,91%, pelo que o sistema de medição não é aceitável e deve ser alvo de melhoria.

#### 4.2.2 Estudo do processo produtivo

Para identificar possíveis causas do problema, foram realizadas várias sessões de *brainstorming* com a equipa, tendo sido construído o diagrama de causa e efeito (Ishikawa), presente na Figura 17. Este tipo de sessões confere não só uma introspeção às atuais práticas da empresa, mas

---

<sup>13</sup> O Automotive Industry Action Group (AIAG) é uma organização global que disponibiliza um fórum para empresas de todo o mundo desenvolverem e partilharem informações que contribuam não só para a indústria automotiva, mas para diversos setores.

também o confronto de eventuais problemas e os motivos para a sua ocorrência. No ANEXO H, é possível consultar alguns exemplos práticos de esquematização dessas ideias em equipa.

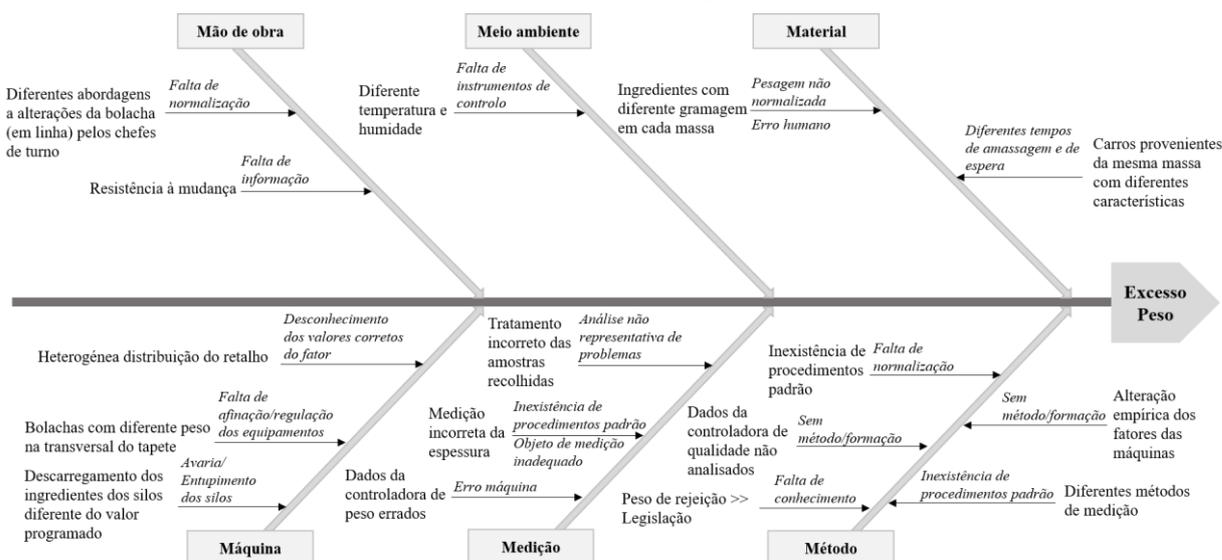


Figura 17 - Diagrama de causa e efeito

Da análise aos fatores relevantes, enumerou-se como crítico:

1. Não existir conhecimento do peso alvo em cada etapa;
2. A empresa não utilizar metodologias estatísticas para testar a igualdade do peso da massa na transversal e na longitudinal do tapete. Ajustes à linha poderiam advir do conhecimento dessa variabilidade;
3. A verificação dos equipamentos de medição não ser feita regularmente;
4. A empresa apenas utilizar a máquina controladora de peso para rejeitar produtos e não para análise do processo, apesar do seu potencial teórico;
5. Serem realizadas, empiricamente, alterações à linha, consoante a experiência do chefe de linha, e o tempo de reação ser contraproducente, dado o tempo do processo ser de, pelo menos, 25 minutos;
6. O peso e a espessura de uma bolacha dependerem de múltiplas causas:
  - a. Uma vez que existe mais do que um fornecedor para a mesma matéria-prima, não ser possível assegurar que, para o mesmo lote de produto acabado, o fornecedor é o mesmo. Comitantemente, uma vez que matérias-primas como a farinha de trigo, por exemplo, são acopladas em silos, torna-se impossível não existir mistura. De facto, o interior do tanque encontra-se, de forma irregular, contaminado com depósitos de resíduos que se acumulam em vários pontos e em vários níveis. Estes aspetos constituem um problema pelos diferentes teores de humidade, característicos de cada lote de farinha;
  - b. Devido a erro humano, existirem desvios nas pesagens das matérias-primas, face ao valor tabelado;
  - c. A inclusão de produto moído<sup>14</sup> poder ser oriundo da própria bolacha ou de outro tipo, com diferente compatibilidade. Realça-se que o teor de humidade e gordura variam consoante o tipo de produto. Também, existir a possibilidade de a quantidade do produto moído variar, podendo ser incluído até 50 kg;

<sup>14</sup> Bolacha que foi reduzida a pó, decorrente de não reunir as condições necessárias para ser recuperada no final da linha.

- d. Apesar das instalações se encontrarem adequadas para assegurar uma produção isenta de fontes de contaminação, é de destacar o facto de não existir controlo sobre a temperatura e a humidade do ar, fatores que variam significativamente aquando da produção de outros produtos nas linhas vizinhas e da temperatura exterior;
- e. Não existir controlo do tempo de espera dos carros de massa, após saída da amassadeira. Em termos químicos, acaba por ocorrer o descanso da massa e a pré-reação de determinados ingredientes, à temperatura ambiente;
- f. O tempo de amassagem não ser fixo, dependendo da experiência do operador ao inspecionar tátil e visualmente a massa. Tal provoca alterações na plasticidade da massa, com repercussões na forma como reage nas várias etapas do processo;
- g. Existir a incorporação do retalho, o que leva a que existam diferenças no comportamento da massa nos diferentes estágios, pela junção de massas com diferentes plasticidades. A distribuição do retalho<sup>15</sup> é um fator regulável e inconstante ao longo do tempo, pelo que é necessário alterar este parâmetro iterativamente para atingir um equilíbrio pretendido;
- h. Existir a possibilidade de os laminadores e o cunho não se encontrarem calibrados, podendo levar à existência de folgas nos cilindros. Como consequência, o processo de estiramento da massa e a gravação do corte, respetivamente, pode não ser uniforme transversalmente à linha. Também, o mesmo acontece no forno que, por motivos de calibração e/ou desgaste natural, leva a que a temperatura numa determinada zona não seja homogénea. Apesar de existirem termómetros na câmara do forno que indicam as temperaturas nas quatro zonas, elas podem não refletir com exatidão as condições da massa sobre a banda de cozimento. É de notar que, no caso dos laminadores e do cunho, a pressão aplicada é um fator regulável. O mesmo se aplica ao forno, sendo a temperatura o fator em questão;
- i. Para além da temperatura do forno, existir uma outra variável, o calor do forno, sendo os operadores também são responsáveis por esse ajuste. O seu valor influencia o desenvolvimento da textura, coloração e secagem das bolachas, sendo difícil de o medir (Manley 1998b);
- j. A recuperação de bolacha no final da linha levar a que os pacotes aglomerem bolachas com diferentes características, provenientes de outras massas;
- k. A altura do carregador não ser fixa, condicionando o comprimento de cada pacote.

É de notar que o tempo que o produto se encontra no forno é fixo e, como tal, não constitui uma variável.

No decorrer da investigação, foi detetada uma avaria no silo de açúcar da linha em estudo, tendo-se diagnosticado que a descarga não estaria a ser realizada na sua totalidade. Apesar de existir sempre um desvio considerável, pelo erro que se encontra associado a este tipo de equipamentos mecânicos, verificou-se uma diferença constante de aproximadamente 8 kg entre o valor registado e o parametrizado. Atendendo à importância deste ingrediente para a formação do glúten, esta falha constitui um problema com implicações no peso final do pacote.

---

<sup>15</sup> Representa a percentagem da quantidade de massa recuperada do cunho, a ser novamente laminada antes de ser incluída na nova massa.

### 4.2.3 Caracterização das variáveis

Como forma de mostrar as relações entre as diversas categorias de causas, apresenta-se na Figura 18 um diagrama de relações, uma ferramenta útil para explorar todas as variáveis do processo. Algumas não serão alvo de análise pela inerente dificuldade de estudo e/ou decisão empresarial, estando todas essas deliberações presentes no Capítulo 5.

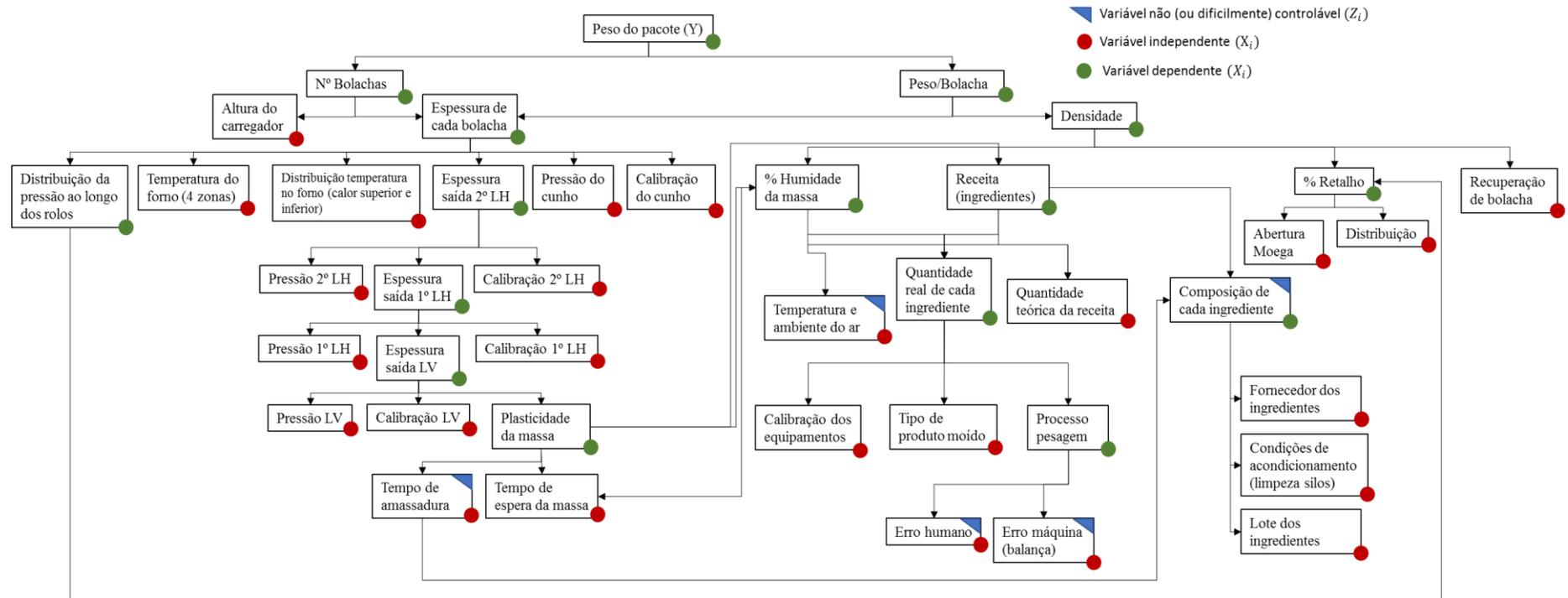


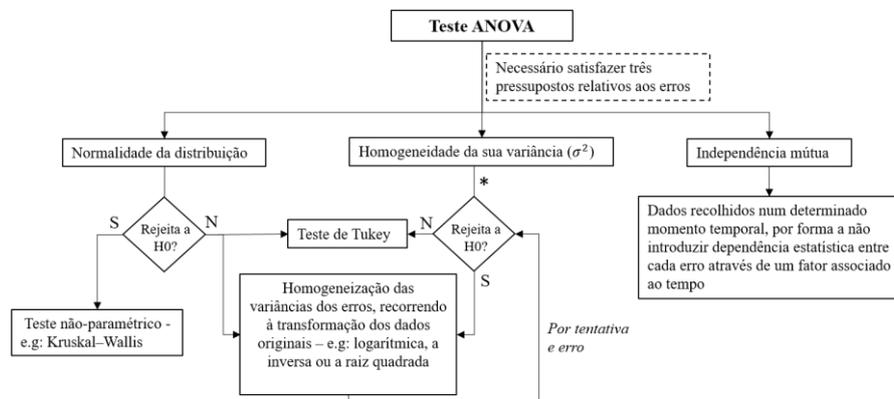
Figura 18 - Diagrama de relações dos fatores envolvidos no excesso de peso

As variáveis controláveis (representadas por  $X$ 's) podem ser facilmente alteradas durante uma experiência, possuindo um papel fundamental na caracterização do processo. Por outro lado, as variáveis não controláveis (representadas por  $Z$ 's) são difíceis de controlar, sendo as principais responsáveis pela maior variabilidade e/ou inconsistência no desempenho do produto. Torna-se assim importante determinar as configurações ótimas de  $X$ 's para minimizar os efeitos de  $Z$ 's. Segundo Antony (2014), esta é estratégia fundamental de um projeto robusto. Pela forte dependência entre as variáveis, procurou-se fazer a diferenciação entre variáveis independentes e dependentes, investigando-se, assim, as possíveis raízes do seu problema.

### 4.3 Análise exploratória

Como forma de estudar estatisticamente algumas das variáveis do problema, foram realizados vários testes exploratórios. Salienta-se o facto de os seus resultados evidenciarem apenas um parecer sobre o estado do processo, pelo que, para processos de decisão, os seus efeitos devem ser conjugados com outros estudos realizados na área para obter um maior grau de fiabilidade.

Para o estudo da variância, recorreu-se à ANOVA, seguida de uma análise aos erros<sup>16</sup>. Nos casos em que se detetou a existência de diferenças entre os valores médios dos vários grupos de dados, usou-se a abordagem presente na árvore de análise da Figura 19. Quando não se rejeitou a hipótese nula e foram verificados todos os pressupostos, não foi necessário realizar-se uma análise *post-hoc*. Também, como forma de inferir se e como duas variáveis estão relacionadas, foram realizadas análises de correlação.



\* Foi utilizado o teste de Bartlett quando assegurada a normalidade da distribuição. Nos casos em que não se verificou, aplicou-se o teste de Levene.

Figura 19 - Árvore de análise para o estudo da variância

Todas as medições foram efetuadas nas condições características da empresa, ou seja, não alterando fatores ou metodologias consideradas desadequadas. Para as pesagens, recorreu-se a uma balança analítica laboratorial e para a medição da espessura utilizou-se o paquímetro (Figura 20). Com o objetivo de uniformizar o processo de medição, definiu-se uma zona na bolacha para leitura da espessura, como se apresenta na Figura 21. Esta última análise encontra-se sujeita a erros de medição, pelo facto de o instrumento não ser o mais adequado para o processo em questão. Para a medição da altura do pacote, recorreu-se a uma régua, tendo sido efetuadas várias medições para comprovar o valor apontado e evitar erros de paralaxe. Em todas as pesagens efetuadas ao longo da presente dissertação está incluído o valor da tara do pacote.

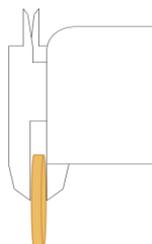


Figura 20 - Medição da espessura de cada bolacha

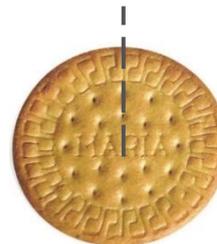


Figura 21 - Delimitação da zona a efetuar a medição

A primeira análise consistiu na recolha aleatória de uma caixa de uma palete, correspondente a 44 pacotes. Analisadas as películas de cada pacote, foi possível constatar que a tara tem um valor médio de 1,984 g e um desvio padrão de 0,015 g. Pelo seu reduzido efeito na variabilidade

<sup>16</sup> Efetuada após a realização do teste da ANOVA, até porque pressupõe a existência de um modelo.

do processo, constata-se que esta componente não deverá constituir uma variável. Por motivos de simplificação, a empresa sobrevaloriza o seu valor ao definir para a maior parte dos produtos um valor comum de 2,7 g.

Atendendo à Figura 22, observa-se uma grande dispersão dos dados, evidenciando a inexistência de uma correlação entre o peso de cada bolacha e a sua espessura. Esta possibilidade é atestada pela correlação não significativa entre estas duas variáveis ( $p\text{-value} = 0,458$ ) e pelo valor do coeficiente de correlação de Pearson<sup>17</sup> (-0,020), dada a sua proximidade a zero. Também Cronin (1999) confirmou que o peso de uma bolacha e a sua espessura são independentes, durante um período de curto prazo (isto é, dentro de um lote) e de longo (por exemplo, entre lotes). A justificação física parte do processo de cozedura onde a bolacha é formada, podendo tal ser comprovado através da equação 4.2. Nessa etapa, regista-se uma perda de peso (devido à evaporação da humidade) e uma expansão significativa em volume, à medida que a densidade da massa é convertida para as características da bolacha. Assim, o aumento de volume, que se manifesta principalmente no desenvolvimento da espessura da bolacha, é acompanhado por uma redução da densidade (Hwang and Yakawa 1980). Empiricamente, bolachas mais espessas são suscetíveis de ter uma menor densidade do que bolachas mais finas. Contudo, não existe uma relação clara e sistemática entre o peso e a espessura de uma bolacha, devido ao facto de não ser possível quantificar a redução da densidade.

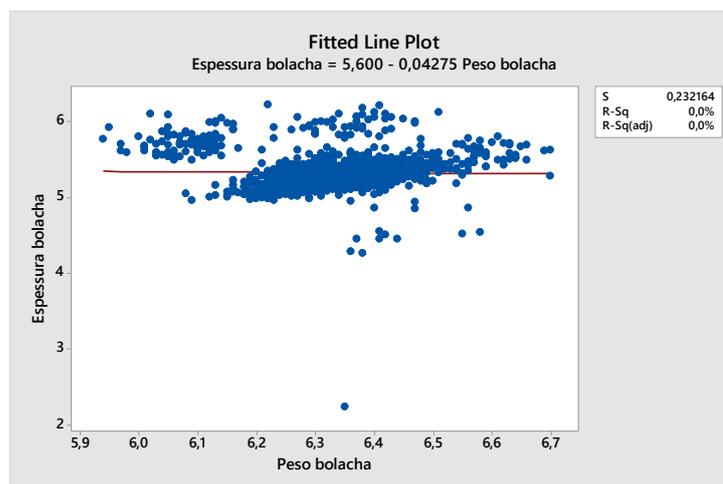


Figura 22 – Relação peso – espessura de bolachas

Seguiu-se com o estudo da relação do peso do pacote com o número de bolachas, pelo que o valor do coeficiente de correlação de Pearson próximo de 1 indicia a presença de uma relação quase linear e direta entre as variáveis. Assim, e tal como a Figura 23 pretende demonstrar, quanto maior for o número de bolachas, maior será o peso do pacote. Traçados os limites respeitantes ao peso mínimo legal e ao nominal, para a mesma altura atual de carregador, o número de bolachas ideal deveria situar-se entre 32 e 33, correspondendo a uma oscilação de uma bolacha (Gauri 2003).

<sup>17</sup> Um dos pressupostos centrais para que o coeficiente de correlação de Pearson entre duas variáveis seja adequadamente utilizado é de que ambas sigam uma distribuição normal. Caso tal não se verificasse, seria necessário recorrer ao coeficiente de correlação de Spearman.

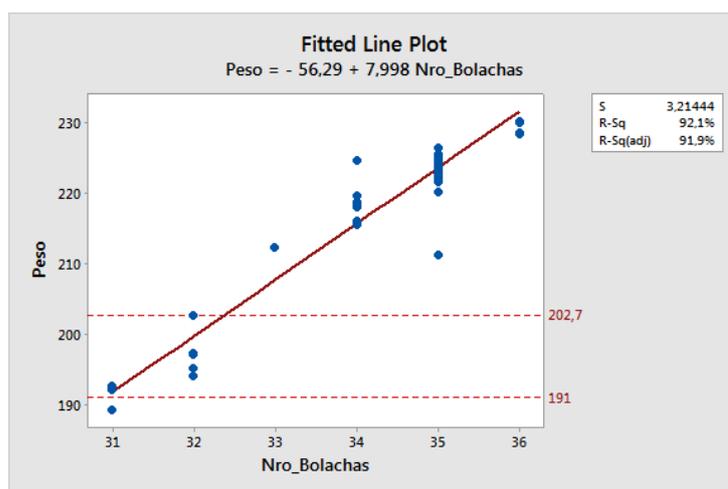


Figura 23 - Relação número de bolachas – peso do pacote

Como forma de analisar a variação da altura para um mesmo número de bolachas, recolheu-se 20 pacotes com 32 bolachas, tendo-se verificado, em todos eles, alturas diferentes - Tabela 7 e Tabela 8.

Tabela 7 – Dados da altura de 20 pacotes com 32 bolachas

<b>Altura do pacote</b>	18,8	18,6	18,8	19,0	18,4	18,5	18,6	18,7	17,6
	18,3	17,9	17,7	17,4	17,6	17,9	17,8	18,0	18,1

Tabela 8 – Análise estatística dos dados

<b>Nº Bolachas</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
32	18,2	0,5	17,4	19,0

Como a altura do pacote não depende do número de bolachas, então como seria de esperar não se evidencia a existência de uma correlação entre a altura e o peso do pacote ( $p\text{-value} = 0,166$ ) - Figura 24. Este facto é corroborado pelo estudo de Cronin and Preis (2000), através do qual demonstraram a independência destas variáveis.

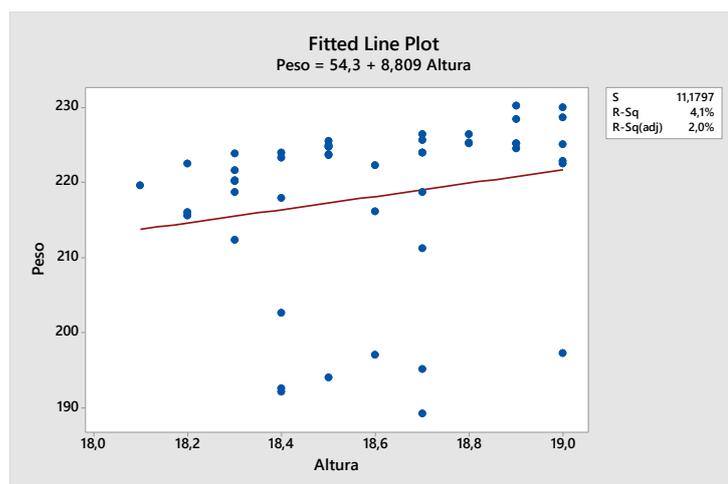


Figura 24 – Relação altura – peso pacote

Relacionando a espessura média com o número de bolachas, verifica-se a existência de uma relação, ou seja, um pacote tem mais bolachas, quanto menor for a espessura média das bolachas do pacote, pelo que apresenta um coeficiente de determinação ajustado de 80,50%.

Conjugando as análises anteriores, constata-se que o peso de um pacote se relaciona com o número de bolachas, mas não com a sua altura. Perante tal, poder-se-ia pensar na questão de se

utilizar um carregador unitário no empilhamento, ao invés do volumétrico. Assim, seria possível definir um número de bolachas para atingir um determinado intervalo de peso. Contudo, esta solução não foi considerada uma possibilidade, não só por questões comerciais, uma vez que os pacotes passariam a ter alturas diferentes, mas porque o problema não é solucionado em termos de redução da variabilidade da espessura de cada bolacha. Assim, é possível desmembrar o problema do projeto, selecionando como principal desafio a redução da variabilidade da espessura da bolacha. Uniformizando esta característica, concentra-se o problema na diminuição do excesso de peso. Também McFarlane (1979) descobriu que a variabilidade no peso de pedaços de massa se devia à sua espessura.

Para determinar se a variabilidade já está presente na massa ou se é introduzida no processo, foi necessário analisar o coeficiente da variação do peso<sup>18</sup> em cada uma das etapas, desde o laminador vertical até ao empacotamento (Figura 25). Constata-se que a maior variabilidade dos dados em relação à média ocorre no empacotamento. Assim sendo, a espessura aparenta ser a responsável por esta diferença, dado o coeficiente de variação do peso no forno ser reduzido.

Uma vez que o peso até ao empacotamento não é registado pelo controlador de qualidade e que até à etapa de cunhagem existe massa e não bolacha, foi necessário com o auxílio de um objeto de precisão cilíndrico recolher amostras de massa. Como forma de garantir um corte de massa igual ao obtido após o cunho, ajustou-se o peso obtido pelas amostras de forma proporcional à diferença percentual entre o diâmetro deste objeto (4,9 cm) e o do cunho (6,3 cm). Também se utilizou esta abordagem diferencial pelo facto de a bolacha Maria se encontrar picotada na zona central, considerando-se tal na aproximação.

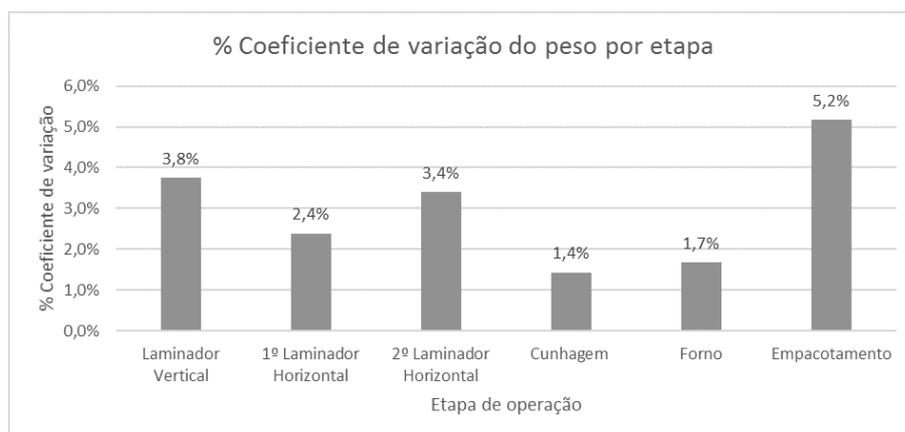


Figura 25 - Coeficiente de variação do peso em cada etapa de operação

Também demonstrado por Cronin and Preis (2000), o processo de cozimento atenua a magnitude da variabilidade do peso, através da redução da distribuição da humidade no produto. O facto de as bolachas, após o forno, não apresentarem um elevado coeficiente permite deduzir que não é o peso individual das bolachas o principal responsável pelo elevado desvio do peso no empacotamento. Analisada a relação entre o peso de bolachas e a da sua massa, estes investigadores confirmaram a existência de uma correlação, sendo 96% do modelo explicado pelos valores observados. Assim, o estágio de cozimento pode diminuir ligeiramente o peso, reduzindo a dispersão da humidade através do mecanismo de secagem das peças de massa mais húmidas, proporcionalmente mais do que aquelas com menores níveis de humidade. Desta forma, o forno tem a capacidade de compensar eventuais diferenças de humidade existentes entre as bolachas.

<sup>18</sup> Não se estabelece a mesma análise para a espessura, pois não é possível quantificá-la antes do forno pelo produto ainda se encontrar em massa.

### Análise na transversalidade do tapete

Para analisar a distribuição do peso de forma transversal, após o cozimento, foram recolhidas amostras atendendo à tipologia de localização NWS (*Non Working Side*), C (*center*) e WS (*Working Side*), em várias etapas do processo. O NWS é respeitante à extremidade do tapete onde o operador não circula; o WS é a zona próxima do local onde circula, não só para observar a linha, mas também para efetuar possíveis ajustes; o C é o centro do tapete. É realizado este estudo devido à suspeita de possíveis problemas de calibração e/ou distribuição não homogénea de retalho, que influencie, significativamente, a uniformização da massa. Importa referir que todas as recolhas foram feitas a meio da ordem de produção, como forma de garantir os ajustes iniciais à linha e a normalização das condições de funcionamento dos equipamentos. Nos capítulos de 3 a 9 do relatório técnico, encontram-se referenciados os testes realizados, as condições a respeitar para a sua realização e os fundamentos necessários às conclusões apresentadas.

Após o forno, foram recolhidas 30 bolachas em cada uma das três localizações definidas para o efeito. Observando a Figura 26, o teste de Tukey parece evidenciar a existência de diferenças entre as localizações, tendo-se verificado, numa análise *post-hoc*, que  $P_C > P_{NWS} > P_{WS}$ , representando  $P$  o peso. Analisada a espessura, comprovou-se, através do gráfico dos intervalos de confiança de 95% de Tukey da Figura 27, que parecem também existir diferenças significativas, sendo as conclusões as mesmas que as obtidas para o peso.

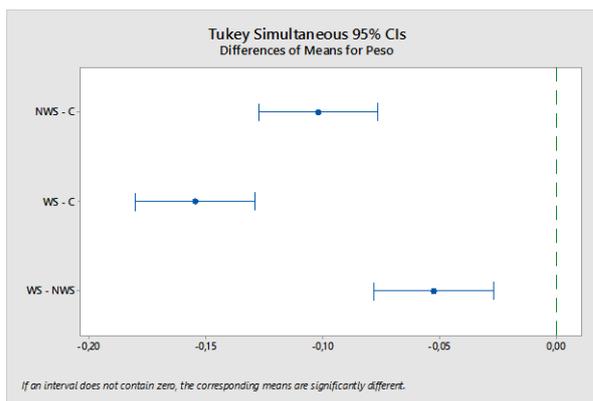


Figura 26 - Intervalos de confiança de 95% de Tukey para o peso das bolachas de acordo com a localização do tapete

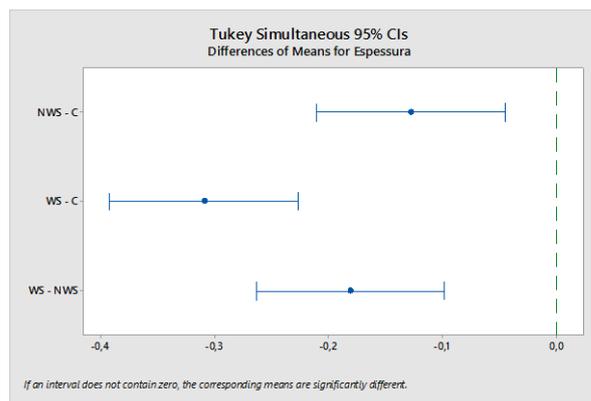


Figura 27 - Intervalos de confiança de 95% de Tukey para a espessura das bolachas de acordo com a localização do tapete

Perante a suspeita de existir desigualdades na transversalidade do tapete e como forma de distinguir melhor essa diferença, subdividiu-se mais o tapete, como se encontra representado na Figura 28. Importa referir que as bolachas não se encontram alinhadas como se sugere na representação gráfica, tendo-se apenas ilustrado desta forma por motivos de simplificação. As mesmas encontram-se dispostas na diagonal, como se pode consultar no ANEXO F, tendo sido feito o estudo de acordo com essa disposição para atender à mesma linha temporal.

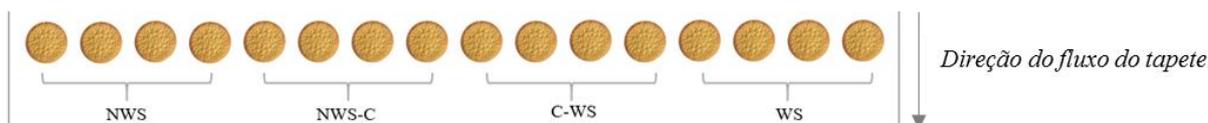


Figura 28 – Notação utilizada para a análise da transversalidade do tapete, considerando 4 zonas

Verificou-se que a zona WS é que aparenta registar o menor peso e espessura, sendo estatisticamente diferente das restantes zonas. Noutro instante, no que diz respeito ao peso, a zona NWS diferenciou-se estatisticamente das outras localizações, parecendo evidenciar um menor peso. Porém, atendendo à espessura, a zona NWS-C evidenciou um maior valor, diferenciando-se da C-WS e da NWS.

Uma vez detetada a existência de diferenças após o forno, não correspondentes a um padrão, analisou-se a distribuição do peso após a cunhagem, em três dias diferentes. Importa realçar que se alargou o espetro temporal da análise de dois momentos para três como forma de aumentar a fiabilidade dos testes. À semelhança da análise anterior, foram recolhidas amostras de cada uma das quatro zonas, contudo nesta fase não é possível estudar a espessura. No primeiro dia, verificou-se que a zona WS aparenta ser estatisticamente diferente de todas, registando o menor peso. Nos restantes momentos, tal não se repercutiu, não tendo sido identificadas diferenças entre as várias zonas.

Perante os diferentes resultados e a suspeita de alguns chefes de linha em relação ao estado do cunho, foi realizada ainda uma outra análise, mais discriminatória, para averiguar a possibilidade de as diferenças transversais existirem apenas após o cozimento. Foram, assim, recolhidas amostras em três momentos temporais diferentes, de acordo com a notação utilizada na Figura 29.

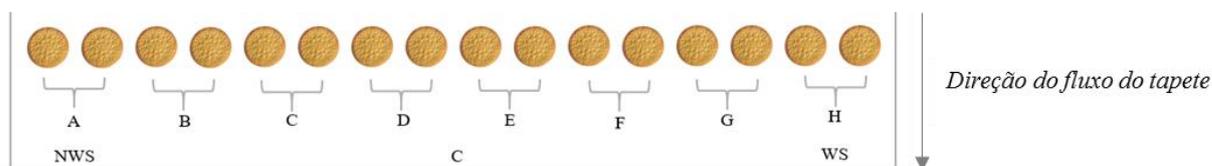


Figura 29 - Notação utilizada para a análise da transversalidade do tapete, considerando 8 zonas

No primeiro momento, verificou-se que as zonas B (NWS), C (NWS-C) e E (C-WS) parecem diferenciar-se estatisticamente de A (NWS), G (WS) e H (WS), correspondentes às zonas mais extremas. Também, D (NWS-C) evidencia ser diferente de G e H; e F (C-WS) de H. No segundo momento, as zonas A e F aparentam ser estatisticamente diferentes de D, correspondendo a esta última zona um maior peso. No terceiro e último momento analisado, C revela ser estatisticamente diferente de H e D, assim como G parece apresentar diferenças em relação a D.

Evidenciada a possibilidade de existirem diferenças transversais no cunho, foi objeto de análise os laminadores. Dada a velocidade do tapete nesta etapa ser superior, apenas foi possível retirar amostras em três zonas (NWS, C e WS) para garantir que estas dizem respeito ao mesmo instante temporal. Importa referir que só se retiraram 10 amostras de cada localização, em cada momento temporal, devido ao custo que é imputado à empresa quando se perfura o tapete de massa, sendo necessário retirar-se a jusante as bolachas não conformes. Para o segundo laminador horizontal, verificou-se, no primeiro momento, que as zonas NWS e C aparentam ser estatisticamente diferentes, sendo o peso da C menor que a do NWS. No segundo momento, não se verificaram diferenças. Analisado o primeiro laminador horizontal e o laminador vertical, também em dois momentos temporais diferentes, não se demarcaram diferenças significativas.

Uma vez que não existem registos do peso e da espessura alvo em cada uma das etapas do processo até ao forno, não foi possível comparar os resultados obtidos com um intervalo pré-definido como aceitável. Foi realizada uma análise de montante a jusante da linha, a fim de se apurar a origem da variação significativa. Excetuando o primeiro laminador horizontal e o laminador vertical, as análises efetuadas parecem evidenciar o facto de que, na maior parte dos casos, as diferenças transversais ao longo da linha não são estáveis, variando entre diferentes preparações de massa.

### Análise temporal e por turno

Analisando o período compreendido entre setembro de 2016 e fevereiro de 2017, investigou-se os turnos atendendo a duas perspetivas: ao excesso de peso e à eficiência. No que concerne à

primeira, detetou-se a existência de diferenças significativas<sup>19</sup>. Encontra-se evidenciado, na Figura 30, que o segundo turno parece registar um maior excesso de peso face aos restantes turnos ( $P_{T2} > P_{T1} > P_{T3}$ ).

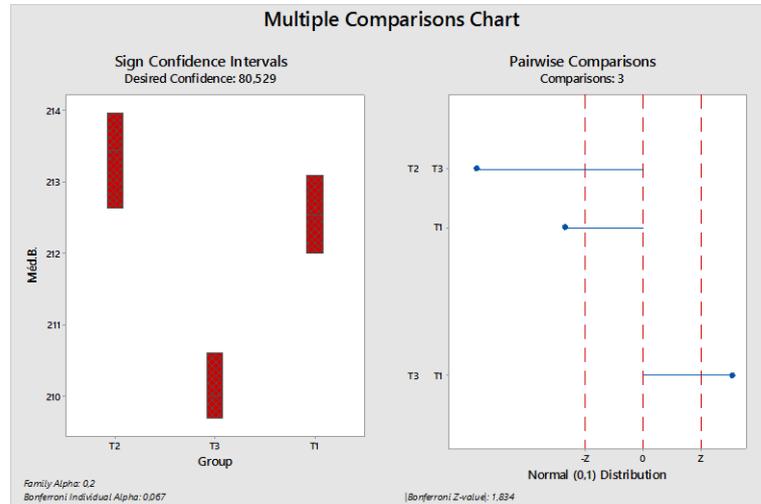


Figura 30 – Peso médio do pacote por turno no período entre setembro de 2016 a fevereiro de 2017

Respeitante à eficiência da linha, estudou-se o principal indicador operacional monitorizado pela equipa – OEE (*Overall Maintenance Effectiveness*) [ANEXO I]. Não se verificou a existência de um padrão ou tendência, passível de ser relacionado com os resultados obtidos na análise do excesso de peso.

Nessa sequência e comprovada a possível existência de diferenças significativas entre os vários meses do período em análise, como forma de estudar a relação dos turnos com o mês e vice-versa no que concerne ao peso dos pacotes, foi realizada uma análise focada no mês e outra no turno. De acordo com os *boxplots* da Figura 31, em cada um dos turnos não aparenta existir discrepância entre os valores esperados de cada mês. Também, de acordo com a Figura 32, para cada um dos meses em análise parece não haver discrepâncias entre os vários turnos. Nos dois casos, apesar de existir alguma variabilidade, não se regista nenhuma tendência. O estudo prossegue no sentido de perceber se efetivamente existem ou não diferenças estatisticamente significativas entre os vários meses para um determinado turno e entre os vários turnos para um determinado mês.

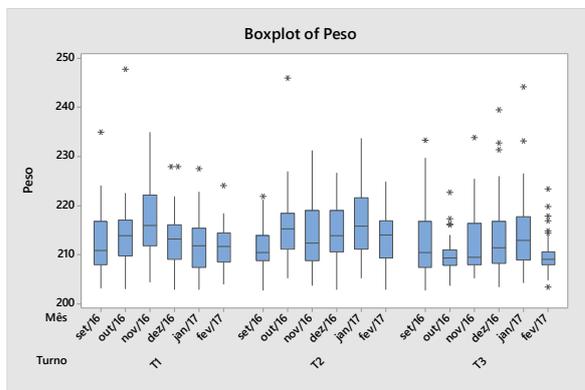


Figura 31 - Relação entre o mês e o turno e a sua influência no peso (análise focada no mês)

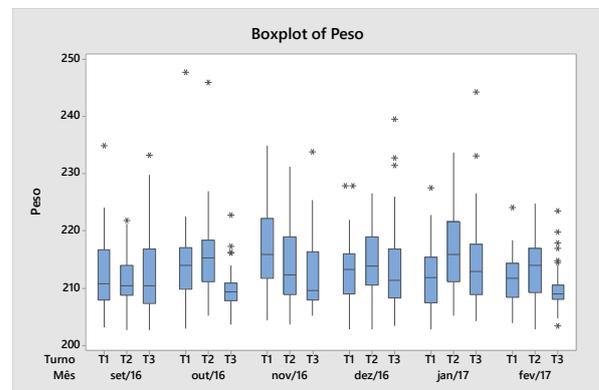


Figura 32 - Relação entre o mês e o turno e a sua influência no peso (análise focada no turno)

Pela análise aos diferentes turnos, parece existir diferenças estatisticamente significativas entre os valores esperados dos meses em questão, como se apresenta na Figura 33. Essas diferenças

<sup>19</sup> Dados obtidos pelos registos do controlo de qualidade.

encontram-se evidenciadas segundo uma classificação, cuja notação foi inspirada no teste de Tukey. Todas as inferências têm por base os testes demonstrados no capítulo 10 do relatório técnico.

Turno	Turno 1						Turno 2						Turno 3					
	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev
Média	212,31	214,61	216,54	212,98	211,72	211,37	211,25	215,83	213,89	214,47	216,62	213,51	212,25	209,94	213,02	213,14	214,49	209,74
Classificação	B	AB	A	AB	B	B	A	B	AB	B	B	AB	ABC	BC	ABC	AB	A	C
Anova (p-value)	0						0						0					
Conclusões	Nov diferente de set, jan e fev						Set diferente de out, dez e jan						Jan diferente de out e de fev; Dez diferente de fev					

Figura 33 - Análise focada no mês

Analisando a Figura 34, é de destacar também a possível existência de diferenças entre os valores esperados dos turnos para cada mês.

Mês	Set			Out			Nov			Dez			Jan			Fev		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Média	212,31	211,25	212,25	214,61	215,83	209,94	216,54	213,89	213,02	212,98	214,47	213,14	211,72	216,62	214,49	211,372	213,514	209,74
Classificação	A	A	A	B	B	A	A	AB	B	AB	A	B	A	B	C	A	B	C
Anova (p-value)	0,629			0,001			0,06			0,405			0			0		
Conclusões	Não existem diferenças			T3 diferente do T1 e T2			T1 diferente do T3			T2 diferente do T3			Diferenças entre todos os turnos			Diferenças entre todos os turnos		

Figura 34 - Análise focada no turno

### Conclusões preliminares

- O turno 1 apresentou um maior excesso de peso no mês de novembro, ao passo que, nos restantes turnos, janeiro é o que se destaca como sendo o pior mês;
- Em setembro e novembro, o pior turno foi o 1. Nos restantes meses, o turno 2 registou o maior excesso de peso.

## 4.4 Controlo estatístico do processo

Para analisar se o processo se encontra em controlo estatístico e como passo preliminar na determinação da sua capacidade, procedeu-se ao estudo do peso obtido pelo controlo de qualidade, utilizando cartas de controlo.

Foram analisados os dados referentes aos pesos líquidos (em gramas), observados em amostras de 5 pacotes retirados aleatoriamente de 25 lotes (o subgrupo tem uma dimensão  $N=5$ ), perfazendo um total de 125 observações. Os dados são referentes ao mês de março e à primeira semana de abril, tendo-se utilizado esta análise como referência para o processo de melhoria. Tal decisão decorre do facto de o indicador ter aumentado consecutivamente desde fevereiro, pelo que se considerou mais realista a utilização de dados mais recentes, em detrimento dos recolhidos entre setembro e fevereiro. Durante o fabrico de cada lote, procurou-se a não utilização de matérias-primas com proveniências diferentes, nem a variação dos parâmetros das máquinas. Isto é, de lote para lote pode variar a proveniência das matérias primas utilizadas e os valores parametrizados em cada equipamento, mas tal não acontece nos pacotes pertencentes ao mesmo lote.

As cartas de controlo usadas dizem respeito às cartas  $\bar{x}$  para as médias dos subgrupos e às cartas R para as amplitudes dos subgrupos. Esta escolha prendeu-se com o objetivo de avaliar a estabilidade do valor esperado do processo e a sua variabilidade ao longo do período de análise. A Figura 35 representa a carta de controlo  $\bar{x}$ -R e a análise de capacidade gerada a partir dos dados recolhidos, respeitante à variável peso.

Os limites que se definiram foram estabelecidos juntamente com a empresa, tendo em consideração para o limite inferior a conjugação do limite legal admissível com uma margem de segurança e para o limite superior o custo a partir do qual compensa fazer a recuperação de produto. Por motivos de segurança e dever para com o cliente, a empresa definiu um objetivo de peso médio de 206 g. Não obstante, se este valor estiver compreendido no intervalo [200; 206] g, atinge-se a situação considerada como sendo a ideal.

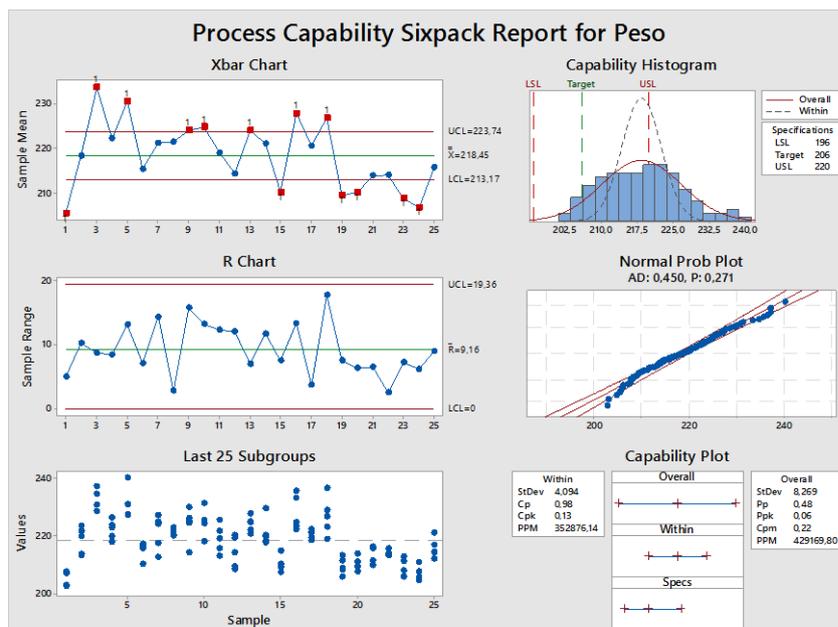


Figura 35 - Carta de controlo  $\bar{x}$ -R e análise de capacidade para o peso dos pacotes

Analisando a carta de controlo  $\bar{x}$ -R, verifica-se que o processo se encontra estável, do ponto de vista da variabilidade, já que todos os pontos da carta R se encontram dentro dos limites de controlo e não se verifica a existência de nenhuma tendência ou padrão no gráfico das amplitudes. Apurado o processo como sendo estável em relação à variabilidade, é possível proceder-se à análise da carta  $\bar{x}$  para avaliar se o processo está em controlo estatístico. Denota-se que o processo não se apresenta em controlo estatístico, existindo vários pontos fora dos limites de controlo. Deste modo, a análise de capacidade pouco significado tem, apesar de ter sido alvo de análise para se obter uma perspetiva da capacidade do processo. Como o índice de desempenho do processo,  $P_p$ , é menor do que o valor de referência de 1,33, o processo aparenta não ser capaz, devido à variação entre subgrupos, e, para além disso, está distante de atingir o objetivo, dado o baixo valor do  $P_{pk}$  (0,06). Caso se resolvam as causas especiais de variação, é possível atingir um valor de  $C_p$  de 0,98. Este valor é o melhor indicador do índice de capacidade potencial, pelo que devem ser desenvolvidos esforços para elevar o seu valor.

O histograma ilustra a dispersão dos dados na amostra em relação aos limites de especificação, encontrando-se os valores fora dos limites de especificação. Em relação ao valor objetivo, os dados encontram-se concentrados no limite superior de especificação, com média das observações de 218,45 g, o que também é traduzido pela diferença entre o valor de  $P_p$  e  $P_{pk}$ .

#### 4.5 Síntese

A análise de variabilidade recaiu no estudo dos seus fatores potenciais, tendo sido analisado o sistema de medição e o processo produtivo. Através deste estudo, foi possível efetuar o levantamento de alguns problemas técnicos, cuja resolução encontra-se documentada no Capítulo 5. Exploradas as variáveis do problema, não foi possível medir com elevada fiabilidade a capacidade do processo, uma vez que o mesmo não se encontrava sob controlo estatístico. Revelou-se, assim, crítica a necessidade de reduzir a instabilidade provocada por causas comuns (aleatórias e sistemáticas) e eliminar as causas especiais de variação que ocorre entre as amostragens, como forma de estabilizar o resultado do processo ao longo do tempo.

A fase seguinte incidirá num estudo profundo das variáveis, de forma a normalizar o processo e obter as melhores combinações que permitam obter o *output* esperado para este processo.

## 5 Proposta de solução

Existem duas maneiras de obter respostas científicas precisas: conhecimentos teóricos - raramente disponíveis para o nível de detalhe necessário e para a particularidade do caso em questão - ou experimentação. Poder-se-ia argumentar que uma terceira via é através da experiência, mas a experiência é apenas a acumulação de conhecimento baseado na experimentação - mesmo se conduzida de forma desorganizada e inconsciente - durante um longo período de tempo.

Por constituir um processo moroso estudar todas as variáveis e as suas interações, além da inerente circunspeção na sua aplicação em contexto prático, definiu-se uma metodologia de atuação, baseada nas ferramentas *Improve* e *Control* do DMAIC. Esta tem como objetivo atenuar as dificuldades características da aplicação do desenho de experiências na indústria alimentar. Como primeira medida e como forma de se estabelecerem ações preventivas, evitando uma atuação meramente corretiva, foi desenvolvido um F-VMEA<sup>20</sup> em dinâmica de grupo. A utilização desta ferramenta impacta diretamente na solução, decorrente da minimização e eliminação das falhas e da variabilidade no processo produtivo. O objetivo passa por sistematizar prioridades, percorrendo cada etapa do processo produtivo e atuando no sentido de minimizar os seus efeitos. Após a sua utilização e normalização do processo, aplicou-se o desenho de experiências (DOE) a um número mais restrito de variáveis, como forma de obter desenho robusto de forma eficiente e científica.

### 5.1 F-VMEA na indústria alimentar

Com base nos resultados obtidos através da carta de controlo, o método de análise apresentado combina um VMEA com um FMEA, onde não apenas a falha, mas também a variabilidade pode ser analisada em todo o processo de desenvolvimento do produto. Através do F-VMEA evita-se que variações não desejadas conduzam a falhas no processo. A representação do modelo apresenta-se na Figura 36.

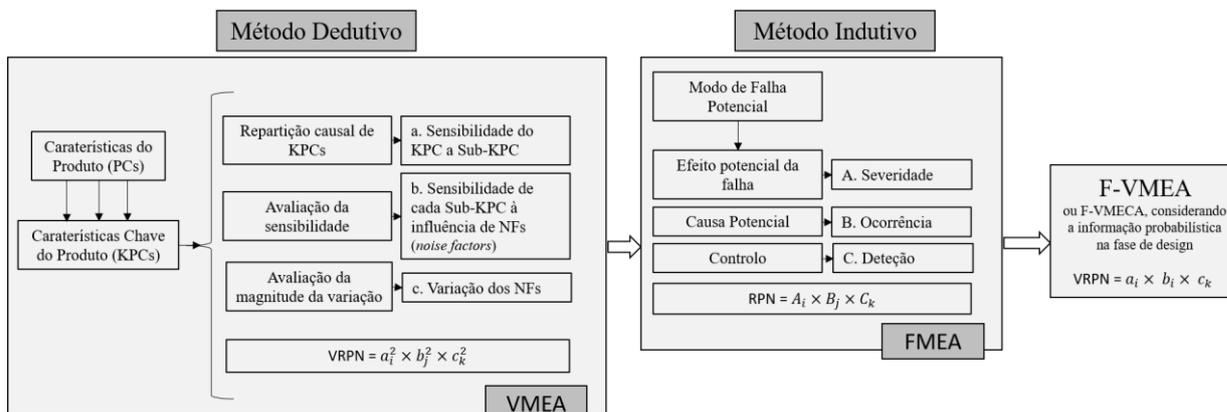


Figura 36 - Representação do modelo do F-VMEA (fonte: adaptado de Luo et al. (2015))

O F-VMEA encontra-se no ANEXO J, sendo possível verificar, a partir dos VRPNs (*Variation Risk Priority Numbers*), quais as variações mais importantes em cada etapa, acelerando a implementação das ações de melhoria.

<sup>20</sup> O F-VMEA pode ser utilizado nas fases *Measure, Analyse, Improve* e *Control* da ferramenta DMAIC.

## 5.2 Ações implementadas

Para quantificar o impacto das ações que serão posteriormente apresentadas, todas as análises presentes neste capítulo têm por base pesagens feitas com uma balança digital. Durante o projeto, não se utilizaram os registos da máquina controladora de peso pela falta de fiabilidade detetada no início do projeto. No entanto, numa fase final, o equipamento foi reparado e encontrado o equilíbrio entre a velocidade do tapete e a precisão da máquina.

Para a realização dos testes foi criada uma norma de ensaio como forma de os mesmos serem realizados sob as mesmas condições, alterando-se apenas o fator em estudo. Esta norma tem como requisitos a: não recuperação de bolacha; incorporação da mesma quantidade e tipo de produto moído; utilização das mesmas quantidades de matérias-primas; estabilização do tempo de espera das massas e a mesma parametrização dos equipamentos e do carregador ( $H=171^{21}$ ). No entanto, após a análise do fator em estudo e comprovada a melhor solução, os testes aos restantes fatores já têm por base essa alteração. O objetivo passou por percorrer a linha de produção, desde o seu início, reduzindo todas as fontes de variação. Os testes foram realizados com um mínimo de três preparações contínuas de massa, tendo sido recolhidos 50 pacotes em cada uma das respetivas preparações.

De forma a que o problema do excesso de peso passasse a ser objeto de contínua análise por parte de toda a equipa operacional, foi incorporado nas reuniões de início de turno o indicador diário definido para o efeito.

### Processo de pesagem

A previsibilidade dos resultados ocorre quando a rotina diária está sistematizada e padronizada. Para tal, foram desenvolvidas normas respeitantes ao processo de pesagem, tendo sido utilizada a ferramenta SDCA<sup>22</sup> (*Standardize, Do, Check e Act*). No ANEXO K, é possível observar o esquema de atuação usado para o processo de criação de todas as normas. Estas têm como objetivo reduzir a variabilidade que se encontra associada ao processo de pesagem, diminuindo o erro humano e ajustando procedimentos que permitam ir de encontro às especificações do produto. Partindo do pressuposto que os valores dos ingredientes da receita estão corretos, deverá apenas existir, nesta etapa, a preocupação de seguir rigorosamente as suas quantidades. Para isso, foram também efetuadas delimitações nos materiais de pesagem respeitantes aos líquidos, alertando visualmente o operador para o nível de referência. Assim, é possível rapidamente perceber se a quantidade que está a verter se aproxima do limite. Também, foi dada ênfase à necessidade de os operadores efetuarem corretamente todos os registos, de modo a apurar com que frequência os ajustes ao processo precisam de ser realizados.

Ao nível da organização, aplicou-se a metodologia 5S<sup>23</sup> em todo o espaço, como se exemplifica no ANEXO L.

### Distribuição do retalho

O primeiro estudo realizado foi respeitante à distribuição do retalho. A camada inferior da massa a ser trabalhada é constituída pela massa proveniente do retalho, a qual deverá ser homogénea transversalmente ao tapete e possuir uma espessura definida. Para tal, é necessário que a percentagem de distribuição seja a mais elevada possível, pois é indicativa de uma maior acumulação de retalhos na moega, decorrente da descarga ser feita de forma mais lenta. Por

<sup>21</sup> Diz respeito a uma grandeza adimensional. O valor escolhido corresponde ao valor mais comum.

<sup>22</sup> Ocorre a padronização da atividade (S), a orientação e o treino de toda a equipa conforme a nova norma (D), avalia-se o novo procedimento de trabalho face ao padrão (C) e são realizados os ajustes necessários (A).

<sup>23</sup> Esta ferramenta tem como objetivo mobilizar, motivar e consciencializar toda a empresa para a Qualidade Total, através da organização e da disciplina no local de trabalho.

esse facto, o retalho é melhor laminado e distribuído transversalmente pelo tapete. Para regular este parâmetro, apenas é necessário atender à abertura da moega, pelo que, para se obter uma maior percentagem, menor terá de ser a abertura. No entanto, não é possível definir um valor fixo para a abertura que corresponda a uma determinada percentagem de retalhos, uma vez que o valor do último parâmetro varia ao longo do tempo. Portanto, deve-se definir um intervalo ideal para a percentagem de distribuição de retalhos e ajustar iterativamente a abertura da moega para que tal seja conseguido.

Realizados os testes, a Tabela 9 resume os principais resultados obtidos para diferentes intervalos de percentagem de distribuição de retalhos. Entenda-se por diferença máxima ( $\Delta$ ) de bolachas por pacote o número máximo de bolachas que difere entre pacotes. Comprovou-se que a uma maior percentagem de distribuição de retalhos está associada uma menor variabilidade no número de bolachas de cada pacote, ou dito de outra forma, na espessura de cada bolacha.

Tabela 9 - Resultados obtidos alterando a percentagem de distribuição de retalho

% Distribuição de retalho	1-15%	Entre 15-25%	Entre 25-35%	>35%
Média peso pacote (g)	217,88	215,86	215,63	214,98
Coefficiente de variação peso	3,42%	2,98%	1,84%	1,76%
$\Delta$ Bolachas pacote	4	3	2	2
Coefficiente de variação nº bolachas	6,72%	4,89%	2,08%	1,96%

Com esta análise, foi quebrado o paradigma de a percentagem ideal ser a mínima possível, neste caso de 1%. Definiu-se como referência o intervalo 25-35%, uma vez que a partir dos 40% a quantidade de retalho excede a capacidade da moega, extravasando o excesso para o exterior. Nesse sentido, estabeleceu-se a rotina de o operador responsável pela preparação da massa inspecionar este parâmetro depois de colocar a massa na moega, dada a proximidade ao local de controlo. Para auxílio do operador, foi colocada uma norma ao lado do monitor, demarcando visualmente essa informação e a instrução de trabalho a cumprir [ANEXO K].

Efetuada a normalização da distribuição do retalho, testou-se em três preparações de massa, tendo sido estudado na segunda preparação os dois carros como forma de avaliar se ainda coexistiam diferenças após a normalização do tempo de espera das massas. Os testes parecem evidenciar a não existência de diferenças estatisticamente significativas em todas as etapas do processo, exceto no cunho. Efetuado novamente um outro estudo, noutra momento temporal, confirmou-se a existência de um problema de calibração no cunho. Não obstante, o forno parece ter atenuado essas desigualdades, evidenciando os testes a inexistência de diferenças estatisticamente significativas entre as espessuras e os pesos das bolachas, dentro e entre produções. Todas as respetivas análises encontram-se no capítulo 11 do relatório técnico.

### Matérias-Primas

Como forma de testar a influência dos desvios do açúcar e da farinha, o DOE utilizado considera um modelo com estes dois fatores de variação. Uma vez que o silo do açúcar acarreta mais problemas, testou-se para os valores extremos da receita e para o valor médio, dado ser este o espectro máximo de valores possíveis. Relativamente à farinha, não se consideraram os limites da receita, mas os valores entre os quais as pesagens deste ingrediente oscilam. Assim sendo, foi aplicado um modelo fatorial completo  $2^3$ , havendo conseqüentemente nove combinações possíveis. Para a construção do modelo garantiu-se que as variâncias de cada grupo eram iguais, os dados seguiam uma distribuição normal e os erros residuais eram aleatórios e independentes. Como forma de eliminar os efeitos alheios de variação de fatores de ruído, foram criados dois blocos, melhorando a eficiência da utilização desta ferramenta ao eliminar fontes de variação não desejadas (Antony 2014). O ANEXO M ilustra as combinações e a ordem de recolha das amostras geradas, encontrando-se as análises efetuadas no capítulo 12 do relatório técnico.

O estudo tem como objetivo compreender a influência dos fatores na variável em estudo - peso - e não encontrar a quantidade<sup>24</sup> que cada ingrediente deverá ter para otimizar essa variável. Assim, pretende-se quantificar a alteração decorrente de uma avaria que possa novamente ocorrer no sistema de pesagem destes ingredientes. Verificou-se que a presença de blocos não tem impacto no peso, tendo sido retirado do modelo.

Tal como se esperava, atendendo ao gráfico de efeitos principais da Figura 37, a variação no peso do pacote provocada pelo açúcar aparenta ser mais significativa do que a causada pela farinha. Isto porque, a diferença entre as médias no açúcar é maior do que a registada entre as médias na farinha. Verifica-se que, quanto maior for a quantidade de açúcar, menor será o peso, registando-se a situação inversa em relação à farinha. Por sua vez, o gráfico da Figura 38 ilustra a interação entre o açúcar e a farinha. O pacote apresenta um menor peso quando, perante 79 kg de açúcar, se utiliza a máxima quantidade de farinha, em comparação com a quantidade intermédia. Entretanto, quando a quantidade de açúcar é a máxima, o pacote apresenta um maior peso com uma maior quantidade de farinha. É também de notar que, para valores baixos de açúcar, a farinha não altera substancialmente o peso médio, ao passo que com valores mais elevados de açúcar, a diferença nas quantidades de farinha tem um maior impacto. Assim, conclui-se que uma alteração a estes ingredientes parece ter repercussões significativas no peso do pacote.

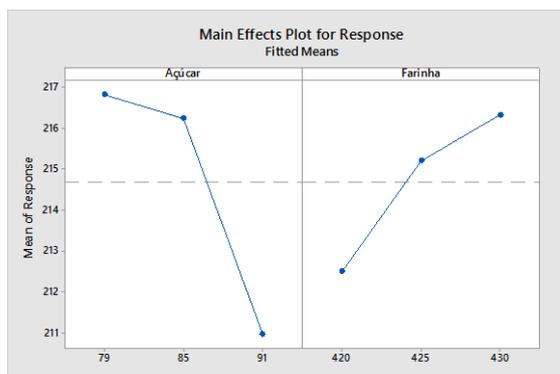


Figura 37 - Efeitos principais do açúcar e da farinha no peso

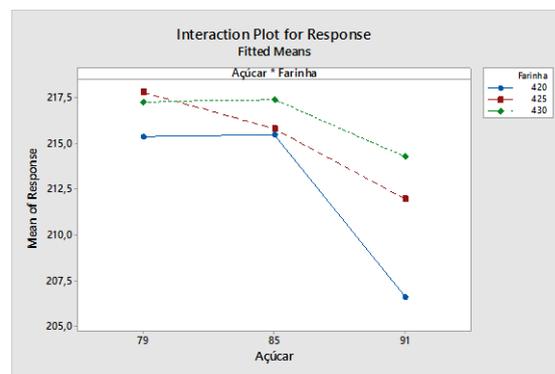


Figura 38 - Interação do açúcar e da farinha no peso do pacote

Percecionado o impacto de uma avaria no sistema pneumático e após ter sido solucionada a falha técnica, a equipa passou a registar diariamente as quantidades de açúcar e farinha reais, para que possíveis anomalias/desvios passem a ser rapidamente detetadas. A monitorização assume uma função crucial, uma vez que é habitual neste tipo de equipamento uma acumulação de açúcar proveniente da concentração local de poeira (açúcar fino), reduzindo a característica de escoamento. Sinalizado este problema, diminuiu-se a velocidade de descarregamento para atenuar esse efeito. Após a implementação desta medida, verificou-se a existência de uma diferença, no máximo, de  $\pm 0,6$  kg nos registos do açúcar e da farinha.

Apesar da redução da variabilidade, importa lembrar que a composição da farinha varia entre fornecedores e entre lotes do mesmo fornecedor, apesar de, neste último caso, a diferença ser mínima. A empresa possui dois fornecedores principais, cujas características viscoelásticas do ingrediente podem ser avaliadas pelos diferentes parâmetros da alveografia<sup>25</sup>. O P/L médio de um dos fornecedores é de cerca de 0,33, ao passo que o outro fornecedor apresenta um valor de

<sup>24</sup> Os valores que se encontram definidos na receita não deverão ser alvo de alteração por implicarem diferenças nas características organolépticas do produto.

<sup>25</sup> A alveografia é realizada num aparelho chamado alveógrafo, o qual regista curvas de extensão, chamadas de alveogramas. Os parâmetros avaliados no alveograma são: a tenacidade (P), a extensibilidade (L), a configuração e equilíbrio da curva (P/L) e o trabalho ou a energia de deformação (W).

0,49. Traduzindo estes valores, um maior P/L resulta de uma menor extensibilidade (L), parâmetro responsável pela resistência que a massa oferece ao ser esticada (Módenes, Silva, and Trigueros 2009). Este fator encontra-se positivamente relacionado com a capacidade de absorção de água por parte da farinha, pelo que implica, necessariamente, uma maior quantidade de bicarbonato de amónio e de água para responder à menor absorção. Assim, o único mecanismo para fazer face a essas diferenças é variando a quantidade de bicarbonato de amónio, encontrando-se a quantidade de água já definida. Nesse sentido, este ingrediente permanece como uma variável, pelo que se estipulou uma quantidade ideal para cada tipo de farinha e foram definidos ajustes consoante o resultado final. É importante demarcar que o momento de troca de farinhas entre fornecedores não é conhecido pela mistura que acontece no silo. Como forma a minimizar o efeito desta transição, no início de turno os chefes de linha começaram a verificar o resultado do alveograma, o qual passou a estar afixado perto da amassadeira<sup>26</sup>.

Foi realizado um estudo à quantidade de bicarbonato de amónio ideal, tendo sido primeiramente analisada a influência deste fator para a farinha com menor P/L. Os resultados da alteração à quantidade desta matéria-prima apresentam-se na Tabela 10, não se identificando as respetivas quantidades por motivos de confidencialidade.

Tabela 10 - Resultados obtidos alterando a quantidade de amónio

Quantidade de bicarbonato de amónio	Qtd. mínima	Qtd. média	Qtd. máxima
Média peso	214,67	210,7	208,15
Coefficiente de variação peso	1,11%	2,05%	2,56%
$\Delta$ Bolachas pacote	1	2	3
Coefficiente de variação nº bolachas	1,48%	2,52%	2,58%

Esta análise é consentânea com a suposição experimental de que, quanto maior for a quantidade deste ingrediente, maior é a redução do peso. Contudo, associada a esta redução, maior é a variabilidade do número de bolachas e do peso. Assim, optou-se por utilizar a mínima quantidade deste ingrediente na fase inicial do desenho de solução, como forma de quantificar o impacto na variabilidade das novas ações aplicadas ao processo de amassagem. O mesmo estudo foi realizado para a farinha com maior P/L, tendo-se concluído que para obter os mesmos resultados é necessário acrescentar 250 g à quantidade de amónio definida.

### Condições ambientais

A temperatura e a humidade do ar, apesar de serem variáveis relevantes para o processo, não foram objetivo de análise, nesta fase, pelo investimento que teria de ser realizado para regular estes parâmetros. Definiu-se que esta questão apenas seria revisitada caso a normalização do processo produtivo não fosse suficiente para atingir o objetivo proposto.

### Amassagem

Para o processo de amassagem estabeleceu-se um tempo padrão, pelo que, quando o operador deteta, por inspeção visual, a necessidade de um tempo superior, reporta essa ocorrência na folha de acompanhamento do processo.

O tempo de espera da massa é uma variável que foi atenuada através de um novo procedimento de trabalho. Independentemente de existir sempre uma diferença de tempo entre o consumo do primeiro carro de massa e do segundo, definiu-se que só se inicia a preparação de uma nova massa após a entrada da massa anterior na moega. Desta forma, garante-se que não existem carros em espera, uma vez que entram em simultâneo na moega. Esta alteração nunca irá

<sup>26</sup> A descarga da farinha armazenada no silo é feita para a amassadeira.

constituir um problema, uma vez que o tempo médio de amassagem é inferior ao tempo de consumo de uma massa. Importa referir que a norma teve também em consideração a definição de um tempo de espera, após a saída da massa da amassadeira, para garantir o seu descanso<sup>27</sup>.

Uma vez normalizado o tempo de espera, os desvios de temperatura registados na massa não excedem uma média de 1,03 °C. No que respeita à humidade da massa, de acordo com Cauvin and Young (2006), as bolachas secas<sup>28</sup> caracterizam-se por apresentarem um baixo valor, sendo a etapa do cozimento a responsável pela maior perda de água e pela reação de Maillard<sup>29</sup> que se dá à superfície do produto. Desta forma, apesar de a massa apresentar eventuais diferenças ao nível da percentagem de água, o forno tem a capacidade de atenuar o seu efeito.

### **Laminadores e cunho**

De acordo com Manley (1998a) e comprovado experimentalmente, ao aumentar-se a temperatura das duas primeiras zonas do forno, reduz-se o peso das bolachas, sendo necessário ajustar-se, simultaneamente, a temperatura das restantes zonas para que a cor da bolacha não seja afetada. No entanto, a resolução do excesso de peso por esta via não constitui uma solução, principalmente pelo elevado dispêndio energético associado ao constante ajuste destes parâmetros. Também, tal pressupunha disponibilidade do chefe de linha para efetuar constantemente o controlo do peso e as respetivas alterações, além de que a variabilidade permaneceria no processo, induzida pela recuperação de produto. Assim, a solução passou por estabelecer determinados valores para os parâmetros dos laminadores, do cunho e do forno, constantes e independentes do resultado final.

Para o segundo laminador horizontal e para o cunho, foi aplicado desenho de experiências, uma vez que correspondem às etapas mecânicas do processo com maior influência na espessura da bolacha e, conseqüentemente, no peso dos pacotes. Desta forma, a variável em estudo para aplicação do DOE foi o peso do pacote. Assegurada a máxima redução possível de variabilidade até esta fase do processo, começou a utilizar-se a maior quantidade de bicarbonato de amónio para os restantes testes, precisamente para assegurar a melhor combinação efetiva dos parâmetros na diminuição do peso. Optou-se por não analisar os parâmetros do laminador vertical e do primeiro laminador horizontal, uma vez que, teoricamente, são ajustados mediante alterações ao segundo laminador horizontal.

Verificados os pressupostos para a sua análise, possíveis de serem consultados através do capítulo 12 do relatório técnico, e atentando no gráfico de efeitos principais da Figura 39, uma variação no cunho aparenta ter um maior efeito do que no laminador, pelo facto de a diferença entre as médias ser maior. Verifica-se que uma maior pressão no cunho parece originar um pacote com um maior peso médio. Esta inferência é corroborada pelo facto de o cunho, enquanto elemento mecânico responsável pela compressão, concentrar a massa num menor volume, tendo como consequência a formação de uma bolacha menos espessa. Tal permite que cada pacote acople um maior número de bolachas, originando um produto final com um maior peso. Por outro lado, o laminador exerce o efeito contrário, ainda que com uma menor magnitude.

---

<sup>27</sup> Importante para assegurar que a massa não se agarra aos rolos, fundamental para a obtenção de uma superfície lisa.

<sup>28</sup> A bolacha Maria enquadra-se nesta classificação pela sua receita não possuir cremes ou outros ingredientes com um elevado teor de gordura.

<sup>29</sup> A reação de Maillard é uma reação química existente entre uma proteína (ou aminoácido) e uma molécula de açúcar redutor. O aspeto dourado das bolachas após a cozedura é o resultado desta reação, responsável também pelo sabor e odor.

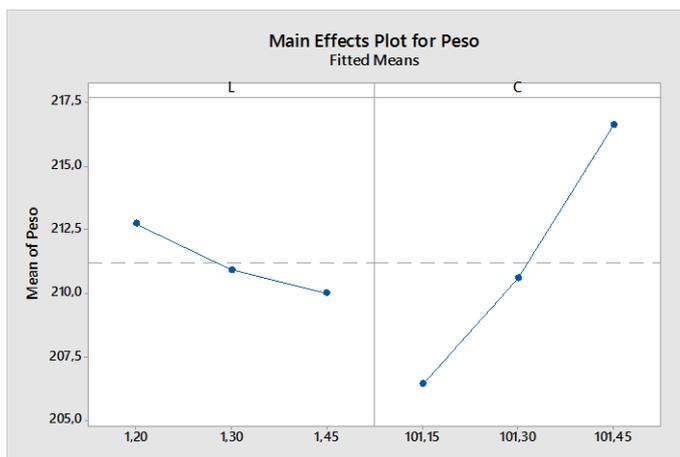


Figura 39 - Efeitos principais do 2º laminador horizontal (L) e do cunho (C) no peso

Realizada a análise à variável em estudo, através da função *response optimizer*<sup>30</sup> do Minitab, é utilizada a equação do modelo de regressão do peso para investigar os valores do laminador e do cunho que otimizam o resultado final, isto é, que permitem atingir um peso médio de 206 g. De destacar que foram retirados do modelo os blocos (*p-value* = 0,149) e a interação laminador/cunho (*p-value* = 0,275), por não terem qualquer impacto sobre o peso. Assim, o modelo foi ajustado, considerando-se apenas o cunho e o 2º laminador horizontal como efeitos principais. Através da Figura 40, é possível observar os valores do laminador e do cunho a serem aplicados. Os gráficos dos resíduos aparentam ser satisfatórios, pelo que não existe razão para suspeitar da validade das conclusões do estudo.

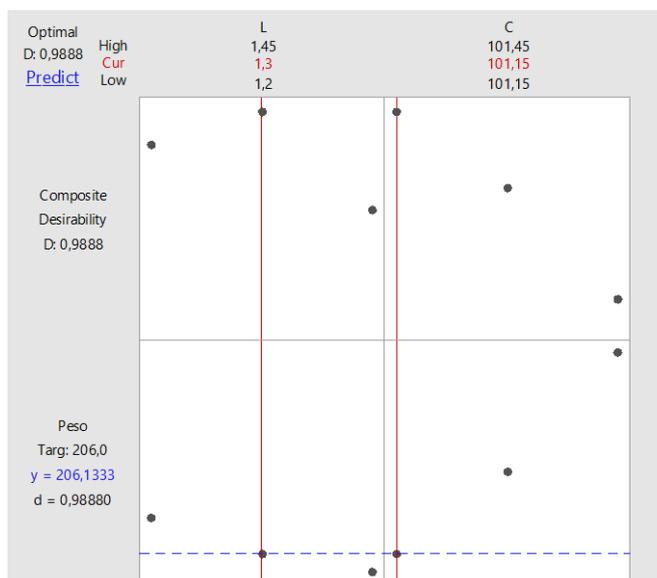


Figura 40 - Gráfico da função *response optimizer* atendendo à variável peso

A solução obtida prevê que, com uma espessura de massa de 1,3 mm para o 2º laminador horizontal e uma abertura de 101,15 mm para o cunho, se obtenha um peso médio de 206,13 g.

<sup>30</sup> Esta função atende à determinação das *desirabilities* individuais (d), sendo a *desirability* composta (D) a média geométrica ponderada das individuais para as respostas em análise (neste caso, o peso é a única resposta). A *desirability* individual (d) determina como as definições otimizam uma resposta única, ao passo que a composta (D) avalia como se consegue otimizar um conjunto global de respostas. A *desirability* pode apresentar valores compreendidos entre zero e um, sendo que um representa o caso ideal e zero que uma ou mais respostas estão fora dos limites considerados como aceitáveis. Assim, é possível inferir em quanto uma combinação de variáveis satisfaz as metas definidas para as respostas.

A *desirability* composta é de aproximadamente 99%, o que permite inferir que a solução obtida está muito próxima do valor desejado para o peso.

### Produto moído

Foi acordado com o Departamento de Produção a inclusão de produto moído que seja apenas respeitante ao tipo de produto que estiver a ser produzido. Eliminada a variabilidade associada à composição do produto, foi necessário atender que a sua quantidade não era fixa. De acordo com a Tabela 11, denota-se que a média do peso do pacote é inferior quando se utiliza meio saco, pelo que o coeficiente de variação do peso e do número de bolachas também é menor.

Tabela 11 - Resultados obtidos alterando a quantidade de produto moído

Quantidade produto moído	1 saco	1/2 saco
Média peso	206,42	205,58
Coefficiente de variação peso	1,70%	1,51%
$\Delta$ Bolachas pacote	3	3
Coefficiente de variação n° bolachas	2,45%	2,29%

De facto, a quantidade de produto moído afeta a capacidade de absorção<sup>31</sup> de água, crítico para a produção de massas com uma determinada consistência. Assim, o acréscimo de água e também de bicarbonato de amónio tem de ser proporcional ao aumento da quantidade de produto moído. Detetada a existência de diferenças nos resultados, verificou-se que a quantidade introduzida destes ingredientes não era a correta. Não obstante, ainda que ajustados os seus valores, definiu-se que a recuperação de produto deveria ter também em consideração a quantidade de produto moído, como forma de eliminar a eventual variabilidade associada aos ajustes efetuados. Para reduzir a entropia considerada, o Departamento de Produção, responsável pelo planeamento, estabelece, para cada semana, uma quantidade de produto moído a incorporar na linha.

Por fim, a altura do carregador permite efetuar correções não só ao próprio embalamento, como também a eventuais variações na altura e no número de bolachas. Nesse sentido, foi efetuado um estudo aos seus valores de referência, tendo sido testada a gama compreendida entre 170 e 174 - Tabela 12.

Tabela 12 - Resultados obtidos alterando a altura do carregador

Altura do carregador	H=170	H=171	H=172	H=173	H=174
Coefficiente de variação peso	1,51%	1,05%	1,34%	1,65%	1,32%
$\Delta$ Bolachas pacote	3	3	3	3	3
Altura do pacote (cm)	18,07	18,15	18,2	18,38	18,44
Coefficiente de variação altura	1,19%	1,14%	0,87%	0,68%	0,91%

A altura do carregador correspondente à dimensão de 173 é a que possui um menor coeficiente de variação da altura do pacote, ainda que introduza uma maior variabilidade no peso. Em oposição, a altura de 171 apresenta uma menor variação no peso, apesar de conferir o segundo pior resultado registado para a altura dos pacotes.

<sup>31</sup> É também afetada por um outro fator, a humidade da farinha. Como referido anteriormente, quanto mais húmida, menor a quantidade de água que será necessário adicionar.

Tendo conhecimento dos prós e contras das melhores opções, a altura de 171 foi a considerada, pelo facto de no empacotamento ser visualmente notório um pacote cuja película está homogeneamente conforme e pelo maior controlo do peso associado a uma menor variação.

### **Recuperação de bolacha**

Durante a realização dos testes, tornou-se como requisito a não incorporação de bolacha, pelo facto de crescer variabilidade introduzir-se bolachas oriundas de outras combinações de fatores. Atingidos os objetivos definidos, retomou-se a incorporação, atendendo à quantidade produto moído, como mencionado anteriormente, e, se possível, ao tipo de farinha.

### **Outras fontes de variação**

No que respeita ao forno e tendo em consideração que o objetivo foi atingido durante o desenho de experiências, foi definido um intervalo de parametrização mais curto para as temperaturas das zonas e para o calor. Procurou-se garantir a planeza das bolachas, ou seja, que as mesmas não apresentam deformações à superfície, e que o dispêndio energético era o mínimo possível. Como referência, foram utilizados os valores que serviram de base aos testes, pelo que alterações só devem ser consideradas se houver variação na cor e no brilho das bolachas. Para a definição dos intervalos, variou-se cada zona isoladamente, em detrimento da aplicação de outro método de análise, pela maior facilidade em denotar-se, visualmente, o efeito de cada parâmetro. Por motivos de confidencialidade, não são apresentados os respetivos valores.

No âmbito das sessões de sensibilização aos operadores, definiu-se as seguintes ações a adotar:

- Se as bolachas apresentarem forma convexa, ou seja, com o centro mais elevado que os bordos, é necessário reduzir o calor da parte superior do forno e aumentar o calor de baixo. Caso apresentem bordas altas em comparação com o centro, deve-se proceder à situação inversa (Manley 1998b);
- No caso de as bolachas exibirem uma tonalidade mais escurecida, é necessário reduzir a temperatura da terceira e da quarta zona do forno, garantindo-se o oposto quando o objetivo é escurecê-las.

Estas alterações devem ser iterativas, variando dois graus na zona cujo problema possa ser atenuado e esperando, no mínimo, 10 minutos para a verificação do resultado. É importante que a alteração seja feita, no máximo, até dois graus, pois uma reação mais rápida leva a que os valores dos queimadores<sup>32</sup> do forno desçam drasticamente. Por exemplo, uma descida espontânea de 4 graus na primeira zona desce os seus valores para zero<sup>33</sup>. É essencial que a queima de combustível seja eficiente para que o consumo energético seja reduzido.

Na procura de uma menor tolerância à variação dimensional da bolacha, obteve-se, com este estudo, um processo mais automático. Ainda, numa fase posterior, ajustaram-se parâmetros como a velocidade da linha e a espessura de massa à saída do 1º laminador horizontal. Esta alteração teve como objetivo reduzir as eventuais diferenças que existiam na espessura de massa na transversalidade do tapete. Tal é possível porque, ao reduzir-se a espessura o mais previamente possível na linha, quaisquer problemas de calibração/afinação dos equipamentos serão minimizados pela menor influência, a jusante, da compressão.

Como referido anteriormente, no decorrer da produção apenas deve ser ajustada a combinação de bicarbonato de amónio e de água, atendendo à quantidade de produto moído e às propriedades da farinha. No caso de se rejeitar pacotes com défice de peso, o chefe de linha deve, numa primeira instância, aumentar a altura do carregador como forma de os pacotes

---

<sup>32</sup> Um queimador é um equipamento que, mediante o processo de combustão, transforma a energia química de um combustível em calor.

<sup>33</sup> Estas inferências foram testadas e comprovadas experimentalmente.

acoplarem mais uma bolacha. Na eventualidade de ocorrer a situação inversa, a altura deve ser reduzida. Após a aplicação da medida reativa, o responsável atua na quantidade de bicarbonato de amónio e, após a entrada da massa, restabelece o parâmetro do carregador. No limite, caso a medida não seja suficiente, é assumida uma alteração à abertura do cunho<sup>34</sup> de valor 0,05 mm.

Apesar de algumas variáveis, mencionadas no Capítulo 4, não terem sido objeto de análise, estas aparentam deter uma contribuição no processo, ainda que não tenha sido quantificada a sua magnitude. Recomenda-se a integração do seu estudo no processo iterativo de melhoria, o qual será apresentado na próxima seção.

## 5.3 Próximas ações

### 5.3.1 Sistema de medição

O controlo do peso, da espessura e da cor representa um dos processos de verificação mais importantes, devendo o sistema de amostragem refletir a forma como o produto é enviado para o cliente. Nesse sentido, seguidamente são descritas as alterações realizadas ao sistema de medição da empresa, assim como as sugestões que foram propostas, atendendo a cada categoria de controlo.

#### **Peso**

Solucionada a avaria na máquina controladora de peso, foram aplicados novos limites de rejeição com base nos definidos nas cartas de controlo. Face à situação inicial, reduziu-se o intervalo de rejeição, potenciando um maior rigor.

Uma vez que o processo para aceder aos dados do equipamento demorava mais de 24h e transcrevia os dados incorretamente, a empresa adquiriu um *software* que permite interligar o equipamento em rede e controlar remotamente os dados em tempo real.

Mediante a elevada probabilidade de, durante o período de laboração, poderem ocorrer situações que conduzam à perda de calibração da máquina controladora de peso, implementou-se um novo controlo. No início e no fim de cada turno, o controlador de qualidade regista os pesos marcados no equipamento de 5 pacotes de bolachas e, de seguida, procede às mesmas leituras numa balança digital. No caso de a diferença entre os dois métodos exibir um valor médio superior a 5 g, o operador reporta tal situação ao chefe da manutenção para atuação imediata.

#### **Espessura**

As bolachas após o forno podem ser, pela primeira vez, observadas e medidas. Dada a dificuldade em medir a espessura de uma bolacha com uma elevada precisão, usando o paquímetro, o novo procedimento sugerido requer a medição de uma pilha de bolachas, permitindo diminuir o erro e o tempo alocado à tarefa. Para isso, foi proposto o desenvolvimento de um *Poka-Yoke*, dispositivo enquadrado num sistema de inspeção para prevenir riscos de falhas humanas e corrigir eventuais erros no processo. A Figura 41 ilustra o objeto que passará a ser usado para efetuar as medições da espessura, sendo simples, robusto e fácil de usar. Como forma de eliminar a subjetividade que era característica neste controlo, existe uma peça móvel que exerce pressão sobre a pilha de bolachas, através do efeito de uma mola, não dependendo da pressão exercida pelo operador. A frequência de inspeção continuará a ser horária, contudo a amostra passará de 3 bolachas para 10 bolachas, sendo apenas necessário registar o comprimento total através da leitura da escala do instrumento.

---

<sup>34</sup> É preferida esta alteração, em detrimento de uma modificação na parametrização do forno, por representar um custo energético nulo face ao dispêndio que se incorreria na alteração das temperaturas.

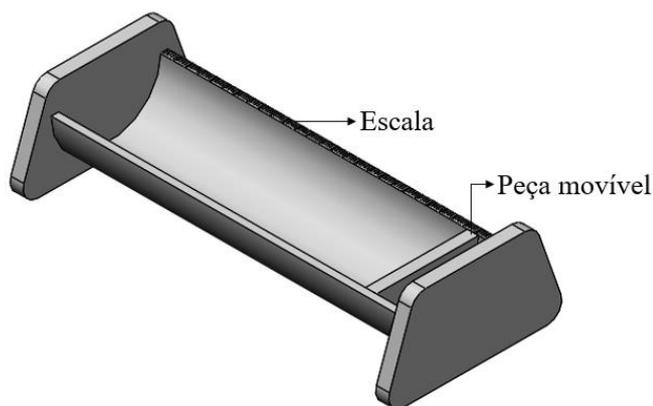


Figura 41 - Aparelho de medição do comprimento de uma pilha de bolachas

### Cor

O estado da cor da bolacha requer uma instrução de trabalho fácil, visualmente intuitiva para a deteção de problemas, mas, primordialmente, que dependa o mínimo de subjetividades. Como melhor prática, selecionaram-se amostras de bolachas representativas de um gradiente de cores, tendo como propósito as mesmas serem colocadas no local onde é efetuado o controlo de qualidade. No ANEXO N encontram-se ilustradas essas amostras, estando identificada a que corresponde à melhor solução.

#### 5.3.2 Processo iterativo de melhoria

É da responsabilidade do controlador de qualidade usar as informações obtidas para detetar a existência de um padrão ou anomalia e comunicar, quando necessário, ao chefe de linha para que seja iniciado o processo de ajuste.

Partindo do pressuposto de que as bolachas nunca apresentam sempre o mesmo peso, tamanho, cor, entre outras características, existe sempre alguma variação que deve ser aceite quando a especificação é acordada. Para considerar essa variação, devem ser usados métodos de controlo que permitam registar as medições e mostrar visualmente o estado do processo. Aliando o facto de o registo de informação ser informatizado, foi incorporado nos campos delimitados para o registo um código de cores, tendo por base cartas de controlo. Desta forma, é possível atender-se à baixa formação dos operadores para compreender cartas de controlo, sem, no entanto, descorar uma aplicação simplificada desta ferramenta. Carece de registo o comprimento das 10 bolachas, o número da amostra de cor representativa do estado dessas bolachas e o peso de 5 pacotes.

Para facilitar o processo de decisão dos operadores, a folha de verificação deverá estar codificada com a cor verde na zona-alvo (limite  $\pm 1\sigma$ ), com a cor vermelha na zona de ação (limite acima de  $\pm 3\sigma$ ) e amarela na zona sem ação (entre os limites  $\pm 1\sigma$  e  $\pm 3\sigma$ ) (Roes, Does, and Schurink 1993). Os limites sigma adicionais ajudam a identificar desvios ou outros padrões nos dados, pelo que a cada cor está associada uma determinada medida. A ação decorrente de um alerta amarelo encontra-se dependente dos resultados de uma segunda amostragem, isto é, apenas é aplicada uma medida se a segunda recolha também estiver fora dos limites da zona-alvo. No entanto, o controlador de qualidade deve transmitir ao chefe de linha a informação do primeiro alerta, para que este detenha, sob sua vigília, o desvio detetado. No caso de estar na gama vermelha, requer-se que rápidas ações sejam tomadas, uma vez que o processo se encontra fora de controlo. Em oposição, a cor verde é representativa de um processo conforme, pelo que não existe a necessidade de atuação. A informação resultante, armazenada num base de dados em SQL, é automaticamente incorporada num gráfico de controlo, com a opção de ser visualizada e consultada pelo Departamento de Produção.

Através de ações sobre as causas especiais, os operadores irão procurar garantir a estabilidade do processo ao longo do tempo – melhoria local. A redução das causas comuns da variabilidade ficará ao encargo dos responsáveis do Departamento de Produção, não só por envolver mais conhecimento técnico e disponibilidade, mas, eventualmente, algumas decisões de maior investimento. Prioritariamente, atua-se nas causas especiais, que são mais fáceis de bloquear, e apenas se mobilizam esforços quando se pretende reduzir as causas comuns da variabilidade. Assim, pretende-se implementar um procedimento iterativo de melhoria faseado, através do uso das cartas de controlo, como é possível de ilustrar na Figura 42.

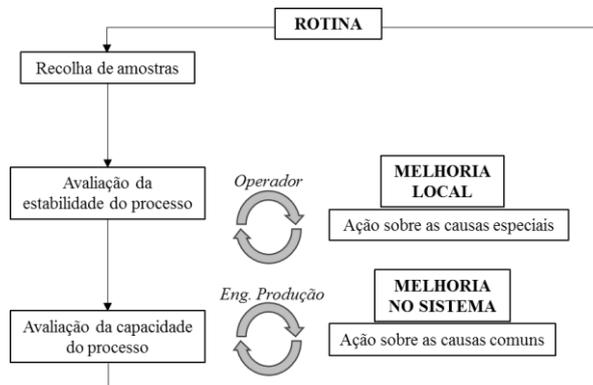


Figura 42 - Processo iterativo de melhoria

### 5.3.3 Sistema de avaliação de custos

A existência de custos associados à não qualidade resulta num aumento sistemático dos custos operacionais, que condiciona, por sua vez, o apuramento dos custos totais (Junior 1996). Os custos operacionais de qualidade (COQ) resultam não só de recursos financeiros relacionados de forma direta e positiva com a função qualidade, mas, principalmente, de custos que decorrem de falhas dessa função.

Nesse sentido, pretende-se que a empresa passe a conhecer todas as oportunidades para a redução desses custos, pelo que o uso de técnicas com fundamentação na estatística permite essa avaliação. Uma das estratégias mais simplistas de avaliação do custo da não qualidade é a função perda de Taguchi (Petenate 1995), um método de controlo de qualidade *offline*<sup>35</sup>.

Considere-se que  $N$  itens são produzidos e que  $y_1, y_2 \dots y_N$  são os valores da característica de qualidade para esses itens. A função perda quadrática média (PQM) é dada pela equação 5.1:

$$PQM = k \{ \sigma^2 + (\bar{y} - y_m)^2 \} \quad (5.1)$$

Onde:

- $k$ , é o coeficiente de perda de qualidade
- $\sigma^2$ , é a variabilidade do processo de produção
- $\bar{y}$ , é o valor médio dos itens produzidos
- $y_m$ , é o valor nominal, a meta, da característica de qualidade

Adaptando ao caso de estudo em análise, a função perda para o controlo do peso pode ser obtida através da equação 5.2, configurada em três ramos:

$$PQM = \begin{cases} k_1 \{ \sigma^2 + (\bar{y} - y_m)^2 \} & \text{se } \bar{y} \geq y_m \\ k_2 & \text{se } \bar{y} \leq E_m \\ k_3 \{ \sigma + (\bar{y} - y_m) \} & \text{se } E_m \leq \bar{y} \leq y_m \end{cases} \quad (5.2)$$

Onde:

- $E_m$ , é o limite mínimo de rejeição

<sup>35</sup> Permite cobrir as atividades de controlo de qualidade e os restantes custos associados.

No cálculo de  $k_1$ , é preciso atender ao valor da perda por unidade de peso, com base nos custos de matéria-prima, se o produto for aceite. Caso seja rejeitado, considera-se o desperdício da película, o reprocessamento de energia e mão de obra. A inclusão do segundo ramo de análise permite modelizar a perda quando o nível de qualidade pode desencadear reclamações por apresentar um nível de qualidade tão baixo. Assim, o valor de  $k_2$  é estimado pela empresa com base no custo de tratamento de uma não conformidade que seja potencialmente alvo de reclamação, isto é, ao custo de se rejeitar o produto devido a questões legais. O terceiro ramo descreve a função de perda quando o valor médio se situa abaixo do valor nominal, mas acima da especificação média. Desta forma, apesar de não desencadear, historicamente, reclamações, é representada por uma função linear por evidenciar uma perda no impacto da imagem do produto no cliente, ligando os pontos  $\bar{y} = E_m$  e  $\bar{y} \leq y_m$ . O valor de  $k_3$  é determinado graficamente pela interseção das equações que traduzem a perda acima de  $y_m$  e abaixo de  $E_m$ . O valor alvo -  $y_m$  - tem o valor de 202,7 g e o  $E_m$  de 191 g.

O modelo idealizado encontra-se numa fase conceptual, pelo que a sua implementação permitirá desenvolver e aprimorar a sua aplicação prática. No entanto, importa expor que, para reduzir a perda associada, é necessário minimizar a variabilidade e centrar o processo no valor nominal.

### 5.4 Principais resultados

Após a implementação das ações referidas, foram recolhidos novamente dados do controlo de qualidade para verificar se o estudo realizado desencadeou uma melhoria no processo, com possibilidade de análise da sua capacidade. O procedimento adotado foi o mesmo que o realizado na fase de análise da variabilidade, apenas com a diferença de os dados terem sido recolhidos no espectro temporal de três semanas. A Figura 43 ilustra a respetiva carta de controlo  $\bar{x}$ -R.

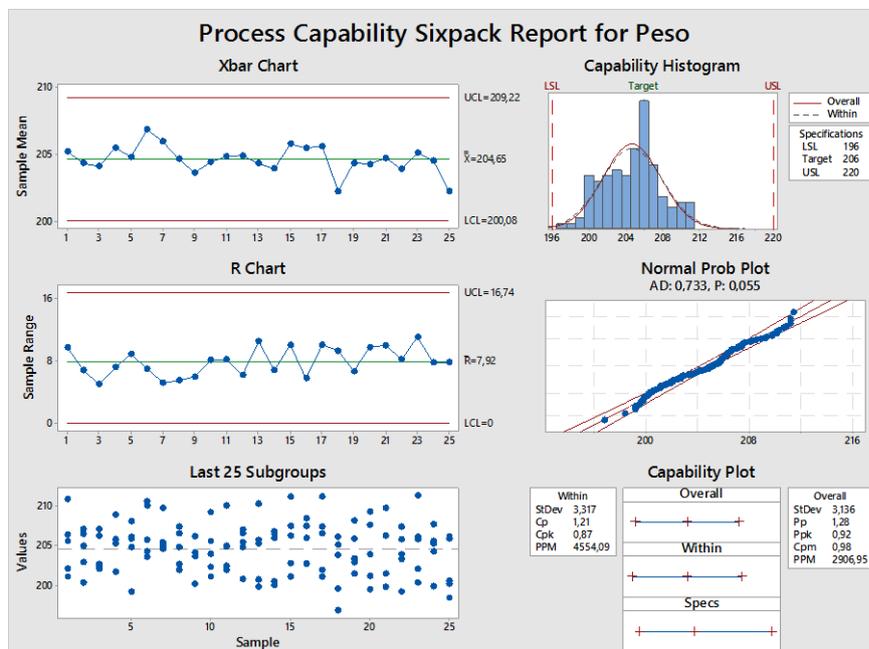


Figura 43 - Carta de controlo  $\bar{x}$ -R e análise de capacidade para o peso dos pacotes

Analisando a carta, verifica-se que o processo se encontra estável, do ponto de vista da variabilidade, já que todos os pontos da carta R se encontram dentro dos limites de controlo e não se verifica a existência de nenhuma tendência ou padrão no gráfico das amplitudes. Uma vez que o processo é estável em relação à variabilidade, é possível proceder-se à análise da carta  $\bar{x}$  para avaliar se o processo está em controlo estatístico. Dado que nenhum ponto excede

os limites de controlo e não se verifica a existência de alguma tendência ou padrão nas observações, pode-se então inferir que o processo é estável e encontra-se centrado. Estando sob controlo estatístico, é possível proceder-se à análise da sua capacidade.

Observando o histograma, os valores encontram-se dentro dos limites, contudo existe um desvio do objetivo para valores inferiores, com forte incidência no valor médio de 204,65 g. O valor de  $P_p$  é de 1,28, o que pressupõe que o processo é marginalmente capaz de produzir os pacotes com as especificações pretendidas. No entanto, deve-se procurar melhorar este índice para o valor de referência de 1,33, representativo de um processo que é capaz de produzir dentro das especificações desejadas. Observando o índice de capacidade de processo,  $C_p$ , é possível atingir o valor de 1,21, se se conseguir eliminar totalmente as causas especiais de variação. O facto de os índices não apresentarem valores superiores a 1,33 está relacionado com o objetivo de peso médio que a empresa definiu (206 g), inferior ao alcançado. Um valor médio compreendido no intervalo [200;206] g permite reduzir ainda mais o desperdício, correspondendo a uma melhoria superior à idealizada. Nesse sentido, aconselha-se a empresa a rever o valor objetivo de peso, tendo em consideração o período de teste realizado comprovou que o projeto é robusto a alterações de farinha, de temperatura, turno e operadores (funções rotativas).

Importa referir que não foi efetuada a mesma análise para a espessura, uma vez que o atual método de medição não é o mais adequado. Desta forma, os resultados não seriam suficientemente precisos para avaliar potenciais melhorias. Aquando da implementação do novo método de controlo, já será possível proceder-se a esta análise, ainda que se possa depreender que a espessura média deve apresentar um menor coeficiente de variação<sup>36</sup>.

Analisando os dados obtidos, verificou-se que não foram registados pacotes com peso igual ou superior a 220 g, tendo apenas sido rejeitados 0,98% dos pacotes por falta de peso (<196 g). Relativamente aos últimos e quando o formato da embalagem é em *quadripack*, ficou acordada a integração de um destes pacotes no conjunto. Também, no caso de serem vendidos pacotes individualmente, importa referenciar que o peso mínimo registado para os pacotes rejeitados foi de 194,9 g, valor superior à quantidade legal admissível (191 g).

O excesso de peso para o produto piloto, que apresentava inicialmente um valor de 3,86%, passou a registar um valor de 0,96%. Nesse seguimento, o custo do excesso de peso sofreu uma redução de 75,13%, passando a representar 0,49% do custo total de produção da unidade operacional, em detrimento do valor inicial de 1,97%. Decorrente da redução da variabilidade, a oscilação do número de bolachas de cada pacote passou de 6 para 3, possuindo os pacotes entre 31 a 34 bolachas.

### ***Benchmarking***

Além do impacto financeiro gerado, tornou-se crucial perceber a amplitude deste problema nas empresas produtoras de bolachas e situar a empresa em análise perante uma amostra do produto Maria 200 g. Assim, foram alvo de estudo 5 marcas portuguesas, tendo sido analisados 24 pacotes de cada marca, escolhidos aleatoriamente.

Da análise da Tabela 13, é possível verificar que a marca A não cumpre os limites legais estabelecidos e que a marca E é a que mais se aproxima em termos de média do peso. Comparando a empresa em estudo com as restantes, verifica-se uma menor variabilidade no peso e na altura.

---

<sup>36</sup> A melhor distribuição do retalho na transversalidade do tapete é a principal causa da melhoria.

Tabela 13 - Benchmarking realizado a produtos Maria 200 g, envolvendo 5 marcas portuguesas

	<b>Empresa - antes projeto</b>	<b>Empresa - após projeto</b>	<b>Marca A</b>	<b>Marca B</b>	<b>Marca C</b>	<b>Marca D</b>	<b>Marca E</b>
<b>Média peso</b>	218,45	204,65	194,53	212,74	211,55	206,30	205,61
<b>Coefficiente de variação peso</b>	5,18%	1,62%	3,24%	2,01%	2,05%	2,10%	2,52%
<b>Δ Bolachas pacote</b>	6	3	5	3	2	2	3
<b>Média altura</b>	18,35	18,15	19,68	18,11	17,46	17,68	18,03
<b>Coefficiente de variação altura</b>	1,40%	0,91%	1,43%	1,08%	2,16%	2,53%	1,21%

## 5.5 Síntese

No presente capítulo, foram descritas as soluções propostas e implementadas para a redução da variabilidade num processo industrial de produção de bolachas. Numa fase inicial, construiu-se um F-VMEA, com o objetivo de priorizar as ações a realizar e, uma vez definidas, foram aplicados testes e desenho de experiências às variáveis impactantes na otimização do processo. Em paralelo, foi dada ênfase à necessidade de os operadores efetuarem os registos corretamente, pois poderão indicar a presença de uma tendência ou desvio pela frequência com que ocorrem.

As mudanças realizadas nos procedimentos de trabalho e nos parâmetros dos equipamentos permitiram alcançar uma redução da percentagem de excesso de peso de 75%. Associado a estes resultados, a minimização da variabilidade do processo permite um maior controlo da linha de produção, sem que tal implique uma maior dependência do chefe de linha. Desta forma, o foco da atenção concentra-se na quantidade de bicarbonato de amónio e de água, variando estes fatores mediante o tipo de farinha e a quantidade de produto moído a incluir.

A cultura de melhoria contínua deverá continuar a ser o elo de suporte necessário à prossecução dos resultados alcançados, pelo que se revela crítico tanto a gestão de topo como a equipa operacional controlarem diariamente o processo e melhorá-lo ciclicamente.

## 6 Conclusões e trabalho futuro

Na indústria alimentar existe um elevado grau de dependência dos operadores para controlar a produção, incitando a uma elevada variabilidade no processo. Decorrente de uma produção instável, a empresa em estudo reconheceu como problema recorrente o excesso de peso dos pacotes de bolachas devido ao elevado impacto económico-financeiro gerado.

O projeto desenvolvido surge no âmbito de uma intervenção à redução do peso médio dos pacotes produzidos, tendo como principal objetivo minimizar a variabilidade a fim de se deter um maior controlo do processo. Os objetivos parcelares delineados prendem-se com a identificação de todos os fatores com influência no peso, a definição de um intervalo de peso válido, atendendo à legislação, e a criação de novos métodos e ferramentas de trabalho que permitam não só controlar o processo, como também reagir de forma atempada. Projetou-se o foco para a produção de um produto que satisfaça o cliente em todos os parâmetros por ele projetados, ao mesmo tempo que possibilita à empresa reduzir o desperdício decorrente do processo.

A solução proposta passou pela implementação de um controlo do processo, tendo sido possível investigar as suas etapas e avaliar a respetiva forma de atuação praticada. Após uma análise do problema e do processo produtivo, foi identificado um conjunto de variáveis - controláveis e não (ou dificilmente) controláveis -, através de sessões de *brainstorming*. Seguidamente, realizou-se um F-VMEA, ferramenta que permitiu esquematizar e compreender as ações críticas, desde o início do processo até ao seu término. No decorrer, alteraram-se algumas rotinas de trabalho e recorreu-se ao desenho de experiências na otimização de determinados parâmetros. Importa destacar que a maior parte dos testes realizados não foram destrutivos, pelo que apenas implicou alterações ao ritmo normal de trabalho.

Apesar de o CEP não ser um requisito na indústria alimentar, foi a ferramenta utilizada para o acompanhamento integral do processo, tendo permitido detetar falhas, refletir sobre elas e implementar ações corretivas para evitar a sua propagação. O cerne da complexidade do problema resultou não apenas do número de variáveis, mas das interações existentes entre as mesmas. Nesse sentido, a experimentação reúne as condições necessárias para melhorar os produtos e processos, apesar de ser uma atividade dispendiosa, interferindo com a produção. No entanto, a utilização de estratégias e métodos estatísticos provou minimizar o esforço e elevar a fiabilidade dos resultados. As ferramentas utilizadas passaram por cartas de controlo  $\bar{x}$ -R, histogramas, índices de capacidade e análises à variância (ANOVA). Para o estudo dos fatores de variação, construíram-se gráficos de efeitos principais e de interação.

### 6.1 Principais conclusões

Decorrente deste projeto, padronizou-se a percentagem de distribuição de retalhos para um intervalo entre 25-35%, comprovando-se que a uma maior percentagem deste parâmetro está associada uma menor variabilidade do peso e, principalmente, do número de bolachas de cada pacote. Através deste parâmetro, conseguiu-se eliminar as diferenças significativas existentes na transversalidade do tapete.

No que respeita às matérias-primas, percecionou-se, através de um planeamento de experiências, qual o impacto de uma avaria no silo do açúcar e da farinha, comprovando-se a necessidade de existir um controlo pela elevada probabilidade de falha técnica. Neste caso, o DOE utilizado foi um modelo fatorial completo  $2^3$ . Verificou-se também que uma menor quantidade de bicarbonato de amónio permite reduzir a variabilidade do peso e do número de bolachas, sendo este ingrediente um dos principais responsáveis pela existência de variações no processo.

Reduzida a variabilidade, concentrou-se a atenção no peso, através da parametrização dos equipamentos – laminadores, cunho, forno e altura do carregador. Aplicado novamente um modelo fatorial completo  $2^3$  ao segundo laminador horizontal e ao cunho, através das respetivas espessuras de massa de 1,3 mm e 101,15 mm, foi conseguido um peso médio de 206,13 g. Uma vez alcançado o peso objetivo, utilizaram-se as temperaturas das diferentes zonas e calor do forno, usadas durante a experimentação, como referência para a definição dos intervalos.

A inclusão do produto moído foi alvo de estudo, pelo facto de a sua quantidade variar ao longo da produção. Denotou-se que, com uma menor quantidade (meio saco), era possível obter uma maior redução do peso e da variabilidade. Apurada a existência de uma diferença nos resultados, concluiu-se que as quantidades de água e de bicarbonato de amónio a adicionar quando usado um saco de produto moído não eram suficientes, tendo-se normalizado o ajuste. Também, definiu-se que no planeamento semanal é selecionada a quantidade de produto moído, de forma a que não seja introduzida variabilidade na recuperação de produto entre massas.

Na fase final do processo, a altura do carregador, responsável pela altura do pacote, foi normalizada, tendo-se selecionado a altura 171 por assegurar um pacote com um melhor embalamento e uma menor variação de peso. A incorporação de bolacha deixou de constituir um problema, uma vez que a quantidade de produto moído se mantém constante ao longo de uma semana de produção, assim como todas as outras variáveis. Desta forma, é garantida a similaridade das massas, tendo-se reduzido a variabilidade entre as preparações.

Alcançados os resultados pretendidos, efetuaram-se pequenos ajustes à velocidade da linha e ao valor do primeiro laminador horizontal, reduzindo-se diferenças<sup>37</sup> na espessura de massa na transversalidade do tapete. Paralelamente, criaram-se novas rotinas de trabalho e asseguraram-se os meios necessários para o seu prosseguimento. Nesse sentido, foi necessário sensibilizar os colaboradores da empresa para o problema e modo de atuação, estando aptos a executar o processo de forma apropriada e a verificar se o produto está dentro dos limites de especificação.

Analisando as causas do problema, os desajustes no processo deviam-se, principalmente, a falhas técnicas nos equipamentos, ao modo de funcionamento da linha de produção e à atuação dos agentes operativos perante ações corretivas. Importa reforçar que, antes do estudo realizado, as alterações realizadas pelos chefes de linha apenas tinham efeito após 25-30 minutos, correspondente ao tempo de chegada do produto ao fim de linha. Entretanto, o peso subia abruptamente, desencadeando-se o ciclo de alteração inverso para a redução do peso. O novo procedimento adotado permite endereçar as alterações constantes que eram realizadas pelos chefes de linha, pelo que somente carece de alteração as quantidades de bicarbonato de amónio e de água, consoante a quantidade de produto moído e as propriedades da farinha. Desta forma, foi possível reduzir a variabilidade, sem que tal pressuponha uma maior disponibilidade dos recursos.

Para a análise do problema foram realizados estudos a preparações de massa em diferentes momentos temporais, ao passo que na fase de testes tomou-se como requisito a análise de preparações sequenciais. Uma vez que no primeiro caso o objetivo é avaliar problemas na transversalidade do tapete, tornou-se necessário perceber se essas variações se repercutiam nos vários dias ou se se alteravam com o tempo. No segundo caso, o objetivo é avaliar se, mantendo todas as preparações de massa sob as mesmas condições, é garantida a minimização da variabilidade.

O projeto surtiu resultados não apenas financeiros, mas também em termos de produtividade dos chefes de linha pela maior disponibilidade para a realização de outras tarefas. Em termos de quantificação de benefícios, a Tabela 14 compara a situação inicial do processo com os resultados após a implementação do projeto. Importa referir que o objetivo – reduzir o excesso

---

<sup>37</sup> Apesar de as mesmas não aparentarem ser estatisticamente significativas.

de peso em 3,00% - foi alcançado, tendo-se registado uma redução de 6,32%. Contudo, atingiu-se um erro superior ao que se encontrava teoricamente<sup>38</sup> definido para o número de bolachas de um pacote, subsistindo uma variação, ainda que para metade da situação inicial.

Tabela 14 - Comparação da situação inicial do processo com o estado após a implementação do projeto

	Situação inicial	Após implementação	Variação
<b>Média peso</b>	218,45	204,65	-6%
<b>Coefficiente de variação peso</b>	5,18%	1,62%	-69%
<b>Média de bolachas</b>	34,31	32,21	-6%
<b><math>\Delta</math> N° Bolachas</b>	6	3	-50%
<b>Média altura</b>	18,35	18,15	-1%
<b>Coefficiente de variação altura</b>	1,40%	0,91%	-35%
<b>Espessura média da bolacha</b>	5,35	5,62	5%

Em virtude do CEP, testaram-se os resultados obtidos através de cartas de controlo. Concluiu-se que o processo se encontra estável e centrado, estando sob controlo estatístico. Na Tabela 15, é possível verificar que o processo está muito próximo de possuir a capacidade de produzir pacotes dentro das especificações mínimas inicialmente definidas pela empresa. O facto de tal ainda não se ter alcançado advém de o resultado ter sido superior ao objetivo demarcado inicialmente, pelo que é necessário redefinir o valor alvo, adaptado aos valores conseguidos.

Tabela 15 – Comportamento dos dados antes e depois da implementação do projeto

	Situação inicial	Após implementação
$C_p$	0,98	1,21
$C_{pk}$	0,13	0,87
$P_p$	0,48	1,28
$P_{pk}$	0,06	0,92

Os resultados anteriormente atingidos traduzem-se numa redução de 75% no custo de não qualidade, decorrente da percentagem do excesso de peso se ter alterado de 3,86% para 0,96%.

Através de um controlo rigoroso, comprova-se que é possível obter um produto conforme, de acordo com os parâmetros estabelecidos de qualidade e segurança (peso, dimensões, aspeto, cor), indo de encontro às expectativas e à perceção de qualidade pelo consumidor. O Lean Six Sigma assegurou ser a metodologia crucial nesse projeto, tendo-se destacado na:

- Monitorização do processo, de modo a assegurar que os requisitos de qualidade estão a ser cumpridos. Se alguma causa de variação anormal surgir, ela será identificada e caracterizada, sendo tomadas medidas que reponham o processo nas condições normais;
- Reformulação do processo de medição - menos dependente do operador e focado no objetivo de mitigar as causas especiais do processo em estudo;
- Incorporação de uma cultura de mudança e de quebra de muitos paradigmas – crucial para a reflexão das causas dos problemas.

Através desta metodologia, o cerne do projeto transcende a qualidade, na medida em que são eliminados os desperdícios e as causas dos defeitos nas várias etapas dos processos.

<sup>38</sup> De acordo com o estudo de Gauri (2003), o erro normal associado à formação de um pacote é idealmente de 1 bolacha – consultar seção 4.1.

## 6.2 Perspetivas de trabalho futuro

Para garantir a estabilidade do ciclo de produção, o sistema de amostragem deve refletir o estado do produto. Através de estudos de R&R, foi possível perceber que o processo de medição da espessura, usando um paquímetro, não é o mais adequado. Nesse âmbito, foi proposto um novo método com a criação de um dispositivo *Poka-Yoke*, diminuindo a subjetividade associada ao processo e garantindo uma maior fiabilidade. No decorrer do ciclo de melhoria contínua, projetou-se um modelo para conferir a estabilidade e a capacidade do processo, sendo o primeiro objetivo garantido localmente pelos operadores e o segundo analisado pelo Departamento de Produção. Percebido o impacto do excesso de peso, planeou-se um sistema de avaliação de custos, inspirado na função perda de Taguchi.

Para este projeto, poder-se-ia ter utilizado a análise de componentes principais (PCA) como técnica estatística para a redução do número de variáveis, permitindo identificar as mais importantes no espaço das componentes principais. Não obstante, privilegiou-se a discussão de todas as variáveis e o teste às mais críticas, como forma de as restantes serem objeto de análise numa fase posterior.

Ainda que a empresa passe a deter um sistema de controlo estatístico, é sugerido que se implemente o tratamento estatístico dos dados, em tempo real. Através de um monitor acoplado à linha - *andon* -, a interface iria permitir um controlo contínuo do processo ao recolher, analisar e transmitir rapidamente os dados. Com esta funcionalidade, seria possível verificar a existência de um padrão ou tendência com recurso a cartas de controlo, sendo visualmente acessível a todos. Também, permitiria ter a opção de acompanhar o desempenho das diferentes linhas, identificando-se de imediato as linhas e os produtos onde não estão a ser cumpridos os requisitos definidos.

No decorrer deste projeto, foi identificado como oportunidade de melhoria o desperdício da película entre as trocas das bobines no final de linha, sendo um projeto futuro a desenvolver na mesma empresa. Também, decorrente das eventuais misturas de farinhas, provenientes de diferentes fornecedores, é sugerida a aquisição de um novo silo para a unidade em questão. Tal permitia aos chefes de linha ter conhecimento das características do tipo de farinha em cada silo, reservando cada um deles para um determinado fornecedor. Também, evitava-se a elevada probabilidade de existir rutura de *stock*, e o decorrente esforço de evitar que tal situação aconteça, garantindo ainda o “descanso” da farinha.

De forma global, todas as questões de investigação delineadas para este projeto foram respondidas, pelo que, no futuro, será possível proceder-se ao processo de replicação para os restantes produtos das várias linhas de produção. As ferramentas utilizadas provaram ser adequadas à redução da variabilidade do processo e à melhoria da sua capacidade. Não obstante, a implementação do projeto ressentiu o efeito da resistência à mudança, pelo que a cultura de melhoria contínua foi o principal fruto da presente dissertação. Apesar de não ser possível quantificá-la, o seu efeito percebeu-se e refletiu-se nos resultados.

## Referências

- Abu-Shawiesh, Moustafa Omar Ahmed, Golam Kibria, and Florence George. 2014. "A Robust Bivariate Control Chart Alternative to the Hotelling's T<sub>2</sub> Control Chart." *Quality and Reliability Engineering International* 30 (1):25-35.
- Alberto, D. 2015. "O setor agroalimentar em Portugal: construção das vantagens competitivas." VI Congresso de Estudos Rurais.
- Angelucci, Camilo Andrea. 2010. "Dependência da velocidade com a temperatura."
- Antony, Jiju. 2014. *Design of experiments for engineers and scientists*: Elsevier.
- Arnheiter, Edward D, and John Maleyeff. 2005. "The integration of lean management and Six Sigma." *The TQM magazine* 17 (1):5-18.
- Atchley, Charlotte 2013. "Symbols of Quality." Food Business News. [http://www.foodbusinessnews.net/articles/news\\_home/Consumer\\_Trends/2013/05/Symbols\\_of\\_Quality.aspx?ID=%7BBE8744F0-BC05-4B50-9B7F-20DBB5DDA703%7D&cck=1](http://www.foodbusinessnews.net/articles/news_home/Consumer_Trends/2013/05/Symbols_of_Quality.aspx?ID=%7BBE8744F0-BC05-4B50-9B7F-20DBB5DDA703%7D&cck=1).
- Azenha, C.J. 2005. "Estudo da influência de diferentes enzimas no comportamento reológica da massa para substituição do metabisulfito de sódio em bolachas tipo Maria.", Santarém: Escola Superior Agrária de Santarém do Instituto Politécnico de Santarém.
- Baba, Vinicius Akira. 2008. "Diagnóstico e análise de oportunidade de melhoria em um restaurante universitário por meio da filosofia Seis Sigma." Universidade de São Paulo.
- Banuelas, Ricardo, Jiju Antony, and Martin Brace. 2005. "An application of Six Sigma to reduce waste." *Quality and Reliability Engineering International* 21 (6):553-570.
- Bjerke, Frøydis. 2002. "Statistical thinking in practice: handling variability in experimental situations." *Total Quality Management* 13 (7):1001-1014.
- Bjerke, Froydis, and Margrethe Hersleth. 2001. "Introducing statistical thinking to the food industry-facilitating and inhibiting factors." *Quality management journal* 8 (3):49-60.
- Bobbio, Florinda O. , and Paulo A. Bobbio. 1992. *Química do processamento de alimentos*. 2. ed ed. São Paulo: Varela.
- Branco, Luís. 2009. "Implementação de métodos standardizados para avaliação da capacidade de máquinas através de Cartas de Controlo." Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Brault, Réjean, and Pierre Giguère. 2003. *Comptabilité de management*: Presses Université Laval.
- Breyfogle III, Forrest W. 2003. *Implementing six sigma: smarter solutions using statistical methods*: John Wiley & Sons.
- Burr, JT. 2005. "Elementary Statistical Quality Control Second Edition." *STATISTICS TEXTBOOKS AND MONOGRAPHS* 177.
- Campêlo, Wilma Félix. 2004. "Efeito da adição de ferro e ácido nas características da qualidade do bolo."
- Campos, Vicente Falconi. 1992. "TQC: Controle da Qualidade Total (No estilo japonês)-6ª." *Edição-Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte-MG:2*.
- Canela-Raws, Sandra. 2003. *Pão: arte e ciência*.
- Caulcutt, Roland. 2001. "Why is Six Sigma so successful?" *Journal of Applied Statistics* 28 (3-4):301-306.
- Cauvin, S, and L Young. 2006. "Productos de panadería: Ciencia, Tecnología y Práctica Editorial Acribia, SA." *Zaragoza-España*.
- Clegg, Ben, MPJ Pepper, and TA Spedding. 2010. "The evolution of lean Six Sigma." *International Journal of Quality & Reliability Management* 27 (2):138-155.
- Costa, Nuno RP, António R Pires, and Celma O Ribeiro. 2006. "Guidelines to help practitioners of design of experiments." *The TQM Magazine* 18 (4):386-399.
- Crédito y Caución. 2016. Market Monitor: Focus on food performance and outlook.
- Cronin, Kevin. 1999. "A methodology for investigation into alternative packaging methods for column wrapped biscuits." *Journal of food engineering* 39 (4):379-387.
- Cronin, Kevin, and Claudia Preis. 2000. "A statistical analysis of biscuit physical properties as affected by baking." *Journal of Food Engineering* 46 (4):217-225.

- Decreto-Lei n.º 199/2008 de 8 de outubro. Diário da República, 1.ª série — N.º 195 — 8 de Outubro de 2008
- Delgado, Joaquim Duarte Barroca. 1997. "Sensibilização para a importância da Qualidade no mercado actual." *Millenium*.
- Deming, W Edwards. 1990. "Qualidade: a revolução da administração." In *Qualidade: a revolução da administração*. Marques Saraiva.
- Diretiva 76/211/CE. 2015. "Rotulagem de produtos pré-embalados." Eur-lex: EU law. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/ALL/?uri=URISERV:I32029>.
- Djekic, I, I Tomasevic, N Zivkovic, and R Radovanovic. 2013. "Types of food control and application of seven basic quality tools in certified food companies in Serbia." *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods* 5 (4):325-332.
- Dora, Manoj, Maneesh Kumar, Dirk Van Goubergen, Adrienn Molnar, and Xavier Gellynck. 2013. "Operational performance and critical success factors of lean manufacturing in European food processing SMEs." *Trends in Food Science & Technology* 31 (2):156-164.
- Duarte, Belmiro. 2011. *Gestão da Qualidade*. Coimbra: Departamento de Engenharia Química e.
- Eckes, George. 2001. *A revolução seis sigma: o método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucro*: Campus.
- Edith, Ihegwuagu Nnemeka, and Emeje Martins Ochubiojo. 2012. *Food quality control: history, present and future*: INTECH Open Access Publisher.
- Elsayed, EA. 2000. "Invited paper Perspectives and challenges for research in quality and reliability engineering." *International Journal of Production Research* 38 (9):1953-1976.
- ENEI. 2014. "Estratégia Nacional de Investigação e Inovação para uma Especialização Inteligente."
- Federico, Mary, and Renee Beaty. 2003. *Rath & Strong's Six Sigma team pocket guide*: McGraw-Hill.
- FIPA. 2016. "Dados Macroeconómicos ". <http://www.fipa.pt/estatisticas/dados-macroeconomicos-industria-alimentar>.
- FIPA. 2017. "Evolução das Exportações." <http://www.fipa.pt/estatisticas/exportacoes-e-importacoes-industria-alimentar>.
- Gabinete de Planeamento Política e Administração Geral (GPP) do Ministério da Agricultura e do Mar. 2013. [http://www.poci-competite2020.pt/destaques/detalhe/Setor\\_agroalimentar\\_COMPETE2020](http://www.poci-competite2020.pt/destaques/detalhe/Setor_agroalimentar_COMPETE2020).
- Gauri, Susanta Kumar. 2003. "Statistical process control procedures for controlling the weight of packets of biscuits." *Total Quality Management & Business Excellence* 14 (5):529-539.
- George, Michael L. 2002. *Lean Six Sigma – Combining Six Sigma Quality with Lean Production Speed*. McGraw Hill: New York, U.S.A.
- George, Michael L. 2004. *Lean Seis Sigma para Serviços*. Qualitymark: Rio de Janeiro.
- Gildeh, Bahram Sadeghpour, Azamsadat Iziy, and Bahareh Ghasempour. 2014. "ESTIMATION OF C pmk PROCESS CAPABILITY INDEX BASED ON BOOTSTRAP METHOD FOR WEIBULL DISTRIBUTION: A CASE STUDY." *International journal for quality research* 8 (2).
- Glasgow, Justin M, Jill R Scott-Caziewell, and Peter J Kaboli. 2010. "Guiding inpatient quality improvement: a systematic review of Lean and Six Sigma." *The Joint Commission Journal on Quality and Patient Safety* 36 (12):533-AP5.
- Goh, Thong N. 2002. "A strategic assessment of Six Sigma." *Quality and Reliability Engineering International* 18 (5):403-410.
- Grigg, Nigel P. 1998. "Statistical process control in UK food production: an overview." *International Journal of Quality & Reliability Management* 15 (2):223-238.
- Grigg, Nigel Peter, and Lesley Walls. 2007. "Developing statistical thinking for performance improvement in the food industry." *International Journal of Quality & Reliability Management* 24 (4):347-369.
- Harry, Mikel J. 1998. "Six Sigma: a breakthrough strategy for profitability." *Quality progress* 31 (5):60.
- Holt, Daniel T, Achilles A Armenakis, Hubert S Feild, and Stanley G Harris. 2007. "Readiness for organizational change: The systematic development of a scale." *The Journal of applied behavioral science* 43 (2):232-255.
- Hopp, Wallace J, and Mark L Spearman. 2011. *Factory physics*: Waveland Press.

- Hung, Hsiang-Chin, and Ming-Hsien Sung. 2011. "Applying six sigma to manufacturing processes in the food industry to reduce quality cost." *Scientific Research and Essays* 6 (3):580-591.
- Hwang, Michael P, and Kan-Ichi Ha Yakawa. 1980. "Bulk densities of cookies undergoing commercial baking processes." *Journal of Food Science* 45 (5):1400-1402.
- INE. 2007. "Classificação Portuguesa das Actividades Económicas Rev.3."
- INE. 2015. "Estatísticas Agrícolas 2015."
- Ishikawa, Kaoru. 1993. *Controle de qualidade total à maneira japonesa*: Campus.
- ISO 9001:2008. "Sistemas de da qualidade. Requisitos (ISO 9001:2008)." *CT 80 (APQ)*.
- Johansson, Per, Alexander Chakhunashvili, Stefano Barone, and Bo Bergman. 2006. "Variation mode and effect analysis: a practical tool for quality improvement." *Quality and reliability engineering international* 22 (8):865-876.
- Junior, A Robles. 1996. *Custos da qualidade: uma estratégia para a competição global*: Atlas.
- Juran, JM. 1999. *JM Juran's Quality Handbook*. New York: McGraw-Hill.
- Juran, Joseph, and A Blanton Godfrey. 1999. "Quality handbook." *Republished McGraw-Hill*.
- Kumar, Sameer, and Michael Sosnoski. 2009. "Using DMAIC Six Sigma to systematically improve shopfloor production quality and costs." *International Journal of Productivity and Performance Management* 58 (3):254-273.
- Kwak, Young Hoon, and Frank T Anbari. 2006. "Benefits, obstacles, and future of six sigma approach." *Technovation* 26 (5):708-715.
- Lim, Sarina Abdul Halim, Jiju Antony, and Saja Albliwi. 2014. "Statistical Process Control (SPC) in the food industry—A systematic review and future research agenda." *Trends in food science & technology* 37 (2):137-151.
- Lim, Sarina Abdul Halim, Jiju Antony, Norin Arshed, and Saja Albliwi. 2015. "A systematic review of statistical process control implementation in the food manufacturing industry." *Total Qual. Manag. Bus. Excell*:1-15.
- Linderman, Kevin, Roger G Schroeder, Srilata Zaheer, and Adrian S Choo. 2003. "Six Sigma: a goal-theoretic perspective." *Journal of Operations management* 21 (2):193-203.
- Luning, Pieter A, and Willem J Marcelis. 2006. "A techno-managerial approach in food quality management research." *Trends in Food Science & Technology* 17 (7):378-385.
- Luo, Min, Shengkui Zeng, Jianbin Guo, and Huan Tang. 2015. "Importance measure of multi-state element variation based on F-VMEA." *Reliability and Maintainability Symposium (RAMS), 2015 Annual*.
- Maache-Rezzoug, Zoulikha, Jean-Marie Bouvier, Karim Allaf, and Christian Patras. 1998. "Effect of principal ingredients on rheological behaviour of biscuit dough and on quality of biscuits." *Journal of Food Engineering* 35 (1):23-42.
- Mahesh, BP, and MS Prabhuswamy. 2010. "Process variability reduction through statistical process control for quality improvement." *International Journal for Quality Research* 1 (4):193-203.
- Maleszka, Alicja, and Magdalena Linke. 2016. "Improvement of Management Process by using Lean Six Sigma Tools in some big organisaion of Food Industry."
- Manley, Duncan. 1998a. *Biscuit, Cookie, and Cracker Manufacturing, Manual 1: Ingredients*. Vol. 1: Woodhead Publishing.
- Manley, Duncan. 1998b. *Biscuit, Cookie, and Cracker Manufacturing, Manual 4: Ingredients*. Vol. 1: Woodhead Publishing.
- Manley, Duncan. 2011. *Manley's technology of biscuits, crackers and cookies*: Elsevier.
- Mann, Robin, Oludotun Adebajo, and Dennis Kehoe. 1999. "An assessment of management systems and business performance in the UK food and drinks industry." *British Food Journal* 101 (1):5-21.
- Maxey, John, David T Rowlands, and Malcolm Upton. 2004. *The Lean Six Sigma Pocket Toolbook: A Quick Reference Guide to 70 Tools for Improving Quality and Speed*: McGraw-Hill.
- McClusky, Rob. 2000. "The rise, fall and revival of Six Sigma quality." *Measuring Business Excellence* 4 (2):6.
- McDonald, Scott, Eleni Kaditi, and Martin Banse. 2008. *Analysis of the European Food Industry*. Office for Official Publications of the European Communities.

- McFarlane, Ian. 1979. "Development of a thickness gauge for biscuits and crackers." ISA Annual Conference.
- Mi Dahlgaard-Park, Su, Roy Andersson, Henrik Eriksson, and Håkan Torstensson. 2006. "Similarities and differences between TQM, six sigma and lean." *The TQM magazine* 18 (3):282-296.
- Mitra, Amitava. 2016. *Fundamentals of quality control and improvement*: John Wiley & Sons.
- Mizuno, Sigeru 1988. *Management for Quality Improvement: The 7 New QC Tools (Productivity's Shopfloor)* Productivity Press: United States
- Módenes, Aparecido Nivaldo, Acir Martins da Silva, and Daniela Estelita Goes Trigueros. 2009. "Rheological properties evaluation of stored wheat." *Food Science and Technology (Campinas)* 29 (3):508-512.
- Montgomery, Douglas C. 1991. "Design and analysis of experiments."
- Montgomery, Douglas C. 2000. *Introdução ao controle estatístico da qualidade*: Grupo Gen-LTC.
- Montgomery, Douglas C. 2007. *Introduction to statistical quality control*: John Wiley & Sons.
- Montgomery, Douglas C. 2009. *Statistical quality control*. Vol. 7: Wiley New York.
- Nadler, David A, Marc S Gerstein, and Robert B Shaw. 1993. *Arquitetura organizacional: a chave para a mudança empresarial*: Campus.
- Orr, Stuart. 1999. "The role of quality management in manufacturing strategy: experiences from the Australian wine industry." *Total Quality Management* 10 (2):271-279.
- Owen, Mal. 2013. *SPC and continuous improvement*: Springer Science & Business Media.
- Pable, Anant, Susan Lu, and Joshua Auerbach. 2010. "Integrated qualitative/quantitative techniques for food product quality planning." *Journal of Food Quality* 33 (1):112-129.
- Paiva, Caroline Liboreiro. 2013. *Quality management: important aspects for the food Industry*: INTECH Open Access Publisher.
- Pande, Peter S, Robert P Neuman, and Roland R Cavanagh. 2001. "Estratégia seis sigma." *Rio de Janeiro: Qualitymark*.
- Pande, Peter S., Robert P. Neuman, and Roland R. Cavanagh. 2000. *The Six Sigma Way: How GE, Motorola and Other Top Companies are Honing Their Performance*. McGraw-Hill: New York.
- Perez-Wilson, Mario. 2000. *Seis Sigma: compreendendo o conceito, as implicações e os desafios*: Qualitymark.
- Petenate, Ademir José. 1995. "Utilização do Método de Taguchi na Redução dos custos de Projetos." Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC.
- Portaria 1198/91 de 18 dezembro.: Diário da República, 1.ª série - B. N.º291 - 18-12-1991.
- Pysdek, T, and P Keller. 2003. *The six sigma handbook: a complete guide for green belts, black belts, and managers at all levels*. McGraw-Hill New York, NY.
- Roes, Kit CB, Ronald JMM Does, and Yvonne Schurink. 1993. "Shewhart-type control charts for individual observations." *Journal of Quality Technology* 25 (3):188-198.
- Rooney, J. 2007. "10 Quality Basics." *Quality Progress*:25-35.
- Rotondaro, Roberto G. 2002. "Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços." *São Paulo: Atlas*.
- Samohyl, Robert Wayne. 2009. *Controle estatístico de qualidade*: Elsevier.
- Schonberger, Richard. 1988. *Fabricação classe universal: as ligações de simplicidade ampliadas*: Pioneira.
- Schroeder, Roger G, Kevin Linderman, Charles Liedtke, and Adrian S Choo. 2009. "Six Sigma: Definition and underlying theory." *Quality control and applied statistics* 54 (5):441-445.
- Shewhart, Walter Andrew. 1931. *Economic control of quality of manufactured product*: ASQ Quality Press.
- SISAB. 2017. "Setor Agro-alimentar." [http://www.sisab.pt/website/pt/setor\\_aa.html](http://www.sisab.pt/website/pt/setor_aa.html).
- Snee, Ronald D. 2010. "Lean Six Sigma—getting better all the time." *International Journal of Lean Six Sigma* 1 (1):9-29.
- Sousa, Rui, and Christopher A Voss. 2002. "Quality management re-visited: a reflective review and agenda for future research." *Journal of operations management* 20 (1):91-109.
- Stamatis, Dean H. 2003. *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution*: ASQ Quality Press.

- Sumnu, Servet Gulum, and Serpil Sahin. 2008. *Food engineering aspects of baking sweet goods*: CRC Press.
- Surak, John G. 1999. "Quality in commercial food processing." *Quality progress* 32 (2):25.
- Tay, Kiang-Meng, and Clive Butler. 1999. "Methodologies for experimental design: A survey, comparison, and future predictions." *Quality Engineering* 11 (3):343-356.
- Thor, Johan, Jonas Lundberg, Jakob Ask, Jesper Olsson, Cheryl Carli, Karin Pukk Härenstam, and Mats Brommels. 2007. "Application of statistical process control in healthcare improvement: systematic review." *Quality and Safety in Health Care* 16 (5):387-399.
- Tomic, Nikola, and Andreja Rajkovic. 2014. "Statistical Process Control in Serbian food packaging."
- Trienekens, Jacques, and Peter Zuurbier. 2008. "Quality and safety standards in the food industry, developments and challenges." *International Journal of Production Economics* 113 (1):107-122.
- Truscott, William T, and William G Truscott. 2003. *Six sigma: Continual improvement for business: A practical guide*: Routledge.
- Van der Spiegel, M, PA Luning, GW Ziggers, and WMF Jongen. 2003. "Towards a conceptual model to measure effectiveness of food quality systems." *Trends in Food Science & Technology* 14 (10):424-431.
- Werkema, Maria Cristina. 1996. *Avaliação da Qualidade de Medidas*. 1 ed. ed: Belo Horizonte: FCO.
- Werkema, Maria Cristina Catarino. 1995. "As ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos." In *As ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos*. Editora DG.
- Zu, Xingxing, Tina L Robbins, and Lawrence D Fredendall. 2010. "Mapping the critical links between organizational culture and TQM/Six Sigma practices." *International journal of production economics* 123 (1):86-106.

## ANEXO A: Classificação CAE do grupo 10 e respetivo volume de vendas

GRUPO*	CLASSE**	SUBCLASSE	DESIGNAÇÃO
		10411	Produção de óleos e gorduras animais brutos
		10412	Produção de azeite
		10413	Produção de óleos vegetais brutos (excepto azeite)
		10414	Refinação de azeite, óleos e gorduras
	1042	10420	Fabricação de margarinas e de gorduras alimentares similares
105			Indústria de lacticínios
	1051	10510	Indústrias do leite e derivados
	1052	10520	Fabricação de gelados e sorvetes
106			Transformação de cereais e leguminosas; fabricação de amidos, de féculas e de produtos afins
	1061		Transformação de cereais e leguminosas
		10611	Moagem de cereais
		10612	Descasque, branqueamento e outros tratamentos do arroz
		10613	Transformação de cereais e leguminosas, n.e.
	1062	10620	Fabricação de amidos, féculas e produtos afins
107			Fabricação de produtos de padaria e outros produtos à base de farinha
	1071		Panificação e pastelaria
		10711	Panificação
		10712	Pastelaria
	1072	10720	Fabricação de bolachas, biscoitos, tostas e pastelaria de conservação
	1073	10730	Fabricação de massas alimentícias, cuscuz e similares
108			Fabricação de outros produtos alimentares
	1081	10810	Indústria do açúcar

Figura 44 - Classificação CAE do grupo 10 (fonte: INE (2007))

Análise de Variabilidade num Processo Industrial de Produção de bolachas

Divisão 10

Indústrias alimentares

Portugal		2015					
CAE Rev.3	Designação	Unid. Ativ. Econ. n°	Vendas de Produtos				Prestação de Serviços
			Total	Mercado Nacional	União Europeia	Países Terceiros	
Euros							
<b>10</b>		<b>7.373</b>	<b>10.241.994.584</b>	<b>8.379.465.802</b>	<b>1.402.914.545</b>	<b>459.614.237</b>	<b>158.182.120</b>
1010	Abate de gado (produção de carne)	114	861055.205	764.009.750	64.201.220	32.844.235	26.220.784
10120	Abate de aves (produção de carne)	38	688.378.742	665.145.700	17.741.477	5.491.565	1.880.373
10130	Fabricação de produtos à base de carne	361	626.500.702	507.796.856	54.774.942	63.928.904	252.651
10200	Preparação e conservação de peixes, crustáceos e moluscos	108	924.279.993	601034.943	206.506.568	116.738.482	15.103.956
10310	Preparação e conservação de batatas	20	114.826.186	92.650.733	19.136.984	3.038.469	11632.331
10320	Fabricação de sumos de frutos e de produtos	15	148.562.178	120.907.920	6.143.736	2.1510.522	0
10391	Congelamento de frutos e de produtos hortícolas	7	91108.308	13.452.709	76.122.981	1.532.618	274.583
10392	Secagem e desidratação de frutos e de produtos hortícolas	3	...	...	...	...	...
10393	Fabricação de doces, compotas, geleias e marmelada	112	11063.991	8.379.355	1.368.987	1315.649	791
10394	Descasque e transformação de frutos de casca rija comestíveis	32	74.702.394	45.803.718	27.323.161	1575.515	3.980
10395	Preparação e conservação de frutos e de produtos hortícolas para outros processos	77	467.585.089	191.112.034	208.183.111	68.289.944	8.086.782
10411	Produção de óleos e gorduras animais brutos	4	17.082.143	7.292.283	1.355.897	8.433.963	0
10412	Produção de azeite	331	355.872.405	211934.343	143.528.011	410.051	5.951.800
10413	Produção de óleos vegetais brutos (exceto azeite)	20	412.065.880	375.374.387	36.691.493	0	21.326.874
10414	Refinação de azeite, óleos e gorduras	5	96.835.359	77.690.833	15.856.433	3.288.093	16.650.012
10420	Fabricação de margarinas e de gorduras alimentares similares	2	46.479.720	34.407.060	11.466.978	605.682	0
10510	Indústrias do leite e derivados	270	1.175.476.872	1.098.354.508	47.806.604	29.315.760	1.005.369
10520	Fabricação de gelados e sorvetes	36	52.051.214	23.500.612	26.198.840	2.351.762	75.144
10611	Moagem de cereais	149	289.439.424	269.719.724	11.301.831	8.417.869	129.000
10612	Descasque, branqueamento e outros tratamentos do arroz	11	135.084.688	105.294.418	21.229.724	8.560.546	272.647
10613	Transformação de cereais e leguminosas, n.e.	15	79.367.015	71.541.765	5.743.896	2.081.354	27.226
10620	Fabricação de amidos, féculas e produtos afins	1	...	...	...	...	...
10710	Panificação e pasteleria	4.761	1.035.318.177	986.295.906	48.106.201	916.070	29.001.391
10720	Fabricação de bolachas, biscoitos, tostas e pasteleria de conservação	256	241.401.000	144.694.619	80.395.057	16.311.324	16.144.326
10730	Fabricação de massas alimentícias, cuscuz e similares	8	70.500.634	66.273.725	4.226.909	0	0
10810	Indústria do açúcar	8	168.353.797	102.568.903	54.789.807	10.995.087	2.108.516
10821	Fabricação de cacau e de chocolate	24	26.713.981	20.724.474	2.247.570	3.741.937	0
10822	Fabricação de produtos de confeitaria	114	610.399.569	43.107.369	14.503.688	3.428.512	143.213
10830	Indústria do café e do chá	45	344.120.021	276.056.553	54.560.754	13.502.714	460.800
10840	Fabricação de condimentos e temperos	29	65.639.027	47.095.595	12.859.335	5.684.097	31.320
10850	Fabricação de refeições e pratos pré-cozinhados	113	42.209.481	39.070.588	1.353.214	1.785.679	306.865
10860	Fabricação de alimentos homogeneizados e dietéticos	10	72.154.740	34.369.146	25.489.456	12.296.138	0
10891	Fabricação de fermentos, leveduras e adjuvantes para a panificação e pasteleria	10	25.646.877	8.056.555	11.860.140	5.730.182	85.677
10892	Fabricação de caldos, sopas e sobremesas	12	39.727.037	25.203.636	14.448.380	75.021	0
10893	Fabricação de outros produtos alimentares diversos, n.e.	157	115.101.230	89.740.685	24.087.864	1.272.681	2.175
10910	Fabricação de alimentos para animais de criação	87	1.171.459.508	1.145.954.022	23.717.950	1.787.536	901.556
10920	Fabricação de alimentos para animais de companhia	8	53.975.949	39.674.933	13.488.108	812.908	10.1978

Figura 45 - Volume de vendas de produtos do grupo 10 (fonte: INE (2015))

## ANEXO B: Cronograma do projeto

Tabela 16 - Cronograma do projeto Excesso de Peso

	<i>Março</i>			<i>Abril</i>				<i>Maió</i>				<i>Junho</i>					
<i>Entregável</i>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>
<i>1. Caracterização Situação Atual</i>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>													
<i>1.2. Estudo Processo</i>			<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>											
<i>1.3. Definição Variáveis</i>						<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>									
<i>1.4. Parametrização e Controlo Estatístico do Processo</i>								<b>W</b>	<b>D</b>	<b>W</b>	<b>D</b>	<b>W</b>					
<i>2. Definição e teste de soluções</i>												<b>W</b>	<b>W</b>	<b>D</b>	<b>S</b>		
<i>3. Normalização</i>												<b>W</b>	<b>W</b>	<b>S</b>			
<i>3.1. Treino dos operadores</i>													<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>

## ANEXO C: Controlo metrológico de produtos pré-embalados

### Decreto-Lei n.º 199/2008 de 8 de outubro

O artigo 1.º do presente decreto-lei define as condições gerais de comercialização e estabelece as regras relativas às quantidades nominais dos produtos pré-embalados, destinados à comercialização em quantidades ou capacidades nominais unitárias iguais ou superiores a 5 g ou 5 ml e iguais ou inferiores a 10 kg ou 10 l. O regime jurídico aplicado diz não só respeito à uniformização das quantidades e das capacidades nominais, mas também à identificação dos responsáveis pelo seu cumprimento e à possibilidade de incorporação do símbolo CEE nos produtos que são acondicionados em Portugal.

### Portaria 1198/91 de 18 dezembro

Respeitante ao regulamento do controlo metrológico das quantidades destes produtos, este decreto define as condições gerais de comercialização. Mediante a verificação recorrendo a métodos estatísticos, exercer-se controlo sobre o conteúdo efetivo dos pré-embalados da amostra e sobre a média desse conteúdo. Os erros admissíveis por defeito nos conteúdos efetivos encontram-se na Tabela 17, pelo que, quanto a este tema, a legislação não define erros admissíveis por excesso.

Tabela 17 – Erros admissíveis por defeito nos conteúdos efetivos (Fonte: adaptado de Portaria 1198/91 de 18 dezembro. )

<i>Quantidade nominal (grama ou mililitro)</i>	<i>Erros admissíveis por defeito</i>	
	<b>Porcentagem</b>	<b>Em massa ou volume (grama ou mililitro)</b>
<i>Até 50</i>	9,0	-
<i>De 50 a 100</i>	-	4,5
<i>De 100 a 200</i>	4,5	-
<i>De 200 a 300</i>	-	9
<i>De 300 a 500</i>	3	-
<i>De 500 a 1000</i>	-	15
<i>De 1000 a 10000</i>	1,5	-
<i>De 10000 a 15000</i>	-	150
<i>Superior a 15000</i>	1	-

É necessário assegurar que, no máximo, apenas 2,5% dos produtos apresentam um peso inferior à diferença do valor nominal pelo respetivo erro admissível por defeito.

## ANEXO D: O porquê de Six Sigma

Segundo Montgomery (2007), a letra  $\sigma$ , sigma, do alfabeto grego é o símbolo usado na linguagem estatística para representar o desvio padrão de uma população, medida da dispersão dos dados em relação à média aritmética. Em distribuições normais, a área sob a curva entre a média e um ponto arbitrário é função do número de desvios padrões entre a média e aquele ponto, permitindo calcular probabilidades. Se uma variável tem distribuição normal, cerca de 68,26% de seus valores encontram-se no intervalo de  $\pm 1\sigma$  (um desvio padrão a contar de cada lado da média), cerca de 95,46% no intervalo de  $\pm 2\sigma$  e aproximadamente 99,73% dentro de  $\pm 3\sigma$ , conforme ilustrado na Figura 46.

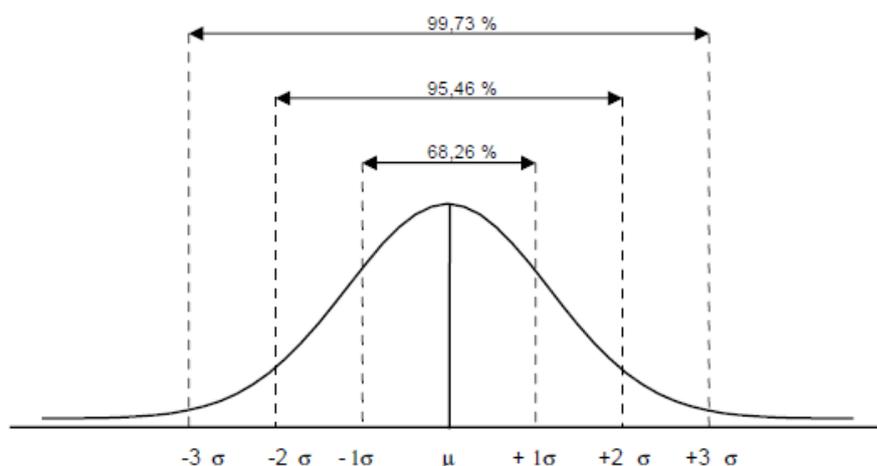


Figura 46 - Distribuição normal (fonte: Baba (2008)).

O sigma, ou o desvio padrão, é calculado pela equação D.1:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (\text{D.1})$$

Onde:

$x_i$ , é o valor do  $i$ ésimo elemento da amostra,  
 $\bar{x}$ , é a média aritmética da amostra, e  
 $n$ , é o número total de elementos da amostra

Desta forma, utilizando-se especificações equivalentes a  $\pm 3\sigma$ , tem-se uma conformidade de aproximadamente 99,73% dos processos ou produtos. Quando utilizadas especificações próximas de  $\pm 6\sigma$ , o resultado encontra-se perto de zero defeitos. Baseado na distribuição normal, um processo equivalente a  $\pm 6\sigma$  apresenta 99,(9)% de conformidade, correspondendo apenas a 0,002 falhas por milhão. Não obstante, é comum encontrar-se na literatura o Six Sigma associado a uma taxa de 3,4 defeitos por milhão de oportunidades (DPMO) e a 3,4 ppm (partes por milhão) (Eckes 2001). Segundo Rotondaro (2002), um processo Six Sigma representa uma redução da variação numa taxa de 3,4 falhas por milhão ou 99,(9)% de perfeição.

Perez-Wilson (2000) explica que esta divergência decorre do facto da Motorola ter afirmado num dos seus documentos que um processo Six Sigma apresenta, no limite, 3,4 falhas por milhão. Um processo desta metodologia seria robusto mesmo com uma variação significativa de  $1,5\sigma$  em torno da média, não sendo percebida a diminuição na qualidade que, na pior das hipóteses, passaria de zero (0.002 ppm) para 3,4 defeitos a cada milhão. Assim, um processo Six Sigma admite a existência de uma oscilação em torno da média até  $1,5\sigma$ , ficando próximo de  $\pm 4,5\sigma$  no longo prazo. A Figura 47 representa um destes processos com um deslocamento da média e a Tabela 18 apresenta a correspondência entre o nível sigma de qualidade e a correspondente taxa de defeitos (DPMO). Os limites de especificação do projeto encontram-se

representados pelos limites inferior (LIE) e superior (LSE) de especificação. Quando excedidos, depende-se que o produto falhou nas exigências do seu projeto.

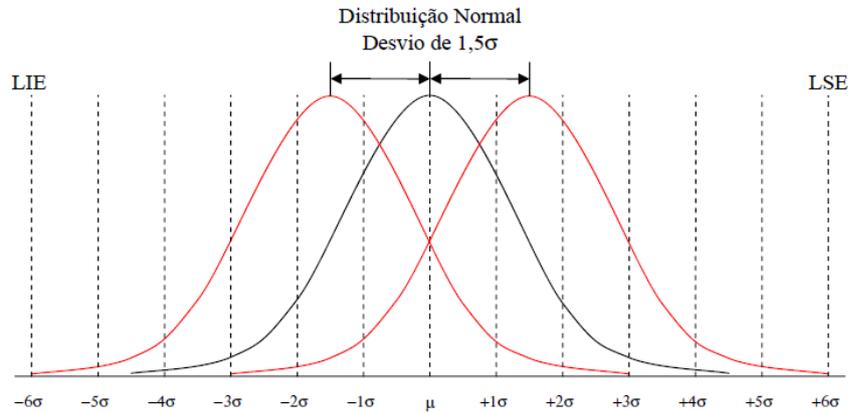


Figura 47 - Representação do deslocamento de  $1,5\sigma$  da média do processo (fonte: adaptado de: Baba (2008)).

Tabela 18 - Distribuição normal centralizada/descentralizada versus qualidade sigma (fonte: adaptado de Perez-Wilson (2000)).

Distribuição Normal Centralizada			Distribuição Normal Descentralizada		
Processo	Conformidade (%)	ppm	Processo	Conformidade (%)	DPMO
1σ	68,26	317,3	1σ	30,23	697,7
2σ	95,45	45,5	2σ	69,14	308,538
3σ	99,73	2,7	3σ	93,32	66,807
4σ	99,9937	63	4σ	99,379	6,21
5σ	99,999943	0,57	5σ	99,9767	233
6σ	99,9999998	0,002	6σ	99,99966	3,4

O processo da Tabela 18, correspondente à distribuição normal centralizada, exibe o número de sigma do processo, o percentual de conformidade à especificação e o número de defeitos baseados na distribuição normal. Na parte da direita - distribuição normal descentralizada - são apresentados os valores que dizem respeito a um deslocamento da média no longo prazo. Pode-se observar que um processo Six Sigma apresenta apenas 0,002 DPMO, se centralizado, e 3,4 DPMO considerando o deslocamento da média em  $1,5\sigma$ . A utilização da métrica sigma permite a padronização de diferentes características de desempenho, possibilitando classificar e comparar processos, procedimentos e equipamentos distintos.

Tal como explicado por Perez-Wilson (2000), ppm e DPMO têm significados distintos. Ao passo que a medida ppm se refere ao número de produtos defeituosos por milhão, o DPMO permite avaliar o desempenho de diversas operações pelos seus defeitos, apoiando-se também na complexidade. Uma operação é tão mais complexa quantas mais oportunidades de defeito por unidade existirem. Assim, mede o total de defeitos em um milhão de unidades, dividido pelo total de oportunidades de defeitos.

## ANEXO E: Benefícios, limitações e barreiras da implementação do CEP na indústria alimentar

Benefícios	Exemplos/Explicações	Referências
Redução de produtos não conformes	Redução da variação do processo	Scott et al. (2009), Alsaleh (2007), Grigg & Walls (2007a), Grigg & Walls (2007b), Kourti (2005), Tokatli et al. (2005), Knowles et al. (2004), Daniels (2005), Gauri (2003), Grigg (1998)
	Aumento da consistência do produto	
Segurança alimentar garantida	Diminuição do risco de produtos retirados do mercado	Hayes et al. (1997), Tokatli et al. (2005), Aastveit et al. (2005), Ashton (2005), Augustin and Minvielle (2008), Mataragas et al. (2012), Alsaleh et al. (2007)
	Controlo da vida útil do produto	
	Controlo do nível de contaminação microbiológico	
Melhoria da poupança de custos	Redução do desperdício do processo	Mazu & Conklin (2012), Hung & Sung (2011), Knowles et al. (2004), Daniels (2005), Gauri (2003), Grigg (1998)
	Redução do retrabalho	
	Redução do número de inspetores	
Melhoria da visibilidade e compreensão do processo	Mais informações podem ser extraídas através do: (I) Comportamento do processo (II) Estabilidade do processo (III) Sinais de aviso de não conformidade	Hung & Sung (2011), Hersleth & Bjerke (2001), Srikaeo & Hourigan (2002), Ittzes (2001), Grigg & Walls (2007b), Hayes et al. (1997)
Melhoria do processo de tomada de decisão	Distinção do tipo de variação do processo	Mazu and Conklin (2012), Pable et al. (2010), Azevedo et al. (2005), Tokatli et al. (2005), Hersleth and Bjerke (2001), Orr (1999)
	Capacidade de identificar o dia/hora que o processo encontra-se fora de controlo para ação corretiva	
	Facilidade em identificar áreas de melhoria	
	Evolução da comunicação entre os processos e os atores	
Vantagem competitiva	O CEP melhora a consistência dos produtos de qualidade	Grigg and Walls (2007a), Grigg and Walls (2007b), Knowles et al. (2004), Psomas and Fotopoulos (2010), Alsaleh (2007)
	O CEP é capaz de fortalecer a sobrevivência no mercado global	
	A aprendizagem contínua através do CEP melhora a vantagem competitiva das organizações	
Maior satisfação do cliente	Os produtos podem satisfazer os clientes (consumidores e retalhistas) através da produção contínua de produtos de qualidade, fruto da aplicação do CEP	Peraza et al. (2014), Alsaleh (2007), Gauri (2003), Grigg (1998)
	Redução do número de reclamações de clientes	
Redução da oferta de produto ou subenchimento	Diminuição de rejeições e enchimentos desnecessários de alimentos	Grigg, Daly, and Stewart (1998), Gauri (2003)

Figura 48 - Benefícios da implementação do CEP na indústria alimentar (fonte: adaptado de Lim et al. (2015))

Limitações	Exemplos/Explicações	Referências
Falta de ferramentas de <i>Statistical Thinking</i>	Tomada de decisão baseada em dados não é uma prática habitual na indústria alimentar	Dora et al. (2013b), Grigg and Walls (2007b), Hersleth and Bjerke (2001), Gauri (2003)
Complexidade do CEP	O CEP é percecionado como sendo bastante avançado para a indústria alimentar	Paiva (2013), Srikaeo et al. (2005), Buco (1990)
	Aplicação de cartas de controlo é muito desafiante para os operadores de fábrica interpretarem	
Inexistência de manuais com capacidade de compreensão do processo de fabrico de determinados produtos alimentares	Manuais disponíveis dentro da indústria alimentar demasiado complicados para aplicação real no processo de produção alimentar	Grigg (1998), Gauri (2003), Grigg and Walls (2007b), Psomas and Fotopoulos (2010)
	Os parâmetros de qualidade dependem de múltiplos fatores, aumentando o tempo necessário para a ação corretiva	
Técnica dispendiosa	O CEP é considerado uma opção de luxo devido à formação e requisitos do software	Alsaleh (2007), Gough (1989)

Figura 49 – Limitações na implementação do CEP na indústria alimentar (fonte: adaptado de Lim et al. (2015))

<b>Barreiras</b>	<b>Exemplos/Explicações</b>	<b>Referências</b>
Resistência à mudança	Recusa da empresa para a utilização de técnicas de melhoria contínua	Dora et al. (2013a), Jha et al. (1999), Hersleth & Bjerke (2001), Srikaeo et al. (2005), Hung & Sung (2011)
	Medo de falhar	
Falta de conhecimento estatístico	Falta de experiência no uso de técnicas estatísticas avançadas	Alsaleh (2007), Hersleth & Bjerke (2001), Bidder (1990), Hung & Sung (2011), Grigg (1998)
Falta de suporte da gestão	Resistência em proporcionar recursos suficientes	Grigg & Walls (1999), Srikaeo et al. (2005), Jha et al. (1999), Hersleth & Bjerke (2001)
	Falta de conscientização da gestão no uso do CEP	
	Falta de reconhecimento das atividades de melhoria como sendo uma prioridade	
	Desconhecimento do valor do CEP	
Falta de motivação para o envolvimento dos colaboradores		
Falta de um sistema mensurável	Incapacidade de percepção das vantagens de um sistema de medição capaz	Srikaeo et al. (2005), Gauri (2003), Grigg (1998)
Falta de normalização	Inexistência de um manual prático para a indústria alimentar implementar o CEP	Grigg (1998), Grigg & Walls (2007a)
Falta de poder dos colaboradores	Inquéritos demonstram que as companhias alimentares não recebem sugestões ou opiniões dos colaboradores para os propósitos de melhoria da qualidade	Hersleth & Bjerke (2001), Grigg (1998)
Falta de treino dos colaboradores	Um estudo levado a cabo identificou o abandono da técnica CEP pela falta de conhecimento no seu uso	Hung & Sung (2011), Grigg (1998), Grigg & Walls (2007b)
	Muitas das técnicas estatísticas são entendidas como sendo muito avançadas para a falta de treino dos colaboradores neste setor	Hung & Sung (2011)

Figura 50 - Barreiras na implementação do CEP na indústria alimentar (fonte: adaptado de Lim et al. (2015))

## ANEXO F: *Layout* da Unidade da linha F

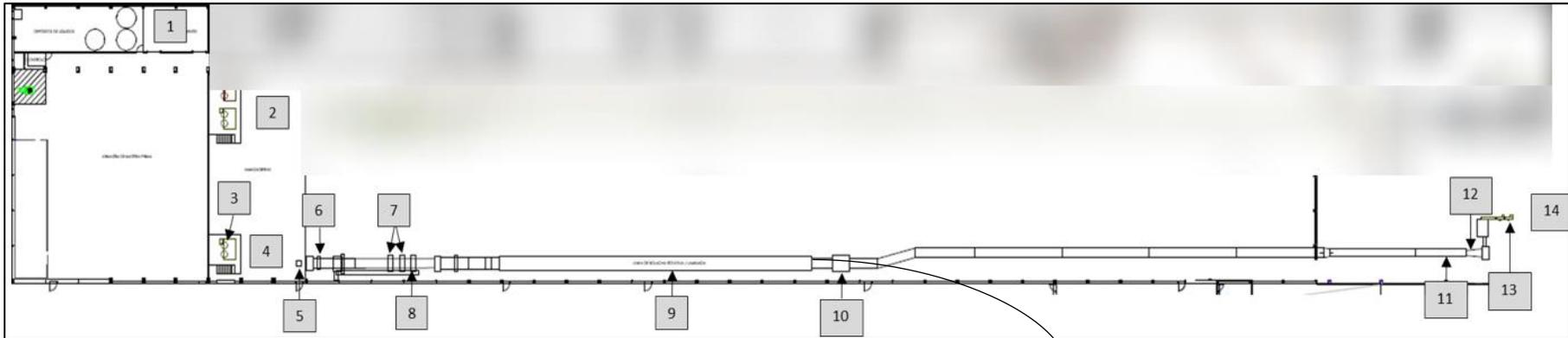


Figura 51 – Layout da unidade da linha F

1. Pesagem dos ingredientes;
2. Transporte dos ingredientes;
3. Amassagem;
4. Transporte da massa;
5. Moega;
6. Laminador vertical;
7. Laminadores horizontais;
8. Cunhagem;
9. Forno;
10. Empilhamento;
11. Recuperação de produto;
12. Empacotamento;
13. Enchimento caixas;
14. Paletização



## ANEXO G: Dados recolhidos dos testes de R&amp;R

Tabela 19 - Pesagem de 3 pacotes (em g), efetuada por 3 operadores

	<b>Operador T1</b>	<b>Operador T2</b>	<b>Operador T3</b>
<b>Pacote A</b>	210,1	210,1	210,1
	210,1	210,1	210,1
	210,1	210,2	210,2
	210,1	210,1	210,1
	210,1	210,1	210,1
<b>Pacote B</b>	205,9	205,9	205,9
	205,9	205,9	205,9
	205,9	205,9	205,9
	205,9	205,9	205,9
	205,9	205,9	205,9
<b>Pacote C</b>	222,5	222,5	222,5
	222,5	222,5	222,5
	222,5	222,5	222,5
	222,5	222,5	222,5
	222,5	222,5	222,5

Tabela 20 – Medição da espessura de 3 pacotes (em mm), efetuada por 3 operadores

	<b>Operador T1</b>	<b>Operador T2</b>	<b>Operador T3</b>
<b>Bolacha X</b>	5,74	5,88	5,8
	5,75	6,31	5,71
	5,71	5,79	5,76
	5,71	5,69	5,83
	5,58	5,94	5,7
<b>Bolacha Y</b>	5,81	5,67	5,75
	5,96	6,07	5,84
	6,34	5,68	5,91
	6,29	5,88	5,86
	6,29	5,85	5,81
<b>Bolacha Z</b>	5,81	6,04	5,79
	5,76	5,67	5,73
	5,59	5,68	5,77
	5,74	5,86	5,75
	5,69	5,74	5,64

## ANEXO H: Sessões de *Brainstorming*

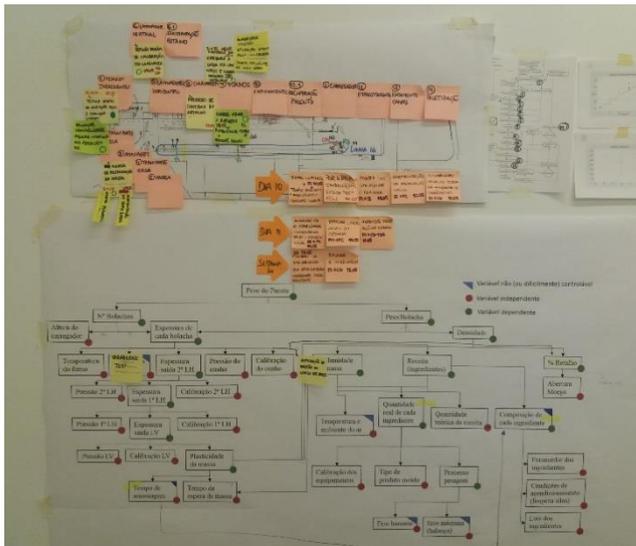


Figura 52 - Avaliação do processo e das suas variáveis



Figura 53 - Ponto de situação do projeto e plano semanal



Figura 54 – Comunicação dos desenvolvimentos e delineamento das próximas sessões

## ANEXO I: Eficiência da linha F por turno e por mês

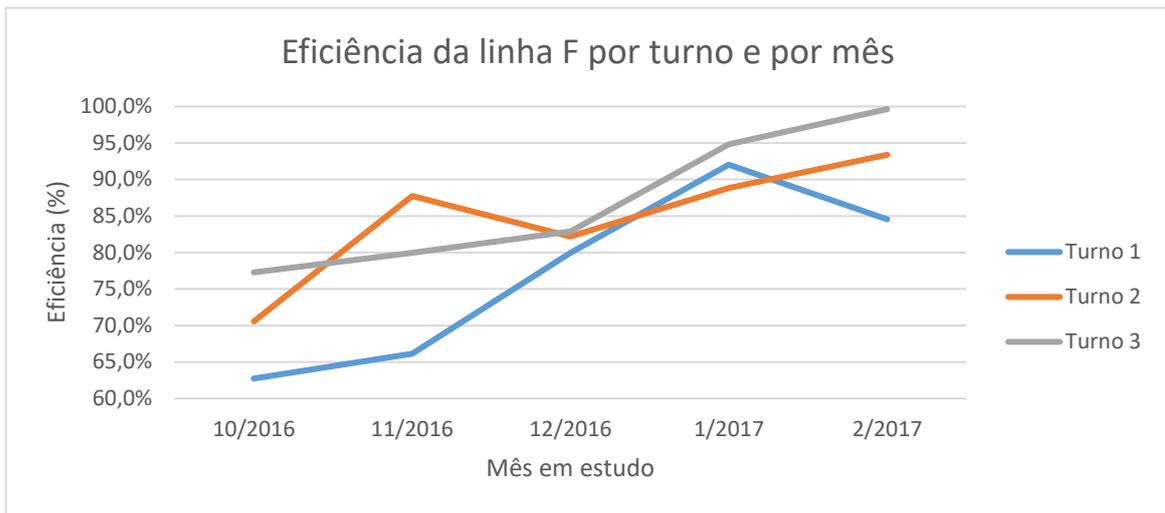


Figura 55 - Representação gráfica da eficiência da linha F

ANEXO J: F-VMEA

F - VMEA: Failure - Variation Mode and Effect Analysis													
Função	KPC	Key soft failure mode	Sensibilidade do KPC a Sub-KPC ( $\mu$ )	Categories of noise factor	Sensibilidade do Sub-KPC a NF ( $\lambda$ )	Key noise factor	NF ( $\sigma$ )	VRPN ijk	Causa Potencial	Controlos actuais	Acções recomendadas	Acção executada	Responsável (por motivos de confidencialidade foram atribuídos nomes fictícios)
Pesagem	Preparação da receita	Massas com diferentes características	10	Diferenças entre a quantidade pesada de matérias-primas e o valor da receita	7	Erro Humano	2	140	Falta de normalização e controlo	Folhas de registo	Delimitações nos recipientes de pesagem; Desenvolvimento da norma	Ações recomendadas	Autor & Isabel
				Diferenças entre a quantidade de açúcar e farinha face ao valor da receita	10	Precisão do silo	10	1000	Acúmulo de açúcar e farinha proveniente da concentração local de poeira	Sem controlo	Verificação de anomalias técnicas; Programação do silo para um descarregamento mais lento; Caso persistam diferenças significativas, realizar o descarregamento por defeito, sendo realizado o ajuste manual dos ingredientes; Desenvolvimento da norma	Ações recomendadas	Autor & Isabel
		Massa com diferentes produtos	10	Inclusão de diferentes tipos e quantidades de produto moído	8	Stock de produto moído provocado por problemas no embalamento e/ou pela rejeição do produto	8	640	Falta de padronização das quantidades e do tipo de produto; Falta de conhecimento do seu contributo para o peso	Sem controlo	Retirar o produto moído da receita ou incluir a mesma quantidade em todas as preparações	Inclusão da mesma quantidade de produto moído em todas as preparações ao longo de uma semana; Produto moído apenas respeitante ao mesmo tipo de produto	Autor & Isabel

(Continua na página seguinte)

Análise de Variabilidade num Processo Industrial de Produção de bolachas

Amassadeira	Características da massa	Diferenças nos tempos de espera das massas	7	Massas com diferentes propriedades	8	Experiência dos operadores	9	504	Falta de padronização	Visual	Preparação da nova massa após a entrada do último carro na moega; Desenvolvimento de uma norma	Ações recomendadas	Autor & Isabel	
			6	Variações nas temperaturas de saída da massa	4	Frequência e velocidade de rotação da amassadeira	3	72	Falta de controlo da temperatura	Sem controlo	Normalização do tempo de amassagem	Ações recomendadas	Rodrigo	
		Variações na % de humidade das massas		1	Quantidade de água	3	18	Falta de controlo da humidade	Sem controlo					
		10	Consistência da massas	10	Diferenças nos tempos de amassagem	10	Experiência dos operadores	10	1000	Falta de padronização	Sem controlo	Criação de uma norma visual para a normalização do tempo de amassagem; Perante a deteção no aspeto da massa de um tempo superior, o operador reporta essa ocorrência na folha de acompanhamento do processo	Ações recomendadas	Autor & Rodrigo
				4	Diferenças no ambiente externo	Temperatura do ar	3	120	Falta de instrumentos de controlo	Sem controlo	Equipamento de controlo do ar	Sem ação desencadeada por motivos económicos	-	
Humidade do ar	3	120												
Laminadores & Cunho	Formação da espessura de massa	Variações na parametrização dos equipamentos	10	Heterogénea distribuição do retalho	10	% de distribuição do retalho	8	800	Falta de conhecimento; Falta de normalização e controlo	Inspeção visual	Estudo da variável; Normalização dos parâmetros de referência	Ações recomendadas	Autor	
					8	Espessura de massa	8	800					Autor	
			10	Diferenças no peso das bolachas (em massa) na transversal do tapete	10	Falta de afinação/calibração dos equipamentos	10	1000	Falta de conhecimento para realizar a análise	Sem controlo	Conhecimento estatístico do parâmetro; Normalização dos parâmetros de referência	Ações recomendadas	Autor	
Forno	Cozedura da massa	Variações na parametrização do forno	10	Diferenças nas temperaturas de cozedura	10	Temperatura por zona	8	800	Falta de um intervalo de parametrização mais curto	Folhas de registo	Normalização dos parâmetros de referência; Sensibilização dos operadores	Ações recomendadas	Autor & Francisco	
				Heterogénea distribuição do calor superior e inferior	7	% de distribuição	5	350	Falta de um intervalo de parametrização mais curto e de conhecimento dos operadores da influência dos parâmetros	Sem controlo	Normalização dos parâmetros de referência; Sensibilização dos operadores	Ações recomendadas	Autor & Francisco	

(Continua na página seguinte)

Recuperação de bolacha	Incorporação de bolachas na linha	Variabilidade do peso e do número de bolachas por pacote	10	Incorporação de diferentes tipos de bolachas	10	Stock de produto moído provocado por problemas no embalamento e/ou pela rejeição do produto	7	700	Falta de conhecimento do seu contributo para o peso	Sem controlo	Incorporação de bolacha após redução da variabilidade do processo; Reduzida a variabilidade, incorporação de bolacha que seja respeitante à mesma quantidade de produto moído	Ações recomendadas	Manuel
Após o Forno	Conformidade do produto	Problemas na máquina controladora de peso	10	Errada leitura do peso dos pacotes	10	Padrão de erro nos registos de peso obtidos	10	1000	Avaria do equipamento	Sem controlo	Reparação do equipamento; Após reparação, acesso aos dados para posterior tratamento estatístico da informação	Ações recomendadas	Autor, Luís & Fornecedor
		Rejeição de pacotes	10	Rejeição de pacotes com peso conforme	10	Definição errada dos parâmetros da máquina controladora de peso	9	900	Limites de rejeição e da tara mal definidos	Sem controlo	Definição dos limites de rejeição para cada referência; Atualização da tara;	Ações recomendadas	Autor

Figura 56 – F-VMEA construído em dinâmica de grupo

## ANEXO K: Ciclo SDCA integrado no plano de normalização

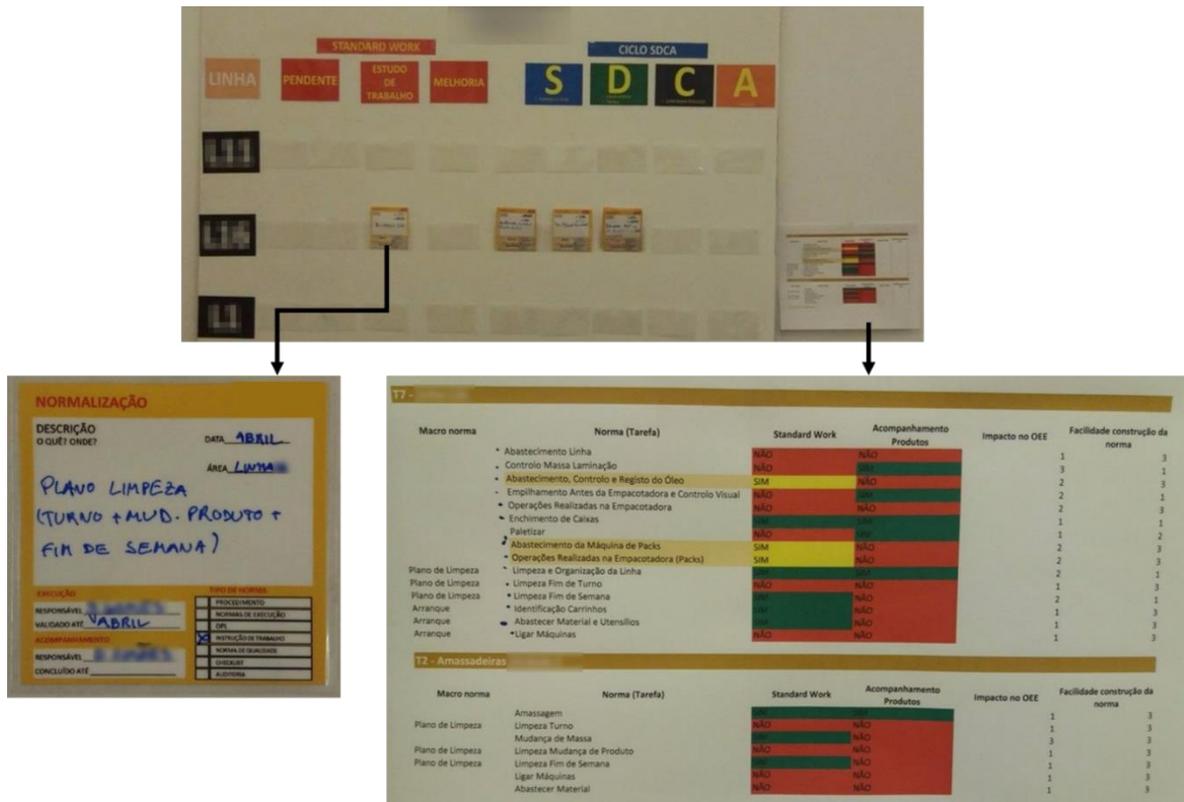


Figura 57 - Processo de criação de todas as normas



Figura 58 - Norma associada à distribuição do retalho

## ANEXO L: Espaço das pesagens: antes e depois dos 5S



Figura 59 – Armário das pesagens antes dos 5S



Figura 60 – Armário das pesagens depois dos 5S

Por motivos de confidencialidade, o restante espaço não é apresentado.

**ANEXO M: Dados para o planeamento experimental**

Tabela 21 - Ordem de recolha das amostras para o planeamento experimental

<b>StdOrder</b>	<b>RunOrder</b>	<b>PtType</b>	<b>Blocks</b>	<b>Açúcar</b>	<b>Farinha</b>
<b>4</b>	1	1	1	85	420
<b>5</b>	2	1	1	85	425
<b>7</b>	3	1	1	91	420
<b>2</b>	4	1	1	79	425
<b>6</b>	5	1	1	85	430
<b>8</b>	6	1	1	91	425
<b>3</b>	7	1	1	79	430
<b>1</b>	8	1	1	79	420
<b>9</b>	9	1	1	91	430
<b>12</b>	10	1	2	79	430
<b>15</b>	11	1	2	85	430
<b>17</b>	12	1	2	91	425
<b>16</b>	13	1	2	91	420
<b>10</b>	14	1	2	79	420
<b>14</b>	15	1	2	85	425
<b>11</b>	16	1	2	79	425
<b>18</b>	17	1	2	91	430
<b>13</b>	18	1	2	85	420

## ANEXO N: Amostras de cor da bolacha Maria

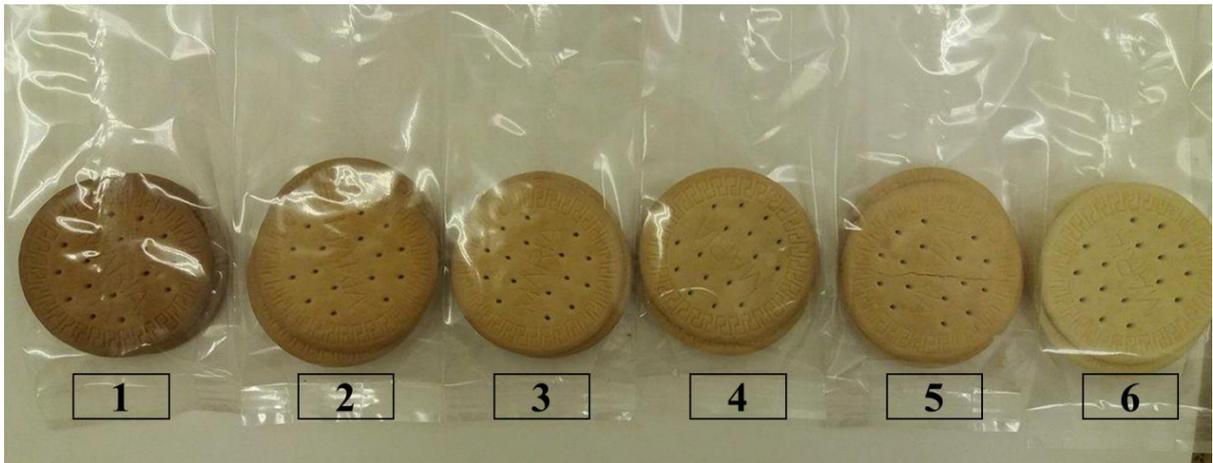


Figura 61 – Amostras de cor da bolacha Maria, correspondendo a amostra 3 à melhor solução