



Catarina Jacinta Casimiro Salgueiro

Licenciada em Química Aplicada

Testes de validade em pão e otimização de uma linha de produção de pão e bolachas

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Tecnologias de Produção e Transformação Agro-industrial

Orientador: Eng.º Marco Vieira, Gestor de Qualidade e Segurança Alimentar, Fopelda, S.A.

Co-orientadoras: Doutora Maria Manuela Abreu da Silva, Professora Coordenadora da ESEAG, GeoBioTec

Doutora Maria Fernanda Guedes Pessoa, Professora Associada com Agregação, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Fernando Henrique da Silva Reboredo, Professor Associado com Agregação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Arguente(s): Prof. Doutor Fernando José Cebola Lidon, Professor Catedrático da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Vogal: Eng.º Marco Vieira, Gestor de Qualidade e Segurança Alimentar, Fopelda, SA

LOMBADA

2021

Testes de validade em pão e otimização de uma linha de produção de pão e bolachas
Catarina Salgueiro





Catarina Jacinta Casimiro Salgueiro

Licenciada em Química Aplicada

Testes de validade em pão e otimização de uma linha de produção de pão e bolachas

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Tecnologias de Produção e Transformação Agro-industrial

Orientador: Eng.º Marco Vieira, Gestor de Qualidade e Segurança Alimentar, Fopelda, S.A.

Co-orientadoras: Doutora Maria Manuela Abreu da Silva, Professora Coordenadora da ESEAG, GeoBioTec

Doutora Maria Fernanda Guedes Pessoa, Professora Associada, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Fernando Henrique da Silva Reboredo, Professor Associado com Agregação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Arguente: Prof. Doutor Fernando José Cebola Lidon, Professor Catedrático da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Vogal: Eng.º Marco Vieira, Gestor de Qualidade e Segurança Alimentar, Fopelda, SA



outubro, 2021

III

Testes de validade em pão e otimização de uma linha de produção de pão e bolachas

Copyright © Catarina Jacinta Casimiro Salgueiro, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Enveredar neste trabalho e concluí-lo com sucesso não teria sido possível sem a ajuda de muitos aos quais gostaria de agradecer.

Ao Professor Doutor Fernando Lidon pela ajuda na procura por um estágio (o que não foi fácil) e por todos os conhecimentos teóricos e práticos que transmitiu no decurso do mestrado.

À empresa Fopelda, S.A., e em especial à Engenheira Filipa Beirão, por terem aceitado o meu estágio.

Ao meu orientador Engenheiro Marco Vieira por ter “salvo” o meu estágio ao aceitar ajudar-me e orientar-me.

Às minhas co-orientadoras as Professoras Doutoradas Maria Manuela Abreu da Silva e Maria Fernanda Pessoa pela ajuda e compressão ao longo deste percurso.

Ao pessoal da fábrica: Sr. Nelson, Sr. Nelson, Sr. Marcos, Alexis, Joana, Sr.^a Tatiana, Ana Carolina, Sr.^a Sónia, D.^a Isabel, D.^a Elena, Nina, D.^a Ilídia, D.^a Aurora, Sr. Miguel e Sr. Francisco por me terem feito sentir em casa, por me ajudarem sempre que necessitei e por terem tolerado a minha paixão por fungos.

À Marta por me ter mostrado que podemos fazer o nosso trabalho (e um bom trabalho) num ambiente leve e divertido, por me ter ajudado sempre a ultrapassar as dificuldades e pelos ensinamentos de vida que me transmitiu.

À minha mãe, irmã, avós e pai por me terem apoiado, emocional e financeiramente, para embarcar na aventura que foi este estágio na confusão que foi o ano de 2020.

Ao Sr. Fredrickson e à Miss Ellie, porque, apesar de já terem partido, foram sempre a minha companhia durante todo este percurso.

A todos vós, muito obrigada.

Resumo

O pão é um bem-essencial consumido mundialmente e produzido maioritariamente de forma industrial, com o mínimo de desperdício, para suprir a procura por parte da população. Este alimento é perecível e está sujeito, sobretudo, a deterioração microbiológica, tendo de ser conservado com recurso a aditivos alimentares que desagradam os consumidores que procuram, cada vez mais, produtos naturais. Assim é importante não só otimizar os processos associados à produção de pão, mas também investigar formas de conservação mais extensa e alternativas.

Por forma a aumentar a validade de 10 para 30 dias e numa tentativa de acidificar a matriz para potenciar a ação conjunta dos conservantes ácido sórbio e propionato de sódio, foi adicionado vinagre de álcool à matriz alimentar o que originou uma possível alteração nas características sensoriais do produto final. Apesar das amostras se terem mantido visualmente livres de deterioração durante 31 dias, não foi possível validar a extensão de validade.

Em alternativa ao conservante alimentar, utilizou-se um produto natural (farinha fermentada) para produzir amostras que mantiveram a sua validade um mínimo de 7 dias. Não se tendo atingido o objetivo (10 dias de validade), realizou-se um novo teste, mas recorrendo também à adição de vinagre de álcool e as amostras mantiveram a sua validade no mínimo 9 dias. Assim, o recurso ao produto natural utilizado não permite a manutenção da validade.

A otimização da linha de produção, por esta ser um conjunto intrincado de módulos, componentes e suas parametrizações, prendeu-se com a análise e resolução de alguns problemas mais usuais e não com a fixação de parâmetros visto haver demasiados fatores não fixos que influenciam os mesmos. Apesar disso, o conjunto de ações a tomar que foi compilado e posto em prática mostrou-se uma mais-valia para o processamento realizado, tornando também possível o desenvolvimento posterior de diversos aspetos iniciados neste estudo.

Palavras-chave: Conservantes; Otimização; Pão; Validade

Abstract

Bread is a staple food consumed worldwide and mainly produced in an industrial way, with minimum wastage, to suppress the population's demand. This food item is perishable, and it is mainly subjected to microbial deterioration, which leads to its preservation using food additives that do not please the consumers who are increasingly looking for more natural products. Therefore, it is important not only to optimize the processes associated with bread production but also investigate ways to extend its shelf-life and alternative ways of preservation.

To extend the shelf-life from 10 to 30 days and attempting to acidify the matrix to enhance the joint action of sorbic acid and sodium propionate, it was added alcohol vinegar which led to possible alterations in the sensory characteristics of the final product. Although the samples remained visually free from deterioration for a period of 31 days, it was not possible to certify the shelf-life extension.

Instead of using the food preservative, it was used a natural product (fermented flour) to produce samples that kept its shelf-life for a minimum of 7 days. Since the aim was not obtained (10 shelf-life days), a new test was performed but including alcohol vinegar in the formulation as well. The samples maintained its shelf-life for at least 9 days. Thus, the use of this natural product does not allow the shelf-life maintenance.

The studied production line is an intricate set of modules, components, and parameters, so its parametrization was more the analysis and resolution of some usual problems and not the setting of parameters since there were too many factors that were not fixed. Nevertheless, the actions assembled and applied in this study are valuable to the dough processing carried out by the company and make it possible to continue developing various related features.

Keywords: Preservatives; Optimization; Bread; Shelf-life

Índice

Índice de Figuras.....	XVII
Índice de Tabelas	XXI
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento e objetivos do trabalho.....	1
1.2. Enquadramento da empresa.....	2
2. Fundamentos teóricos	3
2.1. Conservação de Alimentos	3
2.1.1. Pão como Alimento a Conservar.....	4
2.1.1.1. Tipos de Pão e Suas Características.....	4
2.1.1.2. Validade do Pão.....	5
2.1.1.3. Microrganismos Deteriorantes do Pão.....	6
2.1.1.3.1. Fungos.....	7
2.1.1.3.2. Bactérias.....	9
2.1.1.3.3. Leveduras.....	10
2.1.2. Aditivos Alimentares	10
2.1.2.1. Ácidos Fracos como Conservantes do Pão	13
2.1.2.1.1. Ácido Acético (E260)	13
2.1.2.1.2. Ácido Propiónico (E280)	14
2.1.2.1.3. Ácido Sórbico (E200).....	15
2.1.2.1.4. Combinação de Ácidos Fracos para Aumento de Validade.....	16
2.1.3. Conservação com Recurso a Substâncias Naturais.....	17
2.1.4. <i>Clean label</i> - Expectativas dos Consumidores.....	18
2.2. Produção Industrial de Pão.....	18
2.2.1. Pontos-chave do Processo de Produção de Pão	19
2.2.2. Linha de Produção da Empresa Fopelda, S.A.	20
2.2.2.1. Chunker	21
2.2.2.2. Plaff-Plaff	22
2.2.2.3. Linha de Formação	22

2.2.2.4. Decograin	23
2.2.2.5. Deposit.....	24
3. Materiais e Métodos	25
3.1. Testes de validade.....	25
3.2. Otimização da linha de produção.....	29
4. Resultados e Discussão	33
4.1. Testes de validade.....	33
4.1.1. Utilização de Dois Conservantes Alimentares - Ácido Sórbico (E200) e Propionato de Sódio (E281).....	33
4.1.1.1. Determinação do pH da Referência F.....	33
4.1.1.2. Teste nº1 – 1.º teste para Diminuição de pH da Referência F.....	34
4.1.1.3. Teste nº2 – 2.º teste para Diminuição de pH da Referência F.....	35
4.1.1.4. Comparação dos resultados dos testes nº1 e nº2	36
4.1.1.5. Teste nº3 - Aumento de Validade - Adição de Ácido Sórbico e Propionato de Sódio com Diminuição de pH.....	37
4.1.2. Utilização de Produto Natural <i>Clean Label</i>	38
4.1.2.1. Teste nº4 - Teste de Validade – Adição de <i>Clean Label</i>	38
4.1.2.2. Teste nº5 - Teste de Validade – Adição de <i>Clean Label</i> com Diminuição de pH	45
4.1.2.3. Comparação dos Resultados dos Testes nº4 e nº5.....	51
4.2. Otimização da Linha de Produção	53
4.2.1. Otimização do Processo de Produção de Pão	53
4.2.1.1. Enfarinhadores.....	53
4.2.1.2. <i>Chunker</i>	53
4.2.1.3. <i>Plaff-Plaff</i>	54
4.2.1.4. <i>Mesa Rodiform</i>	56
4.2.1.5. Mesa de Saída.....	58
4.2.1.5.1. Corte de Peças de Pão Redondo.....	59
4.2.1.5.2. Corte de Peças de Pão de Forma	63
4.2.2. Otimização do Processo de Produção de Bolachas	66
4.2.2.1. <i>Chunker</i>	67
4.2.2.2. <i>Plaff-Plaff</i>	67

4.2.2.3. Mesa Rodiform.....	68
4.2.2.4. Mesa de Saída.....	70
4.2.2.5. <i>Recograin</i>	73
4.2.2.6. <i>Deposit</i>	74
5. Considerações Finais e Conclusões.....	77
5.1. Testes de validade.....	77
5.2. Otimização da linha de produção.....	78
6. Perspetivas futuras	81
7. Referências bibliográficas.....	83

Índice de Figuras

Figura 3.1 - Imagem ilustrativa da sonda de pH teste 205 utilizada nos ensaios de avaliação de pH.....	26
Figura 3.2 - Imagem ilustrativa da apresentação da prova sensorial ao provador.....	27
Figura 3.3 – Acondicionamento das amostras para armazenamento.	28
Figura 4.1 - Ilustração da morfologia das colónias detetadas visualmente nas amostras de formulação original do teste nº2.....	36
Figura 4.2 - Esquema resumo dos resultados relativos ao tempo de validade das amostras do teste nº4.	41
Figura 4.3 - Ilustração da morfologia das colónias detetadas visualmente nas amostras de formulação <i>clean label</i> do teste nº4.....	43
Figura 4.4 - Ilustração da morfologia das colónias detetadas visualmente nas amostras de formulação original do teste nº4.....	44
Figura 4.5 – Amostra N-2 do teste nº5, armazenada no escritório, ao 21.º dia após fabrico.	47
Figura 4.6 – Esquema resumo dos resultados relativos ao tempo de validade das amostras do teste nº5.	48
Figura 4.7 – Ilustração da morfologia das colónias brancas detetadas visualmente nas amostras de formulação teste do teste nº5.....	49
Figura 4.8 – Ilustração da morfologia das colónias brancas detetadas visualmente nas amostras de formulação teste do teste nº5.....	49
Figura 4.9 – Ilustração da morfologia de algumas colónias visualmente detetadas nas amostras de formulação teste do teste nº5.....	50
Figura 4.10 - Esquema ilustrativo (vista superior) da variação de largura do lençol de massa no módulo <i>Plaff-Plaff</i> e conseqüente não uniformização do mesmo.....	55
Figura 4.11 - Esquema ilustrativo (vista lateral) das disformidades causadas no lençol de massa pelo componente Multirolos.	55
Figura 4.12 - Esquema ilustrativo (vista lateral) da acumulação de massa que ocorria antes do componente Rolo de Pressão <i>Rodiform</i>	56
Figura 4.13 - Esquema ilustrativo (vista superior) da zona de corte da guilhotina e do sistema de pulverização das peças.....	57

Figura 4.14 - Esquema ilustrativo (vista superior) do impacto que a não uniformização do lençol de massa pode ter no formato (e peso) final das peças.....	58
Figura 4.15 - <i>Boxplots</i> dos 8 conjuntos de dados de peso das peças mais representativos obtidos para a Referência D no decorrer do trabalho.....	60
Figura 4.16 - <i>Boxplots</i> dos 8 conjuntos de dados de peso das peças mais representativos obtidos para a Referência E no decorrer do trabalho.....	61
Figura 4.17 - <i>Boxplots</i> dos 8 conjuntos de dados de peso das peças da Referência D que melhor se enquadravam no objetivo do estudo.	62
Figura 4.18 - <i>Boxplots</i> dos 6 conjuntos de dados de peso das peças da Referência E que melhor se enquadravam no objetivo do estudo.	63
Figura 4.19 - Gráfico de dispersão do peso (gramas) em cru das peças da Referência A em função do tempo decorrido (minutos) desde o início do corte e consoante a distância de corte da guilhotina (milímetros) e cuja temperatura da massa no final da amassadura foi 26,7°C.	64
Figura 4.20 - Gráfico de dispersão do peso (gramas) em cru das peças da Referência B em função do tempo decorrido (minutos) desde o início do corte e consoante a distância de corte da guilhotina (milímetros) e cuja temperatura da massa no final da amassadura foi 24,9°C.	65
Figura 4.21 - Gráfico de dispersão do peso (gramas) em cru das peças da Referência C em função do tempo decorrido (minutos) desde o início do corte e consoante a distância de corte da guilhotina (milímetros) e cuja temperatura da massa no final da amassadura foi 27,5°C.	65
Figura 4.22 - Esquema ilustrativo de situação de excesso (Situação A) e déficit (Situação B) de massa que podem ocorrer nos rolos laminadores.	69
Figura 4.23 - Esquema ilustrativo do corte disforme de peças de bolachas pelo componente guilhotina.	70
Figura 4.24 - Esquema ilustrativo do funcionamento do corte das peças pela Guilhotina e pelo Rolo de Lâminas.	71
Figura 4.25 - Esquema ilustrativo de manutenção (Situação A) ou aumento (Situação B) do espaçamento entre as peças após o corte.	72
Figura 4.26 - Esquema ilustrativo da organização das peças de bolachas por grupos para deposição nos tabuleiros.....	73
Figura 4.27 - Esquema ilustrativo do impacto da diminuição do espaçamento entre filas num grupo no espaço total ocupado pelo mesmo.	74

Figura 4.28 - Esquema ilustrativo de um conjunto de 3 posições possíveis de recolha da cinta *Deposit*. 75

Figura 4.29 - Esquema ilustrativo da quantidade de filas que se acomodam num tabuleiro consoante a distância entre as mesmas 76

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Aspetos mais relevantes da composição média (por 100g) de 3 tipos de pão	5
Tabela 2.2 - Categorias funcionais de aditivos alimentares	11
Tabela 3.1 – Adições/Alterações à formulação da Referência F nos 5 testes realizados.....	25
Tabela 3.2 - Principais especificações da sonda de pH testo 205.	26
Tabela 3.3 - Referências de pão analisadas no decurso do trabalho, breve descrição e peso (em gramas) final das peças em cru.	30
Tabela 4.1 - Resultados das observações realizadas às amostras armazenadas do teste nº4..	39
Tabela 4.2 – Resultados das observações realizadas às amostras armazenadas do teste nº5.	45
Tabela 4.3 – Dados de temperatura referentes aos períodos dos testes nº4 e nº5.	52

1. Introdução

1.1. Enquadramento e objetivos do trabalho

Ao longo do Mestrado em Tecnologias de Produção e Transformação Agro-industrial da Universidade Nova de Lisboa são abordados vários temas relacionados com a agroindústria, desde a produção de matérias-primas aos vários processos através dos quais podem ser transformadas. A agroindústria é um setor muito vasto e, portanto, foram sendo apresentadas as suas diversas facetas no decorrer do curso.

A conclusão do Mestrado supracitado implica a realização de um estágio e produção de uma dissertação com o trabalho desenvolvido no decurso do mesmo. O estágio é escolhido pelo mestrando de entre as hipóteses que lhe são apresentadas e pode ser realizado quer em contexto académico, geralmente associado a projetos de investigação, quer em contexto industrial, que implica normalmente a integração numa empresa do ramo alimentar.

Ponderadas as duas hipóteses, optou-se pela realização de um estágio em contexto empresarial por forma a adquirir as competências necessárias à futura introdução no mercado de trabalho e sendo o ramo da panificação de interesse, contactou-se a empresa Fopelda, S.A.

Os desafios propostos pela empresa prendiam-se com a procura por formas de estender a validade dos seus produtos, modificar as formulações para introduzir no mercado produtos livres de conservantes alimentares de origem sintética e otimizar a sua recentemente instalada linha de produção. Desta forma, os objetivos do trabalho realizado incluíram:

- Testes para aumento de validade de uma das referências de pão com recurso à combinação de dois conservantes alimentares;
- Testes para substituição, numa das referências de pão, do conservante alimentar utilizado por um produto natural com características conservativas;
- Análise da linha de produção instalada para otimizar o processo de fabrico de pão e bolachas.

Os testes realizados incluíram a produção de amostras com as correspondentes alterações na formulação, a observação dessas amostras para verificação do crescimento de colónias de microrganismos e a reformulação quando os objetivos não foram atingidos.

A otimização da linha de produção implicou a observação do funcionamento da mesma, a leitura do manual do fabricante e a reparametrização consoante foi surgindo necessidade.

1.2. Enquadramento da empresa

A empresa Fopelda, S.A. está sediada na Batalha, local onde também se encontra a sua unidade fabril de panificação, e tem 2 lojas, uma localizada na Batalha (Santo Antão) e a outra em Leiria (Pousos). Na loja da Batalha, encontra-se uma pequena unidade de pasteleira, cuja produção é essencialmente para consumo nas lojas da empresa, e na loja de Leiria uma pequena unidade de panificação com o mesmo objetivo da anterior.

A marca Panetto®, uma das marcas atribuídas aos géneros alimentícios produzidos, foi fundada juntamente com a empresa em 2007, estando desde 2012 representada em múltiplas grandes superfícies comerciais (Panetto, 2020).

Na unidade industrial de panificação há cerca de 20 funcionários, que trabalham por turnos e onde se incluem 1 panificador e 6 aspirantes a panificador (operadores de produção), 10 funcionários para embalamento dos produtos (operadores de embalagem), 2 pessoas da equipa de limpeza e um responsável de produção. Nesta são produzidos vários tipos de pão de forma e redondo e também bolachas do tipo *cracker*, ou seja, com baixo conteúdo de humidade (2% - 3% (Giannou *et al.*, 2014)), e sem recheios. Tanto os pães como as bolachas têm, em geral, sementes ou flocos, quer na sua cobertura quer na sua formulação. No entanto, há algumas referências que não apresentam essas matérias-primas em nenhuma das situações mencionadas anteriormente.

O processo de produção é descontínuo passando pelas seguintes fases: pesagem das matérias-primas e amassadura, divisão e moldagem da massa (com recurso a uma linha de produção semiautomática), levedação, cozimento, arrefecimento, corte em fatias, embalamento e, sendo o caso, congelação.

2. Fundamentos teóricos

Neste capítulo é apresentada uma compilação de informações da literatura necessárias para garantir a compreensão do trabalho realizado e análise crítica dos resultados obtidos.

2.1. Conservação de Alimentos

A conservação de alimentos, de uma forma resumida, envolve as ações tomadas para manter os produtos alimentares com as propriedades que os tornam desejáveis (valor nutricional, cor, textura e sabor) durante o maior tempo possível (Amit *et al.*, 2017; Rahman, 2020), salvaguardando também a Saúde Pública (Lidon e Silvestre, 2010a). Este processo consiste na prevenção ou retardamento da autodecomposição dos alimentos, o que inclui também a eliminação, prevenção e retardamento da decomposição microbiana que pode ocorrer nos mesmos através da minimização do crescimento dos microrganismos por controlo de fatores intrínsecos do seu crescimento como é o caso da disponibilidade de nutrientes, humidade, temperatura e pH (Lidon e Silvestre, 2007a; 2008c).

Como os microrganismos podem desenvolver-se numa vasta gama de temperaturas (de inferiores a 0°C até mais de 100°C), também neste intervalo os alimentos podem sofrer alterações. No entanto, cada microrganismo apresenta individualmente uma gama muito mais estreita de temperaturas às quais se pode desenvolver (Hamad, 2012).

Existem vários procedimentos utilizados para conservar alimentos, tais como, pasteurização, secagem, liofilização, congelação, embalagem a vácuo, enlatamento, conservação em xarope, irradiação e adição de conservantes ou gases inertes (Abdulmumeen *et al.*, 2012; Legan e David, 2021). Nestas técnicas, cujo objetivo é prevenir o crescimento microbiano em alimentos, manipulam-se fatores como temperatura (elevada e baixa), atividade da água (diminuição), pH (redução) ou adição de conservantes alimentares (Beales e Smith, 2004; Legan e David, 2021).

A atividade da água (a_w) é, de uma forma simples, a medida de quão móvel são as moléculas de água dentro de determinado produto alimentar, e é um fator particularmente útil como indicador da disponibilidade de água para reações químicas e crescimento microbiano (Cauvain e Young, 2008b; Lidon e Silvestre, 2010a). Em geral, acima de 0,90, quase todas as bactérias, leveduras e fungos têm capacidade de crescer (Smith *et al.*, 2004; Chieh, 2014), não havendo proliferação microbiana para a_w inferior a 0,61 (Tapia *et al.*, 2020). Também o pH é um fator importante na capacidade de crescimento dos microrganismos contaminantes, havendo valores mínimos, ótimos e máximos de desenvolvimento que determinam as taxas de crescimento (Hamad, 2012).

A incorporação de aditivos alimentares nas formulações dos produtos alimentares permite aumentar a sua durabilidade e melhorar ou modificar as suas propriedades, incluindo a sua

aparência, textura ou estrutura, e os conservantes (uma das categorias em que se subdividem os aditivos alimentares) são usados especificamente para aumentar a validade dos alimentos protegendo-os contra deterioração causada por microrganismos (Silva e Lidon, 2016).

Para além dos métodos de processamento que permitem conservar os alimentos, também deve recorrer-se à adoção de medidas higio-sanitárias apropriadas como é o caso da lavagem e desinfecção de equipamentos e espaços. O objetivo destas ações é a eliminação de microrganismos existentes nos locais a intervencionar e/ou remoção de restos de alimentos que possam tornar-se substrato para o desenvolvimento de microrganismos. A limpeza é feita, essencialmente, à base de água (que pode ser quente ou fria consoante a fase do processo), e a desinfecção posterior pode ser química (recorrendo a concentrações adequadas dos desinfetantes utilizados) ou térmica (Lidon e Silvestre, 2008c; Garcia *et al.*, 2019; Silva, 2020).

2.1.1. Pão como Alimento a Conservar

O pão é considerado pela Humanidade, desde há milénios, como um bem essencial (Carocho *et al.*, 2020). Os produtos de panificação juntamente com os cereais fornecem grande maioria das necessidades calóricas do ser humano e cerca de metade das suas necessidades proteicas (Saranraj e Geetha, 2012) por isso, o consumo de pão se tornou um hábito diário (Magan *et al.*, 2012; Axel *et al.*, 2017).

2.1.1.1. Tipos de Pão e Suas Características

Este alimento pode ser apresentado sob vários tipos, formas, tamanhos e texturas (Melini e Melini, 2018) e é obtido através da mistura de água, farinha, sal, e levedura, assim como outros ingredientes, que podem incluir açúcar, xaropes de malte, leite, gordura, inibidores de fungos e sais minerais (Lidon e Silvestre, 2007c; Chandan, 2011; Ravimannan *et al.*, 2016). A sua produção pode ser artesanal, sendo confeccionado diariamente por padeiros, ou industrial, podendo ser encontrado em superfícies comerciais embalado e, por vezes, fatiado (Melini e Melini, 2018).

Os tipos de pão consumidos variam não só consoante a cultura, mas também dependem dos recursos disponíveis nas regiões, nomeadamente no que diz respeito aos cereais como é o caso do trigo, centeio e milho (Lockyer e Spiro, 2020). Entre os tipos de pão produzidos mundialmente incluem-se: o pão de trigo, o pão de centeio, o pão pita, entre outros (Comissão Europeia, 2017; Carocho *et al.*, 2020). Nas suas formas mais simples e quando fresco, este produto tende a apresentar uma còdea apelativa acastanhada e crocante, um aroma agradável e um miolo com textura suave (Mondal e Datta, 2008).

Para além do seu aspeto atrativo, este alimento é uma fonte importante de nutrientes (tanto macronutrientes como micronutrientes), nomeadamente proteínas, ferro, cálcio e vitaminas (Saranraj e Geetha, 2012; Saranraj e Sivasakthivelan, 2015). Na Tabela 2.1 apresentam-se 3 tipos de pão bem como alguns aspetos da sua composição média.

Tabela 2.1 – Aspectos mais relevantes da composição média (por 100g) de 3 tipos de pão
(INSA, 2021a,b,c).

Composição média (por 100g)	Produto alimentar		
	Pão de trigo	Pão de centeio	Pão de milho
Hidratos de carbono (g)	57,3	56,4	37,2
Água (g)	26,2	29,4	51
Proteínas (g)	8,4	5,9	5,3
Lípidos (g)	2,2	0,8	1,2
Cálcio (mg)	43	56	14
Ferro (mg)	2,2	1,2	1,3
Vitamina B6 (mg)	0,07	0,17	0,05

2.1.1.2. Validade do Pão

A validade é definida como o intervalo de tempo durante o qual um produto alimentar vai permanecer seguro para o consumidor, manter as suas características sensoriais, físico-químicas e microbiológicas em níveis aceitáveis e obedecer a quaisquer dados relativos a declarações nutricionais que existam nas etiquetas, quando armazenado segundo as condições recomendadas (Giannou *et al.*, 2014).

Para estimar a validade de um produto alimentar podem utilizar-se várias metodologias: recorrer a dados da literatura, à validade de produtos similares que existam no mercado, ou realizar testes de validade. No caso do pão, dado ser um produto cuja validade esperada é curta, são feitos testes de validade diretos nos quais os produtos alimentares ou são armazenados em condições controladas que simulem as encontradas durante o armazenamento, distribuição, manipulação no retalho, e utilização por parte do consumidor (quando possível); ou são armazenados sob condições fixas de acordo com o tipo de produto (Giannou *et al.*, 2014).

O pão é considerado um produto perecível (Cauvain, 2015) pois perde as suas características (sabor, textura e aparência) num curto período de tempo, especialmente devido a alterações físicas e químicas e à deterioração microbiológica (fungos, leveduras e bactérias) (Saranraj e Sivasakthivelan, 2015; Axel *et al.*, 2017; Melini e Melini, 2018).

Apesar de, regra geral, as deteriorações físicas e químicas afetarem mais os produtos de humidade baixa e média e a deterioração microbiológica, os de elevada humidade (Saranraj e Geetha, 2012), o pão encontra-se sujeito tanto a deterioração físico-química como microbiológica (Magan *et al.*, 2012; Lafarga *et al.*, 2013; Cauvain, 2015; Saranraj e Sivasakthivelan, 2015).

A deterioração físico-química que ocorre no pão é, geralmente, designada por “envelhecimento” e é um processo onde ocorre a diminuição gradual da aceitação do pão por parte do consumidor devido às alterações que sucedem na còdea e no miolo no período pós-cocção. As maiores modificações dizem respeito à redistribuição da humidade, à retrogradação do amido, ao aumento da firmeza e à perda de aroma e sabor sendo, de facto, a parte organolética (textura,

sabor e aroma) a que melhor deteta este tipo de deterioração (Smith *et al.*, 2004; Cauvain, 2015; Melini e Melini, 2018).

O pão, tal como a maioria dos produtos de panificação, é caracterizado por ter um elevado conteúdo de água no miolo e, comparativamente, um conteúdo inferior na còdea (Cauvain e Young, 2012; Saranraj e Geetha, 2012; Barman *et al.*, 2017). Este inclui-se, assim, no grupo de produtos de elevada humidade, apresentando um a_w que pode variar entre 0,9 e 1 estando, mais especificamente, o pão fatiado e pré-embalado inserido na categoria de produtos de panificação mais suscetíveis à deterioração por fungos (Smith *et al.*, 2004; Giannou *et al.*, 2014; Axel *et al.*, 2017). Para além disso, o seu pH, geralmente situado entre 5,5 e 6,0, faz com que este seja um meio propício ao desenvolvimento microbiológico (Garcia *et al.*, 2019) uma vez que valores de pH entre 5,0 e 7,5 favorecem o crescimento microbiano (sendo que os fungos podem crescer a $pH > 3$) (Giannou *et al.*, 2014).

Para além dos parâmetros físico-químicos a_w e pH (Cauvain e Young, 2008b; Lidon e Silvestre, 2008b; 2010a; Quitmann *et al.*, 2013; Amit *et al.*, 2017; Axel *et al.*, 2017; Leyva Salas *et al.*, 2017; Garcia e Copetti, 2019; Lidon *et al.*, 2019; Tapia *et al.*, 2020), para que ocorra deterioração microbiológica e para determinar a taxa de desenvolvimento dos microrganismos deteriorantes no pão é necessário ter em conta outros fatores importantes como é o caso de:

- Presença e tipo de microrganismos deteriorantes (Cauvain e Young, 2008b; Quitmann *et al.*, 2013; Amit *et al.*, 2017);
- Carga microbiana no produto (Cauvain e Young, 2008b);
- Processos tecnológicos aplicados durante o processamento (aquecimento, fermentação e limpeza e desinfeção) (Leyva Salas *et al.*, 2017);
- Nutrientes necessários ao desenvolvimento dos microrganismos (Quitmann *et al.*, 2013);
- Condições de armazenamento favoráveis à vida: temperatura, potencial redox, humidade relativa (Cauvain e Young, 2008b; Lidon e Silvestre, 2008b; 2010a; Quitmann *et al.*, 2013; Amit *et al.*, 2017; Axel *et al.*, 2017; Leyva Salas *et al.*, 2017; Garcia e Copetti, 2019; Lidon *et al.*, 2019; Tapia *et al.*, 2020);
- Presença e concentração de inibidores (bioquímicos ou físicos) (Cauvain e Young, 2008b; Leyva Salas *et al.*, 2017; Lidon *et al.*, 2019; Tapia *et al.*, 2020).

Há ainda a considerar que a deterioração do pão origina um problema de desperdício (5-10% das perdas mundiais de produção) que, por sua vez, causa elevadas perdas económicas quer para a indústria panificadora quer para o consumidor (Axel *et al.*, 2017; Barman *et al.*, 2017; Melini e Melini, 2018). Assim, métodos para controlar o crescimento de microrganismos e aumentar a validade do pão são de grande importância económica para esta indústria (Saranraj e Sivasakthivelan, 2015).

2.1.1.3. Microrganismos Deteriorantes do Pão

Grande maioria dos produtos alimentares estão sujeitos a deterioração por parte de microrganismos e o pão não é exceção. De entre os vários tipos de microrganismos que podem levar

à diminuição/perda de validade no pão encontram-se leveduras, bactérias (especialmente *B. subtilis*) e fungos (Cauvain, 2015; Saranraj e Sivasakthivelan, 2015; Barman *et al.*, 2017). No entanto, são os últimos que mais frequentemente contaminam este alimento (Saranraj e Geetha, 2012; Jayashree *et al.*, 2018) sendo 60% da deterioração do pão atribuída à atividade de fungos enquanto a causada por leveduras é apenas 15% (Lotfinia *et al.*, 2013; Barman *et al.*, 2017; Garcia *et al.*, 2019; Moro, 2019).

2.1.1.3.1. Fungos

No processamento de pão, o tipo mais comum de deterioração microbiana é o crescimento de fungos sendo também, em muitos casos, o fator mais perentório na determinação da validade e que origina perdas económicas substanciais em produtos de panificação embalados (Guynot *et al.*, 2005; Lafarga *et al.*, 2013; Saranraj e Sivasakthivelan, 2015).

A cozedura dos produtos de padaria, por recorrer a temperaturas elevadas, inativa os esporos de vários tipos de microrganismos, com exceção dos esporos bacterianos (Magan *et al.*, 2012; Saranraj e Geetha, 2012; Cauvain, 2015; Ravimannan *et al.*, 2016; Samapundo *et al.*, 2017) que, se presentes antes deste passo de processamento, podem gerar deterioração no produto acabado (Barman *et al.*, 2017). Desta forma, a contaminação por fungos no pão ocorre inteiramente no período pós-cozedura (Cauvain, 2015; Garcia *et al.*, 2018) e pode ter várias origens (Axel *et al.*, 2017; Taylor e Doores, 2021), como a deposição no produto dos esporos presentes na atmosfera ou o contacto do produto com superfícies contaminadas (especialmente nos processos de arrefecimento, corte em fatias e embalagem) ou com operadores em condições higio-sanitárias deficientes (Guynot *et al.*, 2005; Lidon e Silvestre, 2008b; 2010a; Saranraj e Geetha, 2012; Cauvain, 2015; Garcia e Copetti, 2019; Moro, 2019).

O ambiente no interior de uma indústria panificadora não é estéril e, portanto, é uma possível fonte de contaminação dos produtos (Melini e Melini, 2018). O ar ajuda na disseminação de esporos de fungos entre as diferentes áreas de produção (Garcia *et al.*, 2018; Garcia e Copetti, 2019), podendo, em alguns ambientes de processamento, ser encontrados até 1000 esporos fúngicos/m³ de ar (Samapundo *et al.*, 2017). Esta contagem é superior nos meses de verão pois um clima mais quente origina uma maior contaminação do ar (Saranraj e Geetha, 2012). Para além disso, é ainda preciso considerar o tempo de exposição direta do pão ao ar atmosférico dentro da indústria em todos os processos posteriores à sua remoção do forno visto este ser um fator diretamente proporcional à carga fúngica (Garcia e Copetti, 2019); e o aumento da área de superfície exposta dos pães, por exemplo no corte em fatias, que também aumenta o risco de contaminação dos mesmos (Magan *et al.*, 2012).

Os fungos deteriorantes mais comumente encontrados em produtos de panificação pertencem aos géneros *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Eurotium*, *Mucor*, *Neurospora*, *Penicillium* e *Rhizopus* (Magan *et al.*, 2012; Saranraj e Geetha, 2012; Cauvain, 2015; Saranraj e Sivasakthivelan, 2015; Axel *et al.*, 2017).

Estes microrganismos apresentam uma ampla gama aceitável de pH tendo capacidade de se desenvolver em valores entre 3 e 8 (Rawat, 2015; Amit *et al.*, 2017; Taylor e Doores, 2021). Já no que respeita o a_w , apesar da maioria dos fungos preferir valores superiores a 0,8, há os que prosperam a valores tão baixos quanto 0,65 (Smith *et al.*, 2004; Saranraj e Geetha, 2012), ainda que a sua taxa de crescimento diminua à medida que as condições se tornam mais secas (Magan *et al.*, 2012). A temperatura de armazenamento também é muito importante no crescimento dos fungos e germinação dos esporos (Saranraj e Geetha, 2012; Cauvain, 2015). Estas entidades desenvolvem-se numa vasta gama de temperaturas (Amit *et al.*, 2017), tendo diferentes espécies diferentes temperaturas ótimas de desenvolvimento e havendo algumas que conseguem desenvolver-se a temperaturas de refrigeração (Rawat, 2015).

Em atmosferas húmidas como as que ocorrem em pão pré-embalado, os fungos podem crescer rapidamente tornando-se visíveis (Sharp, 2004; Melini e Melini, 2018). A perceptibilidade visual das colónias é um aspeto determinante para ditar o fim de validade de um produto e o momento em que a colónia se torna visível depende do tipo de fungo contaminante e de fatores relacionados com o seu desenvolvimento. Algumas colónias veem-se com maior facilidade que outras devido ao contraste entre a sua cor e a cor do produto (Cauvain e Young, 2008b).

Para além do seu crescimento detetável, alguns fungos são responsáveis pela produção de micotoxinas (metabolitos secundários) que podem ser altamente tóxicas para os seres humanos (Lidon e Silvestre, 2010b; Lotfinia *et al.*, 2013; Barman *et al.*, 2017). Estas podem ser produzidas mesmo antes de se verificar o crescimento visível do fungo o que aumenta o risco para a saúde do consumidor e, caso sejam produzidas num período anterior à cocção e sendo relativamente termoestáveis, a redução da sua quantidade durante a cozedura será relativamente baixa e variará conforme a toxina (Axel *et al.*, 2017).

Abaixo encontra-se uma lista dos géneros de fungos mais comumente encontrados em produtos de panificação (anteriormente referidos) bem como algumas das suas características:

- *Aspergillus* - Os fungos deste género crescem rapidamente, desenvolvem-se bem em alimentos com baixo teor de humidade (Rawat, 2015) e apresentam-se, habitualmente, sob a forma de colónias amarelas ou amarelo-esverdeadas com margens distintas (Ravimannan *et al.*, 2016);
- *Cladosporium* – Os fungos deste género são bastante heterogéneos e muitas espécies são conhecidas por serem patógenos de plantas ou parasitas de outros fungos (Menezes *et al.*, 2017). Para além disso, são também regularmente encontrados como contaminantes e agentes de deterioração nos alimentos. Apresentam crescimento lento e as suas colónias caracterizam-se por serem difusas com superfícies planas, aveludadas e enrugadas com tonalidade desde o verde azeitona até ao castanho-escuro ou preto (Menezes *et al.*, 2017; Lidon *et al.*, 2019);
- *Eurotium* – Este género é um dos mais difundidos que existe na Terra, especialmente em regiões mais quentes. Crescem numa vasta gama de temperaturas (de 4 a 40°C) e de atividade da água (Berni e Scaramuzza, 2013) e são, frequentemente, as primeiras

espécies a colonizar mercadorias que sejam indevidamente secas e armazenadas criando, à medida que se desenvolvem, condições para o crescimento de outras espécies (Saranraj e Geetha, 2012). Formam colónias amarelas (Lidon *et al.*, 2019);

- *Mucor* – Os fungos deste género são importantes na indústria alimentar pois podem ser essenciais como organismos tecnológicos adjuntos para obter as qualidades desejadas no produto alimentar (como ocorre em alguns queijos) mas, por vezes, também podem ser organismos deteriorantes (Morin-Sardin *et al.*, 2017). Apresentam-se sob a forma de grandes colónias brancas que mais tarde se tornam pretas (Ravimannan *et al.*, 2016);
- *Neurospora* – De entre as espécies deste género, a mais importante no que respeita os produtos de panificação, *Neurospora sitophila*, denomina-se vulgarmente como “bolor vermelho do pão”, pois apresenta uma cor avermelhada e é encontrada em pães armazenados a temperaturas demasiado altas ou que são embalados ainda quentes (Najafi *et al.*, 2018; Cauvain, 2015);
- *Penicillium* – Estes fungos surgem frequentemente nos alimentos, incluindo o pão (Cauvain, 2015) e a sua predominância deve-se parcialmente à sua capacidade de crescer numa ampla gama de temperaturas e de a_w , e à sua produção profusa de esporos que podem ser transportados pelo ar e ficar em suspensão na atmosfera (Magan *et al.*, 2012). As colónias formadas são verdes, densas e de crescimento rápido (Ravimannan *et al.*, 2016);
- *Rhizopus* – A espécie deste género que mais se destaca no pão é *Rhizopus stolonifer*, frequentemente designado como o “bolor preto do pão” (Magan *et al.*, 2012; Saranraj e Geetha, 2012). Este fungo apresenta um micélio branco de textura semelhante a algodão e pontos pretos (Cauvain, 2015; Ravimannan *et al.*, 2016).

2.1.1.3.2. Bactérias

Tal como os fungos, as bactérias também são potenciais contaminantes de produtos de panificação, apesar do seu crescimento ser mais restrito devido às condições de a_w e pH deste tipo de produtos (Saranraj e Geetha, 2012).

O processo deteriorante do pão mais importante que envolve este tipo de microrganismos é comumente designado por “*rope*” e ocorre particularmente sob condições quentes (25-30°C) e húmidas, em produtos com valores de pH superiores a 5,3 (Pattison *et al.*, 2004; Saranraj e Geetha, 2012; Lafarga *et al.*, 2013; Saranraj e Sivasakthivelan, 2015; Cauvain, 2015). Os microrganismos responsáveis por este fenómeno incluem diferentes espécies de bactérias do género *Bacillus*, sendo a principal responsável a espécie *Bacillus subtilis* (Melini e Melini, 2018). Os esporos destas bactérias, por serem termorresistentes, conseguem sobreviver ao processo de cozedura (Lafarga *et al.*, 2013), mantendo-se viáveis enquanto o pão se encontra armazenado (Wei *et al.*, 2009).

A deterioração começa a ser visível entre 12h e 24h após o pão ter sido retirado do forno (Saranraj e Sivasakthivelan, 2015) e, à medida que o processo avança, o miolo do pão começa

a ficar descolorado e viscoso (Smith *et al.*, 2004; Wei *et al.*, 2009; Saranraj e Geetha, 2012; Saranraj e Sivasakthivelan, 2015). Essas alterações fazem com que o miolo, ao ser esticado, forme fios longos e acetinados o que deu origem ao nome “*rope*” (corda) (Cauvain, 2015). Para além das alterações visuais e tácteis, o odor do produto torna-se, também, distinto: adocicado e frutado, tendo já sido comparado com o odor de ananases (Smith *et al.*, 2004; Saranraj e Sivasakthivelan, 2015).

A presença destas bactérias no pão não só pode originar deterioração como, em número elevado, pode constituir um perigo para a saúde por causar uma forma leve de intoxicação alimentar (Saranraj e Geetha, 2012; Saranraj e Sivasakthivelan, 2015).

2.1.1.3.3. Leveduras

Nos processos de deterioração do pão por leveduras existem, essencialmente, dois tipos destes microrganismos envolvidos: as leveduras fermentativas e as filamentosas. As primeiras fermentam os açúcares presentes no pão e a *Saccharomyces cerevisiae*, vulgarmente conhecida como “levedura de padeiro” e utilizada na fermentação do pão, é a mais encontrada. As segundas são conhecidas comumente por “bolors de giz” porque originam colónias brancas, com pouco relevo e que se disseminam na superfície do pão como se fossem pó de giz sendo o seu crescimento muito semelhante ao dos fungos. De entre as várias leveduras filamentosas que podem ocorrer no pão, a mais comum e que causa maiores problemas é *Hyphopichia burtonii* pois cresce muito rapidamente no substrato, é bastante resistente a conservantes e desinfetantes (Saranraj e Geetha, 2012; Burgain *et al.*, 2015; Cauvain, 2015) e tolera, melhor que as bactérias, substratos com valores de pH mais baixos (Taylor e Doores, 2021).

2.1.2. Aditivos Alimentares

Aditivos alimentares são substâncias naturais (obtidas de fontes naturais) ou sintéticas (fabricadas pelo Homem) que são adicionadas, intencionalmente e em pequenas quantidades, a produtos alimentares com o fim de modificar/melhorar as suas características organoléticas, facilitar o seu processamento e aumentar o seu tempo de conservação. Habitualmente, estes compostos não possuem valor nutricional apreciável e são adicionados aos alimentos durante o seu fabrico (transformação industrial ou embalagem) (Lidon e Silvestre, 2010a; Abdulmumeen *et al.*, 2012; Silva e Lidon, 2016; Amit *et al.*, 2017).

Todos os aditivos alimentares são alvo de estrita legislação nacional e internacional para assegurar a qualidade e etiquetagem adequada dos alimentos. Quando determinado aditivo é aprovado para utilização na indústria alimentar, são publicadas regulamentações que indicam em que grupos de alimentos pode ser utilizado, o seu grau de pureza e caracterização química, a concentração máxima permitida, como deverá ser apresentado nos rótulos e a sua designação E (código pelo qual é indicado cada aditivo alimentar utilizado na União Europeia e que é constituído pela letra E seguida de 3 ou 4 algarismos) (Lidon e Silvestre, 2007b; 2010a; Gavahian *et*

al., 2020; Decreto-Lei 64/2011, de 9 de maio; Regulamento (UE) n.º 1129/2011 da Comissão de novembro de 2011).

Segundo o Regulamento (UE) n.º 1129/2011 da Comissão de novembro de 2011, um aditivo alimentar é “qualquer substância não consumida habitualmente como género alimentício em si mesma (...), e cuja adição intencional aos géneros alimentícios, com um objetivo tecnológico (...), tenha por efeito, (...) que ela própria (...) se torne(m) (...) um componente desses géneros alimentícios.” O Regulamento menciona ainda que a sua “utilização (...) não (deve) representar uma preocupação em termos de segurança para a saúde dos consumidores”, deve “existir uma necessidade tecnológica razoável” não satisfazível por outros meios e “não (deve) induzir o consumidor em erro”.

Os avanços que se têm vindo a verificar ao nível da tecnologia alimentar originaram uma grande variedade de aditivos (mais de 2500) que são, atualmente, usados na indústria alimentar (Takwa *et al.*, 2017). Estes são agrupados em 27 categorias consoante a sua função tecnológica (Tabela 2.2) (Regulamento (CE) n.º 1333/2008 do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de dezembro de 2008; Regulamento (UE) n.º 510/2013 da Comissão de 3 de junho de 2013).

Tabela 2.2 - Categorias funcionais de aditivos alimentares

Categorias funcionais de aditivos alimentares		
Edulcorantes	Agentes de volume	Amidos modificados
Corante	Emulsionantes	Gases de embalagem
Conservantes	Sais de fusão	Propulsores
Antioxidantes	Agentes de endurecimento	Levedantes químicos
Agentes de transporte	Intensificadores de sabor	Sequestrantes
Acidificantes	Espumantes	Estabilizadores
Reguladores de acidez	Gelificantes	Espessantes
Antiaglomerantes	Agentes de revestimento	Agentes de tratamento de farinhas
Antiespumas	Humidificantes	Intensificadores de contraste

Os compostos que se enquadram nas categorias de conservantes e antioxidantes são utilizados para aumentar a validade dos produtos alimentares sendo que, os conservantes protegem os alimentos da deterioração causada por microrganismos e os antioxidantes protegem-nos da deterioração causada por processos de oxidação (Lidon e Silvestre, 2007b; Silva e Lidon, 2016).

Assim, os conservantes são substâncias adicionadas aos géneros alimentícios para prolongar a sua validade e manter a sua qualidade e segurança, inibindo, retardando ou travando o crescimento microbiano ou qualquer outro tipo de deterioração que possa advir da presença de microrganismos (Lidon e Silvestre, 2010a; Abdulmumeen *et al.*, 2012; Anand e Sati, 2013; Davidson *et al.*, 2015; Ukuku *et al.*, 2015; Silva e Lidon, 2016; Amit *et al.*, 2017). O seu uso data de há vários séculos (Davidson e Branen, 2005), porém, a maioria dos conservantes aplicados na indústria alimentar só tem estado em uso há pouco mais de 50 anos (Maherani *et al.*, 2018).

Uma das principais razões pelas quais o uso de conservantes aumentou prende-se com a alteração na forma como os alimentos são produzidos e comercializados. A globalização permitiu que um produto alimentar fosse produzido num ponto do Mundo, enviado para outro para processamento e depois distribuído a nível mundial. Desta forma, podem passar vários meses entre a produção e o consumo do mesmo (Davidson e Branen, 2005). Há ainda a considerar que, fora o facto de ser necessário garantir o fornecimento alimentar à crescente população, atualmente os padrões de consumo estão mais elevados e os consumidores esperam alimentos disponíveis todo o ano, sem agentes patogénicos e com uma validade relativamente extensa (Davidson e Branen, 2005; Lidon e Silvestre, 2008a; Abdumumeen *et al.*, 2012).

Apesar dos conservantes permitirem a preservação de alimentos durante um maior período temporal, estes não vão manter as características dos géneros alimentícios indefinidamente (Davidson e Branen, 2005) e a utilização destes compostos para prolongar excessivamente a validade não é recomendada pois a quantidade a adicionar seria elevada podendo não estar de acordo com a lei ou ser detetada pelo consumidor (Cauvain, 2017a).

Segundo Smith *et al.*, (2004), um bom conservante (de origem sintética ou natural) para ser usado na produção de pão deve possuir as seguintes características:

- Possuir um vasto espectro antimicrobiano;
- Ser não tóxico para o ser humano;
- Ser eficaz em baixas concentrações;
- Ter um efeito mínimo no pH dos produtos;
- Não afetar o odor, cor ou sabor dos produtos na concentração em que se pretende utilizar;
- Ter boa solubilidade em água;
- Ser não corrosivo;
- Ser estável durante o armazenamento;
- Não ter efeitos adversos na fermentação ou nas características dos pães;
- Apresentar uma boa relação custo-benefício.

É de salientar que todas as características acima descritas são importantes para a escolha de um conservante, no entanto, para além do próprio espectro antimicrobiano, deve tentar gerar-se a mais vasta ação possível manipulando os fatores que influenciam a sua eficácia, nomeadamente, concentração, temperatura, e propriedades físico-químicas do meio (humidade, pH, tipo e concentração de solutos, etc.) (Chatterjee e Abraham, 2018).

A atividade de um agente antimicrobiano pode ser afetada pela sua reatividade química com os restantes componentes do alimento, originando a formação de odores, sabores ou cores estranhas. Para evitar tais situações, são realizadas avaliações sensoriais e qualquer composto que afete negativamente o produto não poderá ser utilizado. Além disso, um conservante também não pode mascarar a deterioração dos alimentos pois é a visualização da deterioração que protege os consumidores da ingestão de patógenos alimentares (Davidson e Branen, 2005).

2.1.2.1. Ácidos Fracos como Conservantes do Pão

Para prevenir a deterioração e aumentar a validade de produtos de panificação, em particular do pão, são comumente utilizados ácidos orgânicos fracos (Guynot *et al.*, 2005; Magan *et al.*, 2012; Axel *et al.*, 2017; Samapundo *et al.*, 2017) e respetivos sais devido à sua eficácia antifúngica, elevada solubilidade, baixa toxicidade e baixo limite de deteção de sabor (Jideani, 2019; Moro, 2019). Entre os utilizados geralmente no processamento de pão estão os ácidos acético, benzóico, propiónico e sórbico e respetivos sais (Saranraj e Sivasakthivelan, 2015; Silva e Lidon, 2016), sendo o propionato de cálcio e o ácido sórbico muito utilizados, especificamente, para a conservação de pão fatiado pré-embalado (Moro, 2019).

Tal com os microrganismos apresentam alguns fatores que influenciam a sua taxa de crescimento, também a atividade antimicrobiana destes ácidos está dependente de vários fatores, entre eles, a composição do meio, o tipo de microrganismo presente, o a_w , a concentração e o pH (Ukuku *et al.*, 2015). Em geral, são necessárias concentrações elevadas para se observar atividade antifúngica, o que pode levar à alteração das propriedades sensoriais do produto. Para além disso, o uso prolongado do mesmo conservante contra determinados fungos deteriorantes pode originar resistência dos mesmos ao aditivo (Axel *et al.*, 2017).

De entre os vários parâmetros envolvidos na atividade antimicrobiana, o pH é extremamente importante uma vez que dele depende a concentração de moléculas de ácido não dissociadas (Guynot *et al.*, 2005; Dorko *et al.*, 2014). Quando o pH diminui, a concentração destas moléculas aumenta (Smith *et al.*, 2004; Saranraj e Sivasakthivelan, 2015), havendo mais compostos a migrar através das membranas dos microrganismos para exercer a sua ação antimicrobiana no interior das células (Magan *et al.*, 2012, Moro, 2019).

2.1.2.1.1. Ácido Acético (E260)

O ácido acético é um ácido monocarboxílico com um odor e sabor pungentes (Beales e Smith, 2004; Taylor e Doores, 2021), presente nos vinagres (Lidon e Silvestre, 2007b) e altamente solúvel em água (Silva e Lidon, 2016; Taylor e Doores, 2021). Na sua forma pura, é um líquido incolor ou um sólido cristalino e os acetatos (sais deste ácido) são pós brancos cristalinos ou granulados (Silva e Lidon, 2016). A utilização de vinagre para preservar alimentos é o método de conservação mais antigo do mundo (Sankpal, 2019), sendo que o povo babilónico já fazia uso deste produto como conservante (Lim *et al.*, 2020).

Na indústria alimentar, este ácido é tipicamente usado em condimentos, como molhos para saladas, pois intensifica o seu sabor e é também muitas vezes adotado como conservante (apesar de ser menos eficaz que outros aditivos com a mesma função), regulador de acidez e acidificante ajudando a prevenir o crescimento de fungos e bactérias do género *Bacillus*, essencialmente através da diminuição de pH do produto (o que pode também potenciar a eficácia de outros aditivos). Inibe também outros microrganismos bem conhecidos, entre eles, *Listeria*

monocytogenes, *Staphylococcus aureus* e *Salmonella* (Beales e Smith, 2004; Sharp, 2004; Lidon e Silvestre, 2010a; Cauvain, 2017a; Moro, 2019; Taylor e Doores, 2021).

Segundo o Regulamento (UE) n.º 1129/2011 da Comissão de 11 de novembro de 2011, este ácido pode ser utilizado na formulação de um produto alimentício sem limite de quantidade (“*quantum satis*”), porém, o seu sabor e aroma característicos podem proporcionar alterações sensoriais adversas quando empregue em doses elevadas (Pattison *et al.*, 2004; Sharp, 2004; Moro, 2019).

A sua utilização em produtos alimentares pode ser feita sob a forma de ácido acético (E260) ou como acetato de sódio, potássio e cálcio (E261, E262 e E263, respetivamente), sendo que nenhum destes compostos apresenta efeitos secundários para o ser humano (Lidon e Silvestre, 2010a; Silva e Lidon, 2016). Contudo, apresenta um pequeno efeito na atividade das leveduras e, portanto, pode afetar o crescimento da massa de produtos de panificação durante a levedação. Este problema pode ser mitigado aumentando as quantidades de levedura adicionadas ou aumentando o tempo de levedação (Cauvain, 2017a).

2.1.2.1.2. Ácido Propiónico (E280)

O ácido propiónico é um ácido monocarboxílico (Taylor e Doores, 2021) utilizado em produtos de panificação para evitar o crescimento de bactérias, especialmente do género *Bacillus*, e fungos (Beales e Smith, 2004; Magan *et al.*, 2012; Saranraj e Geetha, 2012; Cauvain, 2015; Moro, 2019). Este composto (E280) e os seus sais de sódio (E281) e cálcio (E282) são considerados seguros para consumo humano (Smith *et al.*, 2004; Silva e Lidon, 2016; Taylor e Doores, 2021) sendo comumente usados como conservantes em vários tipos de pão e outros produtos de panificação pré-embalados (Lidon e Silvestre, 2008c; Magan *et al.*, 2012; Silva e Lidon, 2016).

Na sua forma pura, o ácido propiónico é um líquido transparente com um odor desagradável e pungente e facilmente miscível em água. Os propionatos de sódio e cálcio são pós brancos com boa solubilidade em água, sendo o sal de sódio mais solúvel que o de cálcio, e ambos com odores semelhantes ao do ácido (Saranraj e Geetha, 2012; Silva e Lidon, 2016; Thanakkasaranee *et al.*, 2018; Taylor e Doores, 2021). De facto, estes últimos são as formas mais utilizadas em tecnologia alimentar pois apesar de serem mais caros, são menos corrosivos e mais fáceis de manusear (Magan *et al.*, 2012).

O ácido propiónico e os seus sais não são tóxicos nas quantidades permitidas pela regulamentação da União Europeia, ou seja, em quantidades iguais ou inferiores a 3 000 mg/kg (Regulamento (UE) n.º 1129/2011 da Comissão de 11 de novembro de 2011; Silva e Lidon, 2016), sendo o ácido geralmente usado em doses relativamente elevadas, pois a sua ação antimicrobiana é fraca quando comparada com a de outros conservantes (Dahiya *et al.*, 2020).

Apesar de serem aplicados para prevenir o desenvolvimento de fungos, nem todas as espécies são igualmente sensíveis ao efeito inibitório dos propionatos (Saranraj e Geetha, 2012). Ainda assim, estes têm demonstrado retardar o crescimento de outros microrganismos como

Salmonella sp., *Proteus vulgaris*, *Lactobacillus plantarum* e *Listeria monocytogenes* (Beales e Smith, 2004). O seu efeito em leveduras é praticamente inexistente podendo estes compostos ser adicionados à massa de pão sem interferirem com o processo de levedação (Lidon e Silvestre, 2010a; Magan *et al.*, 2012; Cauvain, 2015; Silva e Lidon, 2016; Moro, 2019; Taylor e Doores, 2021).

2.1.2.1.3. Ácido Sórbico (E200)

O ácido sórbico (ácido 2,4-hexadienóico) é um ácido carboxílico insaturado usado frequentemente como conservante alimentar numa vasta variedade de produtos (Dorko *et al.*, 2014; Silva e Lidon, 2016) onde se incluem queijos, produtos cárneos, produtos de panificação e bebidas (sumos, refrigerantes e vinho) (Beales e Smith, 2004; Saranraj e Geetha, 2012; Moro, 2019; Stopforth e Kudron, 2021). Está disponível sob a forma de pó ou grânulos, tem um odor pungente fraco mas característico e um sabor ácido (Silva e Lidon, 2016; Stopforth e Kudron, 2021). Os sais de potássio (E202) e cálcio (E203) também se apresentam sob a forma de pó branco ou grânulos (Stopforth e Kudron, 2021). Os seus sais de sódio (E201), potássio e cálcio, por apresentarem maior estabilidade, facilidade de manuseamento e solubilidade em água, são mais frequentemente utilizados para fins alimentares (Beales e Smith, 2004; Lidon e Silvestre, 2010a; Magan *et al.*, 2012; Silva e Lidon, 2016; Stopforth e Kudron, 2021).

Este ácido foi isolado pela primeira vez a partir do óleo de bagas de sorveira (Lidon e Silvestre, 2007b; Silva e Lidon, 2016) em 1859 (Davidson *et al.*, 2015) no entanto, as suas propriedades antimicrobianas e conservativas apenas foram descobertas 80 anos depois. Ficou disponível comercialmente em meados do século XX quando se demonstrou que apresentava uma ação eficaz contra leveduras e fungos bem como muitas bactérias (Dorko *et al.*, 2014; Stopforth e Kudron, 2021). A forma comercial usada é a de síntese química (Davidson *et al.*, 2015; Silva e Lidon, 2016) que está sujeita a requisitos de aprovação regulamentar para utilização na indústria alimentar (Davidson *et al.*, 2015).

A utilização de ácido sórbico e, principalmente, de sorbato de potássio como conservantes em produtos de panificação deve-se ao facto de serem adequados para aplicação em combinação com os níveis de a_w e pH comuns deste tipo de produtos (Saranraj e Geetha, 2012). A sua eficácia é maior quando utilizados em produtos cujo pH é ligeiramente ácido (5,5 – 6,0) e são relativamente ineficazes quando os valores de pH são superiores a 7,0 (Moro, 2019). Apresentam, ainda, as vantagens de praticamente não terem sabor residual e apresentarem um preço baixo (Guynot *et al.*, 2005).

Alguns ácidos orgânicos, como o ácido sórbico, podem causar efeitos tóxicos quando utilizados em grande quantidade (Moro, 2019) mas, considerando as quantidades usadas na indústria alimentar (iguais ou inferiores a 2 000 mg/kg), este ácido e os sorbatos não parecem ter efeitos secundários relevantes (Lidon e Silvestre, 2010a; Regulamento (UE) n.º 1129/2011 da Comissão de 11 de novembro de 2011; Silva e Lidon, 2016; Stopforth e Kudron, 2021).

O vasto uso de sorbatos como conservantes alimentares baseia-se na sua habilidade para inibir ou atrasar o crescimento de um grande número de microrganismos, onde se incluem leveduras, fungos e bactérias (Smith *et al.*, 2004; Dorko *et al.*, 2014; Silva e Lidon, 2016; Stopforth e Kudron, 2021), sendo mais eficazes em leveduras e fungos do que em bactérias (Beales e Smith, 2004; Saranraj e Geetha, 2012; Stopforth e Kudron, 2021). Nos géneros de fungos inibidos incluem-se *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Mucor*, *Penicillium* e *Rhizopus*, géneros estes que são frequentemente causa de deterioração em produtos de panificação (Stopforth e Kudron, 2021) e atuam afetando o seu ciclo de desenvolvimento desde a germinação dos esporos até o crescimento micelial (Moro, 2019). No caso das bactérias são mais eficazes nas do género *Bacillus* (Stopforth e Kudron, 2021).

Comparando este ácido com os ácidos acético e propiónico verificou-se que tem maior eficácia antifúngica dado que, nas mesmas condições, pode controlar-se o crescimento fúngico recorrendo a menores quantidades de conservante (Moro, 2019).

Apesar das vantagens e eficácia dos sorbatos em produtos de panificação, estes apresentam um impacto negativo no volume do pão (Axel *et al.*, 2017), uma vez que interferem na atividade das leveduras (Guynot *et al.*, 2005). Para ultrapassar este problema podem ser usadas algumas técnicas como aumentar a quantidade de levedura utilizada e o tempo de levedação (Stopforth e Kudron, 2021) ou aplicar o conservante encapsulado ou pulverizando-o sobre o produto (Smith *et al.*, 2004).

2.1.2.1.4. Combinação de Ácidos Fracos para Aumento de Validade

A utilização simultânea de vários aditivos pode intensificar uma determinada função, como é o caso da utilização conjunta de vários conservantes ou de vários antioxidantes (Lidon e Silvestre, 2007b; 2008c). Recorrer a misturas de conservantes pode originar uma maior eficiência na inibição microbiana (Hamad, 2012) provocando uma extensão de validade do produto para além daquela obtida através da aplicação de apenas um dos conservantes (Cauvain, 2017a). Quando são aplicadas misturas de aditivos, existem 3 possíveis efeitos na sua ação: efeito aditivo, quando os efeitos das substâncias são simplesmente adicionados; efeito sinérgico, quando a ação inibitória da mistura é alcançada recorrendo a concentrações mais baixas do que quando as substâncias são usadas separadamente; e efeito antagónico, quando a mistura requer concentrações mais elevadas dos componentes do que o uso das substâncias em separado (Bae e Lee, 2015). As interações sinérgicas são as que vão originar um maior poder conservativo (Legan e David, 2021).

Nas indústrias, por vezes, é utilizada uma combinação dos ácidos orgânicos fracos anteriormente mencionados (acético, propiónico e sórbico) para prevenir a deterioração do pão (Cauvain, 2017a; Moro, 2019). Um exemplo é a utilização do ácido acético para reduzir o pH da massa (Cauvain e Young, 2008c; Quitmann *et al.*, 2013) e assim proporcionar melhores condições para outro ácido, como o propiónico ou o sórbico, atuar (Moro, 2019; Tapia *et al.*, 2020). No entanto, esta reformulação é apenas aconselhada em produtos que tenham um sabor ácido ou em que

esse sabor possa ser mascarado por outro (Giannou *et al.*, 2014). Também já se verificou que o ácido sórbico/sorbatos age sinergicamente com o propionato de cálcio e de sódio (Saranraj e Geetha, 2012).

2.1.3. Conservação com Recurso a Substâncias Naturais

Existem substâncias naturais encontradas em plantas, fungos, outros microrganismos e em alguns tecidos animais (Takwa *et al.*, 2017; Fan *et al.*, 2018) que são também substâncias ativas e onde se incluem ácidos orgânicos, polissacáridos, óleos essenciais, enzimas, entre outros (Wu e Peng, 2018).

Este tipo de compostos de origem natural tem ganho um interesse crescente por parte da indústria alimentar devido ao seu alto potencial antioxidante e antimicrobiano e porque os consumidores os consideram alternativas mais saudáveis e naturais que os conservantes de síntese química (Takwa *et al.*, 2017). Apesar disto, estas substâncias não são as mais eficazes na prevenção de toda a deterioração podendo, no entanto, ser usadas na abordagem geral ao problema aumentando tanto a segurança como a validade dos produtos (Davidson *et al.*, 2015).

Uma tendência recente nos produtos de panificação é o uso do processo denominado bioconservação, que consiste em aplicar e/ou produzir *in situ* antimicrobianos (metabólitos de extratos de plantas ou gerados por microrganismos) capazes de inibir a proliferação microbiana (Saranraj e Geetha, 2012; O'Bryan *et al.*, 2015; Axel *et al.*, 2017; Maherani *et al.*, 2018; Garcia e Copetti, 2019; Garcia *et al.*, 2019). Entre os microrganismos mais utilizados estão as bactérias ácido-láticas cujos metabólitos gerados e que têm atividade antifúngica são compostos de baixo peso molecular como ácidos orgânicos, especialmente o láctico e o acético, e que auxiliam na acidificação da massa (Saranraj e Geetha, 2012; Barman *et al.*, 2017; Cauvain, 2017a; Melini e Melini, 2018; Garcia e Copetti, 2019).

A utilização deste tipo de bactérias é o avanço tecnológico da arte tradicional de produção de pão na qual se deixavam misturas de água e farinha para que os contaminantes naturais desses ingredientes (tipicamente estirpes de bactérias ácido-láticas e algumas leveduras selvagens) se desenvolvessem e iniciassem a fermentação do substrato (Sharp, 2004; Axel *et al.*, 2017; Siepmann *et al.*, 2017).

A acidificação da massa de pão que ocorre pela produção de ácidos por parte das bactérias ácido-láticas inibe a germinação de endósporos e o crescimento de *Bacillus* (Sharp, 2004; Saranraj e Sivasakthivelan, 2015; Melini e Melini, 2018), o que contribui para aumentar a validade do produto. Para além disso, os metabólitos concedem uma melhoria no sabor, textura e propriedades nutricionais do produto, juntamente com maior aceitação por parte do consumidor por não serem usados conservantes de origem sintética (Axel *et al.*, 2017; Siepmann *et al.*, 2017). Alguns estudos demonstram ainda que os metabólitos produzidos apresentam um efeito antimicrobiano maior do que o que pode ser atribuído unicamente à alteração de pH (Beales e Smith, 2004), o que sugere que estas bactérias e, conseqüentemente, os compostos que produzem,

podem ser usadas para substituir conservantes existentes com um nível de eficácia semelhante (Magan *et al.*, 2012; Laulund *et al.*, 2017; Bourdichon *et al.*, 2018).

2.1.4. Clean label - Expectativas dos Consumidores

Atualmente, os consumidores estão a exigir à indústria alimentar uma gama cada vez maior de produtos *clean label*, ou seja, produtos que apresentam nos seus rótulos declarações como “livre de conservantes” ou “natural”, mas sem que se percam as propriedades físico-químicas, organoléticas e microbiológicas que são encontradas nos produtos formulados com conservantes de origem sintética (Saranraj e Sivasakthivelan, 2015; Axel *et al.*, 2017; Taylor, 2018), pelo que a indústria se viu forçada a encontrar alternativas viáveis aos aditivos alimentares de origem sintética (Axel *et al.*, 2017; Samapundo *et al.*, 2017; Takwa *et al.*, 2017; Ravishankar, 2018).

Desde os anos 80 que a indústria panificadora tem vindo a fazer tentativas para reduzir a quantidade de conservantes de origem sintética usados, concentrando esforços no aprovisionamento de produtos de panificação livres desse tipo de aditivos ou explorando a sua substituição por outros provenientes de fontes naturais (Magan *et al.*, 2012; Saranraj e Geetha, 2012; Lafarga *et al.*, 2013; Lotfinia *et al.*, 2013; Saranraj e Sivasakthivelan, 2015; Jayashree *et al.*, 2018). Uma dessas tentativas envolveu a substituição do ácido propiónico e seus sais pelo ácido acético devido não só ao seu baixo custo e baixa toxicidade, mas também porque ao ser adicionado sob a forma de vinagre, é considerado como um conservante de origem natural (Beales e Smith, 2004; Smith *et al.*, 2004; Saranraj e Sivasakthivelan, 2015).

Contudo é de salientar que as evidências disponíveis sugerem que reduzir a utilização de conservantes de origem sintética pode levar a um aumento dos problemas relacionados com fungos e conseqüente diminuição significativa da validade dos produtos de panificação (Magan *et al.*, 2012; Saranraj e Sivasakthivelan, 2015) caso não sejam feitas outras alterações ao nível das formulações, dos métodos de processamento e/ou do embalamento (Beales e Smith, 2004).

2.2. Produção Industrial de Pão

Há mais de século e meio que a indústria panificadora tem vindo, progressivamente, a transformar-se numa indústria altamente tecnológica. A mono-produção industrial tornou-se frequente pois permite uma maior eficiência, tendo sido também desenvolvidas diferentes técnicas de panificação para responder melhor às novas exigências do mercado e apostando-se numa melhoria contínua das tecnologias para desenvolver produtos economicamente viáveis e de qualidade nutricional superior (Mondal e Datta, 2008).

Como mencionado anteriormente, as matérias-primas base da produção de pão incluem farinha, água e levedura sendo as duas primeiras os ingredientes mais importantes uma vez que são os que se encontram em maior quantidade e, portanto, os que mais afetam a textura do produto final (Mondal e Datta, 2008).

A água desempenha um papel fundamental na produção de pão dado que a sua quantidade controla a qualidade, textura, sabor, odor e volume deste tipo de produtos (Zhou *et al.*, 2014) sendo, por isso, o seu conteúdo na massa crítico tanto para o processo de cocção como para o produto final (Chieh, 2014). A quantidade ótima de água para uma determinada massa varia de acordo com a qualidade do pão, com o processo de produção empregue e com os métodos de manuseamento e processamento utilizados, especialmente no que respeita a fase de moldagem. Se a massa tiver pouca água, terá uma viscosidade elevada, será dura e dificilmente se modificará a sua forma durante os processos de divisão e moldagem. Por outro lado, se for adicionada demasiada água, a massa terá uma baixa viscosidade, será mole e por isso mais fácil de moldar, mas poderá não reter a sua forma durante a levedação (Cauvain e Young, 2008a).

A levedura de padeiro (espécies selecionadas de levedura *Saccharomyces cerevisiae* (Lidon e Silvestre, 2007c)) é também um ingrediente essencial na produção de muitos produtos de panificação e um elemento fundamental para garantir a reprodutibilidade do processo produtivo e a elevada qualidade do produto (Rández-Gil *et al.*, 2014). O seu papel principal é o de gerar e libertar dióxido de carbono gasoso através da fermentação alcoólica dos açúcares presentes na massa crua de pão, permitindo o desenvolvimento da estrutura do miolo e originando o volume do pão (Chieh, 2014; Rández-Gil *et al.*, 2014). Estas leveduras são mais ativas quando o pH da matriz se situa entre 4 e 5 (Chieh, 2014) e são inativadas quando a temperatura de cozedura atinge cerca de 55°C (Therdthai e Zhou, 2014).

2.2.1. Pontos-chave do Processo de Produção de Pão

A produção de pão consiste numa série de procedimentos onde se incluem a amassadura, moldagem, levedação, cozedura, arrefecimento e corte em fatias (opcional) e cada um destes tem um papel único no desenvolvimento da massa/pão e na qualidade do produto final (Therdthai e Zhou, 2014).

A amassadura é a fase mais importante de todo o processo de panificação sendo responsável por 90% da qualidade do produto final (Sahi *et al.*, 2014; Zhou *et al.*, 2014). Amassar a menos ou a mais, para além de influenciar a textura e grânulo do miolo, vai afetar as propriedades de manipulação da massa e a sua temperatura, que aumenta durante este processo devido ao calor gerado pela fricção das partículas e ao calor de hidratação da farinha (energia libertada quando esta matéria-prima absorve água) (Haegens, 2014). Quanto mais longo for o tempo de amassadura, maior será a transferência de energia por fricção e, conseqüentemente, mais elevada será a temperatura da massa no final do processo (Cauvain, 2017b).

Controlar a temperatura da massa aquando do término da amassadura é um fator crítico para garantir um produto final de qualidade consistente uma vez que quase todos os processos químicos e bioquímicos envolvidos na elaboração de pão são sensíveis à temperatura. Assim, este fator vai contribuir para a produção de gás pelas leveduras, retenção dos gases na massa e reologia da mesma após o processamento. Independentemente da temperatura da massa após amassadura que seja definida, deve garantir-se a consistência deste parâmetro em todas as

massas para manter a qualidade do produto final (Cauvain e Young, 2008a; Cauvain e Young, 2012; Sahi *et al.*, 2014; Cauvain, 2017b).

Em geral, uma temperatura final da massa mais elevada vai aumentar a taxa de fermentação das leveduras o que leva à diminuição da densidade aparente da massa (onde também se inclui o volume ocupado pelos gases resultantes da fermentação (Queiroz, 2001)), podendo gerar grandes problemas no controlo da divisão da massa durante o seu processamento (Cauvain e Young, 2008a; Cauvain, 2017b).

A temperatura da massa, para além de ser influenciada pelo tempo de amassadura, é também dependente de fatores como a temperatura dos ingredientes, tamanho e tipo de equipamento de amassadura, quantidade de ingredientes/massa na amassadeira e temperatura ambiente (Haegens, 2014).

No que diz respeito aos ingredientes, apenas as duas matérias-primas que são usadas em maior quantidade (farinha e água) podem ter efeito na temperatura final da massa. Como a farinha, para além de ser má condutora de calor, está sujeita às variações de temperatura ambiente, apenas é viável alterar a temperatura da água para conseguir ajustar a temperatura da massa. Assim, pode escolher-se entre adicionar a água a uma temperatura bastante baixa ou sob a forma de gelo (Cauvain e Young, 2008a; Haegens, 2014).

Após a amassadura, a massa é dividida em frações mais pequenas que depois seguem para a fase de levedação. Geralmente, a divisão é volumétrica tendo as porções determinado tamanho. Durante esta fase é muito importante apresentar uma massa consistente e homogénea ao aparelho de divisão, caso contrário, irão acabar por ser produzidos pães com peso muito diferente do pretendido, tanto para mais como para menos (Cauvain, 2012; Sahi *et al.*, 2014).

2.2.2. Linha de Produção da Empresa Fopelda, S.A.¹

Na empresa Fopelda, S.A. existe um processo de produção descontínuo. A pesagem de ingredientes é maioritariamente feita pelos operadores de panificação e a amassadura, apesar de ser realizada num equipamento próprio (amassadeira), é também controlada pelos operadores tanto no que diz respeito ao tempo e velocidade de amassadura como ao momento de integração da água e o seu caudal.

No final do processo de amassadura, a amassadeira é transferida para outra sala onde a massa é colocada na linha de produção semi-automática instalada sendo cada massa individualmente processada, ou seja, só é colocada uma nova massa na linha quando o processamento da anterior já foi finalizado. Na linha de produção procede-se à divisão da massa em porções mais pequenas que são colocadas em formas ou tabuleiros (conforme o pão seja de forma ou redondo, respetivamente) e posteriormente colocados em carrinhos.

¹ A informação contida neste capítulo tem por base a observação do processo de fabrico em chão de fábrica e as diretrizes existentes no manual do fabricante da linha de produção instalada.

Os carrinhos com o produto cru são levados para a estufa para levedar. Cabe aos operadores irem observando o processo para que, quando a massa chegue ao tamanho ideal, os carrinhos sejam colocados nos fornos e seja iniciado o programa de cozedura pré-definido para aquele tipo de pão.

Após a cozedura, os pães são arrefecidos com recurso a um túnel de arrefecimento, sendo depois, na sua maioria, fatiados e embalados. Alguns seguem para cliente em fresco enquanto outros são sujeitos a congelação.

Para além do pão, há também produção de bolachas tipo *cracker* cujo procedimento é semelhante, excetuando as etapas de levedação e corte em fatias que não ocorrem, e de arrefecimento que é feito à temperatura ambiente.

No que diz respeito à linha de produção em si, esta é composta por vários módulos, sendo os principais:

- *Chunker*;
- *Plaff-Plaff*;
- Linha de Formação;
- *Decograin*;
- *Deposit*.

Ao longo da linha existem ainda vários enfarinhadores que apresentam um débito constante de farinha nas diferentes cintas para evitar que a massa adira demasiado às mesmas.

A linha é maioritariamente operada através de um ecrã tátil onde existe a possibilidade de gravar vários programas (com parametrizações adequadas a cada tipo de massa de pão ou bolachas) e onde se podem ligar e desligar os vários componentes que dela fazem parte.

2.2.2.1. Chunker

No módulo *Chunker* ocorre a primeira separação da massa em peças menores, mas sem que ocorra realmente uma regulação do peso das mesmas.

A massa é colocada numa tremonha com capacidade para 125-300 kg que, por ação da gravidade, vai cortando blocos de massa com o mesmo comprimento. Este parâmetro é definido pelo operador podendo variar entre 20 cm e 40 cm e deve ser regulado consoante a necessidade de alimentação de massa na linha.

Os blocos de massa gerados são depositados na cinta da Mesa *Chunker* que irá levá-los até ao módulo *Plaff-Plaff*. Nesta cinta, devido à sobreposição que ocorre entre os blocos aquando da sua deposição, estes deixam de ser entidades individuais passando a formar um lençol de massa que é uniformizado por bandas verticais laterais, que auxiliam na regulação da largura, bem como um rolo de pressão, mesmo no final da cinta, que uniformiza a altura e que é ajustável através de uma manivela manual.

Para ajudar a regular a quantidade de massa que chega ao módulo *Plaff-Plaff*, existe ainda um sensor que faz a detecção do fluxo de massa parando a cinta da Mesa *Chunker* quando este é excessivo e reiniciando a movimentação da mesma quando este é escasso.

2.2.2.2. Plaff-Plaff

No módulo *Plaff-Plaff* ocorre novamente a regulação da largura e da altura/espessura do lençol de massa, só que esta é mais fina que a anterior. Neste módulo existem, essencialmente, dois sistemas: um de palas laterais e outro de múltiplos rolos.

No que respeita as palas laterais, o seu objetivo é auxiliar na homogeneização da massa e dar ao lençol a largura desejada.

O sistema de múltiplos rolos, também designado por Multirolos, encontra-se no final do módulo *Plaff-Plaff* e é o primeiro sistema de laminação que existe na linha. A laminação realizada não aplica tensão na massa assemelhando-se ao processo manual e o lençol originado por este componente tem a largura e altura desejadas, garantindo-se assim a uniformidade do mesmo.

O Multirolos possui uma manivela manual que permite definir a espessura desejada para a massa, sendo possíveis variações entre 3 mm e 28 mm, não sendo, no entanto, aconselhável utilizar valores inferiores a 6 mm pois isso poderá danificar a massa e levar à perda dos gases retidos na mesma.

2.2.2.3. Linha de Formação

A Linha de Formação é, na realidade, um componente que agrega em si vários outros de elevada importância. Após o Multirolos (componente do módulo *Plaff-Plaff*), existe a Mesa *Rodiform* onde se encontram aplicadas as Mesas Laminadoras, seguida da Mesa Separadora e da Mesa de Saída.

O módulo Mesa *Rodiform* é composto por duas cintas que se destinam a transportar o lençol de massa até ao Rolo de Pressão *Rodiform* cujo objetivo é regular e repartir o peso da massa do centro para as laterais, ajustando-se a sua altura através de um manípulo manual. Este componente é substituído por um Rolo de Picos, na produção de bolachas, que faz pequenos orifícios na massa para que não se formem bolhas de ar aquando da cozedura. É seguido por um cortador longitudinal de discos que pode ser trocado conforme os espaçamentos de corte desejados e cuja altura também é regulável por um manípulo manual. O Rolo de Pressão e o Rolo de Corte estão encarregues de dar à massa o formato desejado, ou seja, a altura final antes do corte e a largura das peças, respetivamente.

Na parte superior das cintas da Mesa *Rodiform*, estão três Mesas Laminadoras com as respetivas cintas e rolos laminadores. O objetivo destes componentes é proceder a uma laminação mais fina da massa sendo usados apenas para a produção de bolachas. Todos os rolos têm um manípulo manual que permite ao operador ajustar a altura para definir a espessura desejada para a massa. Têm também sensores que alteram automaticamente a velocidade das cintas

para que o lençol de massa seja sempre o mais uniforme possível. É necessário considerar que, quanto maior for a diminuição de espessura, maior terá de ser a diferença de velocidade entre as cintas, não sendo aconselhável que a espessura da massa varie mais de 2-3 mm desde a primeira à terceira Mesa Laminadora.

Após o Rolo de Corte que se encontra no final da Mesa *Rodiform*, o lençol de massa, agora dividido em várias porções longitudinalmente, seguirá para o módulo Mesa Separadora onde ocorrerá uma melhor separação das porções de massa bem como o seu transporte até ao módulo Mesa de Saída onde atua a guilhotina. A Mesa Separadora é composta por várias tiras iguais que podem ser posicionadas mais próximas ou mais afastadas umas das outras, consoante a necessidade, o que permite a formação de mais do que uma cinta transportadora. Desta forma, este componente auxilia na perfeita separação das porções cortadas permitindo que cada uma siga numa cinta própria e a uma distância gradualmente superior às restantes.

A guilhotina, que se encontra no módulo Mesa de Saída, é o local onde a massa irá obter o seu formato final. Nesta podem regular-se parâmetros como a distância de corte (que será a forma de regular o peso) e o tempo de corte (tempo que a guilhotina exerce pressão sobre a massa enquanto a corta).

Após a massa estar cortada em peças, estas terão de sofrer uma maior separação em comprimento para que depois sejam corretamente depositadas nos tabuleiros/formas. Para que tal aconteça, existe a “Parada de Máquina”. Este procedimento faz com que todas as cintas que se encontram antes da cinta da Mesa de Saída (com esta incluída), parem ou diminuam percentualmente a sua velocidade (conforme definido pelo operador) por forma a que, na cinta seguinte, as peças ganhem o distanciamento desejado.

2.2.2.4. Decograin

O módulo *Decograin* inclui uma cinta onde se efetua a pulverização das peças (zona de banho) e outra onde estas são cobertas pela decoração (zona de decoração). Tem também uma outra cinta (cinta de bolas) que é usada apenas quando se fabricam pães redondos e que é perpendicular à restante linha.

É na passagem das peças para a cinta da zona de banho que ocorre a separação mencionada anteriormente e é também nesta cinta que irá ser pulverizada água ou melaço diluído nas peças de pão ou bolachas, respetivamente. Esta pulverização é feita através de um sistema de spray que permite a criação de uma cortina muito fina de líquido através da qual o produto passa.

Após transpor a cortina de líquido, o produto é transferido para a cinta da zona de decoração onde existe um equipamento semelhante a uma tremonha. Neste coloca-se a decoração desejada (geralmente composta por sementes e/ou flocos) e esta vai sendo doseada automaticamente de acordo com a abertura definida pelo operador (com recurso a uma manivela manual). Após a decoração ser depositada na parte superior do produto, existe um rolo que vai ajudar na sua adesão ao mesmo.

Em geral, este sistema origina um grande desperdício de decoração, o que poderia significar grandes perdas económicas, caso não existisse o módulo *Recograin*. Neste módulo, a decoração excedente é levada, por ação da gravidade, para um reservatório onde existe um sistema recuperador composto por um tubo onde se encontra uma espiral metálica e que, através da ação de um motor, permite transportar a decoração antigravidade de volta à tremonha da decoração.

2.2.2.5. Deposit

O módulo *Deposit* é o último da linha instalada e é composto por uma cinta retrátil cujo objetivo é a colocação do produto diretamente em tabuleiros ou formas. A velocidade bem como a distância de recolha da cinta podem ser reguladas consoante o tipo de produto e o equipamento no qual se pretende fazer a sua colocação.

3. Materiais e Métodos

3.1. Testes de validade

Para permitir a comparação dos resultados obtidos nos testes de validade realizados no âmbito deste trabalho, optou-se pela realização dos mesmos sempre com a mesma referência base (denominada doravante de Referência F). Esta é uma referência de pão de forma habitualmente produzida na empresa Fopelda, S.A., cuja formulação apresenta uma elevada percentagem de sementes e flocos e inclui a adição de ácido sórbico (com função conservante).

No total foram realizados cinco testes de validade diferentes e cujas adições/alterações à formulação original da Referência F se encontram assinaladas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Adições/Alterações à formulação da Referência F nos 5 testes realizados.

Teste (nº)	Adição à formulação original			Alteração à formulação original
	Vinagre de álcool (5% acidez) – 33,2 ml/kg de produto final	Vinagre de álcool (5% acidez) – 49,6 ml/kg de produto final	Propionato de sódio (2 900 mg/kg de produto final)	Substituição do conservante ácido sórbico por produto natural (<i>clean label</i>)
1	X			
2		X		
3	X		X	
4				X
5	X			X

O produto natural escolhido para testagem, doravante denominado *clean label*, consistia num produto à base de farinha de trigo fermentada e que continha, segundo o fornecedor, um perfil de ácidos orgânicos (ácido propiónico, láctico, acético, etc.) derivado do processo de fermentação utilizado.

A produção das amostras (pães) teste foi em tudo igual à dos produtos para venda excetuando a formulação e a embalagem. Nesta última, em vez da embalagem geralmente utilizada (com impressão de tabelas nutricionais, nome do produto, etc.), foi empregue uma embalagem transparente e sem qualquer tipo de impressão por forma a facilitar a visualização de possíveis alterações nas amostras. Esta embalagem apresenta as mesmas características que a embalagem utilizada originalmente para embalar a Referência F.

Com exceção do teste nº4, em todos os restantes houve necessidade de verificar o pH quer da massa após amassadura quer de 10 amostras em cozido. Para além disto, foi ainda realizado outro conjunto de leituras (pH da massa e do produto cozido) para verificação do pH da Referência F de formulação original. As leituras de pH foram realizadas com recurso a um instrumento de medição de pH e temperatura em substâncias semissólidas adaptado ao setor de produção e processamento alimentar (Fig. 3.1), que foi sempre previamente calibrado de acordo com as instruções do mesmo e cujas especificações (testo, 2021) se encontram na tabela abaixo (Tabela 3.2).



Figura 3.1 - Imagem ilustrativa da sonda de pH testo 205 utilizada nos ensaios de avaliação de pH

(Fonte: <https://www.testo.com/pt-PT/testo-205/p/0563-2051>).

Tabela 3.2 - Principais especificações da sonda de pH testo 205.

Marca e Modelo	testo 205
Parâmetros	pH/ °C
Sensor	Eléttodos pH/ NTC
Amplitude de medição	0 a 14 pH/ ± 0 a $+60^{\circ}\text{C}$ (a curto prazo até $+80^{\circ}\text{C}$, no máximo 5 min.)
Resolução	0,01 pH/ 0,1 °C
Precisão	$\pm 0,02$ pH/ $\pm 0,4$ °C

Em quatro (nº1, 2, 3 e 5) dos cinco testes realizados foi adicionado à formulação do produto a matéria-prima vinagre de álcool (5% de acidez – 5 g de ácido acético por 100 ml de vinagre). Como a adição de uma matéria-prima de odor e sabor pungentes como o vinagre pode originar alterações nas propriedades organoléticas do produto final e para compreender se tinham ocorrido de facto alterações detetáveis pelos consumidores, foram desenhadas e concretizadas duas provas discriminatórias do tipo triangular, uma para o teste nº1 e outra para o nº2.

As provas discriminatórias são provas sensoriais cujo objetivo é determinar, com recurso aos sentidos, se existem diferenças significativas entre dois produtos semelhantes. Neste caso foi utilizado o teste triangular no qual são apresentadas ao provador 3 amostras, duas iguais e

uma diferente, pedindo-se ao mesmo que identifique a amostra distinta, sendo a escolha obrigatória independentemente de o provador ter encontrado diferenças ou não (Carmo, 2018).

As amostras foram preparadas e codificadas com números compostos por 3 algarismos gerados aleatoriamente. Utilizaram-se amostras de Referência F de formulação original (N) e de Referência F com adição de vinagre (V), podendo as mesmas ser apresentadas ao provador numa das seguintes ordens: NVV, VNN, VNV, NVN, VVN e NNV. Na prova associada ao teste nº1, por não ter havido produção da Referência F de formulação original nesse dia, foi utilizada uma amostra que já tinha sido sujeita a congelação, tendo sido devidamente descongelada sob as condições adequadas.

Na Figura 3.2, encontra-se um exemplo da forma como a prova foi apresentada aos provadores.



Figura 3.2 - Imagem ilustrativa da apresentação da prova sensorial ao provador.

Ambas as provas foram realizadas aproximadamente 24h após a produção das amostras e contaram com a participação de 15 provadores principiantes e funcionários da empresa em questão, todos eles com contacto prévio com o produto a testar. Foram concretizados 3 testes NVV, 3 testes VNN, 2 teste VNV, 2 testes NVN, 2 testes VVN e 3 testes NNV.

Para avaliar os resultados das provas e, segundo a Norma ISO 4120:2004 (Carmo, 2018), tendo 15 provadores o número mínimo de provas onde a amostra diferente é identificada corretamente para que haja 90% de possibilidade de metade dos provadores conseguirem detetar diferença entre amostras é de 8, pelo que será este o número mínimo de provas em que seja

identificada corretamente a amostra diferente que indicará se a adição de vinagre de álcool à formulação altera as características sensoriais do produto final.

Nos 5 testes realizados foram recolhidas amostras para avaliar a ocorrência de deterioração microbiológica as quais foram armazenadas em dois locais distintos: um no interior da instalação fabril e outro no escritório, devido às diferentes condições que existiam nos mesmos. Dada a planta da fábrica, o local de armazenamento no interior da mesma estava exposto tanto a temperaturas elevadas (pela proximidade aos fornos) como a temperaturas baixas (resultantes da proximidade à câmara de congelação e túnel de arrefecimento), esperando-se que as amostras estivessem expostas a uma elevada amplitude térmica. Pelo contrário, o local de armazenamento do escritório era uma sala no interior do edifício, sem janelas, geralmente às escuras e com a única porta fechada ou encostada, pelo que não se esperariam variações tão acentuadas.

O número de amostras variou consoante o teste, tendo sido de 10 amostras para os testes nº1 e 2, 20 amostras no teste nº3 e 30 amostras nos testes nº4 e 5. Em todos os testes, as amostras foram divididas equitativamente pelos dois locais de armazenamento. Nos testes nº 2, 4 e 5 foram ainda recolhidas 5 amostras do lote do dia da Referência F original para se proceder ao mesmo tipo de avaliação, sujeitando essas amostras às mesmas condições de armazenamento que as amostras teste.

O armazenamento das amostras foi realizado como mostra a Figura 3.3, ou seja, estas foram acondicionadas em caixas de cartão, cada uma com capacidade para 10 amostras e cada amostra devidamente rotulada.



Figura 3.3 – Acondicionamento das amostras para armazenamento.

A avaliação da ocorrência de deterioração microbiológica realizada nas amostras consistiu na observação diária (dias úteis) e a olho nu das mesmas para averiguar a existência de alterações relativamente à aparência das amostras em fresco, principalmente no que diz respeito ao crescimento de colónias visíveis de organismos. As ocorrências foram registadas num documento criado para o efeito e, dada a ausência de equipamento de análise específica, foram coletados dados fotográficos para possibilitar uma posterior análise dos microrganismos que se desenvolveram nas amostras. Nas amostras em que houve formação de colónias de microrganismos monitorizou-se o crescimento das mesmas (também com dados fotográficos) durante alguns dias, tendo sido depois descartadas.

O intervalo de tempo em que decorreram as observações das amostras variou de teste para teste, no entanto, manteve-se entre 30 e 34 dias.

3.2. Otimização da linha de produção

Para proceder à otimização da linha de produção semi-automática da unidade fabril da empresa Fopelda, S.A., foi necessário começar por ler o manual do fabricante para compreender como os diferentes módulos se encontravam interligados e onde e como se poderiam fazer as variações necessárias dos diversos parâmetros. Enquanto isso, observou-se o equipamento em funcionamento sendo controlado pelos operadores de produção.

Os dados recolhidos durante o processo de laboração foram relativos a parametrizações dos vários módulos da linha para diferentes referências, tanto de pão como de bolachas. A maioria das referências já tinha gravados programas adaptados, previamente desenvolvidos pela empresa responsável pela linha de produção. No entanto, esses programas não supriam as necessidades do processo produtivo tendo frequentemente de ser alterados no decorrer do mesmo.

Recolheram-se dados de praticamente todas as referências em produção pela empresa, mas devido à quantidade e qualidade dos mesmos, apenas alguns conjuntos de dados de algumas referências foram utilizados. O estudo inclui referências de pão de forma e de pão redondo, as quais se encontram listadas na Tabela 3.3 bem como um breve resumo de algumas das suas características.

Tabela 3.3 - Referências de pão analisadas no decurso do trabalho, breve descrição e peso (em gramas) final das peças em cru.

Denominação da Referência	Tipo de pão	Descrição	Peso peça cru (g)
A	Forma	Massa pouco densa com sementes e flocos; com decoração à superfície	480-510
B	Forma	Massa densa; com decoração à superfície	480-510
C	Forma	Massa pouco densa, sem sementes ou flocos; sem decoração à superfície	480-510
D	Redondo	Massa densa com sementes e flocos; sem decoração à superfície	880-910
E	Redondo	Massa pouco densa com sementes; sem decoração à superfície	880-910

No que respeita a produção de pão foram essencialmente recolhidos dados sobre: temperatura da massa após amassadura; velocidade dos enfarinhadores; distância de corte do *Chunker* e da guilhotina; altura do Rolo de Pressão *Chunker*, do Multirolos e do Rolo de Pressão *Rodiform*; e peso das peças.

No decorrer deste trabalho foram realizadas algumas alterações na linha de produção relacionadas com o processamento de massa de bolachas que originaram modificações nos dados recolhidos e na forma de os obter. Os programas que existiam para este tipo de produto estavam entre os que mais adaptações requeriam, não correspondendo nenhum deles às necessidades da empresa pelo que se aguardava a adição à linha de outros componentes específicos para produção de bolachas. No entanto, e visto haver necessidade de produção deste tipo de produto, recorreu-se à utilização dos programas em questão, procedendo à resolução de problemas através do ajuste dos parâmetros sempre que necessário, principalmente ao nível das Mesas Laminadoras e do módulo *Deposit* (as soluções encontradas nestes casos foram úteis para problemas que ocorreram nestes módulos após a adição de novos componentes à linha).

Uma das alterações que ocorreu foi a instalação de uma nova peça de corte (Rolo de Lâminas) pois o sistema utilizado para os tamanhos pré-existentes (guilhotina) não era, de todo, adequado ao corte do novo tamanho de bolachas pretendido. Originalmente apenas se produziam bolachas quadradas (60 mm x 60 mm) e retangulares (110 mm x 40 mm), no entanto, já decorriam testes para um novo conjunto de referências de bolachas de formato quadrado, mas tamanho inferior (40 mm x 40 mm). A peça adicionada consistia num conjunto de lâminas de corte incorporadas num rolo cuja velocidade (controlável no ecrã tátil do equipamento) determinava a distância de corte, permitindo assim a sua utilização em todos os formatos de bolachas. Como os programas previamente definidos não comportavam a utilização desta nova peça, optou-se pela criação de novos programas que foram sendo atualizados e otimizados aquando da sua utilização.

A recolha de dados para estudo relativos à produção de bolachas envolveu os parâmetros: altura do Rolo de Pressão *Chunker*; altura e velocidade do Multirolos e dos Rolos Laminadores; velocidade das cintas ao longo de toda a linha; parâmetros da guilhotina; velocidade do Rolo de Lâminas; e distância de recolha da cinta *Deposit*.

4. Resultados e Discussão

4.1. Testes de validade

Este capítulo subdivide-se em duas partes, uma respeitante aos testes de validade em que foram utilizados simultaneamente dois conservantes alimentares e outra aos testes de validade onde foi utilizado um produto de origem natural (*clean label*).

4.1.1. Utilização de Dois Conservantes Alimentares - Ácido Sórbico (E200) e Propionato de Sódio (E281)

Para garantir a segurança alimentar dos produtos de panificação produzidos, a empresa utilizava o conservante ácido sórbico que era adicionado na sua forma encapsulada para não afetar negativamente a levedação da massa. No entanto, a utilização deste conservante conferia apenas uma validade de 10 dias aos pães da Referência F.

A procura, por parte do consumidor, de produtos com validade mais extensa e a possibilidade de exportação que também advém desse aumento de validade, incentivou a empresa a considerar uma forma de estender a validade do produto para cerca de 30 dias. Para tal, procurou-se um outro aditivo com função conservante que pudesse agir sinergicamente com o ácido sórbico para originar o aumento desejado, concluindo-se que o propionato de sódio poderia ser uma boa escolha.

No entanto, e como referido na introdução deste trabalho, a utilização de ácidos fracos e seus sais como conservantes tem maior eficácia quando o pH do produto é mais baixo. Assim, foi feito um estudo preliminar para determinar o pH da Referência F.

4.1.1.1. Determinação do pH da Referência F

Para proceder à análise do pH da Referência F foi realizada uma leitura na massa após a amassadura cujo valor foi 5,45, e leituras em 10 amostras após a cozedura, das quais resultou o valor médio de pH de 5,22. Este valor é ligeiramente mais ácido do que os valores considerados normais para este tipo de produto (entre 5,5 e 6,0 (Garcia *et al.*, 2019)). No entanto, mesmo sendo este valor mais baixo poderia não ser suficiente para potenciar a atuação conjunta dos dois conservantes. Assim, interessava encontrar uma forma de diminuir o pH da Referência F antes da aplicação do conservante propionato de sódio.

Como já tinha sido mencionado no Capítulo 2 (Subsecção 2.1.2.1.1.), uma substância que pode ser adicionada às formulações de produtos de panificação com função acidificante (auxilia a diminuição de pH) é o ácido acético (encontrado no vinagre). Dado a matéria-prima vinagre de álcool (5% de acidez) já ser utilizada pela empresa noutra referência foi este o composto

escolhido para adicionar à formulação por forma a conseguir uma diminuição de pH para cerca de 4,5. Complementaram-se os testes com provas sensoriais para averiguar a existência de alterações significativas nas propriedades organoléticas do produto final.

4.1.1.2. Teste nº1 – 1.º teste para Diminuição de pH da Referência F

Neste teste, à formulação original da Referência F foi adicionando vinagre de álcool na concentração de 33,2 ml/kg de produto final. O valor de pH da massa após amassadura foi 4,86 e o valor médio de pH em cozido (leituras feitas em 10 amostras após cozedura) foi de 4,90. Para além da determinação de pH realizada nas instalações da empresa, uma amostra foi enviada para análise num laboratório externo, obtendo-se dessa análise um valor de pH em cozido de 5,06.

Avaliando os dois resultados obtidos em cozido, verifica-se que o lido pelo aparelho testo 205 foi 16 décimas inferior ao resultado obtido na análise externa. Este facto pode dever-se a diversos fatores, entre os quais, má calibração do aparelho (calibração executada em ambiente fabril e sujeita a erro humano) e eventual alteração/deterioração das soluções de calibração do aparelho (não se encontravam seladas pois já tinham sido utilizadas previamente) e/ou da sonda de pH do aparelho. Ainda que as leituras realizadas pelo aparelho testo 205 possam não coincidir com as que se obteriam via análise por laboratório externo, estas são uma boa referência para o estudo realizado.

O valor de pH médio em cozido obtido foi 4,90 (leitura do aparelho testo 205) o que ficou aquém do desejado (4,5) pelo que se aferiu que a concentração de vinagre de álcool adicionada não foi suficiente para a diminuição pretendida sendo necessária a realização de um novo teste com uma maior percentagem da matéria-prima em questão.

Para a prova discriminatória foi utilizada uma amostra da reformulação da Referência F e outra amostra da Referência F de formulação original descongelada. Dos 15 testes realizados, em 8 a amostra diferente foi identificada corretamente o que indica que 53% dos provadores identificaram a diferença. Assim, e com base no que foi referido no Capítulo 3 (subsecção 3.1.), é seguro concluir que neste teste existem diferenças detetáveis entre as duas amostras.

No entanto, estes resultados ficaram no limiar de deteção e podem decorrer do facto da amostra de formulação original utilizada ter sido sujeita ao processo de congelação podendo, por isso, já ter perdido algumas das qualidades de pão fresco, apresentando uma textura mais quebradiça, o que pode ter influenciado a decisão de alguns dos provadores. Com base nestes resultados será expectável que a prova sensorial realizada para o novo teste, onde a concentração de vinagre de álcool será superior, seja mais esclarecedora nomeadamente no que respeita a deteção da diferença entre as amostras.

Neste teste foram mantidas armazenadas 10 amostras (5 na instalação fabril e 5 no escritório) durante 34 dias sem que se observassem alterações visuais (a olho nu) nas mesmas quando comparadas com amostras em fresco.

A adição de vinagre de álcool (5% de acidez) na concentração de 33,2 ml/kg de produto final à formulação original da Referência F parece ser uma mais-valia para alcançar o objetivo de aumentar a validade do produto para cerca de 30 dias. Caso tivesse havido produção de pães de formulação original no dia da realização do teste, teria sido oportuno e interessante manter amostras dessa formulação juntamente com as outras para que todas fossem sujeitas exatamente às mesmas condições de armazenamento. Poderia assim compreender-se se a alteração na formulação poderia estar, de facto, a originar uma extensão de validade do produto.

4.1.1.3. Teste nº2 – 2.º teste para Diminuição de pH da Referência F

Neste teste, à formulação original da Referência F foi adicionando vinagre de álcool na concentração de 49,6 ml/kg de produto final. O valor de pH da massa após amassadura foi 4,79 e o valor médio de pH em cozido (leituras feitas em 10 amostras após cozedura) foi de 4,83.

O valor de pH médio obtido em cozido neste teste foi inferior ao obtido no teste nº1 (4,90) mas esta diminuição não foi proporcional à concentração de vinagre de álcool adicionada. Partindo do valor inicial de pH da Referência F (5,22) e considerando uma proporcionalidade na adição ter-se-ia o seguinte: no 1.º teste foram adicionados 33,2 ml de vinagre de álcool (5% de acidez)/kg de produto final o que originou uma diminuição de 0,32 no pH (passou de 5,22 para 4,90). Mantendo a proporcionalidade, a adição de 49,6 ml de vinagre de álcool (5% de acidez)/kg de produto final deveria originar uma diminuição de 0,47 no pH, o que corresponderia a um pH final médio do produto cozido de 4,75. No entanto, o que se verificou foi uma diminuição de 0,39 para um pH de 4,83.

Mais uma vez, a diminuição de pH verificada ficou aquém da que se procurava obter (4,5) o que deixou em aberto a possibilidade de realização de mais testes para diminuição de pH da Referência F.

A prova discriminatória foi realizada com uma amostra da reformulação da Referência F e uma amostra da Referência F de formulação original, ambas produzidas no mesmo dia. Dos 15 testes realizados, em 9 a amostra diferente foi identificada corretamente o que indica que 60% dos provadores identificaram a diferença. Desta forma, e mais uma vez com base no que foi referido no Capítulo 3 (Subsecção 3.1.), pode concluir-se que existem diferenças detetáveis entre as duas amostras e que estas são maiores do que no teste anterior.

O facto de ter havido produção da Referência F de formulação original no dia da realização do teste permitiu manter armazenadas amostras de ambas as formulações, tendo sido armazenadas 10 amostras (5 na instalação fabril e 5 no escritório) de cada uma das formulações (teste e original).

De entre as amostras cuja formulação incluía vinagre de álcool (5% de acidez), nenhuma apresentou alterações visuais (comparando com amostras em fresco) no decorrer dos 30 dias do teste, o que mostra, mais uma vez, que a adição de vinagre de álcool à formulação se torna uma mais-valia no sentido de aumentar a validade do produto, facto já expectável dado os resultados do teste nº1.

No entanto, as amostras de formulação original sofreram alterações sendo que, de entre as 10 amostras mantidas, 3 apresentaram deterioração visível a olho nu antes da conclusão do período do teste, nomeadamente no 9º (escritório), 14º (escritório) e 19º (instalação fabril) dias de armazenamento. Na Fig.4.1 encontram-se exemplos das colónias de microrganismos observadas nessas amostras.

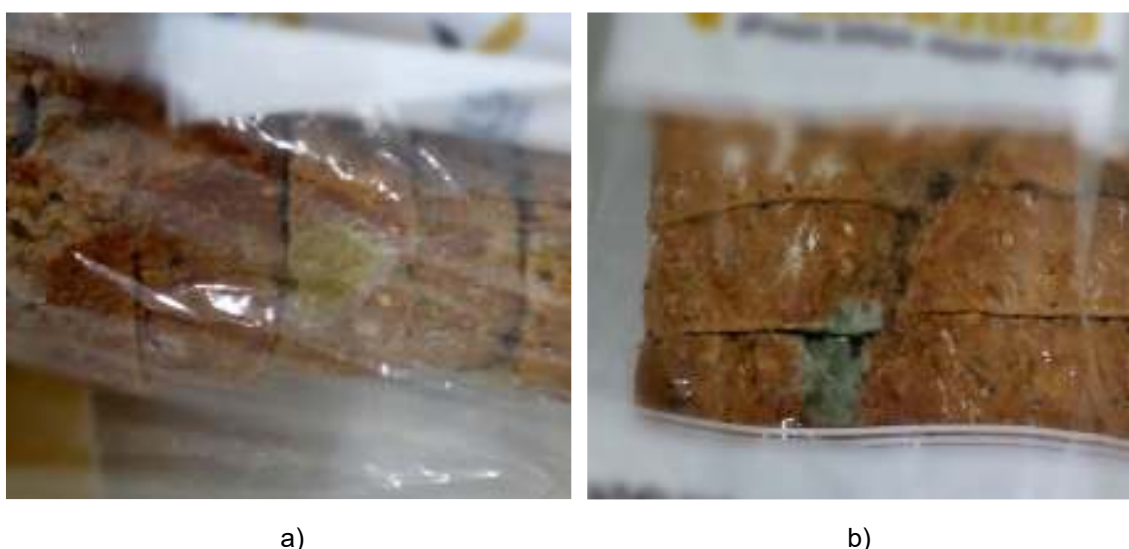


Figura 4.1 - Ilustração da morfologia das colónias detetadas visualmente nas amostras de formulação original do teste nº2. a) Amostra N-1, armazenada na instalação fabril, ao oitavo dia após deteção da alteração; b) Amostra N-1, armazenada no escritório, ao sétimo dia após deteção da alteração.

Dadas as características visuais das colónias da Fig.4.1, pode inferir-se que a da imagem Fig.4.1.a) deverá ser resultado de contaminação por fungos do género *Aspergillus* ou *Eurotium* e a da imagem Fig.4.1.b) por fungos do género *Penicillium*.

4.1.1.4. Comparação dos resultados dos testes nº1 e nº2

Como ficou explícito nos resultados do 1.º e 2.º testes, não se conseguiu obter um pH de 4,5 no produto cozido. Uma vez que o aumento da concentração de vinagre de álcool (e correspondente concentração de ácido acético) mostrou originar uma diminuição de pH do produto cozido, poderia continuar a aumentar-se a concentração desta matéria-prima até à obtenção do pH desejado, mas essa ação iria certamente originar outros problemas, como uma ainda maior alteração das características organolépticas do produto final, o que levaria provavelmente à recusa total do produto por parte do consumidor. Para além disso, também seria necessário avaliar

os custos financeiros que acarretaria essa adição porque apesar do vinagre de álcool não ter um custo elevado, quanto maior fosse a quantidade adicionada maior seria o incremento de preço do produto final.

Assim, decidi fazer-se o teste de aumento de validade adicionando simultaneamente dois conservantes alimentares (o ácido sórbico já utilizado pela empresa na formulação original do produto e propionato de sódio para agir sinergicamente com o anterior) e vinagre de álcool na concentração de 33,2 ml/kg de produto cozido.

4.1.1.5. Teste nº3 - Aumento de Validade - Adição de Ácido Sórbico e Propionato de Sódio com Diminuição de pH

Neste teste, à formulação original da Referência F foi adicionando vinagre de álcool na concentração de 33,2 ml/kg de produto final e propionato de sódio na concentração de 2 900 mg/kg de produto final. O valor de pH da massa após amassadura foi 5,11 e o valor médio de pH em cozido (leituras feitas em 10 amostras após cozedura) foi de 5,20.

A adição do conservante propionato de sódio parece ter originado uma alteração significativa no pH da matriz que, para a adição da mesma quantidade de vinagre de álcool (33,2 ml/kg de produto cozido), foi de 4,90 no 1.º teste e 5,20 neste. Esta diferença pode ser resultado de:

- Erro na pesagem das matérias-primas – como são pesadas manualmente, há maior possibilidade de erro;
- Erro de calibração do aparelho de medição de pH – a calibração é sempre feita pelo operador o que pode originar erros;
- Reação entre as matérias-primas – a interação entre os compostos das matérias-primas pode ter levado à variação de pH verificada.

Neste teste não houve realização de prova sensorial. No entanto, atendendo à diferença relevante entre o pH médio em cozido obtido (5,20) e o verificado no teste nº1 (4,90), teria sido interessante realizar a prova para verificar se a variação de pH também estava associada a uma alteração perceptível das características organolépticas do produto.

Mantiveram-se armazenadas 20 amostras (10 na instalação fabril e 10 no escritório) durante 31 dias sem que se observasse (a olho nu) desenvolvimento de colónias de microrganismos nas mesmas. No entanto, ao 31º dia, e antes de proceder ao seu descarte, as embalagens foram abertas e verificou-se que todas as amostras apresentavam um cheiro intenso a vinagre de álcool.

Considerando que, em termos de período de validade, tanto as amostras deste teste como do teste nº1 conseguiram permanecer 30 dias sem apresentar colónias visíveis de microrganismos, a não realização da prova sensorial deixa em aberto duas possibilidades: caso se demonstrasse que a diferença sensorial entre a amostra teste e a original se mantinha, seria financeiramente mais benéfico para a empresa avançar com a reformulação utilizando apenas vinagre de álcool; se, por outro lado, a prova demonstrasse a não deteção da diferença, a adição simultânea

de vinagre de álcool e de propionato de sódio podia ser uma solução para atingir o objetivo de aumento de validade do produto.

4.1.2. Utilização de Produto Natural *Clean Label*

Numa tentativa satisfazer o desejo dos consumidores de adquirir produtos alimentares mais naturais e com menos conservantes de síntese química, propôs-se a reformulação da Referência F com substituição do conservante alimentar utilizado (ácido sórbico) por um produto de origem natural à base de farinha fermentada e com características conservantes (*clean label*) que permitisse a manutenção dos 10 dias de validade (no caso da Referência F) obtidos com o ácido sórbico.

4.1.2.1. Teste nº4 - Teste de Validade – Adição de *Clean Label*

Neste teste, a formulação original da Referência F foi alterada apenas na substituição da quantidade estabelecida de ácido sórbico que era adicionada, pela quantidade máxima aconselhada pelo fornecedor para o tipo de pão em questão (pão fatiado) do produto *clean label*.

Apesar do objetivo deste teste não ser a extensão da validade, sendo a primeira vez que se utilizava o produto *clean label*, optou por se fixar a duração do teste em 33 dias.

Na Tabela 4.1 encontram-se os dados resultantes das observações a olho nu realizadas no que diz respeito à verificação de validade e às características das colónias observadas nas amostras armazenadas. As informações das características das colónias são relativas a um estado de desenvolvimento das mesmas de entre 4 e 8 dias após a observação inicial da alteração. A amostra identificada como CL-2 (armazenada no escritório) foi requerida pela empresa para outros fins pelo que não existem dados relativamente à mesma.

Tabela 4.1 - Resultados das observações realizadas às amostras armazenadas do teste nº4. A designação CL corresponde às amostras teste e a designação N às amostras originais.

Local	Identificação de amostra	Dias decorridos desde fabrico ^{a)}	Detalhes da(s) colónia(s) observada(s)				
			Cor			Aspetto	
			Branco	Verde	Amarelo	Filamentoso	Denso
Instalação fabril	CL-1	11	X	X			X
	CL-2	7	X	X	X		X
	CL-3	8	X	X			X
	CL-4	11	X	X	X		X
	CL-5	11	X	X	X		X
	CL-6	11	X	X			X
					X	X	
	CL-7	11		X			X
					X	X	
	CL-8	11	X	X	X		X
	CL-9	11	X	X	X		X
	CL-10	11	X	X			X
	CL-11	11	X	X	X		X
	CL-12	12	X	X		X	
	CL-13	18	X	X			X
			X	X			X
	CL-14	12			X	X	
			X	X	X		X
	CL-15	13	X	X	X		X
	N-1	12		X			X
N-2	13		X			X	
N-3	14		X			X	
N-4	33						
N-5	33						
Escritório	CL-1	8	X		X	X	
	CL-2	-					
	CL-3	7	X	X			X
			X			X	
	CL-4	8	X		X	X	
	CL-5	8	X		X	X	
				X			X
	CL-6	8	X		X	X	
			X				X
	CL-7	8	X	X	X		X
			X		X	X	
	CL-8	8	X		X	X	
CL-9	8	X	X	X	X		
			X			X	
CL-10	8	X		X	X		
			X	X		X	

Local	Identificação de amostra	Dias decorridos desde fabrico ^{a)}	Detalhes da(s) colónia(s) observada(s)				
			Cor			Aspeto	
			Branco	Verde	Amarelo	Filamentoso	Denso
	CL-11	11	X	X	X		X
	CL-12	11		X	X		X
					X	X	
	CL-13	11		X	X	X	
				X	X		X
	CL-14	11	X	X	X		X
			X	X	X		X
	CL-15	11	X	X	X		X
			X		X	X	
	N-1	11	X		X	X	
	N-2	11		X	X		X
	N-3	11	X	X		X	
	N-4	33					
	N-5	33					

a) Utilizou-se um quadradinho cinzento para evidenciar as amostras em que a primeira colónia foi observada após o período de fim de semana.

Analisando as informações da Tabela 4.1 relativas ao período de validade das amostras, verifica-se que as amostras da reformulação apresentaram as primeiras alterações visuais entre o 7.º e o 16.º/18.º dia após fabrico e as amostras de formulação original entre o 12º e o 14º dia após fabrico sendo que, neste caso, algumas não chegaram a apresentar qualquer alteração visual ao 33º dia.

O esquema da Fig.4.2 apresenta um resumo dos resultados obtidos relativamente ao tempo de validade das amostras armazenadas.

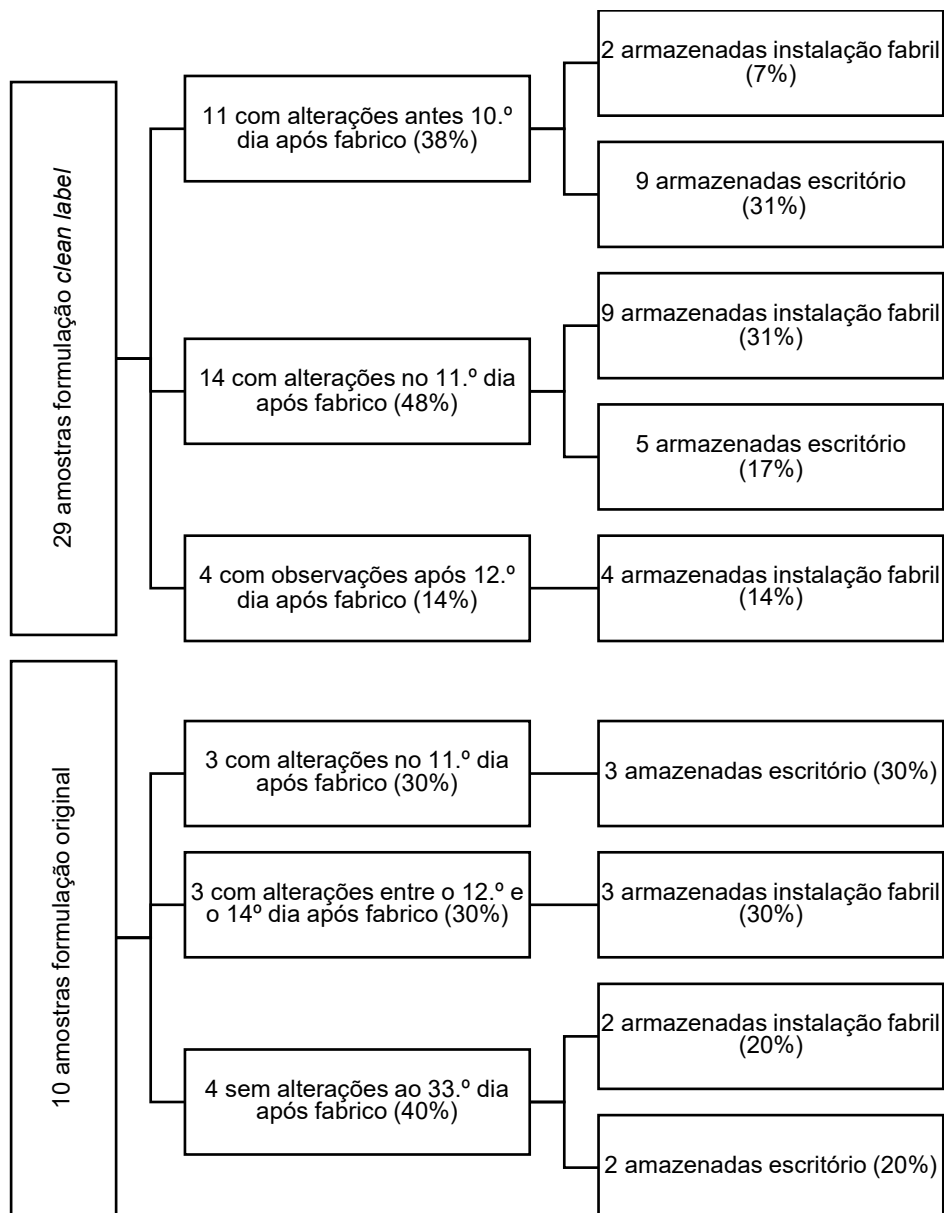


Figura 4.2 - Esquema resumo dos resultados relativos ao tempo de validade das amostras do teste nº4.

Relativamente às amostras de formulação teste, e recorrendo aos dados da Fig.4.2, verificou-se que 48% apresentaram alterações ao 11º dia após produção. Como a avaliação visual a olho nu das colónias nas amostras apenas se realizou em dias úteis, nos casos em que a primeira alteração se verificou no dia imediatamente após o período de fim de semana, foi difícil determinar a data real de ocorrência das mesmas o que indica que teria sido melhor proceder a uma avaliação realmente diária para assegurar os resultados obtidos. No entanto, dado o estado de desenvolvimento das colónias e o facto do 10.º dia ter ocorrido durante o fim de semana, pode aferir-se que grande parte dessas amostras terá desenvolvido colónias visíveis a olho nu antes ou até ao 10.º dia. Assim, e como não é possível garantir com certeza quando ficaram visíveis essas alterações, considera-se o pior cenário onde todas as amostras que estão assinaladas como apresentando alterações ao 11.º dia após produção apresentaram as mesmas antes ou

até ao 10.º dia e, portanto, tem-se um total de 86% (38%+48%) das amostras de formulação *clean label* a apresentar colónias visíveis de microrganismos antes do término da validade que se propunha obter (10 dias). Mantendo o mesmo raciocínio para as amostras de formulação original, tem-se um total de 30% a apresentar alterações antes ou até ao 10.º dia após fabrico o que representa uma diferença de mais de 50% entre as duas formulações.

Comparando os resultados dos dois locais de armazenamento, as amostras da instalação fabril apresentaram, em geral e para ambas as formulações, uma validade superior às armazenadas no escritório.

Segundo a Tabela 4.1 e no que respeita os detalhes das alterações observadas, as amostras de formulação teste apresentaram colónias de várias cores e formas. De entre os diferentes tipos de colónias, as imagens da Figura 4.3 são ilustrativas dos encontrados nas amostras de formulação *clean label*.

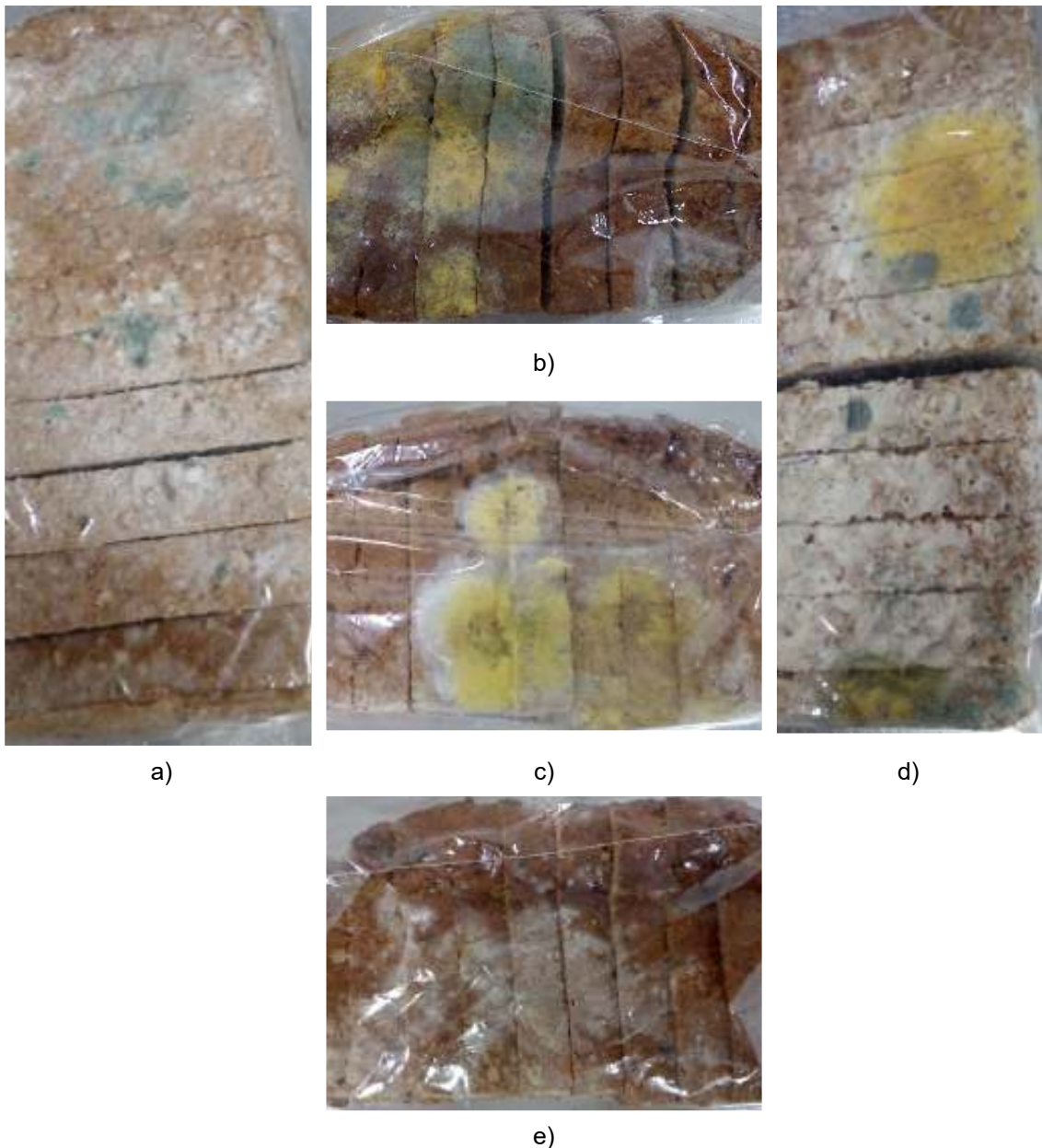


Figura 4.3 - Ilustração da morfologia das colónias detetadas visualmente nas amostras de formulação *clean label* do teste nº4. a) Amostra CL-3, armazenada no escritório, ao sexto dia após deteção da alteração; b) Amostra CL-12, armazenada no escritório, ao quinto dia após deteção da alteração; c) Amostra CL-4, armazenada no escritório, ao quinto dia após deteção da alteração; d) Amostra CL-4, armazenada na instalação fabril, ao quinto dia após deteção da alteração e) Amostra CL-6, armazenada no escritório, ao quinto dia após deteção da alteração.

Face ao aspeto visual das colónias da Fig. 4.3, poderá inferir-se que as colónias de cor verde podem resultar de contaminação por fungos do género *Penicillium* enquanto as amarelas podem resultar do desenvolvimento de fungos do género *Aspergillus* ou *Eurotium*. As colónias de cor branca (principalmente na Fig. 4.3.e)) poderão resultar de contaminação pela levedura *Hyphopichia burtonii*, devido ao seu aspeto de pó de giz.

Para além das amostras da formulação *clean label*, também em 6 das 10 amostras de formulação original se observou desenvolvimento de colónias (Figura 4.4).

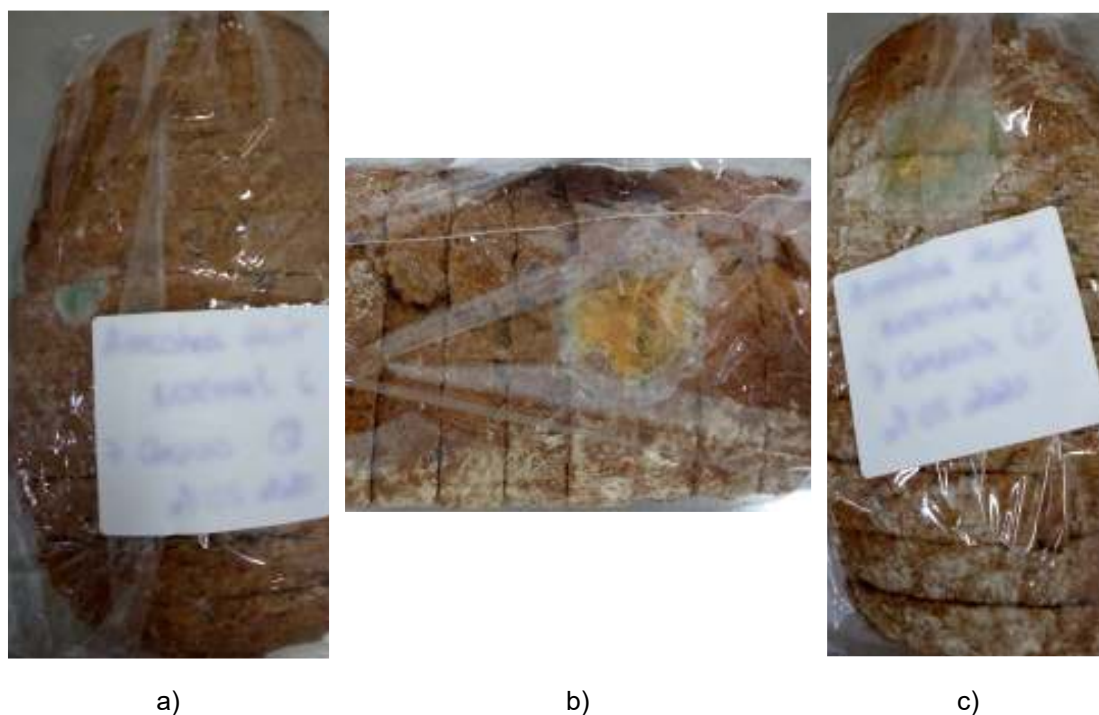


Figura 4.4 - Ilustração da morfologia das colónias detetadas visualmente nas amostras de formulação original do teste nº4. a) Amostra N-2, armazenada na instalação fabril, ao sexto dia após deteção da alteração; b) Amostra N-2, armazenada no escritório, ao quinto dia após deteção da alteração; b) Amostra N-3, armazenada no escritório, ao quinto dia após deteção da alteração; c) Amostra N-2, armazenada no escritório, ao quinto dia após deteção da alteração.

As colónias da Fig.4.4 são representativas das encontradas nas amostras de formulação original e neste caso não parece haver colónias de cor branca, no entanto, as de cor verde e amarela são idênticas às observadas nas amostras de formulação *clean label* (Fig.4.3). A colónia da Fig.4.4.a) parece ser consistente com as originadas por fungos do género *Penicillium* e as das Fig.4.4.b) e Fig.4.4.c) podem ser resultado de fungos do género *Aspergillus* ou *Eurotium* sendo que, devido à coloração amarelo-esverdeada da colónia da Fig.4.4.c), há maior possibilidade desta ser devido a fungos do género *Aspergillus*.

Considerando que, no melhor e no pior cenário, respetivamente, 38% e 86% do total de amostras *clean label* não manteve uma validade de 10 dias, infere-se que a reformulação da Referência F com recurso apenas à substituição do conservante alimentar ácido sórbico pelo produto natural testado não permite a manutenção da validade que lhe está atribuída. Não obstante, poderia ponderar-se a introdução no mercado deste novo produto revendo a sua validade para, por exemplo, 7 dias (por ter sido este o número mínimo de dias que demorou a observar-se alguma colónia visível nas amostras).

Desta forma, e mantendo as premissas que originaram este teste, propôs-se a realização de um novo ensaio mantendo a substituição do conservante ácido sórbico pelo produto *clean label*, mas adicionando simultaneamente vinagre de álcool para diminuir o pH da matriz

alimentar, auxiliando na inibição do crescimento de microrganismos. Esta reformulação manterá, assim, a possibilidade de se enquadrar numa categoria de produtos alimentares livres de aditivos alimentares de síntese química.

4.1.2.2. Teste nº5 - Teste de Validade – Adição de *Clean Label* com Diminuição de pH

Neste teste, a formulação original da Referência F foi alterada na substituição da quantidade estabelecida de ácido sórbico pela quantidade máxima aconselhada pelo fornecedor para o tipo de pão em questão (pão fatiado) do produto *clean label*. Adicionou-se, ainda, vinagre de álcool na concentração de 33,2 ml/kg de produto final. O valor de pH da massa após amassadura foi 4,93 e o valor médio de pH em cozido (leituras feitas em 10 amostras após cozedura) foi de 5,08.

A adição de vinagre de álcool na reformulação efetuada originou uma ligeira diminuição do pH em cozido relativamente ao da formulação original (5,22) mas não tão acentuada como a do teste nº1 (4,90), no qual houve adição da mesma concentração de vinagre de álcool. No entanto, e como não se verificou o pH em cozido de amostras do teste nº4, não se sabe em que extensão a substituição do ácido sórbico pelo produto natural terá afetado o pH da matriz alimentar.

Mais uma vez, e apesar do objetivo deste teste não ser a extensão da validade, dada a adição de vinagre de álcool, optou por se definir a duração do teste em 31 dias.

Na Tabela 4.2 encontram-se os dados resultantes das observações a olho nu realizadas no que diz respeito à verificação de validade e às características das colónias observadas nas amostras armazenadas. As informações das características das colónias são relativas a um estado de desenvolvimento das mesmas de entre 3 e 8 dias após a observação inicial da alteração.

Tabela 4.2 – Resultados das observações realizadas às amostras armazenadas do teste nº5. A designação CL+V corresponde às amostras teste e a designação N às amostras originais.

Local	Identificação de amostra	Dias decorridos desde fabrico ^{a)}	Detalhes da(s) colónia(s) observada(s)				
			Cor			Aspeto	
			Branco	Verde	Amarelo	Filamentoso	Denso
Instalação fabril	CL+V-1	13	X	X			X
	CL+V-2	13	X				X
	CL+V-3	13	X				X
	CL+V-4	13	X				X
	CL+V-5	13	X				X
	CL+V-6	13		X			X
	CL+V-7	13	X	X			X
	CL+V-8	15	X				X
	CL+V-9	15	X				X
	CL+V-10	16	X		X	X	
			X				X
CL+V-11	20	X				X	

Local	Identificação de amostra	Dias decorridos desde fabrico ^{a)}	Detalhes da(s) colónia(s) observada(s)				
			Cor			Aspeto	
			Branco	Verde	Amarelo	Filamentoso	Denso
	CL+V-12	20	X				X
	CL+V-13	20	X	X		X	
	CL+V-14	20	X				X
	CL+V-15	31					
	N-1	31					
	N-2	31					
	N-3	31					
	N-4	31					
	N-5	31					
Escritório	CL+V-1	10		X			X
	CL+V-2	9	X				X
	CL+V-3	9	X				X
	CL+V-4	13	X				X
	CL+V-5	13	X				X
	CL+V-6	13	X				X
	CL+V-7	13	X				X
	CL+V-8	14	X				X
	CL+V-9	14	X				X
	CL+V-10	16	X				X
	CL+V-11	16	X				X
	CL+V-12	20	X				X
	CL+V-13	28	X				X
	CL+V-14	29	X				X
	CL+V-15	31					
	N-1	14		X			X
	N-2	21					
	N-3	31					
N-4	31						

a) Utilizou-se um quadradinho cinzento para evidenciar as amostras em que a primeira colónia foi observada após o período de fim de semana.

Analisando as informações da Tabela 4.2 relativas ao período de validade das amostras, tem-se que as amostras *clean label* apresentaram as primeiras alterações visuais entre o 9.º e o 29.º dia após fabrico sendo que em duas não se observaram colónias visíveis até ao 31.º dia. Das amostras de formulação original, apenas uma apresentou alterações visíveis a olho nu ao 14.º dia após fabrico, mantendo-se restantes sem alterações até ao 31.º dia.

A amostra identificada como N-2 armazenada no escritório (Fig.4.5) foi descartada ao 21.º dia após fabrico pois a perda de uma boa parte da sua forma impossibilitava a visualização a olho nu de alterações na sua superfície.



Figura 4.5 – Amostra N-2 do teste nº5, armazenada no escritório, ao 21.º dia após fabrico.

O esquema da Fig. 4.6 apresenta um resumo dos resultados obtidos relativamente ao tempo de validade das amostras armazenadas.

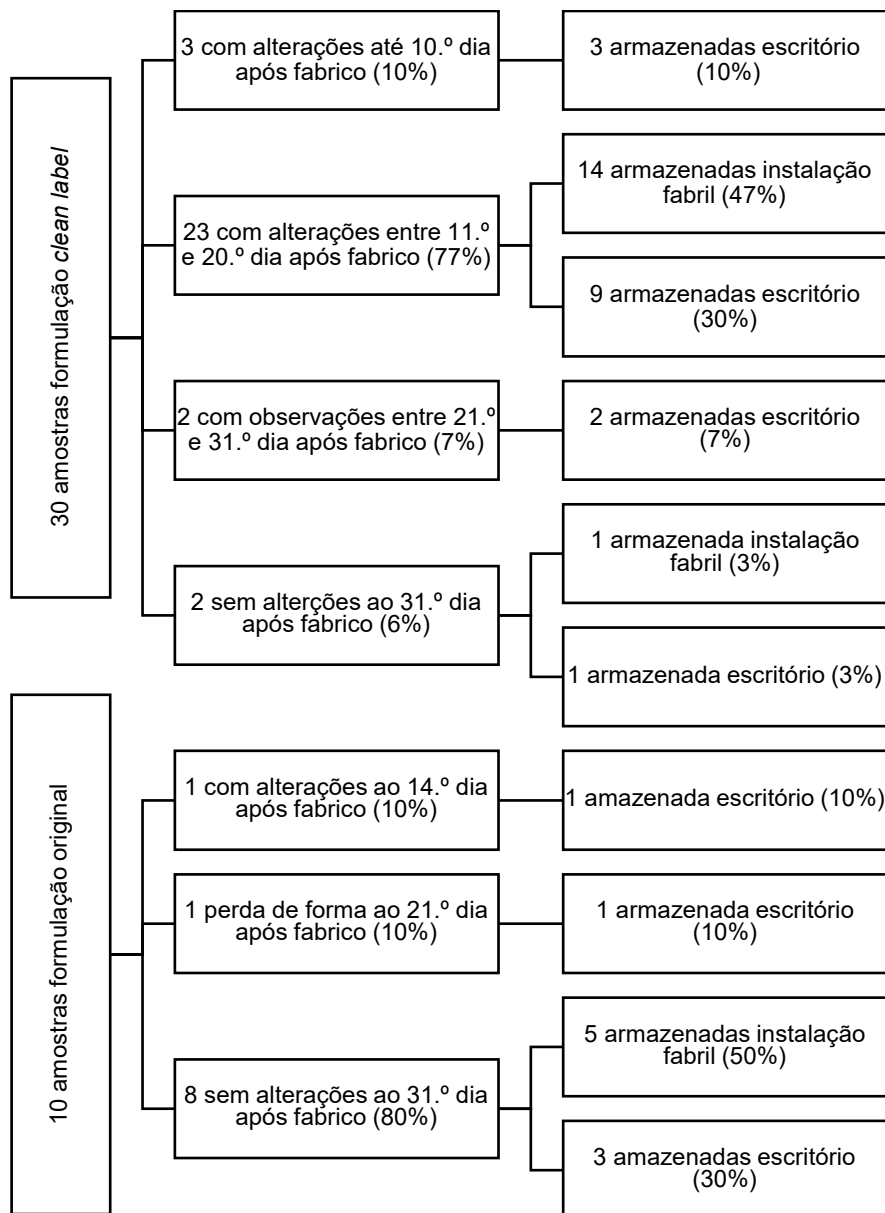


Figura 4.6 – Esquema resumo dos resultados relativos ao tempo de validade das amostras do teste nº5.

Segundo a Figura 4.6, as amostras de formulação *clean label* armazenadas no escritório foram as primeiras a apresentar desenvolvimento visual de colónias, tendo sido apenas nesse local que ocorreram alterações antes ou até ao 10.º dia após fabrico. Assim, apenas 10% das amostras teste mostrou desenvolvimento visual de colónias de microrganismos até ao 10.º dia após produção contrariamente aos 38%/86% do teste nº4. Acrescentar ainda que 6% do total das amostras teste não apresentaram qualquer alteração visual até ao 31.º dia após produção, algo que não se verificou em nenhuma das amostras de formulação *clean label* no teste nº4. Esta formulação, tal como a do teste nº5, só poderia ser considerada viável para colocação no mercado se fosse ponderada a diminuição de validade de 10 para, pelo menos, 9 dias.

A Tabela 4.2 mostra ainda que grande maioria das amostras apresentou colónias visíveis a olho nu de cor branca e aspeto denso. Apesar de similares na descrição, a aparência destas

colónias nas amostras foi ligeiramente distinta, apresentando duas formas cujos exemplos se encontram nas Figuras 4.7 e 4.8.



Figura 4.7 – Ilustração da morfologia das colónias brancas detetadas visualmente nas amostras de formulação teste do teste nº5. a) Amostra CL+V-3, armazenada na instalação fabril, ao primeiro dia após deteção da alteração; b) Amostra CL+V-10, armazenada no escritório, ao quinto dia após deteção da alteração; c) Amostra CL+V-2, armazenada no escritório, ao sexto dia após deteção da alteração.

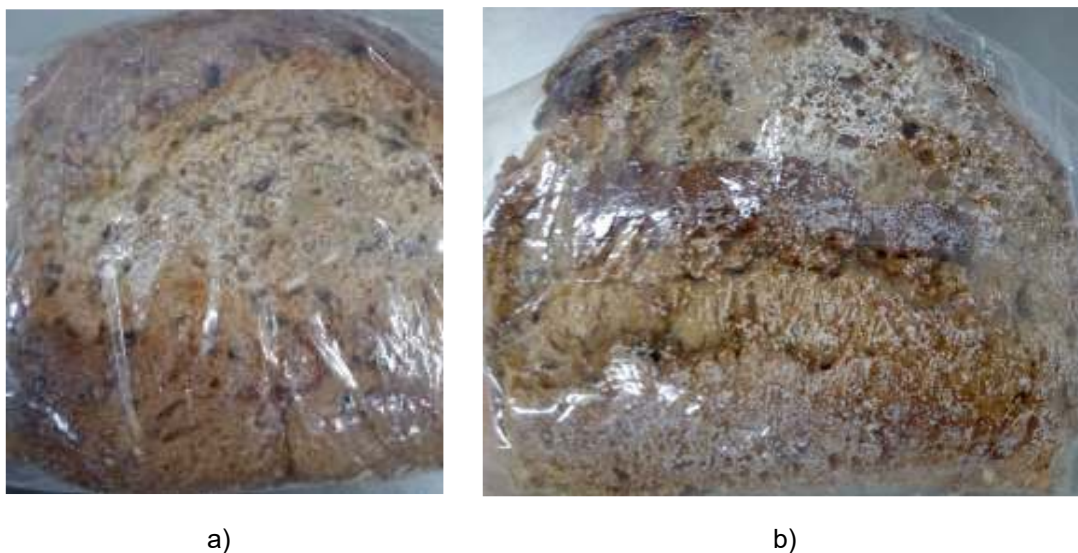


Figura 4.8 – Ilustração da morfologia das colónias brancas detetadas visualmente nas amostras de formulação teste do teste nº5. a) Amostra CL+V-4, armazenada na instalação fabril, ao primeiro dia após deteção da alteração; b) Amostra CL+V-9, armazenada na instalação fabril, ao oitavo dia após deteção da alteração.

Analisando as Figuras 4.7 e 4.8 verifica-se que, de facto, as colónias de cor branca observadas apresentam aspetos ligeiramente diferentes. Enquanto as primeiras (Fig.4.7) têm uma forma ligeiramente arredondada e elevada densidade, as segundas (Fig.4.8) são uma espécie de mancha branca, geralmente difícil de perceber e que ao se desenvolver se torna mais extensa e visível. Desta forma, e com base nas imagens observadas anteriormente (Fig. 4.7), infere-se que as alterações devem resultar de contaminação das amostras pela levedura *Hyphopichia burtonii*. Nas amostras do segundo conjunto de imagens (Fig.4.8), ainda que as colónias aparentem ter um aspeto algo distinto, segundo Garcia *et al.* (2019) essas alterações podem também corresponder a contaminação pela mesma levedura.

Para além das colónias anteriormente analisadas, as amostras apresentaram também outro tipo de colónias (Figura 4.9).

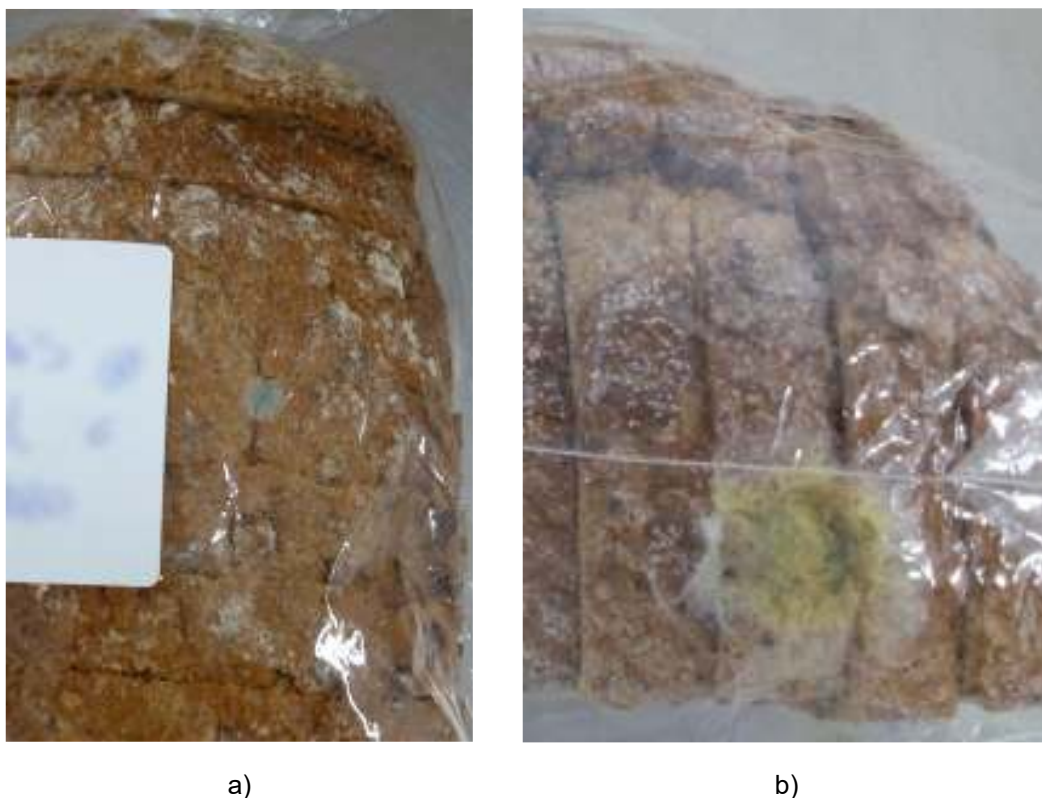


Figura 4.9 – Ilustração da morfologia de algumas colónias visualmente detetadas nas amostras de formulação teste do teste nº5. a) Amostra CL+V-6, armazenada na instalação fabril, ao quarto dia após deteção da alteração; b) Amostra CL+V-10, armazenada na instalação fabril, ao quinto dia após deteção da alteração.

A análise visual das imagens (Fig. 4.9) permite avaliar quais os possíveis microrganismos contaminantes cujo desenvolvimento resultou na formação das colónias observadas. Assim, na Fig.4.9.a) poderá observar-se o resultado do desenvolvimento de um fungo do género *Penicillium* e na Fig.4.9.b) de um fungo ou do género *Aspergillus* ou *Eurotium*.

A amostra N-1, armazenada no escritório, foi a única de formulação original que apresentou colónias visíveis a olho nu e estas eram semelhantes às da Fig.4.9.a) e, por isso, possivelmente originadas por fungos do género *Penicillium*.

É de salientar que apesar de maior parte das amostras teste não ter permanecido livre de colónias visíveis a olho nu até ao 31.º dia, as que se mantiveram apresentavam, nessa data, um cheiro relativamente intenso a vinagre. Curiosamente, os pães de formulação original em situação idêntica apresentaram um odor semelhante ao do pão em fresco e apenas uma perda ligeira de humidade (por comparação com amostras do dia).

4.1.2.3. Comparação dos Resultados dos Testes nº4 e nº5

Após a realização dos testes nº4 e nº5, é necessário proceder a uma avaliação comparativa para verificar a viabilidade de alterar a formulação da Referência F para ir ao encontro das expectativas dos consumidores no que respeita a utilização de substâncias naturais com características conservantes em produtos de panificação.

A formulação das amostras dos testes acima referidos variou apenas na adição ou não de vinagre de álcool (33,2 ml/kg de produto final). Assim, este é certamente um dos parâmetros responsáveis pelas diferenças observadas relativamente às colónias de microrganismos que se observaram bem como ao intervalo de tempo que estas demoraram a tornar-se visíveis a olho nu.

No que respeita as colónias observadas a olho nu nas amostras teste, pode afirmar-se que, apesar de visualmente ambos os testes terem apresentado colónias com características semelhantes, no teste nº4 parece ter havido uma maior superfície das amostras afetada pelas colónias e um maior número de amostras a apresentar colónias com menor intervalo de tempo entre produção e visualização a olho nu das mesmas não havendo, propriamente, um organismo predominante enquanto no teste nº5, parece ter predominado a levedura *Hyphopichia burtonii*. Este facto pode estar relacionado com a (provável) acidificação da matriz alimentar que originou um meio mais hostil ao desenvolvimento biológico dificultando o crescimento de organismos.

Comparando as colónias que se desenvolveram nas amostras teste com as das amostras de formulação original verificou-se que apenas as primeiras apresentaram deterioração consistente com a originada pela levedura *Hyphopichia burtonii*. Esta observação pode ser resultado de duas situações: a não contaminação das amostras de formulação original por este microrganismo ou a inibição total deste tipo de levedura por parte do conservante químico ácido sórbico. A primeira explicação não será probabilisticamente muito viável pois as amostras estiveram todas exatamente no mesmo tipo de ambiente, no mesmo dia e praticamente no mesmo horário, tornando-se complicada a não contaminação especificamente das amostras de formulação original e a contaminação das amostras teste. No entanto, uma forma das amostras não terem sido contaminadas pela levedura *Hyphopichia burtonii* seria a contaminação não provir do ambiente fabril, mas do produto *clean label* utilizado. Contudo, sendo esta substância adicionada à formulação antes da cozedura, caso fosse essa a fonte de contaminação, as células vegetativas e

esporos seriam inativados aquando da cocção. Assim sendo, é mais provável que este microrganismo seja inibido pelo ácido sórbico.

O intervalo de tempo necessário para a visualização a olho nu das primeiras colónias nas amostras *clean label* não foi muito distinto entre os dois testes. No teste nº4, as primeiras colónias tornaram-se visíveis ao 7º/8º dia enquanto no teste nº5, isso ocorreu ao 9º dia. Desta maneira, em nenhum dos testes se conseguiu que 100% das amostras mantivessem 10 dias de validade. Todas as amostras do teste nº4 apresentaram colónias visíveis até ao dia 18º dia enquanto algumas do teste nº5 permaneceram sem alterações durante os 31 dias de armazenamento. Estas diferenças podem derivar da adição de vinagre de álcool à formulação que, não inibindo o crescimento dos microrganismos, pode ter ajudado a atrasar o mesmo.

A diferença de validade (período desde a produção das amostras até à visualização da primeira deterioração observável a olho nu) entre os dois testes foi de 2 dias e a variação de custo entre as duas reformulações dever-se-ia à adição de vinagre de álcool, portanto, e caso se ponderasse avançar com a comercialização de uma das reformulações, teria de se proceder à análise de possíveis alterações organolépticas nos dois tipos de amostras e avaliar se o gasto com a matéria-prima vinagre de álcool compensaria a extensão de dois dias na validade do produto.

Outro fator a considerar nesta avaliação é a temperatura de armazenamento. As variações de temperatura quer entre os testes (período em que decorreram) quer entre os locais de armazenamento podem ter influenciado os resultados, uma vez que os organismos apresentam gamas de temperaturas ótimas para o seu desenvolvimento bem como taxas de desenvolvimento diferentes consoante a temperatura. Na Tabela 4.3, encontram-se alguns parâmetros estatísticos relativos aos dados de temperatura do período em que decorreram os testes.

Tabela 4.3 – Dados de temperatura referentes aos períodos dos testes nº4 e nº5.²

Teste	Nº4	Nº5
Valor máximo (°C)	33,9	36,0
Valor mínimo (°C)	8,7	9,4
Média do valor máximo (°C)	24,5	26,8
Média do valor mínimo (°C)	12,9	13,3
Média da amplitude térmica (°C)	11,8	13,4

Pela Tabela 4.3 verifica-se que, ainda que existam diferenças entre os dados de temperatura dos períodos em que decorreram os ensaios, essas não parecem ser suficientemente acentuadas a ponto de influenciarem as variações observadas no tipo de colónias visíveis nas amostras.

² Os valores apresentados resultam do tratamento estatístico dos dados da estação de monitorização de Leiria/Aeródromo do IPMA nos períodos de 21/05/2020 a 23/06/2020 (teste nº4) e 01/09/2020 a 02/10/2020 (teste nº5), consultáveis em <https://www.ipma.pt/pt/oclima/monitoriza.dia/> - acesso a 17/10/2020.

Relativamente às variações de temperatura entre os dois locais de armazenamento, não foi possível recolher dados relevantes e consistentes para avaliar o impacto deste parâmetro na validade das amostras.

4.2. Otimização da Linha de Produção

Este capítulo subdivide-se em duas partes: uma respeitante à otimização do processo de produção de pão e outra à otimização do processo de produção de bolachas.

4.2.1. Otimização do Processo de Produção de Pão

A linha de produção instalada na empresa onde o trabalho foi realizado é composta por vários módulos, cada um com uma função específica e diversos parâmetros alteráveis. Há produção tanto de pães redondos como de forma pelo que, para o estudo, foram escolhidas 3 referências de pão de forma (Referências A a C) e 2 referências de pão redondo (Referências D e E).

Após observar o processo de produção de pão foi possível compreender que nem todos os módulos necessitavam de otimização visto alguns já se encontrarem parametrizados de forma a facilitar e agilizar o processo. Assim, serão apenas abordados os módulos em que se verificou a existência de problemas, as observações feitas bem como as ações tomadas ou possíveis ações a tomar para a sua resolução e otimização.

4.2.1.1. Enfarinhadores

As massas das diferentes referências produzidas têm quantidades diferentes de água e, portanto, consistências diferentes. Verificou-se que massas de menor viscosidade (maior quantidade de água) tinham maior tendência para aderir às cintas o que causava diversos transtornos pois dificultava a transferência do lençol de massa e das peças de umas cintas para outras; aumentava a quantidade de massa que ficava agarrada às cintas; e dificultava a deposição das peças nas formas. Para diminuir este problema, quando se verifique que a massa está a aderir demasiado às cintas, deve aumentar-se a velocidade dos enfarinhadores (através do ecrã tátil da linha) para que haja um maior débito de farinha nas cintas o que diminui a aderência e facilita o processo. Este problema ocorria principalmente com a Referência C optando-se por aumentar a velocidade dos enfarinhadores de 1,5 para 6 (não são apresentadas unidades no equipamento).

4.2.1.2. Chunker

No módulo *Chunker*, as parametrizações mais importantes são a distância de corte para os blocos iniciais de massa e a altura do Rolo de Pressão.

A distância de corte para os blocos iniciais de massa deve ser ajustada consoante a necessidade de alimentação de massa na linha sendo que, para distâncias de corte mais pequenas,

os blocos vão ter um menor comprimento e apresentar uma maior sobreposição originando um maior fluxo de massa, e para distâncias maiores, haverá menor sobreposição e menor fluxo de massa.

Relativamente às observações feitas no Rolo de Pressão *Chunker* apurou-se que o posicionamento deste componente na altura mais indicada evita a ocorrência de determinados problemas. Se estiver muito baixo, a massa vai ser excessivamente laminada, facilitando quebras enquanto avança na linha. Por outro lado, se estiver demasiado alto não ocorre praticamente laminação ou uniformização do lençol, origina-se uma acumulação de massa no módulo seguinte (*Plaff-Plaff*), e a massa pode começar a ser desviada para partes laterais e inacessíveis das cintas acabando como excedente.

Os dois parâmetros anteriores devem ter uma ação coordenada. Primeiramente, deve ajustar-se a altura do Rolo de Pressão *Chunker* para valores entre 80 mm e 110 mm, tendo-se usado com sucesso valores mais próximos do máximo do intervalo para massa de pão redondo e valores mais próximos do mínimo para massa de pão de forma. Seguidamente, deve avaliar-se a quantidade de massa que chega ao Rolo de Pressão *Chunker* e, caso se observe um excesso, deve aumentar-se a distância de corte dos blocos. No entanto, se se verificar que o lençol de massa e o Rolo não contactam, significa que há um défice devendo diminuir-se a distância de corte.

4.2.1.3. *Plaff-Plaff*

O componente do módulo *Plaff-Plaff* que é mais importante no processo de laminação da massa e na otimização do processo produtivo é o Multirolos.

Para evitar problemas nos módulos posteriores, é necessário garantir que o lençol de massa que chega ao módulo *Plaff-Plaff* proveniente do módulo *Chunker* apresenta uniformidade em largura (Fig.4.10), ou seja, não pode haver zonas onde a largura é muito inferior ($L-2a$) ao regulado (L) porque o sistema de palas laterais não conseguirá uniformizar a massa para eliminar essas falhas. Assim, deve ter-se maior atenção às parametrizações do módulo *Chunker* anteriormente referidas (Capítulo 4, subsecção 4.2.1.2.) para que não existam disformidades no lençol de massa.

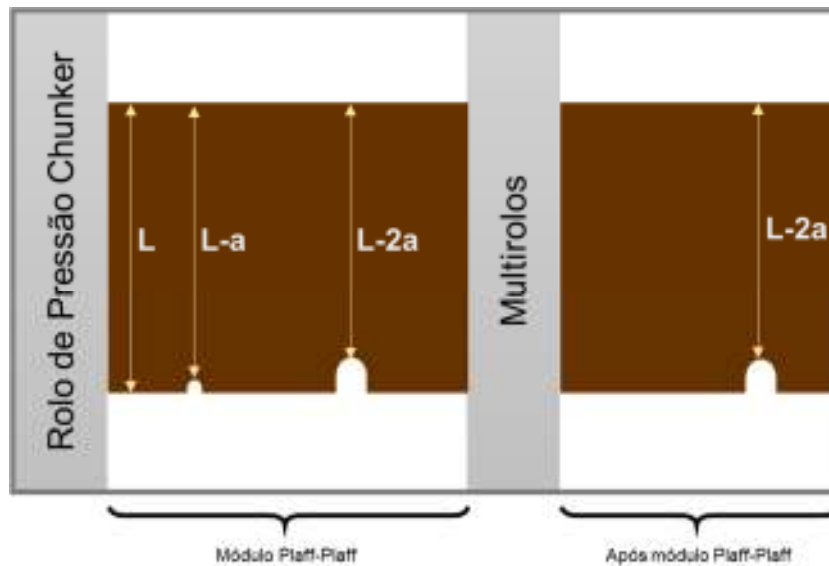


Figura 4.10 - Esquema ilustrativo (vista superior) da variação de largura do lençol de massa no módulo *Plaff-Plaff* e consequente não uniformização do mesmo.

No componente Multirolos, a massa passa entre um conjunto de vários rolos e a cinta que se encontra por baixo destes e observou-se que o lençol de massa após este componente não era uniforme em termos de altura, apresentando altos e baixos como pequenas ondas (Fig. 4.11). Esta situação tornava-se mais evidente após se ligar a guilhotina (no ecrã tátil) para proceder ao corte das peças.

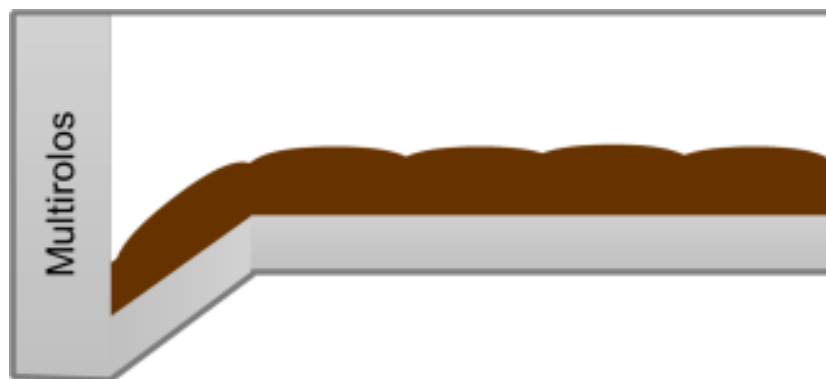


Figura 4.11 - Esquema ilustrativo (vista lateral) das disformidades causadas no lençol de massa pelo componente Multirolos.

Ao ligar a guilhotina também o sistema de “Parada de Máquina” é acionado o que faz com que todas as cintas e grande parte dos componentes dos módulos *Chunker*, *Plaff-Plaff* e Linha de Formação parem ou diminuam a sua velocidade. No entanto, o Multirolos permanecia em funcionamento e, como o lençol de massa permanecia parado alguns segundos, criava-se uma depressão na parte da massa que ficava imediatamente abaixo do componente o que originava as tais disformidades semelhantes a ondas.

A mitigação deste problema passa por ativar, no ecrã tátil, uma opção denominada “Paragem *Multiroller*” que permite que o componente *Multirolos* pare/diminua a sua velocidade juntamente com os restantes módulos durante a “Parada de Máquina”. Ao acionar esta opção verificou-se que, efetivamente, este componente parava ao mesmo tempo que os restantes e que as disformidades na altura da massa diminuíam significativamente.

4.2.1.4. Mesa *Rodiform*

O módulo Mesa *Rodiform* inclui-se na Linha de Formação e os seus componentes mais relevantes na produção de pão são o Rolo de Pressão *Rodiform* e os discos de corte longitudinal.

Relativamente ao Rolo de Pressão *Rodiform*, observou-se que o lençol, ao chegar ao componente e à medida que ia avançando na linha, criava uma acumulação de massa antes do rolo (Fig. 4.12).

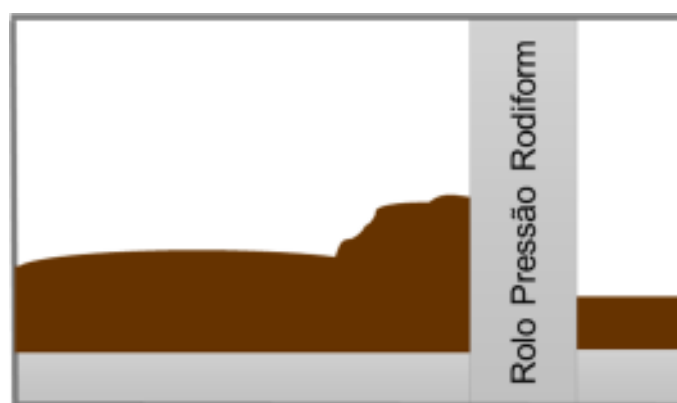


Figura 4.12 - Esquema ilustrativo (vista lateral) da acumulação de massa que ocorria antes do componente Rolo de Pressão *Rodiform*.

O objetivo deste componente é distribuir uniformemente a massa do centro para as pontas do lençol, o que poderia explicar uma ligeira acumulação da mesma, mas não tanto como a que se verificou. Para além disto, a acumulação também causava tensão na massa o que, por sua vez, originava uma altura não uniforme do lençol após este componente. Como esta é a última fase de laminação antes do corte, estas variações poderiam afetar o peso das peças cortadas.

Para minimizar este problema pode aplicar-se uma de duas opções: aumentar a laminação no componente *Multirolos* do módulo *Plaff-Plaff*, o que irá fazer com que o lençol de massa chegue ao Rolo de Pressão *Rodiform* com uma altura menor ocorrendo menos acumulação; ou diminuir a laminação no Rolo de Pressão *Rodiform*, ajustando depois os parâmetros de corte da guilhotina para se obter peças com o peso adequado.

Na produção dos dois formatos de pão é usada sempre a mesma peça dos discos de corte longitudinal – uma peça com 4 discos de corte, que divide o lençol de massa em 3 porções de igual largura. Verificou-se, no entanto, que havia sempre variações de peso significativas quando

se pesavam as 3 peças originadas em simultâneo após o corte da guilhotina (Fig. 4.13). Exemplificando, um conjunto de 3 peças de uma determinada referência de pão de forma continha uma com 505g (peça 1), outra com 525g (peça 2) e a terceira com 495g (peça 3), sendo a amplitude de peso do conjunto de 30g.

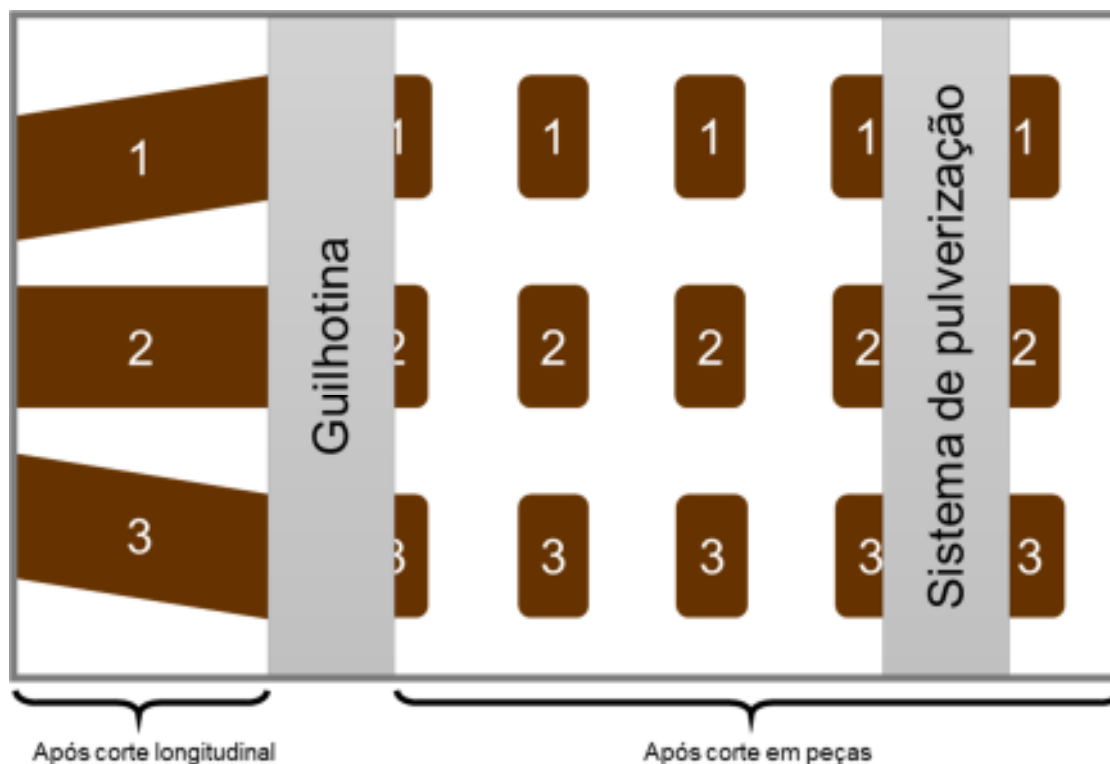


Figura 4.13 - Esquema ilustrativo (vista superior) da zona de corte da guilhotina e do sistema de pulverização das peças.

Como a amplitude de peso dos conjuntos era recorrentemente elevada, tentou procurar-se uma explicação para tal facto. Como mencionado anteriormente, a acumulação de massa no Rolo de Pressão *Rodiform* poderia estar parcialmente relacionada com esta situação. Ainda assim, acabou por se apurar outra razão para a diferença de pesos: os discos de corte não se encontravam à mesma distância uns dos outros. Para confirmar se esta podia ser a origem do problema, procedeu-se à correção das posições dos mesmos, o que diminuiu a diferença para 15g, metade da original (uma peça com 495g (peça3), outra com 500g (peça 2) e outra com 510g (peça1)).

Apesar do ajuste realizado, verificou-se uma tendência de aumento da amplitude de peso dos conjuntos ao longo do tempo. Desta forma, voltou a examinar-se a peça de corte, encontrando novamente espaçamentos diferentes entre os discos. Face à repetição da situação, inferiu-se que a posição dos discos poderia estar a alterar-se devido à trepidação própria da linha em funcionamento, o que implica um ajuste periódico quando se verifique uma amplitude significativa de peso entre os conjuntos de peças.

4.2.1.5. Mesa de Saída

Um dos componentes mais relevantes na otimização da produção de pão na linha instalada é a guilhotina uma vez que é a atuação deste componente que define o formato (e o peso) final das peças.

Uma vez que otimizar também passa por diminuir o tempo de processamento da massa na linha, verificou-se que não existia necessidade de ter o componente guilhotina ligado desde que a massa era transferida para a tremonha do Módulo *Chunker* pois, ao estar ativo ocorre a “Parada de Máquina”, independentemente de haver corte de peças e necessidade de as separar. Assim, o tempo despendido durante essas paragens é desnecessário até que o lençol de massa se aproxime da guilhotina. Desta forma, a ativação do componente guilhotina deve ser feita apenas quando a massa já se encontrar na cinta da Mesa Separadora, encurtando o tempo de processamento de cada massa e aumentando a produtividade.

A guilhotina corta o lençol de massa em peças consoante uma distância pré-definida. Como o interesse é que as peças tenham determinado peso, é necessário compreender a relação entre essa distância e o peso das peças.

A cada corte da guilhotina originam-se 3 peças, à partida, com o mesmo formato e peso. O formato depende da laminação da massa na linha e do corte (em comprimento e largura), responsável também pelas variações de peso nas peças se a massa não estiver devidamente uniforme (Fig. 4.14). Este problema pode advir da má uniformização do lençol de massa na passagem do módulo *Chunker* para o módulo *Plaff-Plaff* como visto no Capítulo 4 (subsecção 4.2.1.3).

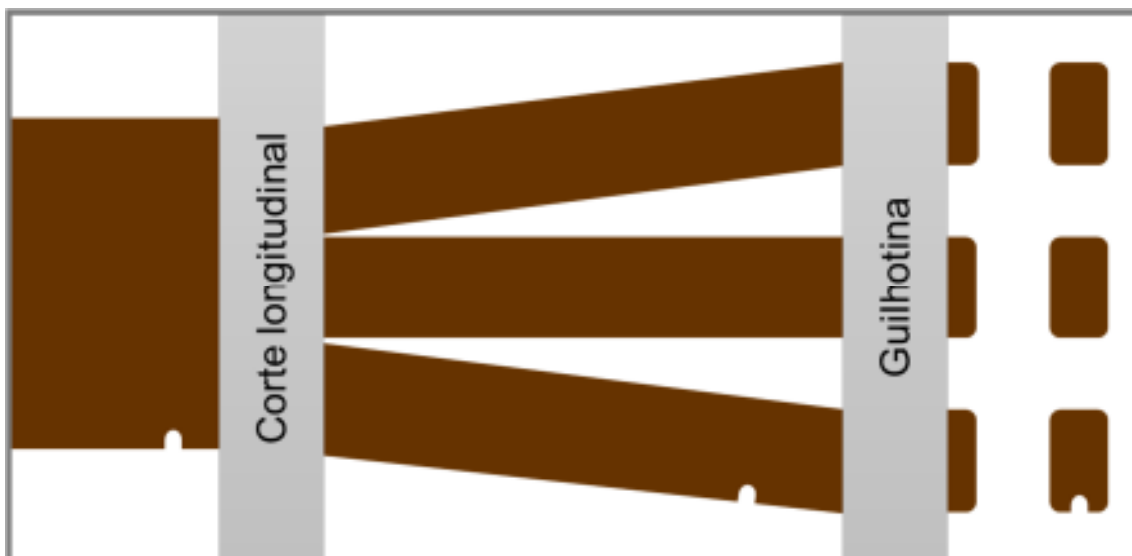


Figura 4.14 - Esquema ilustrativo (vista superior) do impacto que a não uniformização do lençol de massa pode ter no formato (e peso) final das peças.

O peso das peças é igualmente influenciado pela temperatura da massa que, ao influenciar a sua densidade aparente, pode originar variações no peso (visto estas serem cortadas consoante determinado volume).

Idealmente, a temperatura da massa deveria apresentar poucas variações para manter a consistência do processo e do estudo em questão. No entanto, e apesar de existir um equipamento refrigerador para a água que é adicionada na amassadura, não há constância nos valores de temperatura das massas no final da amassadura. Assim, cada conjunto de dados recolhido para o estudo da otimização do corte está associado à temperatura da massa medida após amassadura.

As peças originadas pela guilhotina têm diferentes destinos após o corte consoante sejam para produção de pão de forma ou redondo. No caso dos pães de forma, as peças seguem pelos restantes módulos da linha, devidamente separadas, até ao módulo *Deposit* onde são colocadas nas formas. Já as peças de pão redondo, após o corte, são transferidas para a cinta de bolas (módulo *Decograin*), no final da qual são retiradas por um operador, pesadas manualmente para confirmação/ajuste do peso, introduzidas numa máquina enroladora que formata as bolas (onde a introdução das peças e remoção das bolas é feita por um operador) e depois colocadas nos devidos tabuleiros. Devido a esta diferença, no caso do pão de forma, nem todas as peças são pesadas enquanto no caso do pão redondo são, o que origina conjuntos de dados distintos. Assim, as Referências A a C (pães de forma) serão comparadas entre si bem como as Referências D e E (pães redondos) entre si.

Os conjuntos de dados recolhidos nas várias observações de processo de linha referentes às diferentes referências (A a E) foram devidamente tratados e serão, seguidamente, apresentados e analisados.

4.2.1.5.1. Corte de Peças de Pão Redondo

O processo de pesagem manual das peças de pão redondo que ocorre na empresa não decorre apenas da necessidade de garantir o peso dessas peças, mas também devido à capacidade do equipamento responsável pela formatação das bolas. Consoante a referência (tipo de massa), a peça pode ter de ser introduzida na máquina enroladora entre duas a quatro vezes até ter o aspeto desejado, existindo assim tempo suficiente para se proceder à pesagem de todas as peças.

Com base nas observações feitas no decurso do trabalho, verificou-se que é mais vantajoso ter peças que apresentem peso certo ou ligeiramente superior ao desejado do que peso a menos dado ser mais rápido e menos laborioso remover pequenas porções de massa das peças que chegam da linha do que acrescentar massa às mesmas. O peso deve ser apenas ligeiramente superior porque senão também causará atraso na pesagem bem como implicará um maior excedente de massa para voltar a pesar.

Assim, dos conjuntos de dados recolhidos procurar-se-á os cujo valor mínimo seja cerca de 880g (peso desejado para as peças em cru) e que apresentem uma pequena amplitude de valores (valor máximo o mais próximo possível do mínimo).

Os conjuntos de dados obtidos foram codificados segundo dois parâmetros dos quais estão dependentes: temperatura da massa no final da amassadura (°C) e distância de corte da guilhotina (mm).

A análise dos dados recolhidos relativos ao peso das peças será feita com base na sua representação sob a forma de diagramas de extremos e quartis (*boxplots*) pois estes permitem uma boa visualização da distribuição dos dados. Para além da média dos dados (marcada com uma cruz), também estão evidenciadas a mediana, os quartis, os valores mínimos e máximos e os *outliers*.

No decorrer do trabalho foram observados vários processos de linha relacionados com as Referência D e E sendo que de todos esses apenas 28 e 21, respetivamente, tinham dados suficientes para se proceder à análise. Desses foram seleccionados os 8 mais representativos de cada referência e os seus *boxplots* encontram-se nas Figuras 4.15 e 4.16.

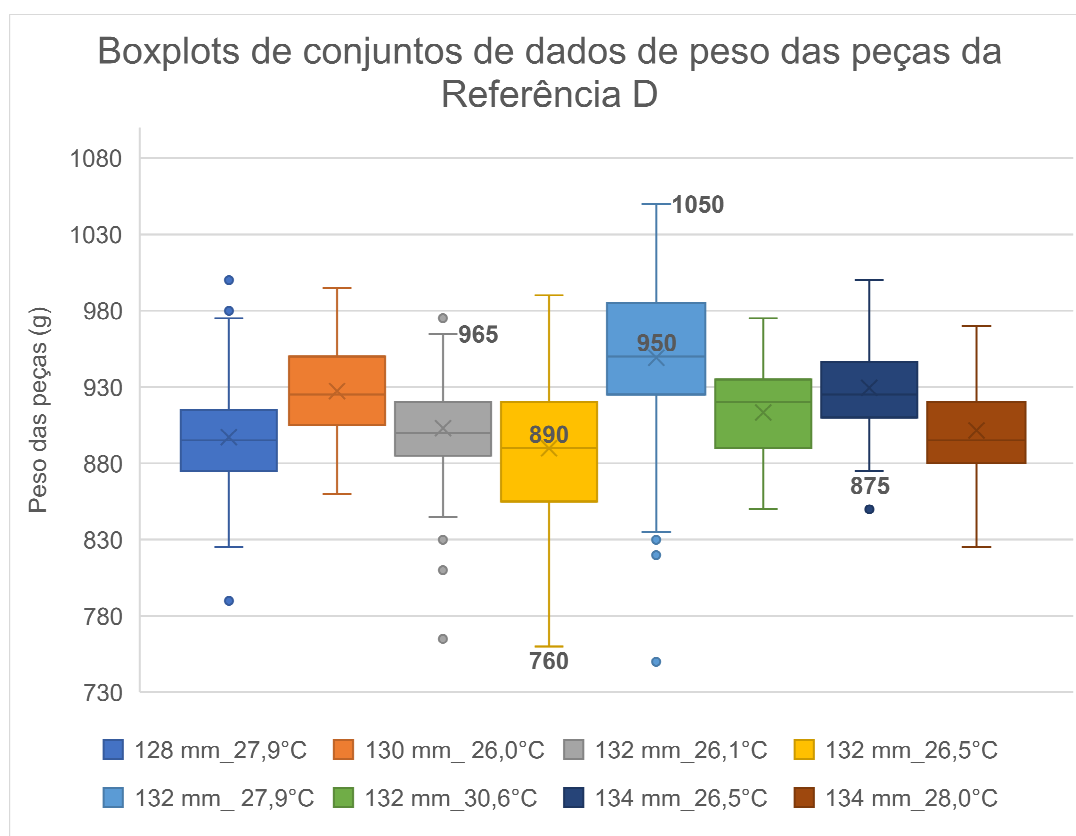


Figura 4.15 - *Boxplots* dos 8 conjuntos de dados de peso das peças mais representativos obtidos para a Referência D no decorrer do trabalho.

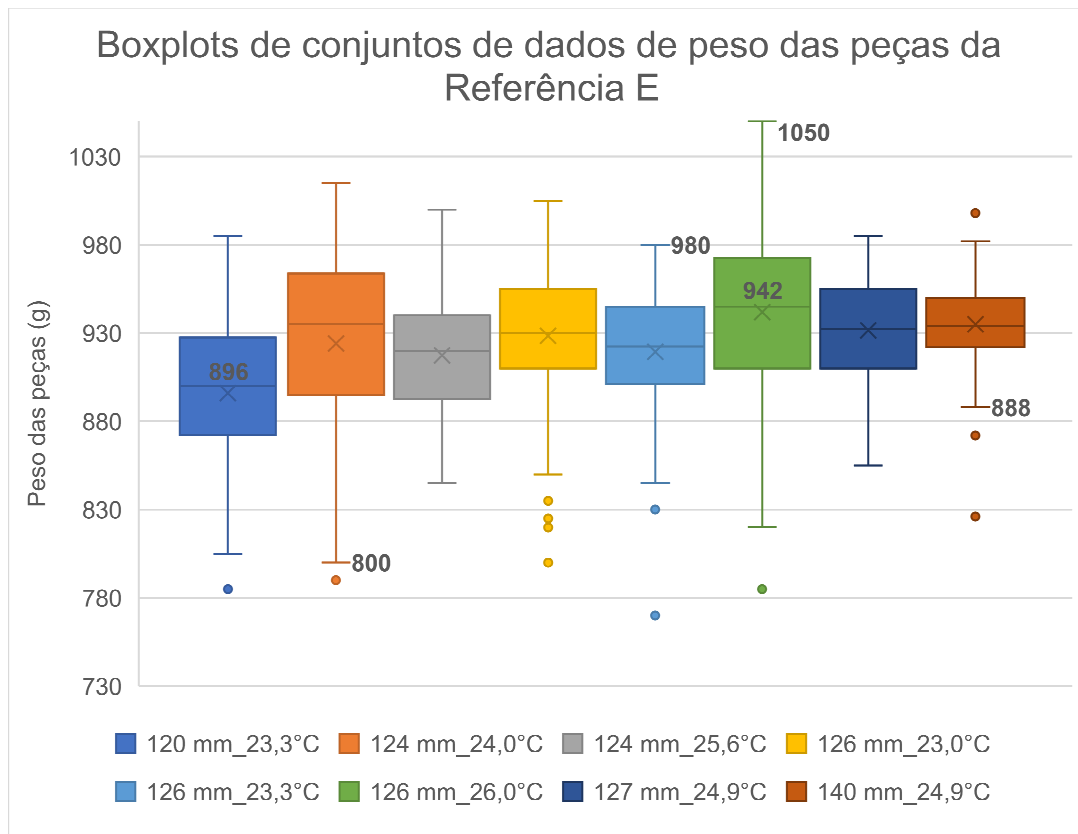


Figura 4.16 - *Boxplots* dos 8 conjuntos de dados de peso das peças mais representativos obtidos para a Referência E no decorrer do trabalho.

Os dados obtidos no decorrer do estudo, e que se apresentam acima (Figs.4.15 e 4.16), mostraram uma grande disparidade, visível através das variações significativas dos valores mínimo, máximo e média. Esta diferença pode ser resultado da variação dos parâmetros atrás referidos (distância de corte da guilhotina e temperatura da massa no final da amassadura) mas, mesmo quando um desses parâmetros é fixo, não parece haver uma correlação entre os conjuntos de dados obtidos como acontece, por exemplo, entre os conjuntos “128mm_27,9°C”-“132mm_27,9°C” e “134mm_26,5°C”-“134mm_28,0°C” da Referência D; e entre os conjuntos “126mm_23,3°C”-“126mm_26,0°C” e “127mm_24,9°C”-“140mm_24,9°C” da Referência E.

Como os dados dos conjuntos não podem ser dissociados nem da temperatura da massa após amassadura nem da distância de corte da guilhotina, terá de se encontrar o binómio temperatura da massa-distância de corte mais vantajoso para o processo de produção destas duas referências. Para tal, procedeu-se à seleção dos conjuntos de dados que melhor se enquadravam no objetivo: mínimo de 880g e menor amplitude possível. Os *boxplots* correspondentes aos 8 conjuntos de dados da Referência D selecionados encontram-se representados no gráfico da Fig.4.17.

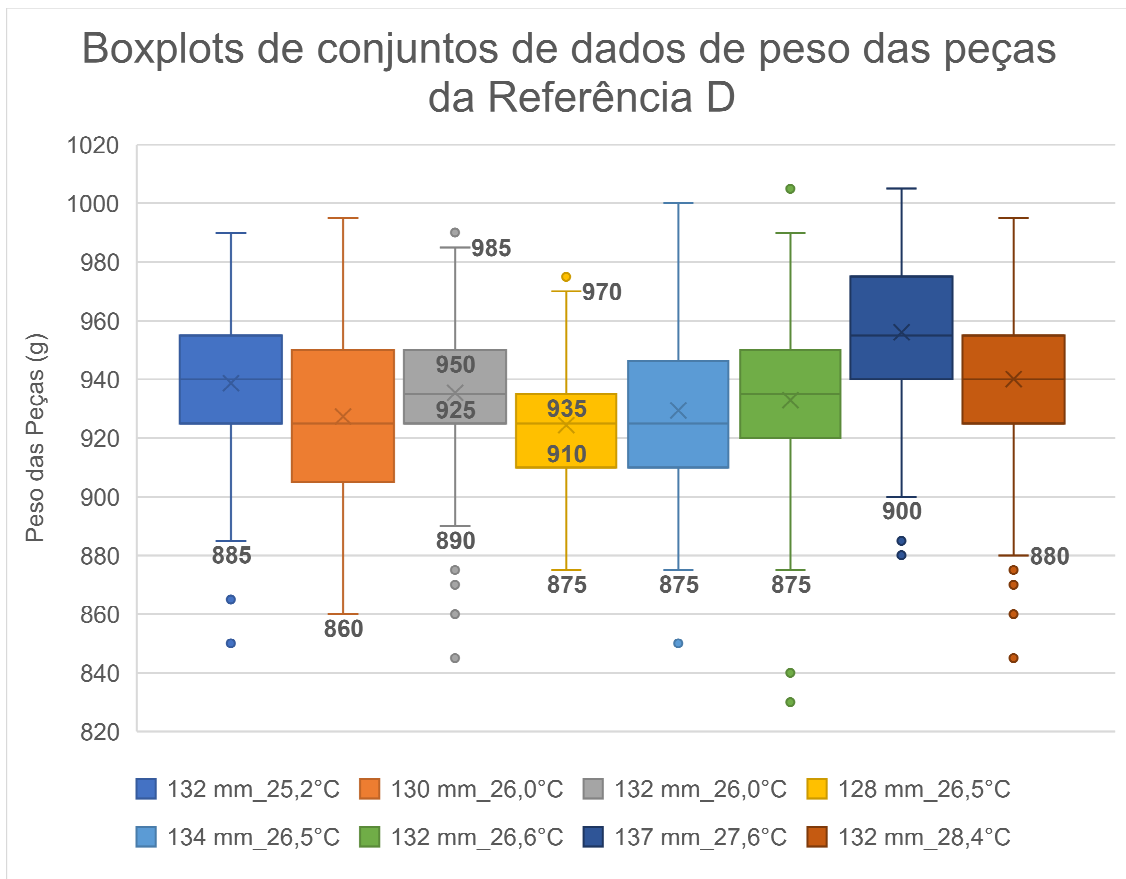


Figura 4.17 - *Boxplots* dos 8 conjuntos de dados de peso das peças da Referência D que melhor se enquadram no objetivo do estudo.

Ainda que tenham sido escolhidos com base nos objetivos do estudo, os conjuntos da Fig.4.17 apresentam *boxplots* bastante distintos. Os valores mínimos variam entre 860g e 900g, valores próximos de 880g. Dos 8 conjuntos, 6 apresentam valores mínimos entre 875g e 890g e desses, apenas 2 apresentam amplitudes inferiores a 100g. Assim, os conjuntos “132mm_26,0°C” e “128mm_26,5°C” são os que melhor se enquadram no que se pretende. O segundo conjunto apresenta ainda 50% dos dados entre 910g e 935g, valores mais próximos de 880g que os do primeiro conjunto (50% dos dados entre 925g e 950g). Desta forma, e neste caso, o conjunto de dados “128mm_26,5°C” é o que corresponde à melhor situação de corte de peças e, por isso, o melhor binómio temperatura da massa-distância de corte para a Referência D será 26,5°C-128mm.

Os *boxplots* correspondentes aos 6 conjuntos de dados da Referência E selecionados encontram-se representados no gráfico da Fig.4.18.

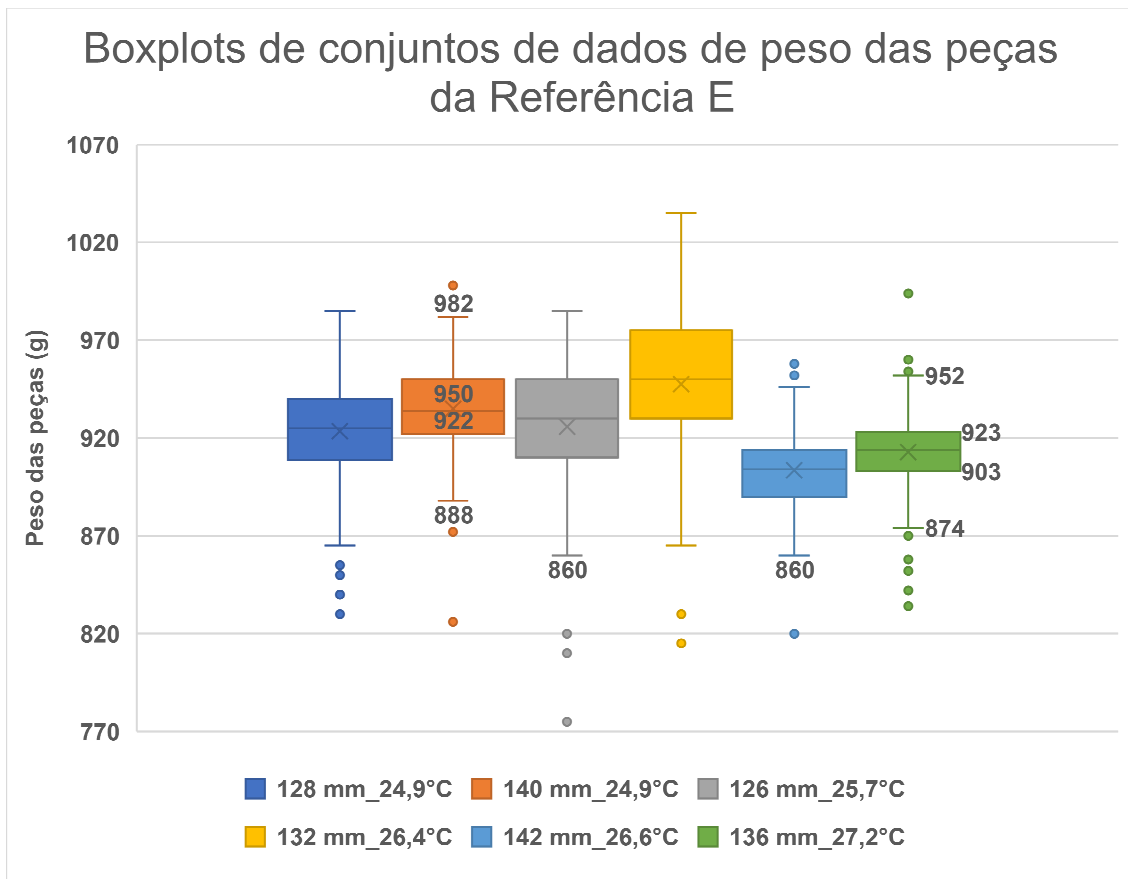


Figura 4.18 - *Boxplots* dos 6 conjuntos de dados de peso das peças da Referência E que melhor se enquadravam no objetivo do estudo.

Os valores mínimos dos conjuntos da Fig.4.18 variam entre 860g e 888g, sendo valores mais baixos que os apresentados nos *boxplots* da Referência D (Fig.4.17.). Estes valores são relativamente próximos de 880g, no entanto, dos 6 apenas os conjuntos “140 mm_24,9°C” e “136 mm_27,2°C” apresentam valores mínimos de 888g e 874g, respectivamente, e admissíveis como peso final para as peças de pão da Referência E. Ambos os conjuntos apresentam uma amplitude abaixo de 100g (94g e 78g, respectivamente) mas o segundo conjunto apresenta 50% dos dados entre 903g e 923g, valores estes mais próximos de 880g que os 922g a 950g do primeiro conjunto. Desta forma, o conjunto de dados “136mm_27,2°C” é o que corresponde à melhor situação de corte sendo 27,2°C-136mm o melhor binómio temperatura da massa-distância de corte para a Referência E.

4.2.1.5.2. Corte de Peças de Pão de Forma

Após o corte, as peças de pão de forma continuam a sua progressão na linha de produção em grupos de 3 (Fig. 4.13). A velocidade de trabalho do equipamento impossibilita a pesagem de todas as peças cortadas. Assim, pesam-se uma ou duas peças, a intervalos de tempo curtos e do início ao fim do corte de cada massa, para garantir que o peso se encontra dentro dos valores determinados (480g - 510g). Embora seja habitual que as 3 peças de cada grupo não

apresentem o mesmo peso, é preciso garantir que a de menor peso não tem menos de 480g e a de maior peso não ultrapassa os 510g.

Para analisar os conjuntos de dados recolhidos das referências de pão de forma (Referências A a C) foram produzidos gráficos de dispersão que avaliam o peso médio (gramas) em cru das peças em função de um determinado momento (minutos) durante o período de corte. A este peso médio está ainda afeta a distância de corte da guilhotina (milímetros) e a cada massa corresponde uma temperatura após amassadura. Estes gráficos apresentam também duas retas constantes que correspondem ao valor de peso desejado (480g) para as peças (peso ideal) e de peso máximo (510g) que não deverá ser excedido.

A otimização implica manter os valores médios de peso em cru entre 480g e 510g pelo que, de entre os 11 conjuntos de dados válidos para análise de cada uma das referências, se escolheu os que mais se enquadram no objetivo para retirar as ilações possíveis. Nas Figs. 4.19 a 4.21 encontram-se os conjuntos de dados que melhor preenchem os requisitos de interesse para a Referência A, B e C, respetivamente.

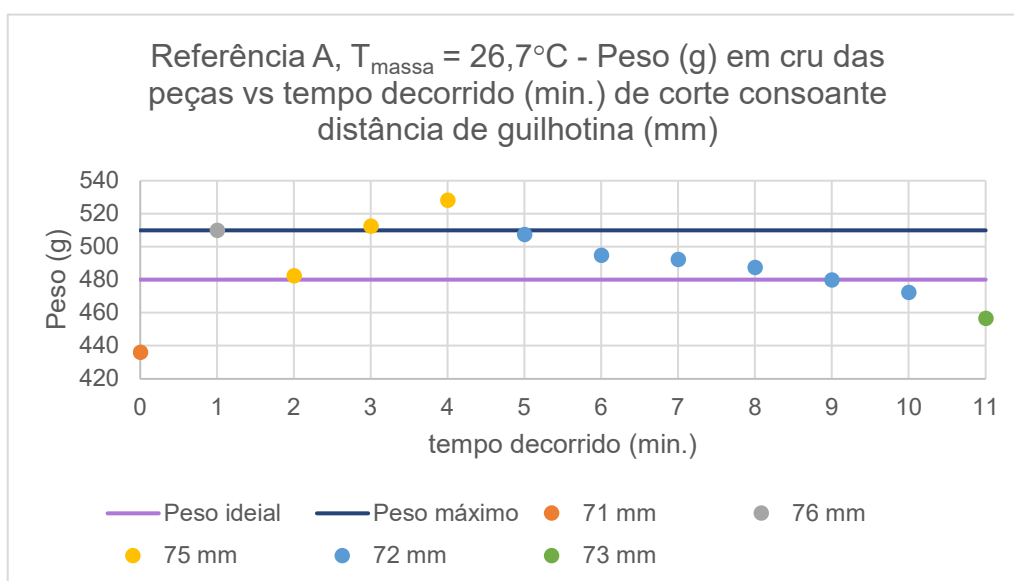


Figura 4.19 - Gráfico de dispersão do peso (gramas) em cru das peças da Referência A em função do tempo decorrido (minutos) desde o início do corte e consoante a distância de corte da guilhotina (milímetros) e cuja temperatura da massa no final da amassadura foi $26,7^{\circ}\text{C}$.

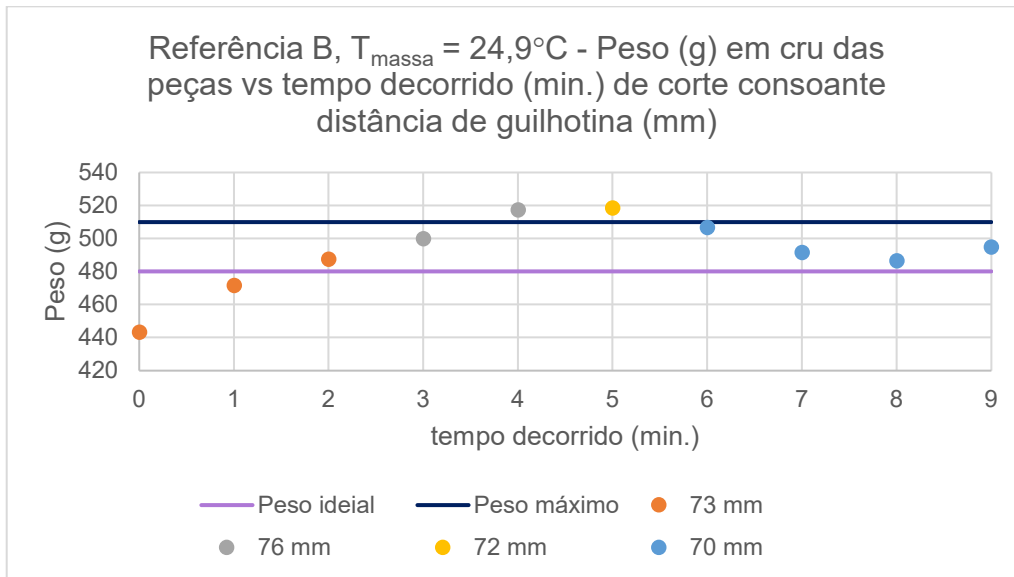


Figura 4.20 - Gráfico de dispersão do peso (gramas) em cru das peças da Referência B em função do tempo decorrido (minutos) desde o início do corte e consoante a distância de corte da guilhotina (milímetros) e cuja temperatura da massa no final da amassadura foi $24,9^{\circ}\text{C}$.

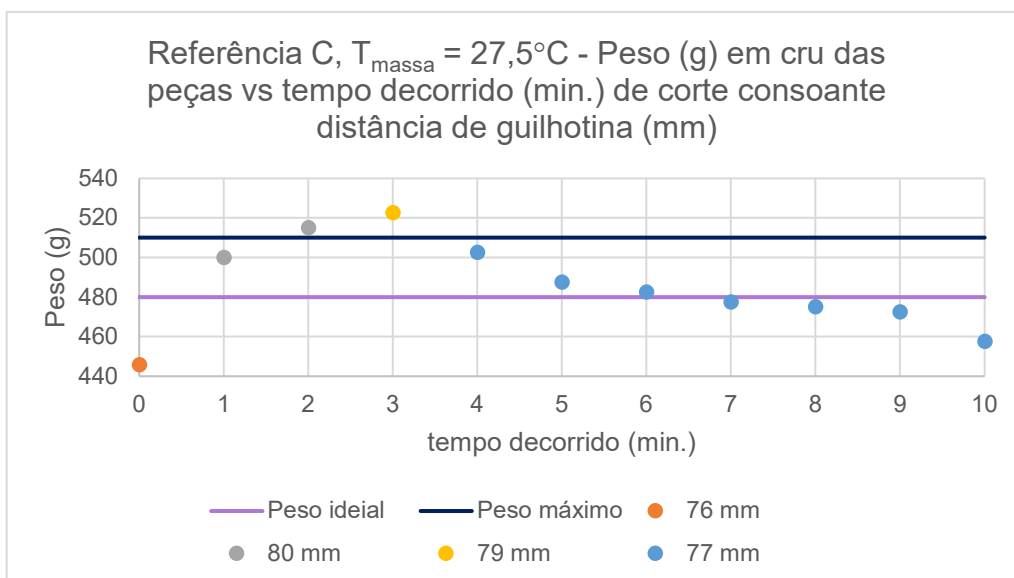


Figura 4.21 - Gráfico de dispersão do peso (gramas) em cru das peças da Referência C em função do tempo decorrido (minutos) desde o início do corte e consoante a distância de corte da guilhotina (milímetros) e cuja temperatura da massa no final da amassadura foi $27,5^{\circ}\text{C}$.

Dado que as peças de pão de forma geradas não são todas pesadas, caso se verifique um peso anormal durante o corte, tem de se alterar a distância de corte da guilhotina para impedir que sejam elaborados pães com défice ou excesso de peso. Assim, cada um dos gráficos (Figs. 4.19 a 4.21) apresenta várias distâncias de corte, com o respetivo peso médio das peças geradas e pesadas naquele intervalo de tempo.

O sistema implementado na empresa para o processamento deste tipo de pães baseia-se muito no acompanhamento do peso das peças durante o processo o que parece ser um sistema

adequado uma vez que, ao longo do tempo, o peso médio das peças varia ainda que a distância de corte se mantenha constante, como por exemplo no conjunto de dados da Fig. 4.21, onde para a distância de corte de 77 mm, e no decurso de seis minutos, o peso médio das peças variou entre cerca de 500g e 460g.

Analisando os gráficos das Figuras 4.19 a 4.21 verifica-se que cada conjunto de dados parece apresentar uma espécie de padrão, mesmo com as variações de temperatura da massa e distância de corte. No início do corte parece haver um aumento do peso médio das peças e, no final, um decréscimo do mesmo, quer ocorra ou não alteração da distância de corte. Este dado pode ser útil para avaliar que tipo de alterações na distância de corte devem ser feitas nesses dois momentos.

No início do processo de corte (primeiros dois ou três cortes) era comum o peso das peças ser ligeiramente mais baixo do que 480g o que levava os operadores a aumentar bastante a distância de corte da guilhotina. No entanto, dadas as observações feitas e a conclusão a que se chegou no parágrafo anterior, este tipo de ação não é benéfico pois levará, em poucos cortes, a alterações ainda mais significativas do peso das peças. Por exemplo no gráfico da Fig.4.19, o corte inicia-se com distância de 71 mm sendo a média do peso das primeiras peças de 440g, 40g inferior ao peso desejado. Ao aumentar a distância de corte para 76 mm, a média de peso situou-se imediatamente em 510g, valor este já no extremo oposto (peso máximo desejado). Caso não houvesse em seguida uma nova diminuição da distância de corte (75 mm), verificar-se-ia certamente que a média de peso iria ultrapassar os 510g, dado o padrão inicial de crescimento da média de peso que todos os gráficos apresentam. Para controlar melhor este tipo de situações, e ainda que não seja o procedimento ideal, pode utilizar-se uma de duas estratégias: deixar que ocorra um maior número de cortes no início antes de avaliar a necessidade de aumentar (e em que extensão) a distância de corte ou proceder a um aumento menos abrupto para evitar a quase imediata diminuição deste parâmetro.

No final do processo era frequente as peças começarem, gradualmente, a apresentar um decréscimo de peso, facto confirmado pela tendência observada nos valores de média de peso dos gráficos analisados (Figs. 4.19 a 4.21). Esta diminuição levava, não poucas vezes, à produção de peças com défice de peso. Considerando a monitorização frequente do peso, deve proceder-se a um aumento ligeiro da distância de corte quando se verifique a aproximação do peso das peças do limite inferior (480g) por forma garantir que não haverá produção de pães abaixo do peso mínimo.

4.2.2. Otimização do Processo de Produção de Bolachas

Para além de processar pão, a linha de produção instalada na empresa Fopelda S.A. é também utilizada para a produção de bolachas sendo produzidos 3 formatos distintos, dois quadrados (60mmx60mm e 40mmx40mm) e um retangular (110mmx40mm) e sendo algumas referências decoradas com sementes.

A avaliação do processo de produção de bolachas, seus desafios e possíveis melhorias será realizada módulo a módulo, sendo apenas salientados os módulos que sejam relevantes para a mesma. Não serão designadas referências, mas caso as observações sejam relativas a algum formato específico, isso será devidamente realçado.

4.2.2.1. Chunker

Tal como no caso da massa de pão, no módulo *Chunker*, a altura do Rolo de Pressão e a distância de corte são os parâmetros que importa referir. Neste caso, não se observaram grandes variações entre as massas dos diferentes formatos de bolachas, mas existem diferenças relativamente às massas de pão.

A altura do Rolo de Pressão *Chunker* deve ser regulada para valores entre 50 mm e 70 mm pois, de forma geral, a massa de bolachas necessitará de uma laminação superior à da massa de pão. Ao colocar este componente numa altura mais baixa, o processo de laminação que ocorrerá posteriormente nos componentes Multirolos (*Plaff-Plaff*) e Mesas Laminadoras (*Mesa Rodiform*) será facilitado.

A utilização das variações de distância de corte do *Chunker* para determinar o *input* de massa na linha é, em tudo, semelhante à do pão, isto significa que quando há déficit de massa, deve diminuir-se a distância de corte e quando há excesso deve aumentar-se.

4.2.2.2. Plaff-Plaff

Dada a importância da laminação da massa neste produto (bolachas), o componente a analisar no módulo *Plaff-Plaff* é o Multirolos, pelo seu papel fundamental nesse processo.

No início das observações do processo de produção de bolachas, o componente Multirolos era utilizado a uma altura de 3,2 mm para que, nos restantes componentes de laminação, fosse possível obter a espessura desejada na massa (1,8 mm ou 2,3 mm consoante a referência). No entanto, para além da advertência do fabricante da linha para não utilizar valores de altura inferiores a 6 mm pois podiam originar danos na massa, verificou-se que utilização do Multirolos à altura de 3,2 mm estava a causar a fricção de uma das correntes do mesmo na cinta sob a qual se encontrava, acelerando o seu desgaste.

De modo a evitar a deterioração precoce que estava a ocorrer, foi sugerido manter a altura do Multirolos em valores iguais ou superiores a 5 mm. Todavia e após alguns ensaios, concluiu-se que esta reparametrização impedia a obtenção da espessura final desejada da massa. Assim, optou por se fixar a altura em 4,5 mm o que originou um resultado satisfatório tanto ao nível da laminação como do desgaste da cinta inferior.

Além da questão da altura, havia também, como no caso da massa de pão, a situação da não uniformidade da altura da massa após o componente Multirolos (Fig.4.11) devido à manutenção do seu funcionamento aquando da “Parada de Máquina”. Para mitigar o problema,

recorreu-se à mesma solução utilizada para a massa de pão (Capítulo 4, subsecção 4.2.1.3.) ativando a “Paragem *Multiroller*” no ecrã tátil da linha.

4.2.2.3. Mesa *Rodiform*

Após uma primeira laminação que ocorre no componente *Multirolos*, a massa é encaminhada para uma laminação mais fina nas Mesas Laminadoras (componentes da Mesa *Rodiform*), onde obterá a espessura final.

A massa passa ao longo de 3 rolos laminadores, aumentando a laminação progressivamente entre eles. O que se observou é que, para além do aumento da laminação, também a tensão na massa tinha tendência a aumentar o que levava à formação de rasgões laterais na mesma. Se as fissuras fossem pequenas seriam eliminadas aquando do corte longitudinal, no entanto muitas vezes eram mais pronunciadas o que fazia com que se originassem bolachas com defeito cujo destino era o descarte (semelhante ao que ocorria no pão no Capítulo 4, subsecção 4.2.1.5., Figura 4.14.). O aumento de tensão era mais acentuado entre o 2º e o 3º rolo sendo que, quanto maiores fossem os danos na massa entre o 1º e o 2º rolo, mais extensos se tornavam entre o 2º e o 3º rolo.

Tendo em conta as implicações negativas que a situação acima descrita originava, tentou procurar-se a origem do problema para apresentar possíveis soluções e apurou-se que o lençol de massa, após laminação no *Multirolos*, apresentava um excesso de massa no centro e um défice nas pontas (no centro forma-se uma pequena acumulação de massa enquanto nas laterais havia tensão). Ao seguir para os rolos laminadores, este acabava por apresentar um comportamento semelhante o que originava os rasgões anteriormente mencionados. Posto isto, era necessário proceder a uma melhor uniformização do lençol de massa após o componente *Multirolos*.

Para garantir a uniformidade do lençol de massa é apenas necessário alterar a velocidade do componente *Multirolos*. Quando a massa apresentar muita tensão (nas laterais e/ou no centro), deve aumentar-se ligeiramente a velocidade do componente, e quando se verificar um excesso de massa (por observação de acumulações) deve diminuir-se. Ao proceder desta forma observou-se uma diminuição dos rasgões na massa, no entanto continuou a verificar-se a ocorrência de danos na mesma na sua passagem pelos rolos laminadores, inferindo-se que seria igualmente necessário ajustar a velocidade quer dos rolos quer das respetivas cintas.

Os sensores colocados em cada Mesa Laminadora deveriam ajustar essas velocidades caso o *input* de massa não fosse adequado, mas tal não se estava a observar, possivelmente devido a problemas de funcionamento ou uma má calibração dos mesmos (apenas os técnicos especializados do fabricante da linha podem proceder à calibração).

Apesar do esforço realizado, não foi possível encontrar valores de velocidade que se adequassem perfeitamente a todos os tipos de massa de bolachas devido ao facto das suas características serem influenciadas por inúmeros fatores (composição, temperatura final de

amassadura, quantidade de água adicionada, entre outros). Assim, terá de ser o operador de produção a estar atento às eventuais situações que possam surgir, ajustando as velocidades o melhor possível para solucionar os problemas.

Dentro das diferentes situações que podem ocorrer apresentam-se dois exemplos (Fig. 4.22): caso se verifique um *input* excessivo de massa em qualquer rolo laminador (Situação A), deve diminuir-se a velocidade da cinta imediatamente anterior a esse mesmo rolo para que a massa em excesso seja utilizada (ao manter a velocidade do rolo este vai laminar rapidamente a massa em excesso). Se houver muita tensão na massa (défice de massa) (Situação B), deve aumentar-se a velocidade da cinta anterior por forma a incrementar o *input* de massa e diminuir a tensão.

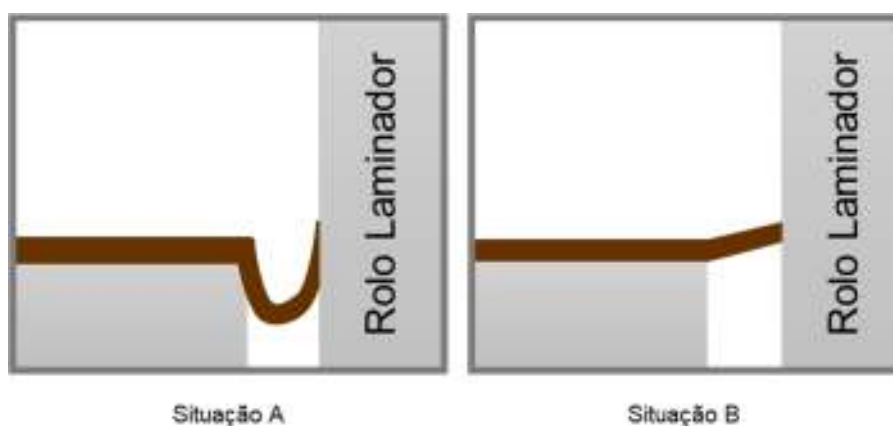


Figura 4.22 - Esquema ilustrativo de situação de excesso (Situação A) e déficit (Situação B) de massa que podem ocorrer nos rolos laminadores.

Após os rolos laminadores, encontra-se o Rolo de Picos, componente especialmente problemático com massas com incorporação de sementes de girassol pois muitas vezes a massa fica agarrada aos dentes do rolo, começa a levantar e a enrolar-se no mesmo, causando rasgões e perdendo a sua forma, o que impede a utilização de uma secção do lençol na produção de bolachas. Estando este componente num local cujo acesso só é possível quando a linha está parada (para segurança dos operadores), tentou solucionar-se o problema através da colocação de farinha na parte superior da massa antes da sua passagem pelo rolo, diminuindo a aderência ao mesmo. No entanto, criou-se outro problema: o excesso de farinha na parte superior das bolachas não estava de acordo com o aspeto definido para as mesmas pelo que muitas teriam de ser descartadas.

Face à dificuldade em solucionar o problema, a situação foi apresentada aos fabricantes da linha de produção que se encarregaram de produzir um novo componente, uma espécie de pente, que removeria rapidamente qualquer pedaço de massa que ficasse agarrada ao Rolo de Picos. A peça em questão não foi adicionada à linha até ao término deste trabalho pelo que não há resultados da sua utilização.

Depois de ser picado, o lençol de massa é cortado longitudinalmente com recurso a um Rolo de Corte. Em algumas situações verificou-se que, após esse corte, as porções de massa começavam a apresentar algumas ondas, ou seja, parecia haver um excesso de massa a passar da segunda cinta da Mesa *Rodiform* para a cinta da Mesa Separadora. Esta situação apenas se tornava um problema aquando do corte final das peças onde se verificava que estas acabavam por ficar disformes devido ao excesso de massa. Apurou-se que a ocorrência deste fenómeno era resultado da diferença de velocidades entre o Rolo de Corte e a segunda cinta da Mesa *Rodiform* e, ao colocar os dois componentes à mesma velocidade, o problema foi-se atenuando até desaparecer por completo.

4.2.2.4. Mesa de Saída

Quando se iniciou a observação da produção dos diferentes tipos de bolachas, verificou-se que havia uma grande dificuldade em processar estas peças pois a guilhotina tinha de fornecer um corte mais rápido, o que parecia forçar um pouco o componente, e os cortes na massa não eram suficientemente profundos em toda a sua extensão o que gerava peças de tamanhos significativamente diferentes. Exemplificando esta situação utilizando o formato quadrado (Fig.4.23), o que se observava é que, apesar do formato definido, como o corte pela guilhotina não era uniforme criava-se uma tensão extra na massa que levava a que o formato não se mantivesse constante durante toda a produção. Este problema tornava-se mais evidente com a diminuição da largura das bolachas, ou seja, era pior nas bolachas de formato quadrado 40mmx40mm, seguindo-se as bolachas quadradas 60mmx60mm e, por último, as bolachas de formato retangular (110mm de largura).

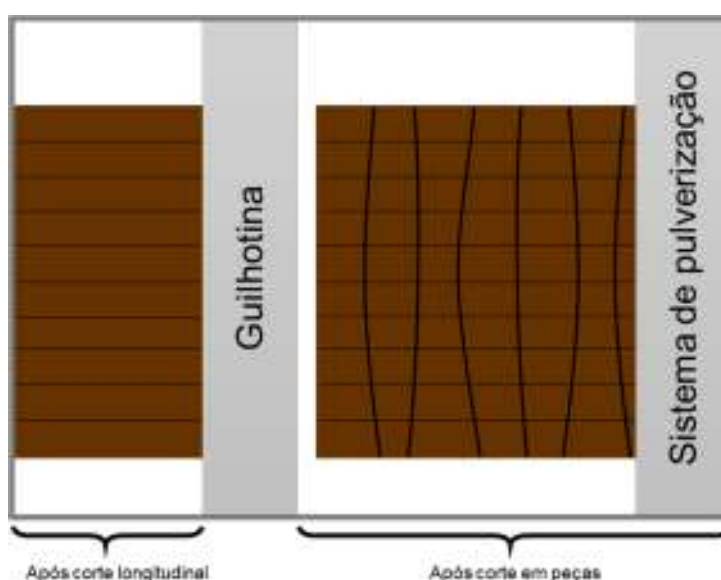


Figura 4.23 - Esquema ilustrativo do corte disforme de peças de bolachas pelo componente guilhotina.

Sendo todos os formatos importantes para a empresa, já estava a ser desenvolvida uma solução para o problema por parte do fabricante da linha de produção e que envolvia o fabrico de um componente inteiramente destinado ao corte, um rolo com lâminas que seria adicionado após a guilhotina e que iria permitir, através da sua rotação, fazer um corte mais apropriado e regular das peças. Este componente foi adicionado à linha durante o decorrer deste trabalho e serão apresentadas, seguidamente, algumas características do funcionamento do mesmo.

À partida, o Rolo de Lâminas estaria adaptado ao corte de peças dos vários formatos e tamanhos pretendidos. Para as bolachas cuja largura é superior a 50 mm (quadradas 60mmx60mm e retangulares), o tamanho seria regulado através da alteração da distância de corte da guilhotina no painel de controlo da linha. No caso das bolachas 40mmx40mm, o tamanho seria alterado através da variação de velocidade do Rolo de Lâminas: uma maior velocidade originaria peças de menor largura e uma menor velocidade peças de maior largura. Com base nestes pressupostos iniciou-se a utilização do novo componente na produção de bolachas.

Face ao descrito, seria expectável que, no caso dos formatos em que apenas era necessário alterar o parâmetro de corte da guilhotina, fosse simples obter o tamanho pretendido. No entanto, após algumas experiências, percebeu-se que os valores de distância de corte introduzidos não correspondem aos valores reais. Usando como exemplo as bolachas retangulares, o valor de distância de corte era 132 mm para as peças apresentarem um tamanho real entre 105 mm e 110 mm. Posto isto, ao variar a distância de corte, deve medir-se sempre o tamanho real das peças para garantir que é o adequado ao produto final.

Após se proceder aos ajustes necessários da distância de corte da guilhotina para que o Rolo de Lâminas criasse bolachas do tamanho desejado, verificou-se que se mantinha uma variação significativa nos tamanhos, mais evidente em peças de largura menor, e para a qual foram colocadas duas possíveis razões: problemas inerentes ao novo Rolo, peça recente e cujo funcionamento ainda não era totalmente conhecido; ou demasiada tensão na massa, uma vez que o corte acompanhava o movimento circular do Rolo (Fig.4.24).

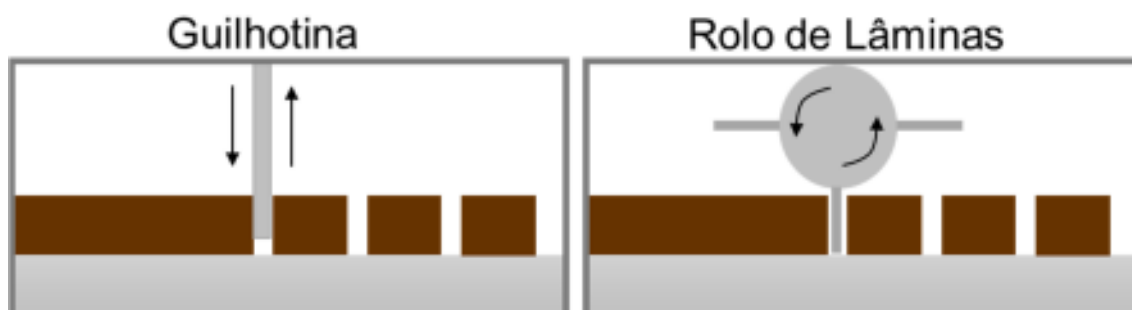


Figura 4.24 - Esquema ilustrativo do funcionamento do corte das peças pela Guilhotina e pelo Rolo de Lâminas.

Considerando que a primeira opção requeria um aprofundamento dos conhecimentos acerca do novo componente que só poderiam ser adquiridos com a continuação da sua utilização, procedeu-se à análise da segunda opção. Relativamente à tensão da massa, verificou-se que esta era realmente superior ao que seria desejável o que poderia resultar da diferença de velocidade entre a segunda cinta da Mesa *Rodiform* e as cintas da Mesa Separadora e Mesa de Saída. Para verificar se seria este o problema, alterou-se a velocidade da segunda cinta da Mesa *Rodiform* para uma velocidade aproximadamente igual à das outras duas cintas o que originou uma melhoria significativa na tensão da massa e na uniformidade do tamanho das peças cortadas.

Relativamente, em específico, às bolachas de formato quadrado 60mmx60mm ocorreu ainda outro problema na definição da largura. Anteriormente à utilização do Rolo de Lâminas, a distância de corte definida era de 50 mm. Como este era o valor limite indicado para decidir qual o parâmetro que define a largura das peças (velocidade do Rolo ou distância de corte da guilhotina), ponderou-se experimentar ambas as opções para verificar qual originava melhores resultados. Começou por se testar a alteração da velocidade do Rolo de Lâminas e observou-se que não só as bolachas não estavam a apresentar o tamanho desejado como também estava a ocorrer, mais uma vez, um corte demasiado superficial que dificultava a separação das peças. Dadas estas dificuldades experimentou-se a outra opção: recorrer à definição da distância de corte da guilhotina, mantendo o valor em 50 mm, o que melhorou a uniformidade do tamanho, mas manteve a má separação das peças sendo necessário procurar também uma forma de a minimizar. Para tal, procedeu-se ao aumento da velocidade da cinta imediatamente posterior à cinta da Mesa de Saída, onde ocorre o corte (Fig. 4.25). Após esta alteração, verificou-se, de facto, uma melhoria quer no tamanho (maior uniformidade) quer na separação das peças entre si.

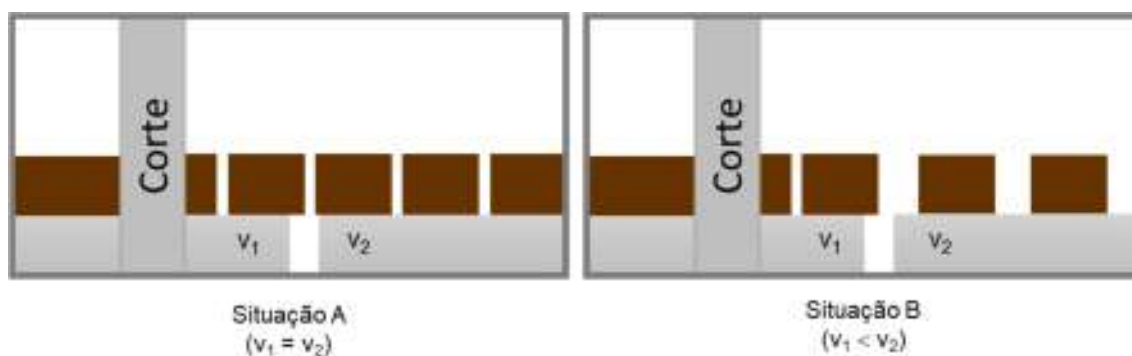


Figura 4.25 - Esquema ilustrativo de manutenção (Situação A) ou aumento (Situação B) do espaçamento entre as peças após o corte.

Após o corte, as bolachas são também separadas em grupos para facilitar a sua deposição nos tabuleiros. O número de peças por grupo (Fig. 4.26) depende do Rolo de Corte Longitudinal utilizado (para n discos de corte existirão $n - 1$ peças por fila) e do número de filas de peças definido através do parâmetro da guilhotina "peças por grupo" no ecrã da linha de produção.

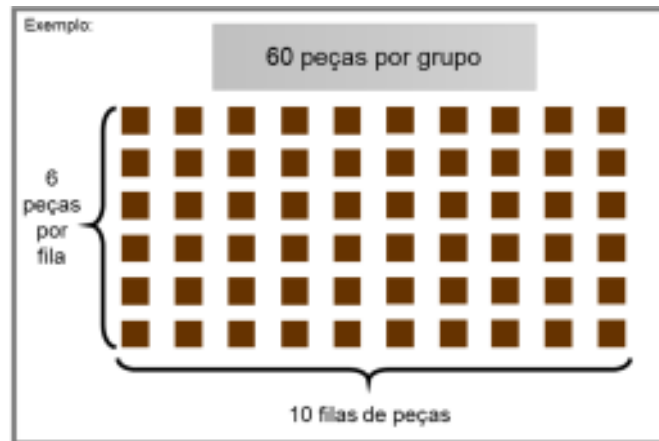


Figura 4.26 - Esquema ilustrativo da organização das peças de bolachas por grupos para deposição nos tabuleiros.

A separação das bolachas em grupos é feita em todos os formatos e independentemente de o corte ser determinado pela distância de corte da guilhotina ou pela velocidade do Rolo de Lâminas. Para além das filas de peças (“peças por grupo”), a distância entre os grupos (que permite a sua separação visual e facilita a deposição nos tabuleiros) também é parametrizada nas definições da guilhotina.

A adição do Rolo de Lâminas para o corte das bolachas não trouxe qualquer problema relativamente ao número de filas de peças para as bolachas de formato retangular mas o mesmo não ocorreu para as de formato quadrado, verificando-se que o número de filas de peças definido não correspondia ao número de filas real que se observava na linha. Para as bolachas 60mmx60mm, definiram-se 20 filas de peças e surgiam 10 e para as bolachas 40mmx40mm, colocando as mesmas 20 filas, surgiam 14. A única explicação possível a que se chegou para clarificar o que se observava prendeu-se com o facto de, consoante a velocidade do Rolo (largura definida para as bolachas), os cortes que este faria corresponderiam a uma proporção dos cortes que ocorreriam caso fossem feitos pela guilhotina. No caso destes dois formatos, como o número de filas real é inferior ao de filas definido, conclui-se que, à velocidade de corte das bolachas 60mmx60mm, o Rolo de Corte corta meia (50%) fila de peças por cada fila que seria corta pela guilhotina e, para a velocidade de corte das bolachas 40mmx40mm, a proporção é de 70%. Desta forma, para formatos em que se use a velocidade do Rolo de Lâminas para determinar o tamanho, terá de se testar vários números de “peças por grupo” e verificar quantas filas são apresentadas realmente para decidir qual a melhor definição a aplicar em cada caso.

4.2.2.5. *Recograin*

Em geral, o módulo *Recograin* apresentava um funcionamento adequado, no entanto ocorriam alguns problemas quando a decoração utilizada continha ou consistia em sementes de girassol.

Uma das referências de bolachas era decorada apenas com sementes de girassol e detetou-se que, quando esta referência era produzida, as sementes acabavam por ser transformadas em farinha, devido à espiral metálica, havendo pouca recuperação das mesmas. Para minimizar esta situação, alterou-se a velocidade da espiral de 4 para 8,5 (não são apresentadas unidades no equipamento). Esta ação levou a uma melhoria na recolha e diminuição da quantidade de farinha que se formava. No entanto, após alguns ciclos de recuperação, as sementes começam a ficar muito partidas pelo que deverão ser removidas quando estiverem muito fracionadas e substituídas por sementes inteiras.

4.2.2.6. *Deposit*

No módulo *Deposit*, e no que respeita as bolachas retangulares e quadradas 60mmx60mm, verificou-se que, em algumas situações, ao ocorrer a deposição no tabuleiro, a última fila de peças dobrava-se sobre si própria (bolachas retangulares) ou caía virada com a parte superior para baixo em cima da fila anterior (bolachas 60mmx60mm). Para resolver estas situações foram propostas duas soluções: diminuir o espaço entre as filas dentro de cada grupo, diminuindo o espaço total ocupado pelo grupo (Fig.4.27); ou alterar os parâmetros de recolha da cinta *Deposit*, permitindo a correta deposição de todas as filas (Fig.4.28).

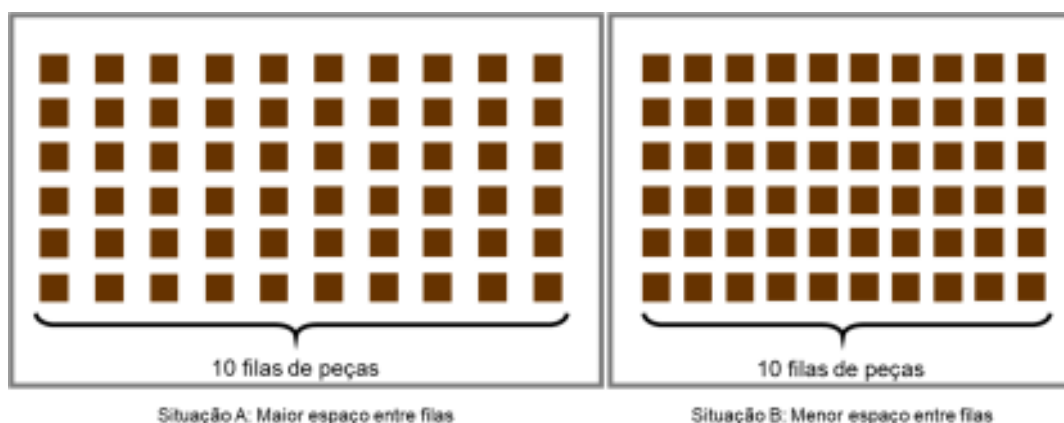


Figura 4.27 - Esquema ilustrativo do impacto da diminuição do espaçamento entre filas num grupo no espaço total ocupado pelo mesmo.

Para diminuir o espaço entre filas podem usar-se dois métodos: recorrer à variação do parâmetro “distância entre peças” nas definições da guilhotina ou alterar a velocidade da cinta do módulo *Deposit*. Neste caso, a implementação do primeiro método não era possível pois esse parâmetro já se encontrava no seu mínimo pelo que se procedeu à diminuição da velocidade da cinta *Deposit*. Desta ação resultou a sobreposição parcial das filas, passando as peças a ser depositadas nos tabuleiros sobrepostas o que levava a uma cozedura não uniforme e ao descarte na operação de embalagem. Assim, esta solução não se apresentou viável neste caso específico pois as filas já se encontravam relativamente próximas umas das outras.

A solução de alterar os parâmetros de recolha da cinta *Deposit* foi, por isso, posta em prática aumentando-se a recolha em cerca de 5 mm o que solucionou o problema. Apesar disso, há que ter em consideração que alterar os parâmetros para que haja uma maior recolha da cinta pode originar outro problema (Fig.4.28) pois, dependendo da distância entre os grupos, aumentar a recolha da cinta poderia originar a queda simultânea da primeira fila do grupo seguinte (se o comprimento de recolha da cinta fosse superior à soma do comprimento do grupo com o espaço entre os grupos). Caso seja, de facto, necessário proceder a um aumento dessa ordem, deve contrabalançar-se a situação aumentando também a distância entre os grupos (nas definições da guilhotina).

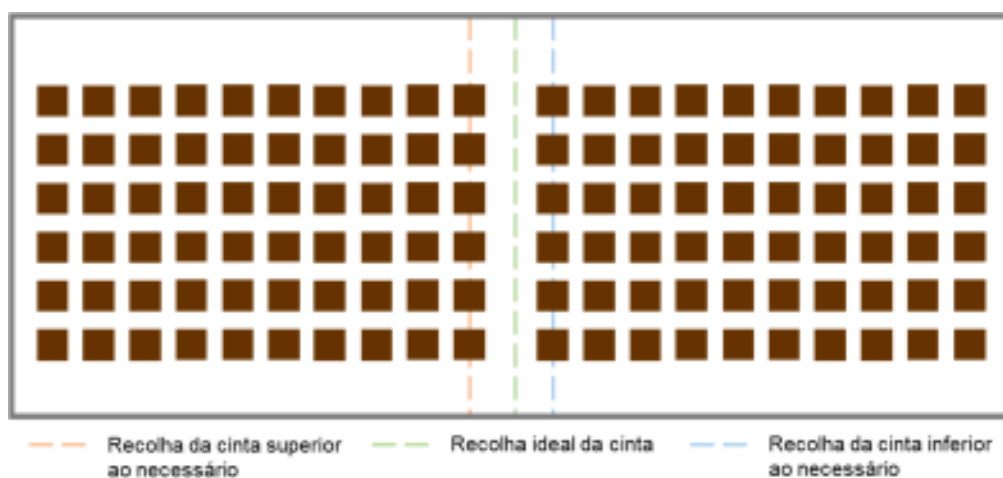


Figura 4.28 - Esquema ilustrativo de um conjunto de 3 posições possíveis de recolha da cinta *Deposit*.

Quando, na análise ao módulo Mesa de Saída (Capítulo 4, subsecção 4.2.2.4.), se aumentou a velocidade da cinta posterior à cinta da Mesa de Saída para separar melhor as bolachas após o corte, criou-se um outro problema no final da linha: como ocorria uma maior separação entre as filas, havia mais espaço entre elas e, por isso, acomodavam-se menos filas em cada tabuleiro (Fig.4.29 - Situação A) o que diminuía o número de peças por tabuleiro e consequentemente por carrinho, aumentando o número de carrinhos e os ciclos de cozedura necessários, aumentando os custos de produção. Para solucionar este problema, utilizou-se um dos métodos de diminuição do espaço entre filas anteriormente referidos, diminuindo-se a velocidade da cinta do módulo *Deposit* o que permitiu repor o número de filas inicial em cada tabuleiro (Fig.4.29 – Situação B).

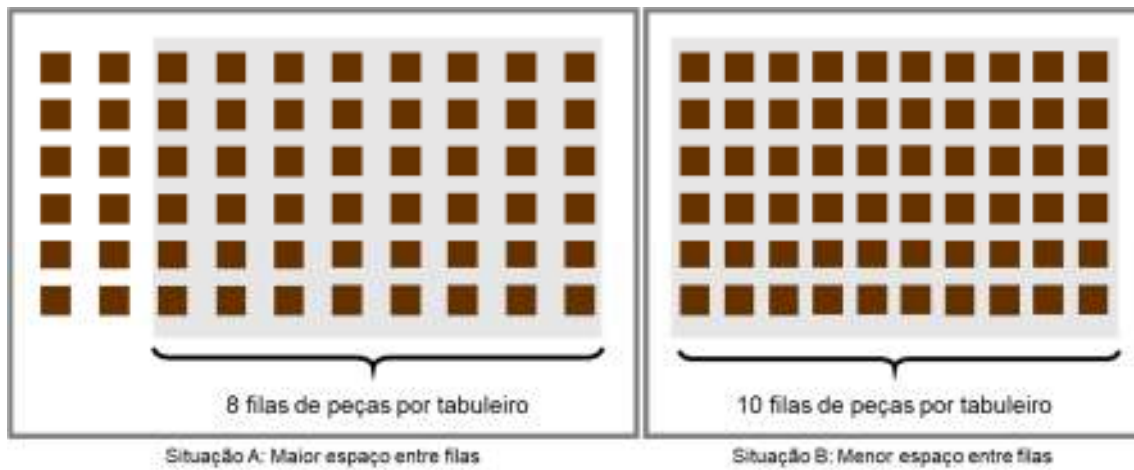


Figura 4.29 - Esquema ilustrativo da quantidade de filas que se acomodam num tabuleiro consoante a distância entre as mesmas.

5. Considerações Finais e Conclusões

Neste capítulo apresentam-se um conjunto de conclusões relativamente aos dois tópicos desenvolvidos no decurso deste trabalho.

5.1. Testes de validade

Os testes nº 1 e nº 2 foram realizados com o objetivo de diminuir o pH da matriz o que iria potenciar a ação conjunta dos conservantes ácido sórbico e propionato de sódio (teste nº3). Como o pH obtido em cozido no teste nº1 ficou aquém do pH desejado (4,5), realizou-se o teste nº2, incrementando-se em 50% a concentração de vinagre de álcool adicionada, o que resultou num pH mais baixo (4,83) mas ainda assim não atingindo 4,5. Como não se conseguiu obter o pH desejado apesar da adição de uma maior concentração de vinagre (o que implica um acréscimo no custo do produto final), foi decidido que, em todos os restantes testes onde fosse necessário proceder à diminuição de pH da matriz, seria utilizada a quantidade de vinagre de álcool do teste nº1 (33,2 ml/kg de produto cozido).

Nestes dois primeiros testes realizaram-se provas sensoriais para averiguar se a adição de vinagre de álcool alterava as características organolépticas do produto final concluindo-se, em ambos os casos, que sim. No entanto, as diferenças na deteção não foram tão expressivas como se esperava dada a proporção de vinagre em cada uma das formulações (num total de 15 provadores, 8 detetaram a diferença no 1º teste e 9 no 2º), o que leva a crer que a utilização de uma amostra original descongelada no 1º teste terá influenciado bastante o resultado obtido.

A reformulação realizada no teste nº3 teve como principal objetivo o aumento da validade do produto em teste para 30 dias, recorrendo-se à diminuição do pH da matriz através da adição de vinagre de álcool (33,2 ml/kg de produto final) e à adição de propionato de cálcio (2 900 mg/kg de produto final) para complementar a ação do conservante já utilizado, ácido sórbico.

As amostras do 3º teste não apresentaram colónias de microrganismos detetáveis a olho nu durante os 31 dias de armazenamento, o que poderia levar à conclusão do sucesso do teste, no entanto, para tal é necessário considerar a definição de validade em toda a sua extensão. Como a validade não é apenas a manutenção da integridade microbiológica de um produto alimentar, mas também, entre outros parâmetros, a manutenção das suas características organolépticas, o intenso cheiro a vinagre proveniente das amostras no final do teste e o facto de este odor não ser característico do produto em fresco, indica que o objetivo de extensão de validade com recurso ao uso combinado de dois conservantes alimentares não foi conseguido. Para além disso, diferenças nas características organolépticas do produto reformulado e do original não devem

existir ou devem ser indetetáveis pelos consumidores facto que não pode ser comprovado para este teste uma vez que não houve realização de prova sensorial para avaliação desse aspeto.

Os testes nº4 e nº5 tiveram como objetivo a manutenção da validade do produto (10 dias), mas recorrendo à utilização de uma substância natural (*clean label*) à base de farinha fermentada e que apresentava características conservantes e, portanto, a reformulação do 4º teste passou pela substituição do ácido sórbico pelo produto *clean label*. A avaliação visual a olho nu do desenvolvimento de colónias de microrganismos nas amostras apenas se realizou em dias úteis, o que originou, com base na hipótese mais pessimista, um total de 86% das amostras com validade inferior a 10 dias o que implica que o objetivo não foi conseguido.

Ficando os resultados do teste nº4 aquém dos desejados, concretizou-se o teste nº5 onde, para além da substituição do conservante ácido sórbico pelo produto *clean label*, foi também adicionado vinagre de álcool (33,2 ml/kg de produto final) à formulação para diminuir o pH da matriz. Apesar desta reformulação se ter mostrado mais promissora que a anterior, 10% das amostras apresentaram colónias visíveis a olho nu até ao 10.º dia após produção, o que indica que este teste também não alcançou permitiu reformular o produto de forma a manter 10 dias de validade recorrendo à substituição do conservante ácido sórbico pelo produto *clean label*.

5.2. Otimização da linha de produção

O estudo realizado sobre a linha de produção instalada na empresa Fopelda S.A. demonstrou vários aspetos essenciais para que o seu funcionamento seja o mais otimizado possível.

O primeiro aspeto prende-se com a variedade de referências que são processadas. Como o processo de pesagem de matérias-primas e amassadura é maioritariamente manual, cada massa tem as suas características, tanto entre referências como em cada referência. Assim, os programas de processamento específicos de cada referência têm de ser alterados durante o processo produtivo e por isso é necessário proceder à correta formação dos operadores permitindo que estes compreendam bem o funcionamento da linha para depois poderem agir em conformidade consoante os desafios que lhes sejam apresentados. Esta formação terá de ter uma componente prática forte pois verificou-se que é necessária bastante sensibilidade na alteração de alguns parâmetros (como é o caso da velocidade dos rolos laminadores durante o processo de laminação da massa de bolachas) para solucionar os problemas sem gerar outros de maior calibre.

Para além das diferentes massas, é também importante compreender que a linha de produção é composta por cinco módulos e estes por diversos componentes cujas parametrizações, somadas, perfazem mais de 50. Como é expectável em qualquer linha, os componentes encontram-se interligados entre si o que leva muitas vezes a que a alteração de um parâmetro origine forçosamente a alteração de outro e daí por diante. Isto torna a otimização um processo complicado e moroso, o que não impediu a criação e/ou alteração dos programas das referências estudadas principalmente no que respeita módulos como *Chunker* ou *Deposit*. Desta forma, os

programas ficaram mais otimizados, apesar de, em módulos como *Plaff-Plaff* e Linha de Formação, ainda serem necessárias algumas alterações durante o processamento.

O trabalho realizado focou-se essencialmente em dar a conhecer os módulos e componentes chave para o processamento dos diferentes tipos de massas, compreender e analisar os problemas observados durante o processamento e definir estratégias para a parametrização consoante esses problemas. Muitas vezes não foram encontrados valores de parametrização definitivos, mas fluidos, dentro de determinados limites, para serem aplicados consoante a situação que surja. Houve um grande enfoque na laminação da massa pois este é um processo determinante no peso final das peças (pão) e no seu formato (bolachas), mostrando estratégias para obter uma altura e lençol de massa o mais uniformes possível.

O objetivo de otimização do processo produtivo de pão, apesar das diversas melhorias conseguidas principalmente no que respeita a laminação da massa, não foi totalmente cumprido. A procura de otimização do corte para estabilizar o peso das peças dos pães (redondo e forma) ficou bastante aquém do desejado uma vez que se mostrou ser um estudo muito difícil devido às características únicas de cada massa. Um aspeto importante a salientar, e que poderia ter sido crucial para obter resultados mais uniformes, é a temperatura da massa após o processo de amassadura que, por não existir uma forma de manter praticamente constante, foi muito variável nos conjuntos de dados obtidos. Desta forma, este processo pode continuar associado a um rendimento de produção mais baixo por manutenção de elevada quantidade de produto não-conforme devido ao peso.

No que respeita a otimização do processo produtivo das bolachas de vários formatos, o trabalho realizado foi, em geral, bem-sucedido, especialmente após a inserção na linha do Rolo de Lâminas pois este componente permitiu uma uniformização do tamanho das peças originadas o que diminuiu as não-conformidades, tornando o processo mais rentável. Para além disso, as diversas estratégias apresentadas e parametrizações efetuadas, principalmente no que respeita à laminação da massa, separação de filas e grupos e deposição nos tabuleiros contribuíram fortemente para a melhoria do processo e para o aumento do rendimento final do mesmo, sendo certamente úteis caso a empresa pretenda avançar para a produção de outros formatos.

6. Perspetivas futuras

Apesar do trabalho desenvolvido em ambas as vertentes ter sido extenso, ficam algumas possibilidades futuras de investigação e melhoria.

Considerando os objetivos traçados no início do trabalho, e relativamente aos testes de validade, os resultados que ficaram mais aquém do desejado foram os da substituição do conservante alimentar pelo produto *clean label* pelo que será neste aspeto que se deverá focar um trabalho futuro. Assim, deverá considerar-se proceder a testes semelhantes aos realizados, mas com outros produtos de origem natural, não presentes na legislação como aditivos alimentares e que possam ser usados para promover a conservação do pão, como por exemplo o vinagre de álcool já utilizado em alguns dos testes realizados como acidificante.

Para além disto, poderão ainda destacar-se algumas hipóteses de melhoria relativamente aos testes de validade desenvolvidos que incluem:

- Repetir a prova sensorial realizada no teste nº1, mas utilizando duas amostras frescas (original e teste) para verificar se realmente há deteção de alterações organoléticas e testar outras matérias-primas como acidificantes;
- Monitorizar a temperatura nos dois locais de armazenamento para concluir relativamente à importância da temperatura de armazenamento no desenvolvimento de colónias nas amostras;
- Testar uma nova reformulação apenas com adição de propionato de sódio à formulação original para verificar a possibilidade de obter a extensão de validade para 30 dias;

Na parte de otimização da linha de produção, e tendo em conta que foram estudados todos os módulos que compõem a mesma, o que menos cumpriu o objetivo traçado foi a parametrização relacionada com o corte das peças de pão (quer de forma quer redondo) pelo que este aspeto poderá beneficiar de um trabalho futuro. Neste caso, deverá aprofundar-se bastante mais o trabalho que já começou a ser realizado tentando diminuir ao máximo as variáveis do estudo. A monitorização, e se possível fixação, de parâmetros como a temperatura da massa após a amassadura, a temperatura do ar na sala de processamento, o tempo de processamento da massa e as receitas (garantir que são iguais em massas da mesma referência) pode originar uma diminuição das variações que foram observadas nos conjuntos de dados estudados permitindo chegar a melhores conclusões no que respeita a otimização do corte das peças de pão.

Em adição a este aspeto, será também interessante avaliar a atuação do componente Pente do Rolo de Picos (não montado no decurso do trabalho) para compreender se efetivamente diminuem os rasgões causados no lençol de massa pelo Rolo de Picos e aumenta o rendimento do processo.

7. Referências bibliográficas

Abdulmumeen, H. A., Risikat, A. N. and Sururah, A. R. (2012). Food: Its preservatives, additives and applications. *Int. J. Chem. Biochem. Sci.* 1, 36–47.

Amit, S. K., Uddin, M. M., Rahman, R., Islam, S. M. R. and Khan, M. S. (2017). A review on mechanisms and commercial aspects of food preservation and processing. *Agric. Food Secur.* 6, 1–22.

Anand, S. P., Sati, N. (2013). Artificial preservatives and their harmful effects: looking toward nature for safer alternatives. *Int. J. Pharm. Sci. Res.* 4, 2496–2501.

Axel, C., Zannini, E. and Arendt, E. K. (2017). Mold spoilage of bread and its biopreservation: A review of current strategies for bread shelf life extension. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 57, 3528–3542.

Bae, Y. M., Lee, S. Y. (2015). Combined effects of organic acids and salt depending on type of acids and pathogens in laboratory media and acidified pickle. *J. Appl. Microbiol.* 119, 455–464.

Barman, S., Ghosh, R., Sengupta, S., Mandal, N. C. (2017). Longterm storage of post-packaged bread by controlling spoilage pathogens using *Lactobacillus fermentum* C14 isolated from homemade curd. *PLoS One* 12, 1–17.

Beales, N., Smith, J. (2004). Antimicrobials preservative-reduced foods. Em *Technology of Reduced Additive Foods* (ed. Smith, J.), pp. 84–105. Blackwell Science Ltd.

Berni, E., Scaramuzza, N. (2013). Effect of ethanol on growth of *Chrysonilia sitophila* (' the red bread mould ') and *Hyphopichia burtonii* (' the chalky mould ') in sliced bread. *Lett. Appl. Microbiol.* 57, 344–349.

Bourdichon, F., Alper, I., Bibiloni, R., Dubois, A., Laulund, S., Miks, M., Morelli, L., Zuliani, V., Yao, S. (2018). Inventory of microbial food cultures with safety demonstration in fermented food products. Update of the Bulletin the IDF No 455-2012.

Burgain, A., Bensoussan, M., Dantigny, P. (2015). Validation of a predictive model for the growth of chalk yeasts on bread. *Int. J. Food Microbiol.* 204, 47–54.

Carmo, J. L. (2018). *Manual de Boas Práticas em Análise Sensorial*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Qualidade e Tecnologia Alimentar. Escola Superior Agrária de Viseu, Instituto Politécnico de Viseu.

Carocho, M., Morales, P., Ciudad-Mulero, M., Fernández-Ruiz, V., Ferreira, E., Heleno, S., Rodrigues, P., Barros, L., Ferreira, I. C. F. R. (2020). Comparison of different bread types: Chemical and physical parameters. *Food Chem.* 310, 1–8.

Cauvain, S. P. (2012). Breadmaking: an overview. Em *Breadmaking: Improving quality* (ed. Cauvain, S. P.), pp. 9–34. Woodhead Publishing Limited.

Cauvain, S. (2015). Bread Spoilage and Staling. Em *Technology of Breadmaking*, pp. 279–302. Springer International Publishing.

Cauvain, S. P. (2017a). Raw Materials. Em *Baking Problems Solved* (ed. Cauvain, S. P.), pp. 33–144. Woodhead Publishing.

Cauvain, S. P. (2017b). Bread and Other Fermented Products. Em *Baking Problems Solved* (ed. Cauvain, S. P.), pp. 153–234. Woodhead Publishing.

Cauvain, S. P., Young, L. S. (2008a). The Role of Water in the Formation and Processing of Bread Doughs. Em *Bakery Food Manufacture and Quality - Water Control and Effects* (ed. Cauvain, S. P., Young, L. S.), pp. 32–72. Wiley Blackwell.

Cauvain, S. P., Young, L. S. (2008b). Water Activity. Em *Bakery Food Manufacture and Quality - Water Control and Effects* (ed. Cauvain, S. P., Young, L. S.), pp. 174–198. Wiley Blackwell.

Cauvain, S. P., Young, L. S. (2008c). Strategies for Extending Bakery Product Shelf-Life. Em *Bakery Food Manufacture and Quality - Water Control and Effects* (ed. Cauvain, S. P., Young, L. S.), pp. 263–284. Wiley Blackwell.

Cauvain, S. P., Young, L. S. (2012). Water control in breadmaking. Em *Breadmaking: Improving quality* (ed. Cauvain, S. P.), pp. 499–522. Woodhead Publishing Limited.

Chandan, R. C. (2011). Dairy Ingredients in Bakery, Snacks, Sauces, Dressings, Processed Meats, and Functional Foods. Em *Dairy Ingredients for Food Processing* (ed. Chandan, R. C., Kilara, A.), pp. 473–500. Blackwell Publishing.

Chatterjee, A., Abraham, J. (2018). Microbial Contamination, Prevention, and Early Detection in Food Industry. Em *Microbial Contamination and Food Degradation* (ed. Holban, A. M., Grumezescu, A. M.), pp. 21–47. Elsevier Inc.

Chieh, P. C. (2014). Water. Em *Bakery Products: Science and Technology* (ed. Zhou, W., Hui, Y. H., De Leyn, I., Pagani, M. A., Rosell, C. M., Selman, J. D., Therdthai, N.), pp. 129–152. Wiley Blackwell.

Comissão Europeia (2017). *Guidance document describing the food categories in Part E of Annex II to Regulation (EC) No 1333/2008 on Food Additives*. Disponível em https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/fs_food-improvement-agents_guidance_1333-2008_annex-2.pdf. Acedido em 22 de abril de 2021.

Dahiya, S., Bajaj, B. K., Kumar, A., Tiwari, S. K., Singh, B. (2020). A review on biotechnological potential of multifarious enzymes in bread making. *Process Biochem.* 99, 290–306.

Davidson, P. M., Branen, A. L. (2005). Food Antimicrobials - An Introduction. Em *Antimicrobials in Food* (ed. Davidson, P. M., Sofos, J. N., Branen, A. L.), pp. 1–10. Taylor & Francis Group.

Davidson, P. M., Cekmer, H. B., Monu, E. A., Techathuvanan, C. (2015). The use of natural antimicrobials in food: an overview. Em *Handbook of Natural Antimicrobials for Food Safety and Quality* (ed. Taylor, T. M.), pp. 1–27. Woodhead Publishing.

Decreto-Lei N°64/2011 de 9 de maio. *Diário da República N°89/2011 – Série I*. Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas.

Dorko, C. L., Ford Jr., G. T., Baggett, M. S., Behling, A. R., Carmen, H. E. (2014). Sorbic Acid. *Kirk-Othmer Encycl. Chem. Technol.* 1–19.

Fan, X., Ngo, H., Wu, C. (2018). Preface. Em *Natural and Bio-Based Antimicrobials for Food Applications* (ed. Fan, X., Ngo, H., Wu, C.), pp. ix–x. American Chemical Society.

Garcia, M. V., Copetti, M. V. (2019). Alternative methods for mould spoilage control in bread and bakery products. *Int. Food Res. J.* 26, 737–749.

Garcia, M. V., Bregão, A. S., Parussolo, G., Bernardi, A. O., Stefanello, A., Copetti, M. V. (2018). Incidence of spoilage fungi in the air of bakeries with different hygienic status. *Int. J. Food Microbiol.* 290, 254–261.

Garcia, M. V., Bernardi, A. O., Copetti, M. V. (2019). The fungal problem in bread production: insights of causes, consequences, and control methods. *Curr. Opin. Food Sci.* 29, 1–6.

Gavahian, M., Chu, Y. H., Lorenzo, J. M., Mousavi Khaneghah, A., Barba, F. J. (2020). Essential oils as natural preservatives for bakery products: Understanding the mechanisms of action, recent findings, and applications. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 60, 310–321.

Giannou, V., Lebesi, D., Tzia, C. (2014). Packaging and Shelf-life Prediction of Bakery Products. Em *Bakery Products: Science and Technology* (ed. Zhou, W., Hui, Y. H., De Leyn, I., Pagani, M. A., Rosell, C. M., Selman, J. D., Therdthai, N.), pp. 355–371. Wiley Blackwell.

Guynot, M. E., Ramos, A. J., Sanchis, V., Marín, S. (2005). Study of benzoate, propionate, and sorbate salts as mould spoilage inhibitors on intermediate moisture bakery products of low pH (4.5-5.5). *Int. J. Food Microbiol.* 101, 161–168.

Gyawali, R., Hayek, S. A., Ibrahim, S. A. (2015). Plant extracts as antimicrobials in food products: types. Em *Handbook of Natural Antimicrobials for Food Safety and Quality* (ed. Taylor, T. M.), pp. 31–47. Woodhead Publishing.

Haegens, N. (2014). Mixing, Dough Making, and Dough Make-up. Em *Bakery Products: Science and Technology* (ed. Zhou, W., Hui, Y. H., De Leyn, I., Pagani, M. A., Rosell, C. M., Selman, J. D., Therdthai, N.), pp. 309–324. Wiley Blackwell.

Hamad, S. H. (2012). Factors Affecting the Growth of Microorganisms in Food. Em *Progress in Food Preservation* (ed. Bhat, R., Alias, A. K., Paliyath, G.), pp. 405–427. John Wiley & Son, Ltd.

INSA (2021a). *Detalhe alimento – Pão de trigo*. Disponível em <http://portfir.insa.pt/foodcomp/food?20774>. Acedido em 5 de fevereiro de 2021.

INSA (2021b). *Detalhe alimento – Pão de centeio*. Disponível em <http://portfir.insa.pt/foodcomp/food?20784>. Acedido em 5 de fevereiro de 2021.

INSA (2021c). *Detalhe alimento – Pão de milho*. Disponível em <http://portfir.insa.pt/foodcomp/food?20740>. Acedido em 22 de março de 2021.

Jayashree, T., Vaishali, N., Moses, K. (2018). Preservatives used for control of fungal spoilage of bread. *Int. J. Life Sci. Special Is*, 6–10.

Jideani, V. A. (2019). Bread storage and preservation. Em *Encyclopedia of Food Security and Sustainability* (ed. Ferranti, P., Berry, E. M., Anderson, J. R.), pp. 593-604. Elsevier.

Lafarga, T., Gallagher, E., Walsh, D., Valverde, J., Hayes, M. (2013). Chitosan-containing bread made using marine shellfishery byproducts: Functional, bioactive, and quality assessment of the end product. *J. Agric. Food Chem.* 61, 8790–8796.

Laulund, S., Wind, A., Derkx, P., Zuliani, V. (2017). Regulatory and Safety Requirements for Food Cultures. *Microorganisms* 5, 28.

Legan, J. D., David, J. R. D. (2021). Hurdle Technology – or Is It? Multifactorial Food Preservation for the Twenty-First Century. Em *Antimicrobials in Food* (ed. Davidson, P. M., Taylor, T. M., David, J. R. D.), pp. 695–714. Taylor & Francis Group.

Lidon, F., Silvestre, M. M. (2008a). Introdução. Em *Conservação de Alimentos – Princípios e Metodologias*, pp. 11-12. Lisboa: Escolar Editora.

Lidon, F., Silvestre, M. M. (2008b). Processos de deterioração dos alimentos. Em *Conservação de Alimentos – Princípios e Metodologias*, pp. 12-48. Lisboa: Escolar Editora.

Lidon, F., Silvestre, M. M. (2008c). Conservação de alimentos. Em *Conservação de Alimentos – Princípios e Metodologias*, pp. 49-224. Lisboa: Escolar Editora.

Lidon, F., Silvestre, M. M. (2010a). Alimentação Racional. Em *Princípios de Alimentação e Nutrição Humana*, pp. 51-306. Lisboa: Escolar Editora.

Lidon, F., Silvestre, M. M. (2010b). Nutrição e Saúde. Em *Princípios de Alimentação e Nutrição Humana*, pp. 417-556. Lisboa: Escolar Editora.

Lidon, F. C., Daccak, D., Afonso, P. S., Silva, M. M., Bagulho, A. S., Pais, I., Galhano, C., Ramalho, J. C., Moreira, J., Pessoa, M. F., Reboredo, F. H. (2019). An integrated chemical and technological approach for assessing portuguese wheat flours quality and lengthening bread shelf-life. *Emirate J. Food Agric.* 31, 884–894.

Lidon, F. J. C., Silvestre, M. M. A. S. F. (2007a). Microbiologia e conservação de alimentos. Em *Indústrias Alimentares - Aditivos e Tecnologia*, pp. 19–28. Lisboa: Escolar Editora.

Lidon, F. J. C., Silvestre, M. M. A. S. F. (2007b). Aditivos alimentares. Em *Indústrias Alimentares - Aditivos e Tecnologia*, pp. 29–192. Lisboa: Escolar Editora.

- Lidon, F. J. C., Silvestre, M. M. A. S. F. (2007c). Indústrias alimentares. Em *Indústrias Alimentares - Aditivos e Tecnologia*, pp. 193–340. Lisboa: Escolar Editora.
- Lim, S. J., Ho, C. W., Lazim, A. M., Fazry, S. (2020). History and Current Issues of Vinegar. Em *Advances in Vinegar Production* (ed. Bekatorou, A.), pp. 1–17. Taylor & Francis Group.
- Lockyer, S., Spiro, A. (2020). The role of bread in the UK diet: An update. *Nutr. Bull.* 45, 133–164.
- Lotfinia, S., Dakheli, M. J., Nafchi, A. M. (2013). Application of Starch Foams Containing Plant Essential Oils to Prevent Mold Growth and Improve Shelf Life of Packaged Bread. *J. Chem. Heal. Risks* 3, 9–18.
- Magan, N., Aldred, D., Arroyo, M. (2012). Mould prevention in bread. Em *Breadmaking: Improving quality* (ed. Cauvain, S. P.), Second Edition, pp. 597–613. Woodhead Publishing Limited.
- Maherani, B., Ayari, S., Lacroix, M. (2018). The Use of Natural Antimicrobials Combined with Nonthermal Treatments To Control Human Pathogens. Em *Natural and Bio-Based Antimicrobials for Food Applications* (ed. Fan, X., Ngo, H., Wu, C.), pp. 149–170. American Chemical Society.
- Melini, V., Melini, F. (2018). Strategies to extend bread and GF bread shelf-life: From Sour-dough to antimicrobial active packaging and nanotechnology. *Fermentation* 4, 1–18.
- Menezes, C. P., Pérez, A. L. A. de L., Lima, E. D. O. (2017). *Cladosporium* spp: Morfologia, infecções e espécies patogênicas. *Acta Bras.* 1, 23–27.
- Mondal, A., Datta, A. K. (2008). Bread baking - A review. *J. Food Eng.* 86, 465–474.
- Moro, C. B. (2019). *Sensibilidade de fungos deteriorantes de produtos de panificação à conservantes*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Ciência e Tecnologia dos Alimentos. Universidade Federal de Santa Maria.
- Najafi, M. B. H., Fatemizadeh, S. S., Boroojerdi, S. R., Hosseini, F., Karazhyan, R. (2018). In vitro evaluation of antimold activity of annatto natural dye and its effects on microbial, physico-chemical, and sensory properties of bread. *J. Food Prot.* 81, 1598–1604.
- O'Bryan, C. A., Crandall, P. G., Ricke, S. C., Ndahetuye, J. B. (2015). Lactic acid bacteria (LAB) as antimicrobials in food products: analytical methods and applications. Em *Handbook of Natural Antimicrobials for Food Safety and Quality* (ed. Taylor, T. M.), pp. 137–151. Woodhead Publishing.
- Panetto (2020). *Quem somos*. Disponível em <https://panetto.pt/>. Acedido em 23 de setembro de 2020.
- Pattison, T. L., Lindsay, D., Von Holy, A. (2004). Natural antimicrobials as potential replacements for calcium propionate in bread. *S. Afr. J. Sci.* 100, 342–348.

Queiroz, G. M. (2001). *Determinação De Propriedades Termofísicas Do Pão Tipo Francês Durante O Processo De Assamento*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Química. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

Quitmann, H., Fan, R., Czermak, P. (2013). Acidic Organic Compounds in Beverage, Food, and Feed Production. Em *Biotechnology of Food and Feed Additives* (ed. Zorn, H., Czermak, P.), pp. 91–141. Springer, Berlin, Heidelberg.

Rahman, M. S. (2020). Food Preservation: An Overview. Em *Handbook of Food Preservation* (ed. Rahman, M. S.), pp. 7–18. Taylor & Francis Group.

Rández-Gil, F., Ballester-Tomás, L., Prieto, J. A. (2014). Yeast. Em *Bakery Products: Science and Technology* (ed. Zhou, W., Hui, Y. H., De Leyn, I., Pagani, M. A., Rosell, C. M., Selman, J. D., Therdthai, N.), pp. 153–174. Wiley Blackwell.

Ravimannan, N., Sevel, P., Saarutharshan, S. (2016). Study on fungi associated with spoilage of bread. *Int. J. Adv. Res. Biol. Sci* 3, 165–167.

Ravishankar, S. (2018). Plant-Based Antimicrobials for Clean and Green Approaches to Food Safety. Em *Natural and Bio-Based Antimicrobials for Food Applications* (ed. Fan, X., Ngo, H., Wu, C.), pp. ix–x. American Chemical Society.

Rawat, S. (2015). Food Spoilage: Microorganisms and their prevention. *Asian J. Plant Sci. Res.* 5, 47–56.

Regulamento (CE) nº 1333/2008 de 16 de dezembro de 2008. *Jornal Oficial da União Europeia, L 354/16*. Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia. Bruxelas.

Regulamento (UE) nº 1129/2011 de 11 de novembro de 2011. *Jornal Oficial da União Europeia, L 295/1*. Comissão Europeia. Bruxelas.

Regulamento (UE) nº 510/2013 de 3 de junho de 2013. *Jornal Oficial da União Europeia, L 150/17*. Comissão Europeia. Bruxelas.

Sahi, S. S., Little, K., Ananingsih, V. K. (2014). Quality Control. Em *Bakery Products: Science and Technology* (ed. Zhou, W., Hui, Y. H., De Leyn, I., Pagani, M. A., Rosell, C. M., Selman, J. D., Therdthai, N.), pp. 490–509. Wiley Blackwell.

Salas, M. L., Mounier, J., Valence, F., Coton, M., Thierry, A., Coton, E. (2017). Antifungal Microbial Agents for Food Biopreservation—A Review. *Microorganisms* 5, 37.

Samapundo, S., Devlieghere, F., Vroman, A., Eeckhout, M. (2017). Antifungal activity of fermentates and their potential to replace propionate in bread. *LWT - Food Sci. Technol.* 76, 101–107.

Sankpal, A. A. (2019). An overview on types, medicinal uses and production of vinegar. *Pharma Innov. Hournal* 8, 1083–1087.

Saranraj, P., Geetha, M. (2012). Microbial Spoilage of Bakery Products and Its Control by Preservatives. *Int. J. Pharm. Biol. Arch.* 3, 38–48.

Saranraj, P., Sivasakthivelan, P. (2015). Microorganisms involved in spoilage of bread and its control measures. Em *Bread and its Fortification: Nutrition and Health Benefits* (ed. Rosell, C. M., Bajerska, J., El Sheikha, A. F.), pp. 132–149. Taylor & Francis Group.

Sharp, T. (2004). The technology of reduced additive breadmaking. Em *Technology of Reduced Additive Foods* (ed. Smith, J.), pp. 46–60. Blackwell Science Ltd.

Siepmann, F. B., Ripari, V., Waszczynskyj, N., Spier, M. R. (2017). Overview of Sourdough Technology: from Production to Marketing. *Food Bioprocess Technol.* 11, 242–270.

Silva, T. (2020). Good Manufacturing Practice (GMP). Em *Handbook of Food Preservation* (ed. Rahman, M. S.), pp. 1004–1015. Taylor & Francis Group.

Silva, M. M., Lidon, F. C. (2016). Food preservatives - An overview on applications and side effects. *Emirates J. Food Agric.* 28, 366–373.

Smith, J. P., Daifas, D. P., El-Khoury, W., Koukoutsis, J., El-Khoury, A. (2004). Shelf Life and Safety Concerns of Bakery Products - A Review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 44, 19–55.

Stopforth, J, Kudron, T. (2021). Sorbic Acid and Sorbates. Em *Antimicrobials in Food* (ed. Davidson, P. M., Taylor, T. M., David, J. R. D.), pp. 89–132. Taylor & Francis Group.

Takwa, S., Caleja, C., Barreira, J. C. M., Soković, M., Achour, L., Barros, L., Ferreira, I. C. F. R. (2017). *Arbutus unedo* L. and *Ocimum basilicum* L. as sources of natural preservatives for food industry: A case study using loaf bread. *LWT - Food Sci. Technol.* 88, 47–55.

Tapia, M. S., Alzamora, S. M., Chirife, J. (2020). Effects of Water Activity (a_w) on Microbial Stability as a Hurdle in Food Preservation. Em *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications* (ed. Barbosa-Cánovas, G. V., Fontana Jr., A. J., Schmidt, S. J., Labuza, T. P.), pp. 323–355. John Wiley & Son, Inc.

Taylor, T. M. (2018). Natural Food Antimicrobials: Recent Trends in Their Use, Limitations, and Opportunities for Their Applications in Food Preservation. Em *Natural and Bio-Based Antimicrobials for Food Applications* (ed. Fan, X., Ngo, H., Wu, C.), pp. 25–44. American Chemical Society.

Taylor, T. M., Doores, S. X. (2021). Organic Acids. Em *Antimicrobials in Food* (ed. Davidson, P. M., Taylor, T. M., David, J. R. D.), pp. 133–190. Taylor & Francis Group.

testo (2021). *Manual de instruções do aparelho testo 205*. Disponível em <https://static-int.testo.com/media/fa/8d/bbcb68269954/testo-205-Instruction-Manual.pdf>. Acedido em 11 de fevereiro de 2021.

Thanakkasaranee, S., Kim, D., Seo, J. (2018). Preparation and characterization of polypropylene/sodium propionate (PP/SP) composite films for bread packaging application. *Packag. Technol. Sci.* 31, 221–231.

Therdthai, N., Zhou, W. (2014). Manufacture. Em *Bakery Products: Science and Technology* (ed. Zhou, W., Hui, Y. H., De Leyn, I., Pagani, M. A., Rosell, C. M., Selman, J. D., Therdthai, N.), pp. 475–488. Wiley Blackwell.

Ukuku, D. O., Mukhopadhyay, S., Juneja, V., Rajkowski, K. (2015). Evaluating natural antimicrobials for use in food products. Em *Handbook of Natural Antimicrobials for Food Safety and Quality* (ed. Taylor, T. M.), pp. 182–209. Woodhead Publishing.

Wei, Q., Wolf-Hall, C., Hall III, C. A. (2009). Application of Raisin Extracts as Preservatives in Liquid Bread and Bread Systems. *J. Food Sci.* 74, M177–M184.

Wu, C., Peng, Y. (2018). Evaluation of Toxicity and Endocrine Disruption Potential of the Natural and Bio-Based Antimicrobials. Em *Natural and Bio-Based Antimicrobials for Food Applications* (ed. Fan, X., Ngo, H., Wu, C.), pp. 223–242. American Chemical Society.

Zhou, W., Therdthai, N., Hui, Y. H. (2014). Introduction to Baking and Bakery Products. Em *Bakery Products: Science and Technology* (ed. Zhou, W., Hui, Y. H., De Leyn, I., Pagani, M. A., Rosell, C. M., Selman, J. D., Therdthai, N.), pp. 3–16. Wiley Blackwell.