UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA

VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE DETEÇÃO DE METAIS UTILIZADOS NA MONITORIZAÇÃO DE PERIGOS FÍSICOS NUMA INDÚSTRIA CÁRNEA

RHUANE BARBOSA CARRARO

ORIENTADOR(A):
Engenheira Laurentina da Conceição Teixeira Gomes

COORIENTADOR(A):
Doutora Maria João dos Ramos Fraquesa

2024

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA

VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE DETEÇÃO DE METAIS UTILIZADOS NA MONITORIZAÇÃO DE PERIGOS FÍSICOS NUMA INDÚSTRIA CÁRNEA

RHUANE BARBOSA CARRARO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM SEGURANÇA ALIMENTAR

JÚRI PRESIDENTE:
Doutor Rui José Branquinho de Bessa

VOGAIS:
Doutor Miguel José Sardinha de Oliveira Cardo
Doutora Maria João dos Ramos Fraqueza

ORIENTADOR(A):
Engenheira Laurentina da Conceição Teixeira Gomes

COORIENTADOR(A):
Doutora Maria João dos Ramos Fraqueza

2024

Anexo 3 – DECLARAÇÃO RELATIVA ÀS CONDIÇÕES DE REPRODUÇÃO DA TESE OU DISSERTAÇÃO

Nome: Rhuane Barbosa Carraro

Título da Tese ou Dissertação: VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE DETEÇÃO DE METAIS UTILIZADOS NA MONITORIZAÇÃO DE PERIGOS FÍSICOS NUMA INDUSTRIA CÁRNEA

Ano de conclusão (indicar o da data da realização das provas públicas): 2024

Designação do curso de Mestrado ou de Doutoramento: Mestrado em Segurança Alimentar

Área científica em que melhor se enquadra (assinale uma):

☐ Clínica ☒ Produção Animal e Segurança Alimentar

☐ Morfologia e Função ☐ Sanidade Animal

Declaro sob compromisso de honra que a tese ou dissertação agora entregue corresponde à que foi aprovada pelo júri constituído pela Faculdade de Medicina Veterinária da ULISBOA.

Declaro que concedo à Faculdade de Medicina Veterinária e aos seus agentes uma licença não-exclusiva para arquivar e tornar acessível, nomeadamente através do seu repositório institucional, nas condições abaixo indicadas, a minha tese ou dissertação, no todo ou em parte, em suporte digital.

Declaro que autorizo a Faculdade de Medicina Veterinária a arquivar mais de uma cópia da tese ou dissertação e a, sem alterar o seu conteúdo, converter o documento entregue, para qualquer formato de ficheiro, meio ou suporte, para efeitos de preservação e acesso.

Retenho todos os direitos de autor relativos à tese ou dissertação, e o direito de a usar em trabalhos futuros (como artigos ou livros).

Concordo que a minha tese ou dissertação seja colocada no repositório da Faculdade de Medicina Veterinária com o seguinte estatuto (assinale um):

1. ☒ Disponibilização imediata do conjunto do trabalho para acesso mundial;
2. ☐ Disponibilização do conjunto do trabalho para acesso exclusivo na Faculdade de Medicina Veterinária durante o período de ☐ 6 meses, ☐ 12 meses, sendo que após o tempo assinalado autorizo o acesso mundial*;

* Indique o motivo do embargo (OBRIGATÓRIO)

Nos exemplares das dissertações de mestrado ou teses de doutoramento entregues para a prestação de provas na Universidade e dos quais é obrigatoriamente enviado um exemplar para depósito na Biblioteca da Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade de Lisboa deve constar uma das seguintes declarações (incluir apenas uma das três, retirando as que não interessam):

1. É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA TESE/TRABALHO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.
2. É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA TESE/TRABALHO (indicar, caso tal seja necessário, nº máximo de páginas, ilustrações, gráficos, etc.) APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.
3. NÃO É PERMITIDA A REPRODUÇÃO DE QUALQUER PARTE DESTA TESE/TRABALHO.

Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade de Lisboa, 05 de Abril de 2004

(indicar aqui a data da realização das provas públicas)

Assinatura:

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à minha coorientadora, Professora Doutora Maria João Fraqueza, primeiramente pela sua dedicação e preocupação com os alunos da minha turma de mestrado em Segurança Alimentar. Pela sua disponibilidade incansável, orientações e conhecimentos transmitidos a mim ao longo desse caminho.

Agradeço à Laurentina Gomes, minha orientadora, por sempre ter acreditado em meu potencial e ter aceitado acompanhar-me neste projeto e me encorajado. A minha amiga Sara que não mediu esforços em me ajudar a conduzir os testes, pelas várias contribuições ao longo do desenvolver do trabalho e pela amizade que construímos.

Ao meu amigo Jhuilker, que incansavelmente me acompanhou desde o primeiro dia de aula no mestrado, abriu-me portas para novos desafios e sempre muito solicito em ajudar no que fosse preciso nessa minha trajetória.

Aos administradores da empresa onde realizei o projeto, que me acolheram e permitiram que eu realizasse os estudos.

Ao meu marido, que aceitou sair da nossa zona de conforto, colocou a sua carreira profissional em segundo plano para embarcar comigo nessa jornada para a realização de um sonho meu, do outro lado do oceano. Foi incansavelmente meu companheiro diário, nos momentos mais delicados e também nos mais felizes.

Aos meus pais, que me criaram com raízes profundas para que eu não tivesse razão de temer o vento. Sempre me apoiaram e encorajaram-me a seguir meus sonhos e lutar pelos meus objetivos.

Aos meus familiares e amigos, que ao longo dessa jornada não mediram esforços para estarem comigo, seja em uma visita, por ligações, mensagens ou em suas intenções.

Resumo

VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE DETEÇÃO DE METAIS UTILIZADOS NA MONITORIZAÇÃO DE PERIGOS FÍSICOS NUMA INDÚSTRIA CÁRNEA

O presente estudo realizado no âmbito do plano curricular do Mestrado em Segurança Alimentar, numa empresa especializada em desossa de carcaças e transformação de produtos cárneos, teve por objetivo principal a validação dos parâmetros dos detetores de metais instalados nas linhas de produtos Congelados e Picados/Frescos para os diferentes tipos de produtos. O fornecimento de alimentos seguros é primordial para a indústria alimentar. Os perigos físicos presentes nos alimentos podem representar um potencial risco para a saúde, nomeadamente os contaminantes metálicos. A utilização de detetores de metais é amplamente empregado pelas indústrias alimentares como medida de controlo para os contaminantes metálicos. A sensibilidade dos detetores podem variar de acordo com as características intrínsecas dos produtos, dimensões do equipamento, características dos contaminantes, entre outros fatores que são de extrema importância para estabelecer qual o melhor equipamento a ser utilizado, bem como sua parametrização ideal e limite crítico.

Foram realizados testes aos dois detetores de metais com diversos padrões e fragmentos metálicos, para validar os programas utilizados com seus respetivos limites de deteção. Os resultados demonstraram que o detetor de metais da linha dos Congelados apresentou limitações na deteção de fragmento ferroso em formato de fio quando o diâmetro do fio foi menor que a sensibilidade esférica do detector de metais. O detetor da linha dos Picados/Frescos não apresentou limitações para todos os contaminantes testados, onde a deteção pode ter sido facilitada também pelas características do produto cárneo e acondicionamento, além da própria conformação do detetor.

Palavras-chave: Perigos físicos, detetor de metais, validação, segurança dos alimentos, indústria de carne.

Abstract

VALIDATION OF THE METAL DETECTION SYSTEM USED TO MONITORING PHYSICAL HAZARDS IN A MEAT INDUSTRY

The present study was carried out within the scope of the Food Safety Master, in the company specialized in deboning carcasses and processing meat products. The objective of the study was the validation of the parameters of the metal detectors installed in the Frozen line and Minced/Fresh line for different types of meat and meat products fresh and frozen. Providing safe food is fundamental for the food industry. The physical hazards present in food can represent a potential health risk, in particular metallic contaminants. The use of metal detectors is commonly used by the food industries as a control measure for metallic contaminants. The sensitivity of the detectors can vary according to the intrinsic characteristics of the products, dimensions of the equipment, characteristics of the contaminants, among other factors that are extremely important to establish the best equipment to be used, as well as its ideal parameterization and critical limit.

Tests were carried out on two metal detectors with different standards and metallic fragments, to validate the programs used with their respective detection limits. The results showed that the metal detector of the Frozen line presented limitations in the detection of ferrous fragments in the shape of a wire when the wire diameter was smaller than the spherical sensitivity of the metal detector. The Minced/Fresh line detector did not present limitations for all tested contaminants, where detection may have also been facilitated by the characteristics of the product and packaging, in addition to the conformation of the detector itself.

Key words: Physical hazards, metal detector, validation, food safety, meat industry.

Índice geral

Página

Agradecimentos ii

Resumo iv

Abstract v

Índice geral vi

Índice de figuras viii

Índice de tabelas ix

Lista de Abreviaturas xi

1. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O PERÍODO DE DESENVOLVIMENTO DA DISSERTAÇÃO 1

2. INTRODUÇÃO 1

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 2

3.1 Segurança dos Alimentos 2

3.2 Métodos Proativos 4

3.3 Perigos Físicos 5

3.4 Medidas de Controlo 9

3.5 Sistemas de Deteção e Remoção 10

3.5.1 Equipamentos Magnéticos 10

3.5.2 Raios X 10

3.5.3 Detectores de Metais 11

3.5.3.1 Fatores Que Interferem na Sensibilidade 13

4. OBJETIVO DO ESTUDO 14

5. JUSTIFICAÇÃO 14

6. MATERIAL E MÉTODO 15

6.1 Processo Produtivo 15

6.3 Materiais Contaminantes 18

6.4 Testes aos Detetores de Metais 20

6.4.1 Teste Linha dos Congelados 20

6.4.2 Teste Linha de Picados Fresco 22

7. ANÁLISE ESTATÍSTICA 24

8. RESULTADOS E DISCUSSÃO 24

8.1 Teste Linha de Congelados 24

8.2 Teste Linha Picados Fresco 44

9. DISCUSSÂO GERAL 48

10. CONCLUSÃO 49

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 50

Índice de figuras

Página

Figura 1: Princípio de funcionamento do detetor de metais (Mettler Toledo 2016) ..12

Figura 2: Fluxograma de Fabrico 15

Figura 3: Amplitude do sinal do detetor de metais (Cassel, sem data).....17

Figura 4: Posição do Contaminante 21

Figura 5: Sinal do Detetor 21

Figura 6: Posição do Contaminante 23

Figura 7: Seleção do Programa 24

Figura 8: Representação gráfica da percentagem de deteções obtidas a partir dos testes realizados com o contaminante FE31mm. 42

Índice de tabelas

Página

Tabela 1 - Características Produtos Selecionados 18

Tabela 2 - Características Materiais Contaminantes 19

Tabela 3 – Esquema de Localização dos Contaminantes 20

Tabela 4 – Configurações detetor de metais 24

Tabela 5 - Teste t da posição do metal para Bife de Frango 25

Tabela 6 - Estatísticas descritivas quanto ao lote para Bife de Frango 25

Tabela 7 - Homogeneidade de variâncias e igualdade de médias dos lotes para Bife de Frango 26

Tabela 8 - Teste post-hoc Games-Howell para lote de Bife de Frango 27

Tabela 9 - Teste t da posição do metal para Febras de Suíno 27

Tabela 10 - Estatísticas descritivas quanto ao lote para Febras de Suíno 28

Tabela 11 - Homogeneidade de variâncias e igualdade de médias dos lotes para Febras Suíno 29

Tabela 12 - Teste post-hoc Hochberg para lote de Febras de Suíno 29

Tabela 13 - Teste t da posição do metal para Entremeada de Suíno 30

Tabela 14 - Estatísticas descritivas quanto ao lote para Entremeada Suíno 30

Tabela 15 - Homogeneidade de variâncias e igualdade de médias dos lotes para Entremeada de Suíno 31

Tabela 16 - Teste *post-hoc* Games-Howell para lote de Entremeada Suíno 32

Tabela 17 - Teste t da posição do metal para Bife de Peru 32

Tabela 18 - Estatísticas descritivas quanto ao lote para Bife de Peru 33

Tabela 19 - Homogeneidade de variâncias e igualdade de médias dos lotes para Bife de Peru 34

Tabela 20 - Teste t da posição do metal para Cubos de Suíno 34

Tabela 21 - Estatísticas descritivas quanto ao lote para Cubos de Suíno.....35

Tabela 22 - Homogeneidade de variâncias e igualdade de médias dos lotes para Cubos Suíno 36

Tabela 23 - Estatísticas descritivas quanto ao lote para Hambúrguer de Bovino.....37

Tabela 24 - Estatísticas descritivas quanto ao lote para Hambúrguer de Bovino.....37

Tabela 25 - Homogeneidade de variâncias e igualdade de médias dos lotes para Hambúrguer deBovino 38

Tabela 26 - Teste t da posição do metal para Almôndegas de Bovino.....39

Tabela 27 - Estatísticas descritivas quanto ao lote para Almôndegas de Bovino.....40

Tabela 28 - Homogeneidade de variâncias e igualdade de médias dos lotes para Almôndegas de Bovino 40

Tabela 29 - Teste post-hoc Games-Howell para lote de Almôndega Bovino 41

Tabela 30 – Resultados dos testes realizados no programa 2 para Hambúrguer.....45

Tabela 31 – Resultados dos testes realizados no programa 3 para Carne Picada ...46

Lista de Abreviaturas

BPF	Boas Práticas de Fabrico
DGAV	Direção Geral da Alimentação e Veterinária
EFSA	European Food Safety Authority
ES	European Standard
ESA	EFTA Surveillance Authority
EFTA	European Free Trade Association
FAO	Food and Agriculture Organization
FDA	Food and Drug Administration
HACCP	Hazard analysis and critical control points
ISO	International Organization for Standardization
OMS	Organização Mundial de Saúde
PCC	Ponto Crítico de Controlo
RASFF	Rapid Alert System for Food and Feed
WHO	World Health Organization

1. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O PERÍODO DE DESENVOLVIMENTO DA DISSERTAÇÃO

No âmbito do plano de estudo do Mestrado de Segurança Alimentar da Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade de Lisboa, foi realizado o desenvolvimento do trabalho conducente ao desenvolvimento e apresentação da dissertação com o tema "Validação do sistema de deteção de metais utilizados na monitorização de perigos físicos numa indústria cárnea". Este teve duração de 09 meses, com início em 03 de outubro de 2022 a 30 de junho de 2023.

Durante esse período a orientação foi realizado pela Engenheira Laurentina Gomes na organização onde foram desenvolvidas diversas atividades pela autora. Inserida no Departamento de Qualidade da empresa, para além do trabalho acima realizado, a autora desenvolveu diversas atividades relacionadas com o Sistema de Gestão de Qualidade e Segurança dos Alimentos da empresa, entre as atividades desenvolvidas destacam-se: elaboração e revisão de procedimentos, atualização e manutenção do plano HACCP, inspeções internas, gestão de não conformidades e análise de falhas, gestão de formações, gestão de indicadores, gestão de auditorias de clientes, auditorias de certificação e de entidades competentes, entre outras.

2. INTRODUÇÃO

A segurança dos alimentos é uma responsabilidade compartilhada entre operadores da cadeia alimentar e instituições governamentais regulamentadoras. Esse trabalho em conjunto, permite que os alimentos disponibilizados à população, estejam seguros e livres de contaminantes.

A aplicação do programa de Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controlo (HACCP) fornece à indústria alimentar uma medida eficaz, para aumentar a segurança dos alimentos e melhorar a gestão (Hung et al. 2015). O foco das medidas de controlo é a eliminação de matéria biológica, química e física que sejam críticas, de forma a controlar substâncias prejudiciais à saúde pública (Kenner 2001). Os perigos potenciais que podem impactar negativamente a segurança dos alimentos são identificados e avaliados mediantes uma análise de risco (Hung et al. 2015).

Para além das medidas de controlo identificadas no HACCP, é importante estabelecer um sistema de monitorização, ações corretivas, procedimentos de verificação e documentação, além da manutenção de registos para que o sistema seja eficaz (Hung et al. 2015).

Entre os potenciais perigos na indústria alimentar, os microbiológicos são a principal preocupação para a saúde pública. Essa atenção está associada ao elevado número de mortes e casos de doenças transmitidas por alimentos (Kenner 2001). Para além dos perigos microbiológicos, os físicos e químicos também são de grande impacto e devem ser avaliados e controlados, uma vez que podem causar danos irreversíveis à saúde.

A potencial presença de contaminantes físicos no produto, além de representarem um risco para a saúde, podem dar origem a reclamações dos consumidores. A origem dessas contaminações e por consequência reclamações, é geralmente devida à falta de controlos eficazes, metodologias inadequadas de trabalhos e especificações incorretas do sistema de deteção.

Tratando-se de perigos metálicos, existem programas eficazes de detecção de metais os quais concentram-se em reduzir a contaminação através de boas práticas de fabrico, equipamentos adequados para a detecção, além de testes eficazes. A indústria alimentar tem uma obrigação legal de minimizar a contaminação e garantir a qualidade e segurança dos produtos (Advanced Detection Systems 2018).

O presente estudo teve por objetivo realizar a validação dos detetores de metais instalados nas linhas produtivas de uma indústria cárnea de modo a garantir a confiabilidade de operação do equipamento. O trabalho está fragmentado numa fundamentação teórica onde se abordam os impactos da presença de perigos físicos presentes nos alimentos para as indústrias alimentares e consumidores, medidas de controlo aplicáveis e fatores que possam influenciar as medidas de controlo. No segmento da fundamentação teórica, tem-se o trabalho experimental onde descreveu-se os testes realizados bem como os resultados obtidos e a conclusão do estudo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Segurança dos Alimentos

O fornecimento de alimentos seguros, sempre foi uma temática importante na indústria alimentar, devido à elevada relevância social. Os riscos relacionados com a segurança dos alimentos podem surgir a partir da potencial presença de substâncias químicas, vírus, bactérias, parasitas ou perigos físicos presentes nos alimentos.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde, mais de 200 doenças podem ser causadas por alimentos inseguros contendo bactérias, vírus, parasitas ou substâncias químicas nocivas, doenças essas que podem variar em severidade, desde uma simples diarreia ao cancro. Muitas delas podem acarretar incapacidades irreversíveis ou até mesmo a morte (WHO, 2022).

A OMS preconiza que o fornecimento de alimentos seguros apoia as economias nacionais, o comércio e o turismo, promove a segurança alimentar e nutricional e apoia o desenvolvimento sustentável. A mudança dos hábitos de consumo e a urbanização, aumentaram o número de pessoas que compram e consomem alimentos preparados em locais públicos. A globalização desencadeou um aumento da procura de uma maior variedade de alimentos pelos consumidores, resultando em cadeias comerciais globais cada vez mais complexas e longas (WHO 2022). Ameaças globais como mudanças climáticas e urbanização, além da crescente complexidade da cadeia global de fornecimento, podem ser fatores que desafiam cada vez mais as cadeias de abastecimento. A procura de soluções viáveis para enfrentar esses desafios é importante para garantir o fornecimento de alimentos seguros (Mu et al. 2021).

A integração e consolidação das indústrias agroalimentares e a globalização do comércio de alimentos estão a mudar os modelos de produção e distribuição de alimentos. Os programas voltados para a segurança dos alimentos estão progressivamente mais direcionados a uma abordagem do prado ao prato como um meio eficaz de reduzir os perigos veiculados por alimentos. Essa abordagem para o controlo de perigos relacionados com alimentos, envolve a consideração de cada etapa da cadeia, desde a matéria-prima até ao consumo de alimentos. Os perigos podem entrar na cadeia alimentar, no campo, e continuarem a ser introduzidos ou acentuados em qualquer ponto da cadeia até à disponibilização do alimento ao consumidor final (WHO 2002).

Em 1963, a Organização Mundial da Saúde juntamente com a organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), elaboraram o *Codex Alimentarius*, com o propósito de harmonizar as normas alimentares entre os países e contribuir para o comércio internacional. O *Codex Alimentarius* inclui recomendações globais para a segurança e qualidade dos alimentos, incluindo as questões relativas ao transporte e armazenamento. Portanto, é função da indústria alimentar atender às expetativas dos consumidores em relação à segurança e qualidade alimentar e cumprir os requisitos legais. De forma a garantir a qualidade e a segurança dos produtos, as indústrias alimentares contam com modernos sistemas de controlo de qualidade. Atualmente destacam-se três principais sistemas: 1) Boas Práticas de Fabrico (BPF), onde incluem as condições e procedimentos de processamento que fornecem qualidade e segurança de forma consistente. 2) Análise de Perigos e pontos Críticos de Controlo (HACCP), metodologia sistemática proativa que se concentra na identificação dos perigos potenciais e no controlo dos mesmos durante o processo de desenvolvimento e produção. 3) Procedimentos de Garantia da Qualidade, desenvolvidos de acordo com as normas estabelecidas pela International Standards Organization (ISO 9000) e pela European Standard (ES 29000). Destinam-se a garantir que todos os operadores da cadeia alimentar, respeitam e

documentam os procedimentos estabelecidos para o cumprimento das normas que garantem a segurança dos alimentos. Regularmente, especialistas externos avaliam a eficácia desses programas, realizando a monitorização da adoção de procedimentos de garantia da qualidade em todos os níveis, sejam eles fornecedores, produtores, transportadores ou comerciais, garantindo assim a responsabilidade partilhada sobre todos os níveis da cadeia, desde a produção até à distribuição (Mantovani et al. 2022).

Conforme estabelecido na legislação da união europeia, os operadores do setor alimentar são os principais responsáveis pela segurança dos géneros alimentícios. Os operadores devem garantir que todas as etapas de produção, transformação e distribuição de géneros alimentícios sob o seu controlo, cumpram os requisitos em termos de higiene estabelecidos no Regulamento (CE) 852/2004.

3.2 Métodos Proativos

Entre os programas/metodologias dirigidos à garantia da segurança dos alimentos, destaca-se a Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (HACCP): trata-se de uma abordagem sistemática aplicada na indústria alimentar para a identificação e controlo de perigos específicos. O sistema HACCP abrange as matéria primas, o processo produtivo, o produto acabado, as instalações e o pessoal nos pontos críticos de controlo. A sistematização deste sistema consiste em duas etapas primordiais: a análise de perigos e as medidas de controlo do limite crítico. A análise de perigos, é o processo de identificação de perigos e avaliação do risco associado, que podem afetar negativamente a segurança dos alimentos, enquanto a medida de controlo, tem por objetivo prevenir, reduzir para um nível aceitável ou eliminar os potenciais perigos. O sistema HACCP tem sido amplamente utilizado pelas indústrias, bem como por organizações internacionais, incluindo a Organização Mundial da Saúde e a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, e atualmente é um sistema de gestão preventivo reconhecido a nível global para manter a segurança dos alimentos (Hung et al. 2015).

Conforme estabelecido no Artigo 5 do Regulamento (CE) 852/2004, todos os operadores das empresas alimentares devem implementar um sistema baseado nos princípios do HACCP, ou seja, todos os estados membros devem cumprir esse requisito.

O programa adota uma metodologia preventiva, considerando que estabelece uma abordagem sistemática direcionada para os perigos biológicos, químicos e físicos por toda a extensão da cadeia alimentar, com a realização de controlos ao longo do processo, ao invés de análises e testes a produtos acabados (Hung et al. 2015).

A abordagem HACCP, proporciona flexibilidade na escolha das medidas de controlo, de modo a permitir a adaptação às mudanças na formulação de alimentos, desenvolvimento

tecnológico e inovação, para atender às necessidades do mercado e do consumidor. A implementação de programas baseados no HACCP é verificada por órgãos fiscalizadores e reguladores, aumentando a segurança dos alimentos produzidos e promovendo o comércio internacional ao criar confiança no sistema. Essas abordagens concentram-se no controlo de perigos e pontos críticos de controlo específicos (PCC's) aplicados a atividades específicas no processo de produção, armazenamento e transporte (Masoliver et al. 2022).

Os perigos para a segurança dos alimentos, podem ser classificados em diferentes categorias, baseado na natureza do perigo. A segurança dos alimentos vai além dos perigos microbiológicos. Os perigos químicos incluem pesticidas e outros produtos químicos que podem estar associados aos produtos utilizados na fabricação dos alimentos, como os agentes de limpeza. Já os perigos físicos incluem os materiais introduzidos acidentalmente, podendo ser provenientes de peças de equipamentos, materiais de embalagens, entre outros (Masoliver et al. 2022).

Os perigos químicos, físicos e microbiológicos são uma grande preocupação para as indústrias de alimentos, incluindo as indústrias de carnes.

3.3 Perigos Físicos

Os perigos físicos nos alimentos são considerados quaisquer materiais estranhos que não são característicos do próprio alimento. Em algumas situações, um perigo físico pode ser inevitável e ser inerente ao produto, como uma espinha de um peixe ou uma semente de uma fruta (Batt 2016).

Entre os perigos físicos mais frequentes, é possível elencar materiais de diferentes naturezas, tais como: madeiras, vidros, metais, pedras, materiais de revestimento ou isolamento, ossos, plástico e objetos de uso pessoal. No decorrer das atividades de armazenamento e transformação, que as matérias-primas e os produtos vão estar sujeitos, a contaminação dos géneros alimentícios pode ser provável e severa para o consumidor considerando-se o seu risco. Alguns objetos estranhos são intrínsecos às próprias matérias-primas, como ossos nos produtos a base de aves, os quais devem ser minimizados durante o seu processamento, devendo existir processos adicionais de controlo para que seja assegurada a segurança do consumidor (Kenner 2001).

A contaminação por perigos físicos é na maioria das vezes de simples resolução, por serem normalmente de rápida identificação, diferente das contaminações químicas e microbiológicas. A identificação de potenciais perigos físicos é habitualmente realizada por parte dos colaboradores dos operadores económicos ou por parte dos próprios consumidores. Quando não são identificados, podem ser ingeridos juntamente com os

géneros alimentícios, acarretando uma série de eventuais complicações na saúde do consumidor (Veiga et al. 2009).

Segundo Kenner (2001), os perigos físicos podem ter diversas origens, incluindo o ambiente de fabrico, matérias-primas e ingredientes, equipamentos e peças de reposição, operadores e prestadores de serviço. Os métodos implementados para o controlo de materiais estranhos são tão amplos quanto as fontes, onde muitas vezes incluem selecção de fornecedores, boas práticas de fabrico e higiene, formação dos colaboradores, telas, grelhas, filtros e peneiras, utilização de ímanes, seguindo-se acções de monitorizações como as inspeções visuais na linha, detecção de metais, sistemas de visão automatizados, tecnologia de raios X. As empresas utilizam a combinação de alguns desses elementos, como uma estratégia abrangente para impedir a introdução de materiais estranhos que possam impactar a segurança do produto (Kenner 2001).

Para alguns materiais classificados como perigos físicos, o U.S. Food and Drug Administration, estabeleceu limites máximos aceitáveis. Esses limites foram estabelecidos tendo em conta a sua dimensão, e consequentemente, a dificuldade de remoção e o efeito potencial para a saúde pública (FDA 2005).

3.3.1 Impacto da deteção do perigo físico

A presença de materiais estranhos nos alimentos pode constituir um risco grave para a saúde do consumidor. Essas situações estão associadas à presença de materiais cortantes e perfurantes, como vidros e metais, ou até mesmo presença de madeira e plástico. As consequências da ingestão de alimentos com perigos físicos podem resultar em lesões, cortes e perfurações ao nível da boca, ou até mais grave quando a lesão ocorre ao longo do aparelho digestivo. Os materiais plásticos podem acarretar situações de asfixia, com consequências (FDA 2005).

Uma das grandes problemáticas que a indústria alimentar necessita de enfrentar é a ocorrência de corpos estranhos nos alimentos. As reclamações dos consumidores podem afetar a reputação das empresas podendo ocasionar perdas económicas expressivas, especialmente se a presença do corpo estranho levar à recolha do produto do mercado (recall) (Seo e Jang 2021).

A União Europeia possui um amplo conjunto de regulamentação aplicável à segurança dos alimentos de forma a permitir elevados níveis de proteção da saúde do consumidor. Quando são identificados perigos que podem ocasionar riscos para a segurança da cadeia alimentar, utiliza-se uma ferramenta denominada RASFF para assegurar o fluxo de informação e uma reação rápida por parte dos seus membros (autoridades nacionais de segurança dos alimentos dos Estados-Membros da UE, Comissão

Europeia, EFSA, ESA, Noruega, Liechtenstein, Islândia e Suíça). O RASFF, Sistema de Alerta Rápido para Alimentos e alimentos para Animais, permite que a informação seja partilhada eficientemente entre os seus membros, e sempre que um membro da rede dispões de informações relacionadas com a existência de um risco grave, direto ou indireto, para a saúde humana, ligado a um género alimentício ou a um alimento para animais, essas informações são imediatamente comunicadas à Comissão através do sistema de alerta rápido. Em seguida, a Comissão transmite imediatamente essas informações aos outros membros da rede (DGAV 2021).

Em 2022 foram reportadas 3204 notificações de alerta RASFF, sendo 11 delas associadas a riscos envolvendo perigos físicos em alimentos para consumo humano, dos quais 73% foram originárias na Alemanha. Das 11 notificações reportadas, cinco foram alvo de *recall* (RASFF Window sem data).

Segundo Seo e Jang (2021), embora os *recalls* de produtos tenham como objetivo priorizar a segurança do consumidor, ainda existem dúvidas quanto à eficácia dessa estratégia. Estudos sugerem que os recalls de produtos podem ter um impacto positivo nos resultados de desempenho, reduzindo defeitos em produtos futuros, suportando assim o efeito benéfico do *recall.* No entanto, existem controvérsias relacionadas a esse efeito benéfico, uma vez que, o recall de produtos geralmente leva ao aumento da incerteza do consumidor sobre a segurança do produto, o que pode diminuir as suas intenções de compra (Seo e Jang 2021). Para além do impacto ao consumidor, ainda existem outros impactos para as empresas resultantes de um *recall*, como os custos com a logística reversa, custos sociais, diminuição do valor corporativo, honorários advocatícios, multas ou acordos e o valor do produto recolhido. Segundo Gomez e Marks (2020), estudos recentes envolvendo as indústrias alimentares, revelaram que os custos de *recall* excedem substancialmente os custos de implementação de controlos preventivos.

Um programa ineficaz de gestão de segurança dos alimentos atrelado às más práticas operacionais, podem acarretar grandes danos às empresas produtoras de alimentos. Uma estratégia de defesa à segurança dos alimentos não é simplesmente um requisito a ser seguido, mas sim uma estratégia proativa para evitar os custos significativos e penalidades no mercado.

3.3.2 Perigos Físicos na Indústria da Carne

A indústria da carne em Portugal deve atender aos requisitos estabelecidos pelo regulamento (CE) n.° 852/2004, Regulamento (CE) n.° 853/2004 e Regulamento (CE) n.° 2073/2005, ao estabelecer um plano de gestão de risco da segurança dos alimentos.

Nas empresas que rececionam e transformam carne, os perigos físicos representativos podem ser metais, plásticos, vidro, madeira e os ossos, podendo estes estar presentes ao longo de toda a cadeia. Os perigos metálicos provenientes das explorações podem ser chumbos, agulhas utilizadas nos tratamentos veterinários, entre outros (Alaña et al. 1996). Para além dos perigos acima mencionados, os materiais plásticos utilizados para fixar as etiquetas de identificação das carcaças também podem ser uma fonte de contaminação.

Durante o transporte da matéria-prima podem ocorrer contaminações metálicas proveniente dos veículos, madeira das paletes e até a entrada de insetos no camião. Para minimizar essa contaminação é importante que os requisitos de transporte sejam devidamente cumpridos, como a higienização e manutenção dos veículos (Alaña et al. 1996).

Durante a etapa de receção dos produtos nas instalações da fábrica, os mesmos devem ser inspecionados e avaliados quanto à ausência de contaminação (Burch 2002). Ao longo do processo produtivo, os principais contaminantes podem ser metais e plástico. Os metais podem ser provenientes de utensílios de corte, peças de equipamentos, materiais de escritório como, agrafos e clips, adornos de colaboradores, entre outros. Relativamente aos plásticos, as fontes de contaminação podem ser as bancadas, tapetes transportadores, caixas de acondicionamento de produto, proteções de equipamentos, embalagens, além de outros objetos plásticos utilizados durante o fabrico. A manutenção desses equipamentos e utensílios, bem como a monitorização, são a melhor forma de prevenir a ocorrência desses perigos (Alaña et al. 1996).

Em alguns tipos de produto, como por exemplo nos preparados de carne, os ossos podem ser considerados um potencial perigo. As indústrias devem assegurar que os manipuladores sejam experientes e que o material cortante esteja em condições de conservação adequadas, para que o corte seja efetuado de maneira precisa evitando esquirolas ósseas. A ocorrência de contaminações por vidros geralmente é baixa, uma vez que, as lâmpadas e as janelas nas áreas produtivas devem possuir películas ou proteções, além de serem inspecionadas frequentemente (Burson 2003).

A considerar que contaminação física nos alimentos pode representar um risco grave à saúde humana, seja ele direto ou indireto, e quando identificada a sua existência, as comunicações dentro da EU devem ser realizadas à Comissão através da ferramenta RASFF (DGAV 2021). Damos como exemplo de um conjunto de casos relatados para a presença de perigos físicos em diversos alimentos, o caso relatado pela Alemanha em setembro de 2022, que submeteu uma notificação RASFF referente à presença de fio metálico em bifes de porco biológico marinado. Esse alerta originou uma retirada de mercado (RASFF Window, 2022).

3.4 Medidas de Controlo

A severidade dos perigos físicos é um fator primordial a ser considerado e ajuda a determinar os tipos de controlos a implementar. As consequências para o consumidor podem ser desde obstruções ligeiras ou graves das vias aéreas, a cortes no trato gastrointestinal.

Diversas medidas podem ser implementadas de forma a prevenir a incidência dos perigos físicos nos alimentos ao longo do processo produtivo, tais como: a formação do pessoal, construção e manutenção das infraestruturas e equipamentos, higiene pessoal, higienização, entre outras. Para além disso, existem os perigos com origem nas matérias-primas, os quais podem ser controlados através de um conjunto de medidas, como a qualificação e avaliação de fornecedores, inspeções, controlo de processo, controlo ambiental, entre outras (Edward 2004).

Os métodos técnicos de controlo de corpos estranhos na linha de produção de alimentos são divididos principalmente em duas categorias: sistemas de separação e sistemas de detecção e remoção (Edward 2004).

3.4.1 Sistemas de Separação

Os sistemas de separação, como a utilização de filtros e peneiras, são operações unitárias amplamente utilizadas na indústria alimentar com o propósito de separação dos componentes de uma mistura. Essas misturas podem ser líquidas-líquidas, sólidas-líquidas ou sólidas-sólidas, onde dependendo das características do produto e processo, define-se o tipo de equipamento que se deseja utilizar para que seja possível realizar a separação. Essas etapas de separação muitas vezes são necessárias para a tecnologia do processo de obtenção do produto acabado, mas também, são utilizadas como etapas de remoção de contaminantes físicos, tornando-se assim pontos de controlo para a segurança dos produtos (Edward 2004).

A utilização dessas operações como meio de retenção de contaminantes físicos é bastante praticado pela indústria alimentar, uma vez que, não possuem restrição no tipo de material contaminante, ou seja, podem reter partículas metálicas e não metálicas, como plástico, madeira, pedras, entre outros. Porém, existem alguns fatores limitantes, como a característica do próprio produto, que por vezes não permite a aplicação dessas operações, como é o caso do processamento de carne. Quando aplicável ao processo, essas

operações podem ser utilizadas como medidas preventivas para a ocorrência de um perigo físico no produto acabado.

3.5 Sistemas de Deteção e Remoção

Entre os principais meios de minimizar a presença de materiais estranhos dentro da indústria de alimentos, encontram-se os equipamentos de detecção e remoção, que para além dos dispositivos propriamente ditos, também é igualmente necessário a existência de procedimentos que garantam o seu adequado funcionamento.

Os métodos de detecção de perigos físicos podem incluir diversas tecnologias magnéticas, eletromagnéticas e espectroscópicas, além de ultrassom entre outros. Porém esses métodos só são implementáveis se puderem ter alto rendimento para trabalhar em paralelo com a linha de produção. (Batt 2016).

A identificação de um corpo estranho a partir de uma determinada característica, constituem sistemas de detecção e remoção de fragmentos. Neste grupo estão os métodos de imagem, eletromagnéticos e óticos (Edward 2004).

3.5.1 Equipamentos Magnéticos

A separação magnética é uma das técnicas utilizadas para assegurar a retirada de metais ferrosos da matéria-prima, no produto em processo ou no produto acabado (Edward 2004). O desenho do equipamento tem de ser o mais adaptado ao produto e processo, para melhor assegurar a sua função enquanto meio de deteção de contaminantes físicos. Os equipamentos magnéticos variam de grades magnéticas, filtros, tambores, placas, consoante o tipo de processo e produto. A separação magnética é um dos diversos processos de separação de misturas sólidas e heterogêneas, nomeadamente, para a separação de misturas ferro magnéticas, como o ferro, cobalto e níquel. Ou seja, a separação ocorre quando um dos componentes do material é atraído pelo magnetismo do íman, podendo ser ímanes magnéticos ou eletromagnéticos (Ima Magnets sem data).

Os equipamentos possuem uma força magnética denominada “Gauss”. Trata-se de uma grandeza magnética que quanto maior o valor de Gauss, maior a força de retenção dos contaminantes ferrosos. A utilização dos ímanes na indústria alimentar pode ser como um complemento de controlo de processo, uma vez que, o mesmo só é capaz de reter partículas magnéticas (Rodrigues 2019).

3.5.2 Raios X

Os sistemas de Raios X são amplamente utilizados na deteção de contaminantes físicos nos produtos alimentares e farmacêuticos. A tecnologia de inspeção por raios X é altamente eficaz para a detecção de metais ferrosos e não ferrosos, bem como, aço inoxidável, mesmo quando os produtos possuem embalagens metálicas. Além de permitir a detecção de vidros, minerais, ossos, plásticos e borrachas (Mettler Toledo 2016).

A inspeção implica a passagem do produto pelo feixe do raio X, o qual irá absorver energia durante essa passagem. A quantidade de energia absorvida depende da espessura do produto, densidade e número atômico. A tecnologia permite detectar qualquer material cuja densidade seja essencialmente diferente do produto a ser inspecionado (Graves et al. 1998).

O sistema de inspeção por raios X pode ser aplicado em toda a linha de produção, desde a inspeção de matéria-prima até produtos em processo, seja o produto bombeado ou transportado, independente da embalagem.

3.5.3 Detectores de Metais

Os sistemas de detecção de metais são amplamente utilizados para detectar e rejeitar produtos que contenham contaminação por fragmentos metálicos. Estes sistemas são habitualmente compostos por uma bobina, um painel de controlo, um sistema de transporte e, em alguns casos, o equipamento contém um sistema de rejeição. O sistema de detectores pode ser instalado em diversas etapas do processo, seja para a inspeção do produto em processamento ou para inspeção do produto acabado (Mettler Toledo 2016).

Os produtos alimentares podem ser contaminados por diversos fragmentos metálicos, que podem envolver contaminantes ferrosos (ferro), contaminantes não ferrosos (latão, cobre, alumínio e chumbo) e vários tipos de aço inoxidável (magnético ou não magnético). O metal ferroso é o mais facilmente detectado, porém as ligas de aço inoxidável são as mais difíceis de detectar, especialmente as ligas não magnéticas, como o aço inox 316 e 304, amplamente utilizados na indústria alimentar (Mettler Toledo 2016).

Os detectores de metais podem apresentar diferentes tecnologias para a detecção dos metais. Os detectores ferrous-in-foil (ferrosos em folha metálica) utilizados para inspecionar produtos que estão embalados em embalagens de folha de alumínio. O sistema de bobinas equilibradas é o mais utilizado, por se tratar de um sistema com diversas aplicações (Chen et al. 2020). Esse sistema é composto por três bobinas em paralelo, onde uma corrente elétrica de alta frequência faz a alimentação da bobina central (transmissora) gerando um campo eletromagnético. As outras duas bobinas localizadas uma de cada lado da bobina central, atuam como recetoras (Figura 1), por serem semelhantes e estarem à mesma distância do transmissor, sendo que, uma voltagem idêntica é induzida em cada

uma. As bobinas recetoras são conectadas em direções e polaridade opostas, de modo que os sinais recebidos provenientes da bobina transmissora, se anulem, assim estão equilibradas resultado em “saída zero” (Mettler Toledo 2016).

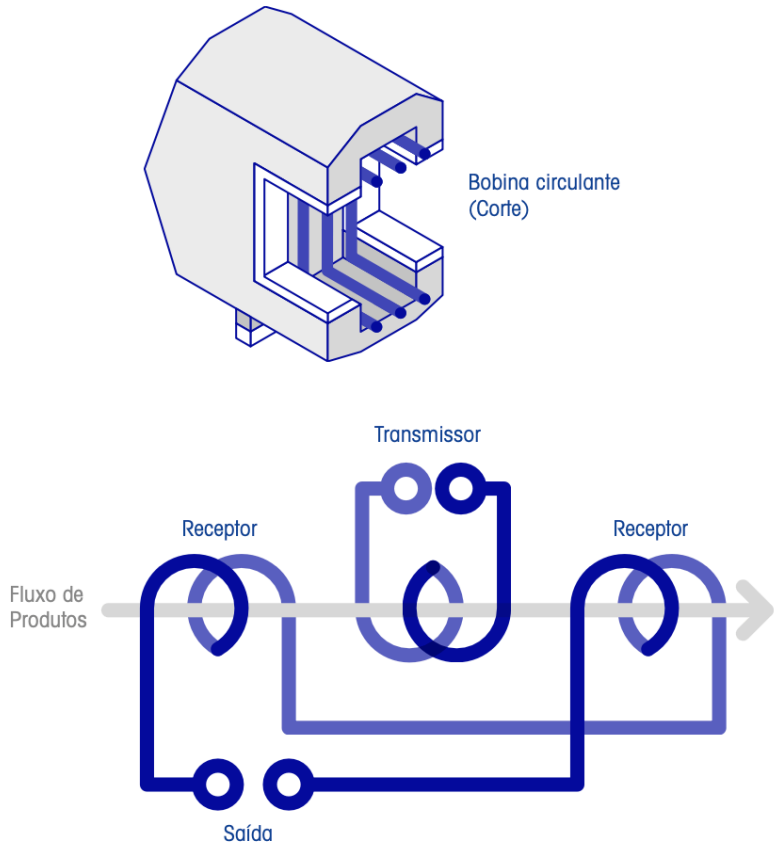


Figura 1: Princípio de funcionamento do detetor de metais (Mettler Toledo 2016)

Ao passar um fragmento de metal pela da bobina, o campo de alta frequência é perturbado na primeira bobina recetora e na sequência, na segunda bobina. Isso faz com que haja uma alteração muito pequena na voltagem gerada em cada bobina recetora. Essa pequena alteração na tensão, gera um sinal para a detecção da presença do metal (Mettler Toledo 2016).

É necessário que seja realizado um estudo prévio para selecionar qual o detector que será mais estável e de maior confiabilidade, mediante as características do produto e do processo a controlar. Nesse estudo deve-se avaliar as características do produto, tais como como humidade, dimensões, material de embalagem, além das etapas do processo, localização do equipamento, condições ambientais, entre outras. A seleção de um sistema confiável é primordial para reduzir ou eliminar a ocorrência de contaminação por metal nos alimentos fabricados numa determinada linha de produção. Além dos fatores intrínsecos

dos produtos, do detector de metais e dos contaminantes, é igualmente necessário avaliar o ambiente onde será instalado o equipamento, onde dependendo das condições como vibrações e oscilações de temperatura, também pode causar interferência no funcionamento do equipamento (Mettler Toledo 2016).

Para cada equipamento deve estabelecer-se limites de deteção de acordo com o tipo de produto que se deseja detetar. A legislação europeia não estabelece limites críticos para perigos físicos, porém de acordo com o U.S. Food and Drug Administration, a presença de um objeto estranho duro ou pontiagudo de comprimento entre 7mm e 25 mm podem apresentar um risco à saúde do consumido em geral. Partículas inferiores a 7mm de comprimento, podem ser um perigo para grupos de risco como idosos e crianças (FDA 2005).

3.5.3.1 Fatores Que Interferem na Sensibilidade

A capacidade de deteção de um tipo e um tamanho específico de contaminante metálico é denominada sensibilidade. Assim, quanto maior a sensibilidade do equipamento, menores são os tamanhos de fragmento com formato irregular, que ele consegue detetar (Fortress Technology 2012).

A sensibilidade pode variar consoante o tipo de metal, pois a capacidade de deteção é variável conforme a permeabilidade magnética do fragmento metálico, ou seja, a facilidade com que o metal é magnetizado, bem como, a condutividade elétrica do metal (Advanced Detection Systems 2018).

Os metais ferrosos são bons condutores elétricos e magnéticos, e por isso, facilmente detetados. Metais como latão, cobre, bronze fosforoso e alumínio (metais ferrosos) são bons condutores elétricos, mas não são magnéticos. Ou seja, para aplicações secas é relativamente fácil a deteção, porém quando se refere a aplicações com produtos com alto teor de humidade torna-se mais difícil pelo fato desses metais não serem magnéticos (Mettler Toledo 2016).

Devido à sua alta resistência à corrosão, as ligas metálicas nomeadamente o aço inoxidável, são largamente utilizadas na preparação, produção e armazenamento de alimentos (Hong Z 2022). O aço inoxidável 304 e o 316 são os dois graus mais utilizados na indústria alimentar e farmacêutica. No entanto, devido às suas características não magnéticas e baixa condutividade elétrica, acabam por ser de mais difícil deteção aquando a utilização de detetores de metais (Mettler Toledo 2016).

Além do tipo de metal, a dimensão da abertura do equipamento também pode afetar a sensibilidade. A altura e a largura da abertura influenciam diretamente, ou seja, um detector de abertura grande é menos sensível que um equipamento de abertura menor. Os

cantos da abertura são regiões mais sensíveis do detetor, enquanto o centro geométrico é a posição menos sensível (Mettler Toledo 2021).

Outro fator importante a ser considerado é a forma do metal e sua orientação ao passar pelo equipamento. Partículas de metal não esféricas, como arames, fios ou limalhas, são, comparativamente a outras mais facilmente detetadas ao passarem em determinada posição pela abertura do detetor, caracterizado como “efeito orientação”. Esse efeito é evidente quando o diâmetro do fragmento é inferior à sensibilidade esférica do detetor (Advanced Detection Systems 2018).

As características do produto também possuem influência direta na sensibilidade do detetor. Produto com alto teor de humidade ou sal, como carnes e aves, são eletricamente condutores ou magnéticos, portanto, o comportamento ao passar pelo equipamento é similar ao de um metal, fenómeno esse conhecido como efeito de produto (Mettler Toledo 2021). Para minimizar esse efeito, algumas tecnologias de equipamentos combinam duas ou mais frequências em simultâneo, minimizando o sinal ativo de produto. Esse efeito já não ocorre em produtos secos, por não serem condutores nem magnéticos, desta forma possui um sinal de produto desprezível. Por este motivo, é importante conhecer as características dos produtos para que seja ajustada com precisão, a fase do produto, de forma a que detecção dos metais contaminantes não seja afetada (Lock 1996).

4. OBJETIVO DO ESTUDO

O objetivo do estudo foi a validação do sistema de deteção de metais numa linha de produção de preparados e de produtos à base de carne numa indústria alimentar. O estudo no âmbito do HACCP, surge da necessidade identificada pela empresa da validação do sistema de deteção de metais nas linhas produtivas a fim de garantir a confiabilidade da operação de deteção dos mesmos, face à relevância que os perigos físicos apresentam para a indústria alimentar.

Neste estudo foram avaliados os potenciais perigos físicos metálicos passíveis de contaminação para a gama de produtos cárneos processados, tendo sido realizada uma avaliação da eficácia de detecção dos equipamentos, para os diferentes tipos de materiais metálicos, nomeadamente inox, ferroso e não ferroso com o objetivo de validar os parâmetros utilizados nos equipamentos.

5. JUSTIFICAÇÃO

As empresas do setor alimentar são responsáveis por estabelecer evidências científicas e técnicas associadas às medidas específicas de controlo que são necessárias (isoladas ou em grupo) para minimizar ou eliminar perigos, antes de as implementar.

As medidas de controlo têm por objetivo prevenir, eliminar ou reduzir um perigo relevante a um nível aceitável. Assim, o perigo identificado não deve ser suscetível de representar um risco para a saúde em condições normais de consumo. A validação de medidas de controlo durante a implementação do plano HACCP torna-se primordial e tem por objetivo fornecer evidência de que os parâmetros selecionados para controlo do processo e do produto estão implementadas adequadamente para controlar o perigo no pior cenário possível (Masoliver et al. 2022).

Por estas razões, o estudo proposto pretende validar as medidas de deteção e controlo de materiais metálicos, nomeadamente inox, ferroso e não ferroso nos alimentos, implementadas nas linhas produtivas.

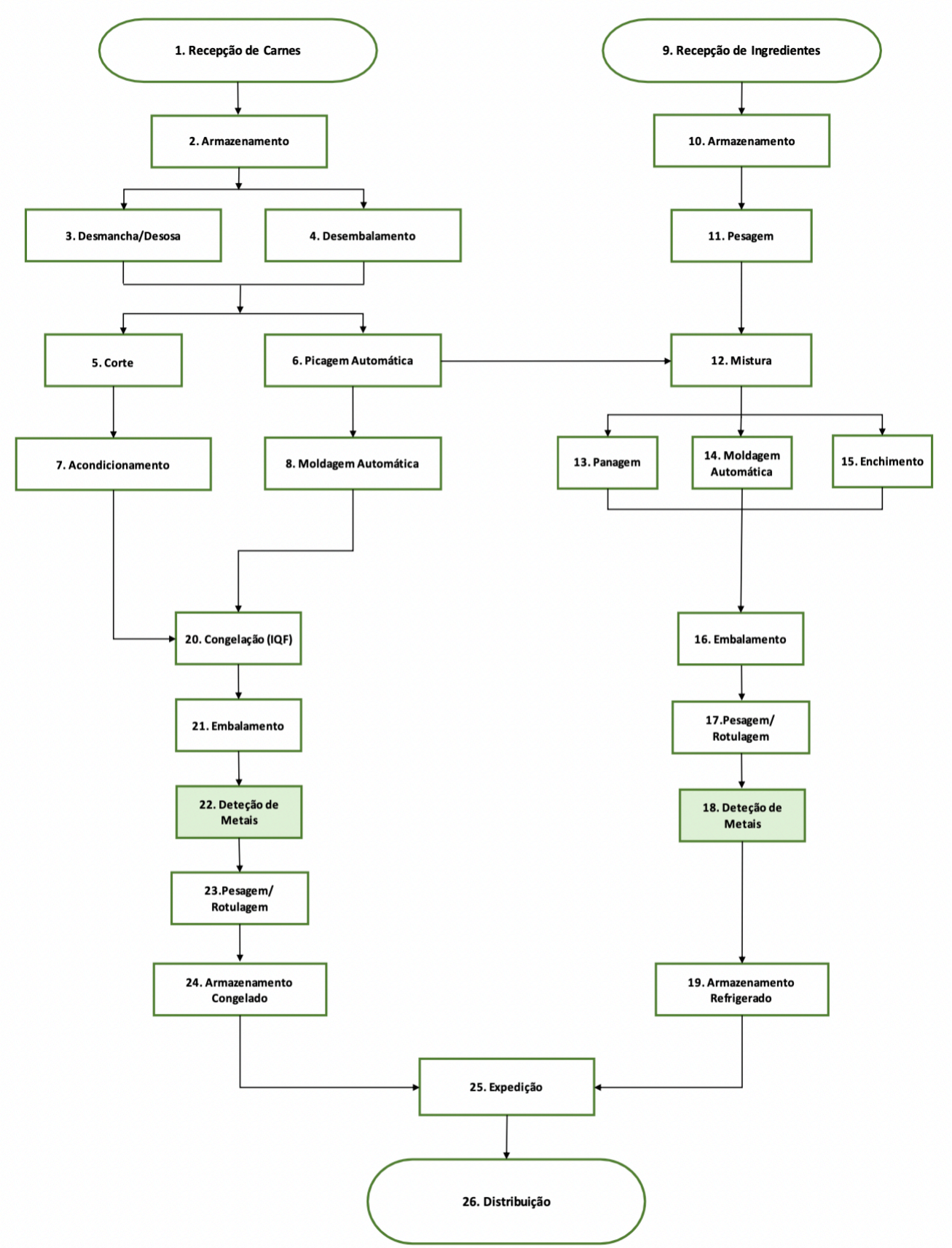
6. MATERIAL E MÉTODO

6.1 Processo Produtivo

O estudo foi realizado nas instalações da empresa "X" na qual a autora exerce funções. A referida empresa desenvolve a atividade de desossa de carcaças de bovino, suíno, ovino, caprino e aves e processamento de carnes frescas em produtos à base de carne, com uma vasta gama de produtos frescos, congelados e ultracongelados. O presente estudo foi realizado na linha de produtos cárneos congelados IQF *(Individual Quick Freezing)* bem como, na linha de produtos Picados Frescos. Na linha dos produtos congelados é realizada a congelação de produtos cárneos fatiados de diferentes espécies, picados e preparados de carne. Os produtos cárneos após produção nas respetivas linhas produtivas, são submetidos ao processo de congelação individual através de um equipamento denominado "girofreezer", atingindo uma temperatura final de -3°C à -7°C dependendo do produto, sendo posteriormente embalados e então direcionados para a detecção de metais, conforme ilustrado na figura 2.

No caso dos produtos picados frescos, após formulação e preparação dos mesmos, são embalados em cuvetes plásticas com atmosfera protetora, e posteriormente são direcionados para a detecção de metais, conforme ilustrado na figura 2.

Figura 2: Fluxograma de Fabrico


1. Recepção de Carnes
2. Armazenamento
3. Desmancha/Desosa
4. Desembalamento
5. Corte
6. Picagem Automática
7. Acondicionamento
8. Moldagem Automática
9. Recepção de Ingredientes
10. Armazenamento
11. Pesagem
12. Mistura
13. Panagem
14. Moldagem Automática
15. Enchimento
16. Embalamento
17.Pesagem/ Rotulagem
18. Deteção de Metais
19. Armazenamento Refrigerado
20. Congelação (IQF)
21. Embalamento
22. Deteção de Metais
23.Pesagem/ Rotulagem
24. Armazenamento Congelado
25. Expedição
26. Distribuição

Os detectores de metais acima referidos são equipamentos distintos, onde para os produtos congelados o equipamento utilizado é da marca Cassel, Modelo BD 550 X 300, número de série D150556.08G. O equipamento utilizado para a linha dos Picados/Fresco é da marca Safeline, Modelo SIG-IS 300x200/425303, número de série 76232. Ambos possuem o mesmo princípio de funcionamento, ou seja, funcionamento por bobinas transmissoras e bobinas recetoras. As bobinas recetoras e transmissoras utilizam um gerador onde é criado um fluxo da corrente elétrica, isto é, cria um campo eletromagnético alternado no sensor. Caso um metal ou uma partícula de metal atravesse o detetor, o campo magnético da bobina transmissora altera-se. Como resultado da alteração no campo magnético, é criado uma tensão elétrica na bobina recetora. A quantidade da tensão gerada é diretamente proporcional às propriedades magnéticas e elétricas do resíduo metálico.

O detetor de metais Cassel (linha dos Congelados) indica a amplitude atual do sinal, ou seja, a intensidade do sinal em %, cujo limiar de metal é 100%. Sendo assim, valores inferiores a 100% indicam sinal de produto e valores acima de 100% indicam sinal de metal, conforme demonstrado na figura 3.

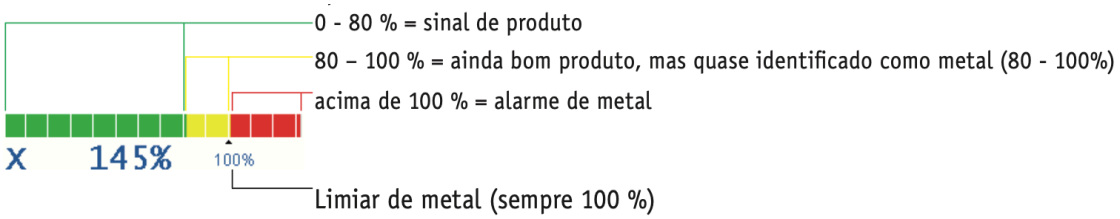


Figura 3: Amplitude do sinal do detetor de metais (Cassel, sem data)

O detetor de metais Safeline (produtos picados frescos), não indica no display do equipamento a intensidade do sinal em percentagem durante a passagem do produto, faz apenas a identificação luminosa em situação de deteção.

6.2 Seleção dos Produtos

A empresa produz uma vasta gama de produtos congelados, de diferentes espécies e variadas especificações conforme requisitos de clientes. Além dos produtos congelados existem também os produtos frescos acondicionados em embalagens de atmosfera protetora. Para a seleção dos produtos, fez-se uma avaliação quanto ao impacto das características dos produtos e embalagens na sensibilidade do detector, bem como, o volume de produção e similaridade dos produtos. Desta forma, foram selecionados os produtos conforme descrito na tabela 1. No total foram avaliados 9 produtos, 7 da linha de congelados e 2 da linha de frescos. As avaliações foram realizadas em diferentes dias de trabalho.

Tabela 1 - Características Produtos Selecionados

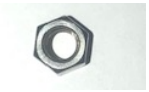
N°	Produto	Característica do Produto	Corte	Embalagem Primária	Embalagem Secundária	Embalagem Terciária
1	Bife de Frango	Congelado	Fatiado	Saco Plástico	Caixa Cartão	-
2	Febras de Suíno	Congelado	Fatiado	Saco Plástico	Caixa Cartão	-
3	Entremeada de Suíno	Congelado	Fatiado	Saco Plástico	Caixa Cartão	-
4	Bife de Peru	Congelado	Fatiado	Saco Plástico	Caixa Cartão	-
5	Cubos Suíno	Congelado	Cubos	Saco Plástico	Caixa Cartão	-
6	Hambúrguer Bovino	Congelado	Picado	Filme Flowpack	Saco Plástico	Caixa Cartão
7	Almôndega Bovino	Congelado	Picado	Saco Plástico	Caixa Cartão	-
8	Hambúrguer Bovino	Fresco	Picado	Cuvete Atmosfera Modificada	-	-
9	Carne Picada	Fresco	Picado	Cuvete Atmosfera Modificada	-	-

6.3 Materiais Contaminantes

Realizou-se uma avaliação dos perigos físicos metálicos para entender quais os potenciais perigos contaminantes no processo. O acompanhamento dos processos, plano de manutenção e histórico de reclamações de clientes permitiu identificar os potenciais perigos a considerar. Além dos fragmentos de contaminantes, também foram utilizados padrões dos próprios detectores de metais. Os contaminantes considerados de maior risco (probabilidade x severidade) foram os fragmentos provenientes de tapetes transportadores, agulhas de dispositivos médicos veterinários, porcas e parafusos que constituem equipamentos.

Na tabela 2, enumeram-se os fragmentos objetos de estudo, descrevendo suas características.

Tabela 2 - Características Materiais Contaminantes

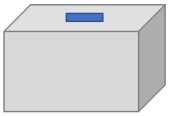
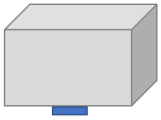
Contaminante	Identificação	Origem	Material	Comprimento (Maior Dimensão)	Espessura
	FE10mm	Agulha proveniente de medicamentos veterinários	Ferroso (FE)	10 mm	2 mm
	FE20mm	*Spare parts* de equipamentos	Ferroso (FE)	20 mm	2 mm
	FE31mm	Tapete transportador	Ferroso (FE)	31 mm	0,8 mm
	SS10mm	*Spare parts* de equipamentos	Aço Inox (SS)	10 mm	4 mm
	FE4.5mm	Padrão detetor de metais	Ferroso (FE)	4,5 mm	4,5 mm
	NFE5mm	Padrão detetor de metais	Não Ferroso (NFE)	5,0 mm	5,0 mm
	SS7mm	Padrão detetor de metais	Aço Inox (SS)	7,0 mm	7,0 mm
	FE2.5mm	Padrão detetor de metais	Ferroso (FE)	2,5 mm	2,5 mm
	NFE2.5mm	Padrão detetor de metais	Não Ferroso (NFE)	2,5 mm	2,5 mm

	SS3.5mm	Padrão detetor de metais	Aço Inox (SS)	3,5 mm	3,5 mm

6.4 Testes aos Detetores de Metais

De entre a variedade de fatores que afetam a sensibilidade do detector, apenas alguns foram estudados, nomeadamente lote, tipo de produto, tamanho do corpo estranho e posição na caixa. Desta forma, variou-se a posição dos metais em relação à cabeça do detector, conforme demonstrado na tabela 3, os tamanhos dos fragmentos (tabela 2), material do fragmento (tabela 2) e as características dos produtos. Foram analisados produtos da mesma categoria comercial 5 vezes para cada posição, no total foram analisados 27 lotes.

Tabela 3 – Esquema de Localização dos Contaminantes

Fator Analisado	Variação da Posição
Posição do fragmento em relação a cabeça	Centro superior 
	Centro inferior 

6.4.1 Teste Linha dos Congelados

Os contaminantes e padrões selecionados foram posicionados na parte inferior da caixa bem como na parte superior da caixa, após o produto sair do equipamento de congelação e ser embalado (Figura 4), no sentido de verificar se existe diferença significativa de sensibilidade relativa à localização dos contaminantes fisicos. O produto com o contaminante, seguiu para o detector de metais onde foi registada a leitura e os valores da intensidade do sinal que o equipamento emitiu, conforme Figura 5. Os fatores

em causa foram: dia de trabalho, posição do corpo estranho, para cada um dos 21 lotes testados fez-se passar produtos distintos para obtenção de 5 rejeições subsequentes, para cada contaminante em ambas as posições (em cima e embaixo da caixa). No total contabilizou-se 1501 passagens de produto pelo detetor. Utilizou-se o programa “caixa grande”, com frequência de 73200 Hz e fase de 74,90°, configurações estas provenientes da calibração do equipamento.

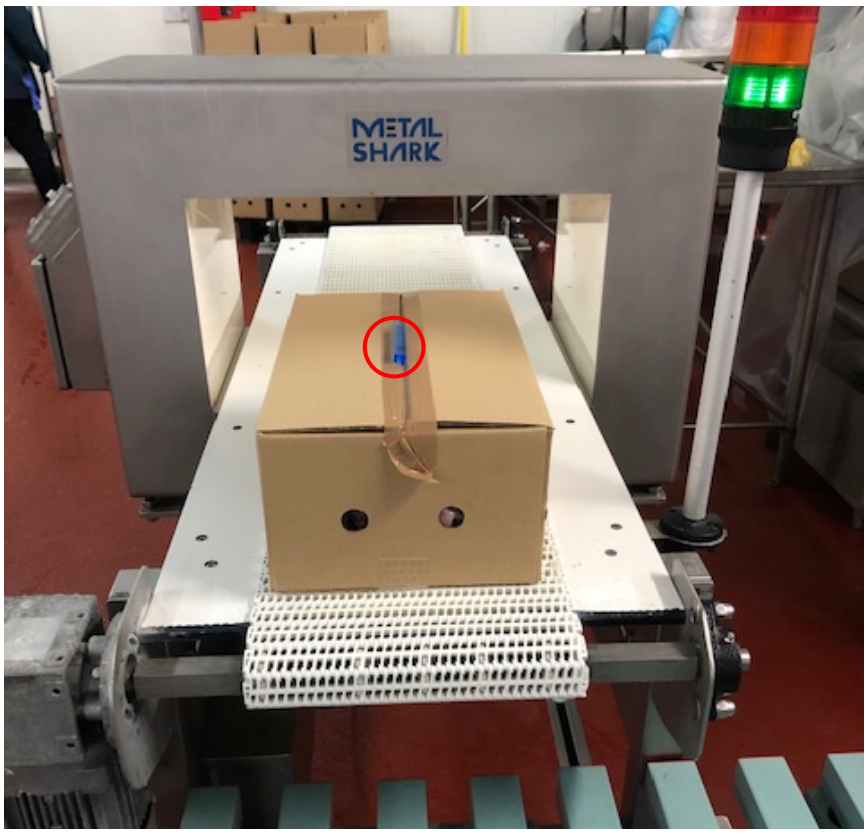


Figura 4: Posição do Contaminante

Figura 5: Sinal do Detetor

6.4.2 Teste Linha de Picados Fresco

No decorrer do estudo ocorreu uma falha elétrica no detector e essa falha causou a desconfiguração do equipamento, desta forma, foi necessário reconfigurar todos os parâmetros para todos os programas existentes.

Os contaminantes e padrões selecionados foram posicionados no centro inferior da cuvete, bem como no centro superior, após o produto ser embalado na máquina de atmosfera protetora, conforme figura 6, com o objetivo de verificar se existe diferença na sensibilidade relativa à localização dos contaminantes. O produto contendo o contaminante seguiu para o detector de metais, onde foi selecionado o programa de acordo com a calibração do equipamento (tabela 4) e com o tipo de produto, conforme figura 7. Ao passar o produto pelo detector, registou-se, a existência de deteção, para cada produto/fragmento.

Para cada um dos 6 lotes testados, fez-se passar produtos distintos para obtenção de 5 rejeições subsequentes, para cada contaminante em ambas as posições (em cima e embaixo da cuvete). No total contabilizou-se 420 passagens de produto pelo detetor.

Figura 6: Posição do Contaminante

Figura 7: Seleção do Programa

Tabela 4 – Configurações detetor de metais

Programa	Frequência	Sensibilidade	Fase
Programa 2	Alta	0,50	93,42
Programa 3	Alta	0,61	90,78

7. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos nos testes do detetor de metais Cassel, para a linha dos congelados, foram analisados com o objetivo de avaliar diferenças no nível de detecção dos contaminantes em relação á posição do metal, foram realizados testes t de Student para cada um dos produtos, considerando as posições centro superior (1) e centro inferior (2). Para além disso, com o objetivo de testar as diferenças de deteção relativas ao lote (1, 2 e 3) do produto, realizou-se uma análise de variância de uma via (ANOVA-One Way).

O pressuposto de homogeneidade de variância foi avaliado por meio do teste de Levene. Considerando a heterogeneidade de variância, para a ANOVA foi solicitada a correção de Welch e avaliação de post-hoc por meio da técnica de Games-Howell (Field 2020). Para variâncias homogêneas, foi interpretado o post-hoc de Hochberg. Já para o teste t foi analisado o tamanho de efeito (d de Cohen) da diferença entre médias, devido ao tamanho pequeno das amostras. O tamanho de efeito é considerado irrisório entre zero a |0,19|, pequeno de |0,20| a |0,49|, médio entre |0,50| e |0,79|, grande entre |0,80| e |1,29| e muito grande quando maior que |1,30| (Cohen 1988 and Rosenthal 1996). Para ser mais intuitivo, o d de Cohen foi convertido em Tamanho do efeito em linguagem comum (TDE-LC) (McGraw and Wong 1992), que corresponde à probabilidade (%) de uma medição ao acaso de um grupo ter uma pontuação superior a uma medição retirada ao acaso do um segundo grupo (Espírito-Santo and Daniel 2015).

8. RESULTADOS E DISCUSSÃO

8.1 Teste Linha de Congelados

8.1.1 Bife de Frango

Os resultados obtidos do teste t, realizado para avaliar a diferença no nível de deteção dos contaminantes em relação a posição do metal, para o Bife de Frango estão apresentados na Tabela 5.

Os resultados demonstraram que a posição do contaminante na caixa teve efeito na intensidade de detecção em quase todos os contaminantes testados, ou seja, houve diferença significativa no nível de detecção em quase todos os fragmentos quanto á sua posição na embalagem do Bife de frango, com exceção do FE10mm e, segundo o D de Cohen, os efeitos são considerados muito grandes em todos os contaminantes. Conforme demonstrado na Tabela 5, as médias de detecção do contaminante foram sempre mais altas na posição "centro inferior" do que na posição "centro superior" da embalagem. Pelo TDE-LC entende-se que a probabilidade de o nível de detecção ser mais alto no centro superior do que no inferior é excepcionalmente abaixo de 90% apenas para o FE10mm.

Tabela 5 - Teste t da posição do metal para Bife de Frango

Contaminante	Posição	Escores			Estatística do teste *t*				D de Cohen	TDE-LC
		N	*M*	*DP*	*t*	*Gl*	*p*	Diferença de Média		
FE4.5mm	centro superior	15	206,07	15,84	-25,491	28	,000	-121,933	9,30	100%
	centro inferior	15	328,00	9,61						
FE31mm	centro superior	19	103,68	15,36	-5,223	17	,000	-94,551	1,84	90,3%
	centro inferior	17	198,24	73,21						
FE10mm	centro superior	15	359,67	82,71	-1,273	28	,213	-48,133	0,46	62,9%
	centro inferior	15	407,80	120,78						
FE20mm	centro superior	15	342,87	34,25	-7,171	28	,000	-81,067	2,62	96,8%
	centro inferior	15	423,93	27,27						
NFE5mm	centro superior	15	185,07	10,71	-18,606	28	,000	-72,067	6,79	100%
	centro inferior	15	257,13	10,47						
SS10mm	centro superior	15	114,53	6,02	-5,264	14	,000	-154,867	1,92	91,3%
	centro inferior	15	269,40	113,79						
SS7mm	centro superior	15	272,13	10,86	-14,444	28	,000	-64,267	5,27	100%
	centro inferior	15	336,40	13,38						

Os resultados da análise estatística descritiva da amostra de Bife de Frango estão apresentados na Tabela 6, contendo as informações de média e desvio-padrão da intensidade do sinal e a frequência de repetições para cada contaminante por lote de produto.

Tabela 6 - Estatísticas descritivas quanto ao lote para Bife de Frango

Contaminante	Lote	N	Média	Desvio Padrão
FE4.5mm	1	10	265,00	73,10

	2	10	269,10	59,59
	3	10	267,00	63,40
	Total	30	267,03	63,33
FE31mm	1	14	111,14	15,75
	2	12	167,17	84,75
	3	10	177,80	78,66
	Total	36	148,33	69,74
FE10mm	1	10	380,60	143,29
	2	10	373,20	105,73
	3	10	397,40	56,67
	Total	30	383,73	104,62
FE20mm	1	10	379,70	74,87
	2	10	378,70	39,24
	3	10	391,80	34,57
	Total	30	383,40	51,23
NFE5mm	1	10	209,80	37,11
	2	10	226,70	39,22
	3	10	226,80	39,37
	Total	30	221,10	38,10
SS10mm	1	10	258,10	168,58
	2	10	157,80	49,68
	3	10	160,00	44,76
	Total	30	191,97	111,67
SS7mm	1	10	293,10	33,43
	2	10	310,50	34,00
	3	10	309,20	37,69
	Total	30	304,27	34,81

O teste de homogeneidade de variância de Levene, apresentado na Tabela 7, demonstrou que os contaminantes FE31mm, FE10mm, FE20mm e SS10mm não apresentam homogeneidade de variâncias ($p<0,05$). Nestes casos, foram avaliados os dados recorrendo ao modelo estatístico de Welch, que demonstraram que existe diferença significativa entre os lotes apenas na deteção do contaminante FE31mm ($p=0,012$). Nos outros fragmentos, os resultados analisados por meio da ANOVA, verificou-se que as diferenças de médias não foram significativas.

Tabela 7 - Homogeneidade de variâncias e igualdade de médias dos lotes para Bife de Frango

Contaminante	Teste de Homogeneidade de Variâncias				ANOVA		WELCH	
	Estatística de Levene	gl1	gl2	*p*	F	*p*	Estatística	*p*
FE4.5mm	2,190	2	27	,131	,010	,990		
FE31mm	79,756	2	27	,000			6,488	,012
FE10mm	5,705	2	27	,009			,222	,803
FE20mm	7,771	2	27	,002			,333	,721
NFE5mm	,346	2	27	,711	,643	,533		
SS10mm	36,903	2	27	,000			1,603	,231
SS7mm	,820	2	27	,451	,763	,476		

O teste *post-hoc* de Games-Howell, apresentado na Tabela 8, demonstrou que foram encontradas diferenças significativas na detecção do contaminante FE31mm apenas entre o lote 1 (M = 108,20, DP = 13,13) e o lote 3 (M = 177,80, DP = 78,65), ou seja, o nível médio de detecção desse metal foi mais alto no lote 3 do que no lote 1.

Tabela 8 - Teste post-hoc Games-Howell para lote de Bife de Frango

Contaminante	Lote		Diferença média	Erro Padrão	*p*	Intervalo de Confiança 95%	
FE31mm	1	2	-71,200	28,197	,074	-149,31	6,91
		3	-69,600	25,217	,049	-139,33	,13
	2	3	1,600	37,369	,999	-93,88	97,08

8.1.2 Febras de Suíno

Os resultados obtidos do teste t, realizado para avaliar a diferença no nível de deteção dos contaminantes em relação à posição do metal, para Febras de Suíno estão apresentados na Tabela 9.

Os resultados demonstraram que a posição do contaminante na caixa teve efeito na intensidade de detecção em quase todos os contaminantes testados, ou seja, houve diferença significativa no nível de detecção em quase todos os contaminantes quanto à sua posição na embalagem de Febras de Suíno e, segundo o D de Cohen, os efeitos são considerados muito grandes em todos estes casos, com exceção do FE10mm, que não apresentou diferença significativa entre as posições e o tamanho do efeito mostrou-se irrisório. Conforme demonstrado na Tabela 9, a probabilidade de detecção do contaminante ser mais alta na posição “centro inferior” do que na posição “centro superior” da embalagem é acima de 92% para todos os contaminantes, menos para o FE10mm.

Tabela 9 - Teste t da posição do metal para Febras de Suíno

Contaminante	Posição	Escores			Estatística do teste *t*				D de Cohen	TDE-LC
		N	*M*	*DP*	*t*	*Gl*	*p*	Diferença de Média		
FE4.5mm	centro superior	15	236,93	6,85	-24,747	28	0,000	-103,400	9,04	100%
	centro inferior	15	340,33	14,66						
FE31mm	centro superior	15	105,47	12,48	-5,648	16	0,000	-76,133	2,06	92,8%

FE10mm	centro inferior	15	181,60	50,69	-0,054	28	0,957	-1,067	0,02	50,6%
	centro superior	15	423,07	48,95						
FE20mm	centro inferior	15	424,13	58,59	-6,849	28	0,000	-113,800	2,51	96,1%
	centro superior	15	342,13	38,38						
NFE5mm	centro inferior	15	455,93	51,66	-18,398	28	0,000	-63,333	6,72	100%
	centro superior	15	196,07	8,77						
SS10mm	centro inferior	15	259,40	10,04	-17,684	21	0,000	-79,733	6,46	100%
	centro superior	15	120,67	15,54						
SS7mm	centro inferior	15	200,40	7,96	-18,855	22	0,000	-70,333	6,88	100%
	centro superior	15	257,87	12,65						
	centro inferior	15	328,20	6,98						

Os resultados da análise estatística descritiva da amostra de Febras de Suíno estão apresentados na Tabela 10, contendo as informações de média e desvio-padrão da intensidade do sinal e a frequência de repetições para cada contaminante por lote de produto.

Tabela 10 - Estatísticas descritivas quanto ao lote para Febras de Suíno

Contaminante	Lote	N	Média	Desvio Padrão
FE4.5mm	1	10	286,60	61,15
	2	10	289,50	52,09
	3	10	289,80	53,46
	Total	30	288,63	53,77
FE31mm	1	10	152,90	50,79
	2	10	131,80	62,15
	3	10	145,90	48,69
	Total	30	143,53	53,05
FE10mm	1	10	465,60	54,12
	2	10	395,50	51,68
	3	10	409,70	20,41
	Total	30	423,60	53,05
FE20mm	1	10	410,10	44,09
	2	10	370,20	96,73
	3	10	416,80	67,25
	Total	30	399,03	73,13
NFE5mm	1	10	221,60	35,75
	2	10	234,70	33,12
	3	10	226,90	33,88
	Total	30	227,73	33,51
SS10mm	1	10	152,70	46,65
	2	10	169,00	38,36
	3	10	159,90	44,46
	Total	30	160,53	42,32
SS7mm	1	10	290,20	40,52
	2	10	300,30	33,66
	3	10	288,60	39,78
	Total	30	293,03	37,15

O teste de homogeneidade de variância de Levene, apresentado na Tabela 11, demonstrou que todos os contaminantes apresentaram homogeneidade de variâncias (p>0,05), portanto apenas os resultados da ANOVA foram avaliados. Os resultados demonstraram que existe diferença significativa entre os lotes apenas na deteção do fragmento FE10mm (p=0,004). Conforme demonstrado na Tabela 12, para os outros contaminantes as diferenças de médias não foram significativas.

Tabela 11 - Homogeneidade de variâncias e igualdade de médias dos lotes para Febras Suíno

Contaminante	Teste de Homogeneidade de Variâncias				ANOVA	
	Estatística de Levene	gl1	gl2	*p*	F	*p*
FE4.5mm	1,094	2	27	,349	,010	,990
FE31mm	,109	2	27	,897	,393	,679
FE10mm	3,273	2	27	,053	6,849	,004
FE20mm	3,095	2	27	,062	1,203	,316
NFE5mm	,190	2	27	,828	,370	,694
SS10mm	2,138	2	27	,137	,356	,704
SS7mm	1,258	2	27	,300	,277	,760

O teste *post-hoc* de Hochberg, utilizado em casos de homocedastidade, apresentado na Tabela 12, demonstrou que foram encontradas diferenças significativas na deteção do contaminante FE10mm entre o lote 1 (M = 465,60, DP = 54,12) e os lotes 2 (M = 395,50, DP = 51,68) e 3 (M = 409,70, DP = 20,41), ou seja, o nível médio de deteção desse metal foi mais alto no lote 1 do que nos lotes 2 e 3.

Tabela 12 - Teste post-hoc Hochberg para lote de Febras de Suíno

Contaminante	Lote		Diferença média	Erro Padrão	*p*	Intervalo de Confiança 95%	
FE10mm	1	2	70,10*	20,03	,005	19,27	120,93
		3	55,90*	20,03	,028	5,07	106,73
	2	3	-14,20	20,03	,857	-65,03	36,63

8.1.3 Entremeada de Suíno

Os resultados obtidos do teste t, realizado para avaliar a diferença no nível de deteção dos contaminantes em relação à posição do metal, para a Entremeada de Suíno estão apresentados na Tabela 13.

Os resultados demonstraram que a posição do metal na caixa teve efeito na intensidade de detecção em quase todos os contaminantes testados, ou seja, houve diferença significativa no nível de detecção em quase todos os contaminantes quanto á sua posição na embalagem de Entremeada de Suíno, com exceção do FE10mm e, segundo o D de Cohen, os efeitos são considerados muito grande em quase todas as diferenças significativas (menos no FE20mm, que possui efeito grande). Conforme demonstrado na Tabela 13, as médias de detecção do contaminante foram sempre mais altas na posição "centro inferior" do que na posição "centro superior" da embalagem, sendo as probabilidades de o nível de detecção ser mais alto no centro inferior do que no centro superior acima de 80% para todas as diferenças significativas (com exceção do FE10mm).

Tabela 13 - Teste t da posição do metal para Entremeada de Suíno

Contaminante	Posição	Escores			Estatística do teste *t*				D de Cohen	TDE-LC
		N	*M*	*DP*	*t*	*Gl*	*p*	Diferença de Média		
FE4.5mm	centro superior	15	210,33	25,27	-6,520	28	0,000	-98,53	2,38	95,4%
	centro inferior	15	308,87	52,80						
FE31mm	centro superior	19	122,63	26,43	-4,498	19	0,000	-69,17	1,68	88,2%
	centro inferior	15	191,80	54,73						
FE10mm	centro superior	15	210,53	127,41	-1,966	28	0,059	-85,93	0,71	69,4%
	centro inferior	15	296,47	111,44						
FE20mm	centro superior	15	374,00	49,97	-3,476	20	0,002	-49,53	1,27	81,5%
	centro inferior	15	423,53	23,43						
NFE5mm	centro superior	15	192,40	18,57	-7,303	28	0,000	-60,33	2,67	97,0%
	centro inferior	15	252,73	26,05						
SS10mm	centro superior	17	110,71	8,77	-28,151	30	0,000	-107,83	9,97	100%
	centro inferior	15	218,53	12,76						
SS7mm	centro superior	15	286,60	14,67	-9,464	28	0,000	-40,00	3,46	99,3%
	centro inferior	15	326,60	7,26						

Os resultados da análise estatística descritiva da amostra de Entremeada de Suíno estão apresentados na Tabela 14, contendo as informações de média e desvio-padrão da intensidade do sinal e a frequência de repetições para cada contaminante por lote de produto.

Tabela 14 - Estatísticas descritivas quanto ao lote para Entremeada Suíno

Contaminante	Lote	N	Média	Desvio Padrão
FE4.5mm	1	10	281,30	49,74
	2	10	233,30	70,17
	3	10	264,20	68,61
	Total	30	259,60	64,54
FE31mm	1	11	133,27	31,36
	2	12	175,42	68,33
	3	11	148,73	47,87
	Total	34	153,15	53,55
FE10mm	1	10	210,00	127,30
	2	10	309,10	157,87
	3	10	241,40	62,43
	Total	30	253,50	125,47
FE20mm	1	10	428,50	27,06
	2	10	392,50	40,72
	3	10	375,30	52,47
	Total	30	398,77	45,88
NFE5mm	1	10	224,40	30,92
	2	10	214,70	45,65
	3	10	228,60	38,38
	Total	30	222,57	37,89
SS10mm	1	12	151,92	61,46
	2	10	168,00	51,95
	3	10	165,70	56,39
	Total	32	161,25	55,69
SS7mm	1	10	308,40	22,73
	2	10	307,70	26,12
	3	10	303,70	23,18
	Total	30	306,60	23,31

O teste de homogeneidade de variância de Levene, apresentado na Tabela 15, demonstrou que os contaminantes FE31mm, FE10mm, FE20mm e NFE5mm não apresentaram homogeneidade de variâncias ($p<0,05$). Nesses casos, foram avaliados os resultados recorrendo ao teste de Welch, que demonstrou que existe diferença significativa entre os lotes apenas na detecção do contaminante FE20mm ($p=0,017$). Conforme demonstrado na Tabela 15 para os outros fragmentos, analisados por meio da ANOVA, as diferenças de médias não foram significativas.

Tabela 15 - Homogeneidade de variâncias e igualdade de médias dos lotes para Entremeada de Suíno

Contaminante	Teste de Homogeneidade de Variâncias				ANOVA		WELCH	
	Estatística de Levene	gl1	gl2	*p*	F	*p*	Estatística	*p*
FE4.5mm	2,221	2	27	0,128	1,467	0,248		
FE31mm	9,158	2	31	0,001			1,893	,178
FE10mm	7,541	2	27	0,003			1,165	,338

FE20mm	4,194	2	27	0,026			5,229	,017
NFE5mm	7,165	2	27	0,003			,268	,768
SS10mm	1,655	2	29	0,209	,261	,772		
SS7mm	0,590	2	27	0,561	,111	,895		

O resultado do teste *post-hoc* de Games-Howell, apresentado na Tabela 16, demonstrou que foram encontradas diferenças significativas na detecção do contaminante FE20mm apenas entre o lote 1 (M = 428,50, DP = 27,06) e o lote 3 (M = 375,30, DP = 52,47), ou seja, o nível médio de detecção desse metal foi mais alto no lote 1 do que no lote 3.

Tabela 16 - Teste *post-hoc* Games-Howell para lote de Entremeada Suíno

Contaminante	Lote		Diferença média	Erro Padrão	*p*	Intervalo de Confiança 95%	
FE20mm	1	2	36,00	15,46	0,081	-3,99	75,99
		3	53,20*	18,67	0,033	4,11	102,29
	2	3	17,20	21,00	0,697	-36,70	71,10

8.1.4 Bife de Peru

Os resultados obtidos do teste t, realizado para avaliar a diferença de deteção dos contaminantes em relação á posição do metal, para o Bife de Peru estão apresentados na Tabela 17.

Os resultados demonstraram que a posição do metal na caixa teve efeito na intensidade de detecção em todos os contaminantes testados, ou seja, houve diferença significativa no nível de detecção em todos os contaminantes ($p<0,05$) quanto á sua posição na embalagem de Bife de Peru e, segundo o D de Cohen, todos esses efeitos foram considerados muito grandes (>0,05). Conforme demonstrado na Tabela 17, a média de detecção foi mais alta quando o contaminante estava posicionado no “centro inferior” da embalagem em quase todos os contaminantes, com exceção do FE10mm, onde essa relação se inverte, e a probabilidade de o nível de detecção ser mais alto no centro superior é de quase 90% (TDE-LC).

Tabela 17 - Teste t da posição do metal para Bife de Peru

Contaminante	Posição	Escores	Estatística do teste *t*	D de	TDE-LC

		N	*M*	*DP*	*t*	*Gl*	*p*	Diferença de Média	Cohen	
FE4.5mm	centro superior	15	235,40	14,17	-18,619	28	,000	-89,27	6,8	100%
	centro inferior	15	324,67	12,00						
FE31mm	centro superior	18	120,17	14,30	-4,564	16	,000	-66,70	1,73	89%
	centro inferior	15	186,87	55,07						
FE10mm	centro superior	15	389,60	139,05	4,830	28	,000	200,73	1,76	89,4%
	centro inferior	15	188,87	81,05						
FE20mm	centro superior	15	378,67	22,84	-6,919	23	,000	-78,00	2,53	96,3%
	centro inferior	15	456,67	37,21						
NFE5mm	centro superior	15	188,07	15,95	-8,679	19	,000	-91,60	3,17	98,7%
	centro inferior	15	279,67	37,63						
SS10mm	centro superior	15	151,80	10,23	-6,541	16	,000	-69,47	2,39	95,4%
	centro inferior	15	221,27	39,84						
SS7mm	centro superior	15	298,07	13,74	-7,862	28	,000	-38,33	2,87	97,5%
	centro inferior	15	326,07	4,11						

Os resultados da análise estatística descritiva da amostra de Bife de Peru estão apresentados na Tabela 18, contendo as informações de média e desvio-padrão da intensidade do sinal e a frequência de repetições para cada contaminante por lote de produto.

Tabela 18 - Estatísticas descritivas quanto ao lote para Bife de Peru

Contaminante	Lote	N	Média	Desvio Padrão
FE4.5mm	1	10	280,00	48,64
	2	10	285,10	49,94
	3	10	275,00	47,53
	Total	30	280,03	47,19
FE31mm	1	10	148,40	44,83
	2	12	144,33	55,43
	3	11	159,09	53,99
	Total	33	150,48	50,73
FE10mm	1	10	235,10	133,84
	2	10	310,60	185,50
	3	10	322,00	128,81
	Total	30	289,23	151,41
FE20mm	1	10	399,70	35,19
	2	10	411,30	47,07
	3	10	442,00	59,33
	Total	30	417,67	49,94
NFE5mm	1	10	213,10	38,77
	2	10	235,00	29,85
	3	10	253,50	79,29
	Total	30	233,87	54,56
SS10mm	1	10	192,60	41,88
	2	10	164,40	35,53
	3	10	202,60	52,58
	Total	30	186,53	45,44
SS7mm	1	10	313,30	20,53
	2	10	314,50	24,50
	3	10	323,90	26,13
	Total	30	317,23	23,50

O teste de homogeneidade de variância de Levene, apresentado na Tabela 19, apresentou que tanto os resultados obtidos pela ANOVA e quanto pelo teste de Welch, demonstraram que não houve diferença significativa no nível de detecção do contaminante em nenhum dos fragmentos testados, ou seja, o lote do produto não interfere na deteção dos metais. Portanto, os testes *post-hoc* não foram interpretados.

Tabela 19 - Homogeneidade de variâncias e igualdade de médias dos lotes para Bife de Peru

Contaminante	Teste de Homogeneidade de Variâncias				ANOVA		WELCH	
	Estatística de Levene	gl1	gl2	*p*	F	*p*	Estatística	*p*
FE4.5mm	,343	2	27	,713	,107	,898		
FE31mm	1,076	2	30	,354	,243	,786		
FE10mm	5,941	2	27	,007			1,158	,337
FE20mm	5,448	2	27	,010			1,811	,193
NFE5mm	56,059	2	27	,000			1,461	,261
SS10mm	3,993	2	27	,030			2,230	,137
SS7mm	,531	2	27	,594	,593	,560		

8.1.5 Cubos de Suíno

Os resultados obtidos do teste t, realizado para avaliar a diferença no nível de deteção dos contaminantes em relação á posição do metal, para os Cubos de Suíno estão apresentados na Tabela 20.

Os resultados demonstraram que a posição do metal na caixa teve efeito na intensidade de detecção em todos os contaminantes testados, ou seja, houve diferença significativa no nível de detecção em todos os contaminantes ($p<0,05$) quanto á sua posição na embalagem de Cubos de Suíno e, segundo o D de Cohen, quase todos esses efeitos são considerados muito grandes, apenas no FE31mm ele passa a ser grande. A média de detecção foi sempre maior quando o contaminante estava posicionado no centro inferior da embalagem, o que se confirma pelas probabilidades do TDE-LC, conforme demonstrado na Tabela 20.

Tabela 20 - Teste t da posição do metal para Cubos de Suíno

Contaminante	Posição	Escores	Estatística do teste *t*	D de	TDE-LC

		N	*M*	*DP*	*t*	*Gl*	*p*	Diferença de Média	Cohen	
FE4.5mm	centro superior	15	227,33	20,90	-12,207	28,000	0,000	-92,200	4,46	99,9%
	centro inferior	15	319,53	20,47						
FE31mm	centro superior	17	107,88	15,88	-2,533	18,076	0,021	-27,251	0,94	74,7%
	centro inferior	15	135,13	38,90						
FE10mm	centro superior	15	379,07	63,53	-7,762	16,859	0,000	-133,733	2,83	97,7%
	centro inferior	15	512,80	20,41						
FE20mm	centro superior	15	343,73	47,99	-7,416	17,123	0,000	-96,933	2,71	97,2%
	centro inferior	15	440,67	16,13						
NFE5mm	centro superior	15	178,60	15,89	-15,869	28,000	0,000	-77,400	5,79	100%
	centro inferior	15	256,00	10,22						
SS10mm	centro superior	15	110,27	10,12	-14,980	28,000	0,000	-103,533	5,47	100%
	centro inferior	15	213,80	24,78						
SS7mm	centro superior	15	253,53	8,18	-35,409	18,871	0,000	-81,267	12,93	100%
	centro inferior	15	334,80	3,47						

Os resultados da análise estatística descritiva da amostra de Cubos de Suíno estão apresentados na Tabela 21, contendo as informações de média e desvio-padrão da intensidade do sinal e a frequência de repetições para cada contaminante por lote de produto.

Tabela 21 - Estatísticas descritivas quanto ao lote para Cubos de Suíno

Contaminante	Lote	N	Média	Desvio Padrão
FE4.5mm	1	10	262,80	42,19
	2	10	295,90	51,47
	3	10	261,60	56,07
	Total	30	273,43	51,10
FE31mm	1	10	131,90	27,25
	2	11	119,18	45,92
	3	11	111,91	11,16
	Total	32	120,66	31,69
FE10mm	1	10	476,70	41,40
	2	10	440,70	104,10
	3	10	420,40	86,45
	Total	30	445,93	82,31

FE20mm	1	10	383,30	67,50
	2	10	417,80	38,53
	3	10	375,50	68,19
	Total	30	392,20	60,56
NFE5mm	1	10	220,00	40,43
	2	10	218,90	39,52
	3	10	213,00	48,16
	Total	30	217,30	41,49
SS10mm	1	10	160,20	49,86
	2	10	167,50	68,45
	3	10	158,40	53,14
	Total	30	162,03	55,84
SS7mm	1	10	289,30	47,72
	2	10	297,60	37,80
	3	10	295,60	43,35
	Total	30	294,17	41,79

O teste de homogeneidade de variância de Levene, apresentado na Tabela 22, apresentou que tanto os resultados obtidos pela ANOVA como pelo teste de Welch, demonstraram que não houve diferença significativa no nível de detecção do contaminante em nenhum dos fragmentos testados, ou seja, o lote do produto não interferiu na deteção dos metais. Portanto, os testes *post-hoc* não foram realizados.

Tabela 22 - Homogeneidade de variâncias e igualdade de médias dos lotes para Cubos Suíno

Contaminante	Teste de Homogeneidade de Variâncias				ANOVA		WELCH	
	Estatística de Levene	gl1	gl2	*p*	F	*p*	Estatística	*p*
FE4.5mm	4,972	2	27	,015			1,433	,265
FE31mm	3,798	2	29	,034			2,286	,136
FE10mm	12,313	2	27	,000			1,908	,182
FE20mm	11,859	2	27	,000			1,900	,181
NFE5mm	1,993	2	27	,156	,077	,926		
SS10mm	1,063	2	27	,360	,070	,933		
SS7mm	19,788	2	27	,000			,092	,912

8.1.6 Hambúrguer de Bovino

Na Tabela 23 apresentam-se os resultados obtidos no teste t, realizado para avaliar a diferença no nível de deteção dos contaminantes em relação á posição do metal, para o Hambúrguer de Bovino.

A posição do metal na caixa teve efeito significativo na intensidade de detecção em quase todos os contaminantes testados, ou seja, houve diferença significativa no nível de detecção em quase todos os contaminantes quanto á sua posição na

embalagem de Hambúrguer de Bovino e, segundo o D de Cohen, os efeitos foram considerados muito grandes em todas estes casos, com exceção do FE10mm, que não apresentou diferença significativa entre as posições. Conforme demonstrado na Tabela 23, as médias de detecção do contaminante foi sempre mais alta na posição “centro inferior” do que na posição “centro superior” da embalagem. As probabilidades dessa situação ocorrer é acima de 87% em quase todos os casos, exceto para o FE10mm.

Tabela 23 - Estatísticas descritivas quanto ao lote para Hambúrguer de Bovino

Contaminante	Posição	Escores			Estatística do teste *t*				D de Cohen	TDE-LC
		N	*M*	*DP*	*t*	*Gl*	*p*	Diferença de Média		
FE4.5mm	centro superior	14	242,36	14,69	-21,443	27	0,000	-98,91	7,97	100%
	centro inferior	15	341,27	9,83						
FE31mm	centro superior	20	103,25	44,72	-4,754	34	0,000	-77,44	1,59	87%
	centro inferior	16	180,69	53,04						
FE10mm	centro superior	14	272,64	110,59	-2,050	27	0,050	-94,09	0,76	70,5%
	centro inferior	15	366,73	134,39						
FE20mm	centro superior	14	346,14	31,63	-6,646	27	0,000	-65,46	2,47	96%
	centro inferior	15	411,60	20,63						
NFE5mm	centro superior	14	194,57	6,38	-10,312	27	0,000	-70,30	3,83	99,7%
	centro inferior	15	264,87	24,72						
SS10mm	centro superior	14	112,36	14,97	-7,815	27	0,000	-77,44	2,9	98%
	centro inferior	15	189,80	34,11						
SS7mm	centro superior	14	266,86	5,61	-12,002	15	0,000	-83,48	4,32	99,9%
	centro inferior	15	350,33	26,30						

Na Tabela 24 encontram-se os resultados da análise estatística descritiva da amostra de Hambúrguer de Bovino, contendo as informações de média e desvio-padrão da intensidade do sinal e a frequência de repetições para cada contaminante por lote de produto.

Tabela 24 - Estatísticas descritivas quanto ao lote para Hambúrguer de Bovino

Contaminante	Lote	N	Média	Desvio Padrão
FE4.5mm	1	9	284,33	58,39
	2	10	294,90	50,08
	3	10	300,40	51,54
	Total	29	293,52	51,76
FE31mm	1	11	173,18	83,11
	2	13	121,31	52,68
	3	12	122,83	31,81
	Total	36	137,67	61,76
FE10mm	1	9	262,44	125,76
	2	10	367,10	178,21
	3	10	328,50	34,84
	Total	29	321,31	130,38
FE20mm	1	9	392,78	22,30
	2	10	365,60	50,63
	3	10	382,90	46,32
	Total	29	380,00	42,25
NFE5mm	1	9	230,11	35,97
	2	10	231,00	47,97
	3	10	231,60	39,16
	Total	29	230,93	40,03
SS10mm	1	9	148,11	44,83
	2	10	143,30	46,06
	3	10	165,40	52,47
	Total	29	152,41	47,29
SS7mm	1	9	302,67	33,41
	2	10	328,60	60,23
	3	10	298,10	38,90
	Total	29	310,03	46,50

O teste de homogeneidade de variância de Levene, apresentado na tabela 25, demonstrou que os contaminantes FE31mm, FE10mm, FE20mm e SS7mm não apresentaram homogeneidade de variâncias ($p<0,05$). Nesses casos, realizou-se o teste de Welch, que demonstrou que não existem diferenças significativas entre os lotes para esses contaminantes. Para aqueles que apresentaram variâncias homogêneas, a ANOVA também não demonstrou diferenças significativas entre os níveis médios de deteção dos fragmentos, conforme demonstrado na Tabela 25. Portanto, os testes *post-hocs* não foram realizados.

Tabela 25 - Homogeneidade de variâncias e igualdade de médias dos lotes para Hambúrguer deBovino

Contaminante	Teste de Homogeneidade de Variâncias				ANOVA		WELCH	
	Estatística de Levene	gl1	gl2	*p*	F	*p*	Estatística	*p*
FE4.5mm	2,065	2	26	,147	,221	,803		
FE31mm	4,892	2	33	,014			1,813	,190

FE10mm	21,843	2	26	,000			1,367	,291
FE20mm	9,402	2	26	,001			1,184	,332
NFE5mm	,088	2	26	,916	,003	,997		
SS10mm	,825	2	26	,449	,582	,566		
SS7mm	82,867	2	26	,000			,911	,421

8.1.7 Almôndegas de Bovino

A Tabela 26 apresenta os resultados do teste t, realizado para avaliar a diferença no nível de deteção dos contaminantes em relação á posição do metal, para as Almôndegas de Bovino.

Os resultados demonstraram que a posição do metal na caixa teve efeito na intensidade de detecção em todos os contaminantes testados, ou seja, que houve diferença significativa no nível de detecção em todos os contaminantes ($p<0,05$) quanto á sua posição na embalagem de Almôndegas de Bovino e, segundo o D de Cohen, todos esses efeitos foram considerados muito grandes, e grande no SS10mm. Conforme demonstrado na Tabela 26, a média de detecção foi sempre mais alta quando o contaminante estava posicionado no centro inferior da embalagem. Probabilidades (TDE-LC) mais baixas deste evento ocorrem nos contaminantes de menor efeito (SS10mm e SS7mm, respectivamente).

Tabela 26 - Teste t da posição do metal para Almôndegas de Bovino

Contaminante	Posição	Escores			Estatística do teste *t*				D de Cohen	TDE-LC
		N	*M*	*DP*	*t*	*Gl*	*p*	Diferença de Média		
FE4.5mm	centro superior	15	224,40	11,20	-22,251	28	,001	-93,53	8,12	100%
	centro inferior	15	317,93	11,82						
FE31mm	centro superior	21	26,10	41,48	-17,363	34	,001	-189,86	5,87	100%
	centro inferior	15	226,40	19,26						
FE10mm	centro superior	15	305,53	33,34	-16,634	28	,001	-147,60	6,07	100%
	centro inferior	15	453,13	8,33						
FE20mm	centro superior	15	344,20	12,93	-11,774	28	,001	-58,06	4,29	99,9%
	centro inferior	15	402,27	14,06						
NFE5mm	centro superior	15	194,20	12,73	-16,648	28	,001	-66,33	6,07	100%
	centro inferior	15	260,53	8,72						
SS10mm	centro superior	15	169,47	43,27	-2,443	28	,046	-28,40	0,89	73,6%
	centro inferior	15	197,87	12,43						
SS7mm	centro superior	15	291,47	31,48	-4,220	28	,008	-34,60	1,54	86,2%
	centro inferior	15	326,07	4,11						

Os resultados da análise estatística descritiva da amostra de Almôndegas de Bovino estão apresentados na Tabela 27, contendo as informações de média e desvio-

padrão da intensidade do sinal e a frequência de repetições para cada contaminante por lote de produto.

Tabela 27 - Estatísticas descritivas quanto ao lote para Almôndegas de Bovino

Contaminante	Lote	N	Média	Desvio Padrão
FE4.5mm	1	10	278,00	53,35
	2	10	268,20	51,09
	3	10	267,30	46,55
	Total	30	271,17	48,89
FE31mm	1	12	105,08	115,31
	2	12	112,25	108,09
	3	12	111,33	102,48
	Total	36	109,56	105,65
FE10mm	1	10	373,40	96,67
	2	10	380,40	77,00
	3	10	384,20	68,21
	Total	30	379,33	78,77
FE20mm	1	10	368,10	32,04
	2	10	378,00	37,18
	3	10	373,60	30,23
	Total	30	373,23	32,37
NFE5mm	1	10	228,50	37,00
	2	10	226,10	34,61
	3	10	227,50	38,31
	Total	30	227,37	35,40
SS10mm	1	10	153,90	44,24
	2	10	195,70	14,55
	3	10	201,40	12,69
	Total	30	183,67	34,45
SS7mm	1	10	293,10	37,74
	2	10	327,40	5,17
	3	10	305,80	21,14
	Total	30	308,77	28,22

O teste de homogeneidade de variância de Levene, apresentado na tabela 28, demonstrou que os contaminantes SS10mm e SS7mm não apresentaram homogeneidade de variâncias ($p<0,05$). Nesses casos, avaliaram-se os dados com recurso ao teste de Welch, que demonstrou que existe diferença significativa entre os lotes na detecção dos contaminantes SS10mm e SS7mm. Conforme apresentado na Tabela 28, para os outros fragmentos, com os dados analisados por meio da ANOVA conclui se que não houve diferenças entre médias.

Tabela 28 - Homogeneidade de variâncias e igualdade de médias dos lotes para Almôndegas de Bovino

Contaminante	Teste de Homogeneidade de Variâncias	ANOVA	WELCH

	Estatística de Levene	gl1	gl2	*p*	F	*p*	Estatística	*p*
FE4.5mm	,985	2	27	,386	,139	,871		
FE31mm	,340	2	33	,714	,015	,985		
FE10mm	2,889	2	27	,073	,045	,956		
FE20mm	,914	2	27	,413	,222	,802		
NFE5mm	,414	2	27	,665	,011	,989		
SS10mm	15,381	2	27	,000			5,175	,018
SS7mm	67,562	2	27	,000			8,274	,005

O teste *post-hoc* de Games-Howell, apresentado na Tabela 29, demonstrou que foram encontradas diferenças significativas na deteção do contaminante SS10mm entre o lote 1 (M = 153,90, DP = 44,24) e os lotes 2 (M = 195,70, DP = 14,54) e 3 (M = 201,40, DP = 12,69), para o contaminante SS7mm foram identificadas diferenças significativas entre o lote 2 (M = 327,40, DP = 5,17) e os lotes 1 (M = 293,10, DP = 37,74) e 3 (M = 305,80, DP = 21,14).

Tabela 29 - Teste post-hoc Games-Howell para lote de Almôndega Bovino

Contaminante	Lote		Diferença média	Erro Padrão	*p*	Intervalo de Confiança 95%	
SS10mm	1	2	-41,80*	14,73	,040	-81,61	-1,98
		3	-47,50*	14,55	,020	-87,10	-7,89
	2	3	-5,70	6,10	,627	-21,31	9,91
SS7mm	1	2	-34,30*	12,04	,044	-67,71	-,89
		3	-12,70	13,68	,632	-48,46	23,06
	2	3	21,60*	6,88	,026	2,76	40,44

Os fragmentos metálicos FE10 mm, FE20 mm, bem como, os padrões FE4.5mm, NFE5mm e SS7mm foram facilmente detetados para todos os produtos testados. A deteção foi efetuada em ambas as posições dos contaminantes, ou seja, centro superior da caixa ou centro inferior da caixa. Porém para os fragmentos FE31mm e SS10mm a deteção não ocorreu em 100% dos testes. De ressalvar, que de acordo com o fabricante do equipamento (Cassel, sem data), a intensidade de sinal inferior a 100% indica sinal de produto, valores superiores a 100% indicam sinal de metal.

Quando os produtos são húmidos, como o caso de carnes e preparados de carne inspecionados pelos detectores de metais, a esfera de aço inox deve ser de 200 a 300% maior que esferas de material ferroso, para que seja produzido o mesmo tamanho de sinal (Fortress Technology 2012). Tendo em conta que metais ferrosos são bons condutores elétricos e magnéticos, eles são facilmente detetáveis. Já os metais não ferrosos não são

magnéticos, porém são bons condutores elétricos, desta forma em aplicações secas é relativamente fácil a detecção, porém em aplicações húmidas torna-se mais difícil uma vez que não são magnéticos (Mettler Toledo 2016).

O SS10mm, constituído de aço inox, teve 100% de deteção ao passar no centro inferior da caixa, porém quando o fragmento foi testado no centro superior, o mesmo não foi identificado em 6% dos testes. A dificuldade de deteção do fragmento pode estar associada pelo tipo de metal, uma vez que, é constituído de aço inox e possui características não magnéticas e baixa condutividade elétrica, o que pode dificultar a deteção aquando a utilização de detetores de metais (Mettler Toledo 2016).

Mediante os testes realizados, observou-se que o detetor não foi capaz de identificar o contaminante FE31mm em 100% dos testes. A figura 8 demonstra a % de deteções para o fragmento C nos diferentes produtos estudados. Onde 86% das rejeições, são referentes aos contaminantes posicionados no centro superior da caixa.

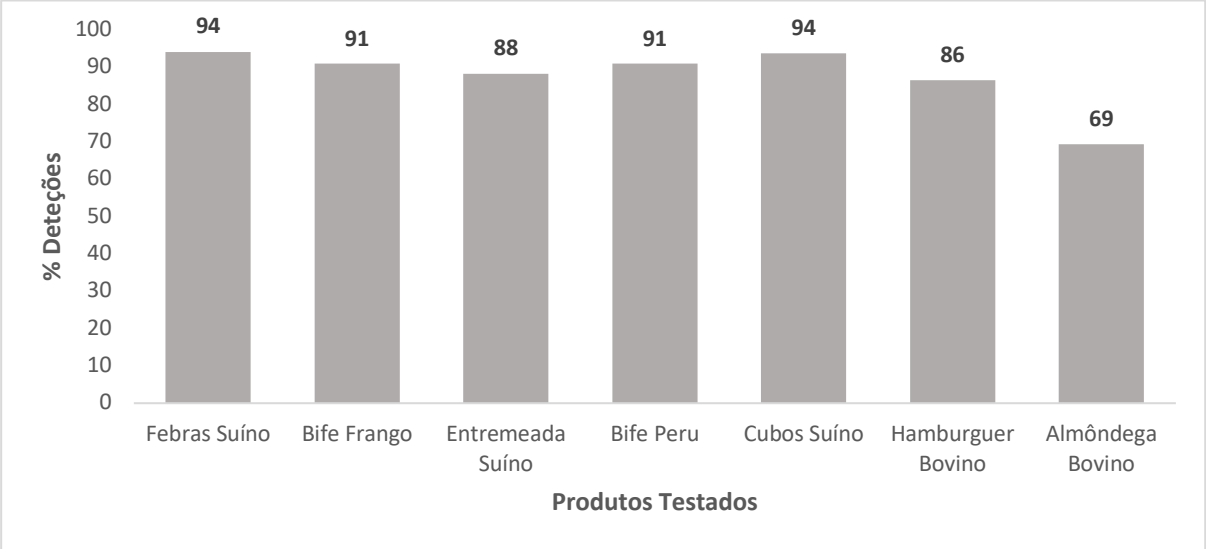


Figura 8: Representação gráfica da percentagem de deteções obtidas a partir dos testes realizados com o contaminante FE31mm.

A figura 8 mostra que as almôndegas congeladas foi o produto onde se obteve maior dificuldade de deteção para o contaminante FE31mm, apenas 69% dos testes realizados foram identificados pelo equipamento.

Os padrões de detecção de metais são medidos em esferas, uma vez que, possuem um formato consistentemente esférico. Porém os contaminantes reais, normalmente identificados nas linhas de produção, nem sempre possuem formato esférico, como é o caso do contaminante FE31mm, e assim, podem emitir um sinal diferente dependendo da sua orientação ao passar pelo detetor de metais, fenómeno esse, conhecido como "efeito de orientação" (Fortress Technology 2012). Contaminantes em formato de fio, podem

representar o pior cenário, pois quando o diâmetro do fio é menor que a sensibilidade esférica do detector de metais, o efeito de orientação torna-se mais evidente. O fio pode não ser detectável se o diâmetro for somente 1/3, do diâmetro da esfera detectável, seja qual for o comprimento (Mettler Toledo 2016).

Os casos de não deteções evidenciados em produtos com o contaminante FE31mm, podem estar associados com as diferenças entre a sensibilidade esférica do detetor e o diâmetro do fragmento. Salientam-se assim vários fatos que podem justificar a não detecção nomeadamente do contaminante FE31mm ser constituído por material ferroso e apesar de possuir um comprimento de 31 mm apresentou apenas um diâmetro de 1mm, inferior a 1/3 da sensibilidade esférica do detector, configurada para materiais ferrosos e com uma sensibilidade de 4,5 mm.

Os contaminantes FE10mm e FE20 mm, constituídos de material ferroso, foram os que emitiram maior valor de deteção em todos os produtos testados e para ambas as posições, ou seja, quando posicionados no centro superior ou centro inferior da embalagem. O fragmento FE31mm é também constituído de material ferroso, porém com menor diâmetro entre todos os fragmentos testados, tendo sido o que apresentou menor sinal do valor de deteção para os produtos fatiados (febras, cubos, bife de peru, bife de frango e entremeada). Para os produtos picados (hambúrguer e almôndega), além do fragmento FE31mm (ferroso) apresentar baixo sinal de deteção, o fragmento SS10mm (aço inox 10 mm) também teve baixos sinais de deteção. Os resultados obtidos estão em concordância com Mettler Toledo, 2016, onde se indicou que o sinal emitido varia conforme as características do produto, bem como, material.

Conforme demonstrado através da análise estatística discutida anteriormente, o sinal detetado foi superior para os fragmentos posicionados na parte inferior das caixas. O que corrobora com o estudo apresentado por Advanced Detection Systems 2018, onde se demonstrou que a sensibilidade dos detetores também podem ser influenciadas pela posição do contaminante na abertura. O ponto menos sensível é o eixo da linha central da abertura, ou seja, o centro geométrico. Conforme o metal se aproxima das bobinas, ou seja, das laterais do equipamento, o sinal gerado por ele aumenta, facilitando assim, a deteção. De acordo com Mettler Toledo (2016), no centro de uma abertura retangular, o tamanho esférico detetável, é aproximadamente 1,5 a 2,0 vezes maior do que o tamanho da esfera detetável nas laterais da abertura, entretanto essa diferença pode variar de acordo com o fabricante e tipo de equipamento.

8.2 Teste Linha Picados Fresco

O detetor Safeline instalado na linha de Picados frescos, não permitiu a visualização numérica da intensidade do sinal durante a passagem do produto pelo equipamento, sendo possível apenas identificar a intensidade pelo display a identificação luminosa em situação de detecção de fragmentos metálicos.

Os resultados dos testes realizados no detetor instalado na linha dos picados encontram-se representados nas tabelas 30 e 31. Nos testes realizados com o hambúrguer, no programa 2, foi possível evidenciar que todos os fragmentos foram detetatos pelo equipamento, independente da posição dos contaminantes. O mesmo facto, ocorreu para a carne picada, que ao ser testada no programa 3 obteve 100% de deteção em todos os contaminantes testados.

Tabela 30 – Resultados dos testes realizados no programa 2 para Hambúrguer

Fragmento	Lote: 1										Lote: 2										Lote: 3									
	T1		T2		T3		T4		T5		T1		T2		T3		T4		T5		T1		T2		T3		T4		T5	
	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK
Posição Fragmento: Centro Superior Cuvete																														
FE 2,5 mm	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
FE 31 mm	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
FE 10 mm	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
FE 20 mm	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
NFE 2,5 mm	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
SS 10 mm	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
SS 3,5 mm	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Posição Fragmento: Centro Inferior Cuvete																														
FE 2,5 mm	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
FE 31 mm	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
FE 10 mm	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
FE 20 mm	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
NFE 2,5 mm	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
SS 10 mm	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
SS 3,5 mm	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	

Tabela 31 – Resultados dos testes realizados no programa 3 para Carne Picada

Fragmento	Lote: 1										Lote: 2										Lote: 3									
	T1		T2		T3		T4		T5		T1		T2		T3		T4		T5		T1		T2		T3		T4		T5	
	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK
Posição Fragmento: Centro Superior Cuvete																														
FE 2,5 mm	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
FE 31 mm	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
FE 10 mm	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
FE 20 mm	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
NFE 2,5 mm	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
SS 10 mm	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
SS 3,5 mm	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Posição Fragmento: Centro Inferior Cuvete																														
FE 2,5 mm	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
FE 31 mm	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
FE 10 mm	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
FE 20 mm	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
NFE 2,5 mm	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
SS 10 mm	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
SS 3,5 mm	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	

O detetor (Safeline) instalado na linha dos picados/frescos possui uma abertura menor comparado com o equipamento (Cassel) instalado na linha dos congelados. Essa diferença de tamanho da abertura influenciou a sensibilidade de deteção. Quanto menor for a dimensão da abertura maior a sensibilidade do equipamento. Uma abertura grande é menos sensível do que um detetor com uma abertura menor (Mettler Toledo 2016). Essa maior sensibilidade ligada à abertura do detetor, bem como as características dos produtos e acondicionamento, contribuíram para a identificação de todos os fragmentos, incluindo o fragmento FE31mm, que possui um diâmetro de 0,8 mm.

9. DISCUSSÂO GERAL

A segurança dos alimentos tem ganho cada vez mais importância na indústria alimentar, por se tratar de um tema que pode afetar a saúde pública (Kenner 2001). Os operadores da cadeia alimentar procuram constantemente melhorar os seus processos e controlos para disponibilizar ao consumidor produtos seguros. Os requisitos legais, bem como, as exigências do consumidor, estão cada vez mais restritivas fazendo com que os operadores se adaptem para garantir o seu espaço no mercado mundial.

A empresa possui um programa de pré-requisitos, plano HACCP e medidas de controlo implementadas de forma a prevenir, eliminar ou reduzir os perigos a níveis significativos. De forma a monitorizar todas as boas práticas de fabrico e higiene implementadas para minimizar a presença de perigos físicos de origem metálica e também detetar e segregar os produtos que possam estar contaminados, a empresa possui detetores de metais instalados em diversas linhas, sendo os detetores da linha dos Congelados e Picados objetos deste estudo.

O presente estudo pretendeu realizar a validação da medida de controlo de perigos físicos aplicada através dos detetores de metais de forma a assegurar à empresa, a produção de alimentos seguros no que respeita os perigos físicos de origem metálica.

Na indústria das carnes os contaminantes metálicos podem estar presentes em diversas etapas dos processos, podendo inclusive ser proveniente da própria matéria prima, a carne (Alaña et al. 1996). Sendo assim, muitas destas indústrias recorrem à utilização do detetor de metais como mais uma medida de controlo para além de todas as implementadas, que vai detetar a presença de contaminantes metálicos permitindo a sua segregação/rejeição. Porém os detetores não são capazes de rejeitar qualquer dimensão de metal, o que seria o cenário ideal, essa impossibilidade está ligada ao facto da sensibilidade dos detetores ser afetada por diversos fatores, como as características dos produtos, forma e tamanho do contaminante, orientação do contaminante em relação à cabeça do detetor e a zona onde o contaminante passa. O ambiente externo, como vibrações na fábrica e oscilações de temperatura, também pode influenciar a sensibilidade do equipamento (Mettler Toledo 2016). A carne por ser um produto condutor, criando um sinal de “efeito de produto” o que tende a reduzir a sensibilidade do equipamento de deteção. Esse efeito necessita de ser eliminado para que não haja essa interferência, porém, nem sempre é simples de corrigir e pode variar consoante o equipamento.

Foram realizados testes aos dois detetores de metais com diversos padrões e fragmentos metálicos, para validar os programas utilizados com seus respetivos limites de deteção. Os resultados demonstraram que o detetor de metais Cassel (linha dos

Congelados) apresentou limitações na deteção de fragmento ferroso em formato de fio, quando o diâmetro do fio foi menor que a sensibilidade esférica do detector de metais. Para além disso, evidenciou-se que a posição dos fragmentos possui maior efeito na intensidade do sinal do que as variações de lote dos produtos. Sendo que os contaminantes posicionados na parte inferior das embalagens apresentam intensidade de sinal superior aos contaminantes posicionados no superior da embalagem. Perante os resultados obtidos no estudo, considera-se que a associação de medidas preventivas e a passagem por detetores metálicos foram validadas para os padrões de metais utilizados na calibração.

O detetor Safeline (linha dos Picados/Frescos) não apresentou limitações para todos os contaminantes testados, onde a deteção pode ter sido facilitada também pelas características do produto e acondicionamento, além da própria conformação do detetor.

Mesmo com as limitações apresentadas para o detetor Cassel, as configurações do programa não foram alteradas, bem como os limites de deteção, tendo em conta que um aumento na sensibilidade poderia intensificar os problemas de oscilações e ocasionar falsas rejeições. Na sequência dos resultados satisfatórios do detetor Safeline, mantiveram-se também todas as configurações e limites de deteção previamente estabelecidos no processo de calibração do equipamento.

10. CONCLUSÃO

A posição dos contaminantes bem como suas características tiveram influencia direta na capacidade de deteção do equipamento Cassel, A deteção de fragmentos ferrosos em formato de fio não ocorreu no detetor Cassel, quando o diâmetro do fio foi menor que a sensibilidade esférica do detector de metais.

O detetor Safeline (linha dos Picados/Frescos) não apresentou limitações para todos os contaminantes testados, onde a deteção pode ter sido facilitada também pelas características do produto e acondicionamento, além da própria conformação do detetor.

Os resultados obtidos, permitem-nos concluir que a utilização de métodos de deteção como a instalação de detetores de metais, são importantes e podem reduzir os perigos a níveis aceitáveis, porém esses métodos devem estar sempre ligados a outras medidas preventivas de forma a evitar a ocorrência do perigo.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Advanced Detection Systems, 2018. Metals detection informational guide. Acedido em: Julho 30, 2023. https://www.strattonsales.com/wp-content/uploads/2019/11/ADS-1018-Metal-Detector-Guide.pdf

Alanã G, Crespo J, Marteache A, Aguado A, González J. 1996. Implantación del siste- ma HACCP en la Industria Cárnica. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco Duque de Wellington Vitoria Gasteiz. 222p.

Batt C. 2016. Chemical and Physical Hazards in Food. Acedido em: Maio 16, 2023. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03437-5

Burch T. 2002. Foreign Material Contamination HACCP and Prerequisite Programs. FSIS Technical Conference. Southwest Meat Association.

Burson D. 2003. Physical Hazards: HACCP and Food Safety Help for Small Meat and Food Processing Operations. Universidade de Nebraska.

Cassel, sem data. Manual de Operação Metal Shark 2. Acedido em: Março 18, 2023. https://www.cassel-inspection.com

Chen H, et al. 2020. Study on the risks of metal detection in food solid seasoning powder and liquid sauce to meet the core concepts of ISO 22000:2018 based on the Taiwanese experience. Food Control. Volume 111. 107071.

Cohen J. 1988. Statistical power analysis for the behavioral sciences (2.ªed.). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.

DGAV, 2021. Sistema de Alerta de Segurança Alimentar, RASFF. Acedido em: Março 18, 2023. https://www.dgav.pt/alimentos/conteudo/sistemas-de-alerta-de-seguranca-alimentar/rasff/

Edwards J. 2004. Detecting foreign bodies in food. Woodhead Publishing Limited. 306p.

Espirito Santo H, Daniel F. 2017. Calcular e apresentar tamanhos do efeito em trabalhos científicos (1): as limitações do P< 0, 05 na análise de diferenças de médias de dois grupos. Revista Portuguesa de Investigação Comportamental e Social, 1(1), 3-16.

Field A. 2020. Descobrindo a estatística usando o SPSS-5. Penso Editora.

Fortress Technology. 2012. Metal detection, the basics. Acedido em: Junho 10, 2023. https://fortresstechnology.com

Hong Z, et al. 2022. Study of Migration and Safety Assessment of Manganese (Mn) from Food Contact Stainless-Steel Products in China. Biomed Environ Sci 35. 361-365.

Hung Y et al. 2015. The implementation of a Hazard Analysis and Critical Control Point management system in a peanut butter ice cream. Journal of Food Drug Analysis. 509 – 515.

Kenner L. 2001. Chemical and physical hazards: the “other” food safety risks. Food Testing & Analysis. Acedido em: Janeiro. 29, 2023. https://www.foodsafetyprofessionals.com/keenerhazards.pdf

FDA 2005. CPG Sec 555.425 Foods, Adulteration Involving hard or Sharp Foreign Objects. Acedido em: Janeiro 20, 2023. https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/cpg-sec-555425-foods-adulteration-involving-hard-or-sharp-foreign-objects

Gomez C, Marks B. 2020. Monetizing the Impact of Food Safety Recalls on the Low-Moisture Food Industry. Journal of Food Protection, Vol. 83, 829–835.

Graves M, Smith A, Batchelor B. 1998. Approaches to foreign body detection in foods. Trends in Food Science and Technology, 9, 21-27.

Ima Magnets, sem data. Uso de ímãs no setor de alimentos. Acedido em: Junho 23, 2023. https://imamagnets.com/pt-pt/blog/usos-de-imas-no-setor-de-alimentos/

Lakens D. 2013. Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: a practical primer for t-tests and ANOVAs. Front. Psychol. 4:863. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00863

Lock A. 1996. The Guide to Reducing Metal Contamination In the Food Processing Industry, 3a Ed, Safeline Metal Detection, 29p.

Masoliver B et al. 2022. Hazard control through processing and preservation technologies for enhancing the food safety management of infant food chains. Global Pedriatrics 2. 100014.

Mantovani M et al. 2022. Introduction to the Special Issue on Safe food for infants: the importance of pursuing integrated approaches to monitor and reduce the risks of biological, chemical, and physical hazards in infant food during the key developmental Years. Global Pedriatrics 2. 100008

Mettler Toledo. 2016. Guia de detecção de metais. Acedido em: Março 20, 2023. https://www.mt.com/dam/non-indexed/po/pi/MD/Guides/MD-Guide/Metal-Detection-Guide-PT.pdf

Mettler Toledo. 2016. O Guia de Inspeção por raios X. Acedido em: Março 20, 2023. https://www.mt.com/dam/non-indexed/po/pi/XR/Guides/XR-Guide/Xray-Guide-PT.pdf

Mettler Toledo. 2021. Entendendo a sensibilidade em detecção. Acedido em Março 25, 2023. Disponível em: https://www.mt.com/int/pt/home/library/guides/product-inspection/understanding-sensitivity.html

McGraw O, Wong P, 1992. A common language effect size statistic. Psychological Bulletin, 111(2), 361--365.

Mu W et al. 2021. Towards a resilient food supply chain in the context of food safety. Food Control. 152.

RASFF Window. 2022. Acedido em Março 20, 2023. https://webgate.ec.europa.eu/rasff-window/screen/notification/569230

RASFF Window. Sem data. Acedido em: Março 20, 2023. https://webgate.ec.europa.eu/rasff-window/screen/search?searchQueries=eyJkYXRlIjp7InN0YXJ0UmFuZ2UiOiIyMDIyLTAxLTAxVDAwOjAwOjAwLjAwMFoiLCJlbmRSYW5nZSI6IjIwMjItMTItMzFUMDA6MDA6MDAuMDAwWiJ9LCJub3RpZmljYXRpb25TdGF0dXMiOnsibm90aWZpY2F0aW9uU3RhdHVzIjpbWzFdXX0sInByb2R1Y3QiOnsicHJvZHVjdENhdGVnb3J5IjpbWzE4NDI2LDE4NDU5XSxbMTkwMjVdLFsyMDAwN11dfSwicmlzayI6eyJoYXphcmRDYXRlZ29yeSI6W1syMTc4MiwyMTgwN10sWzI2NTgwLDI2NTgxXSxbMjY2MDJdXX0sInN1YmplY3QiOiJmb3JlaWduIn0%3D

Regulamento (CE) n.o 852/2004, de 29 de Abril de 2004 Relativo à higiene dos géneros alimentícios. Jornal Oficial da União Europeia, L 139. Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia.

Regulamento (CE) n.o 853/2004, de 29 de Abril de 2004 Estabelece regras específicas de higiene aplicáveis aos géneros alimentícios de origem animal. Jornal Oficial da União Europeia, L 226. Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia.

Regulamento (CE) n.o 2073/2005, de 15 de Novembro de 2005 relativo a critérios microbiológicos aplicáveis aos géneros alimentícios. Jornal Oficial da União Europeia, L 338. Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia.

Rodrigues M. 2019. Importância do laudo para equipamentos magnéticos na indústria alimentícia. Acedido em Março 21, 2023. Disponível em: https://foodsafetybrazil.org/importancia-do-laudo-para-equipamentos-magneticos-na-industria-alimenticia/

Rosenthal A. 1996. Qualitative descriptors of strength of association and effect size. Journal of Social Service Research, 21(4), 37--59.

Seo S, Jang S. 2021. A negative or positive signal? The impact of food recalls on negative word-of-mouth (N-WOM). Journal of Hospitality and Tourism Management. 150 – 158.

Veiga A, Lopes A, Carrilho E, Silva L, Dias M, Seabra M et al. 2009. Perigos físicos, Perfil de Risco dos Principais Alimentos Consumidos em Portugal. Direção de Avaliação e Comunicação dos Riscos. 127-156.

WHO 2002. WHO global strategy for food safety: safer food for better health. World Health Organization. Suíça: WHO Library Cataloguing-in-Publication Data.

WHO 2022. Key facts on food safety. Acedido em: Fev 26, 2023. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/food-safety.