



CATÓLICA

ESCOLA SUPERIOR DE BIOTECNOLOGIA

PORTO

DESENVOLVIMENTO DE ANÁLOGOS DE CARNE
À BASE DE PROTEÍNA VEGETAL POR EXTRUSÃO HÚMIDA

ANDRÉ DOS SANTOS ROSEIRO

SETEMBRO 2023



CATÓLICA

ESCOLA SUPERIOR DE BIOTECNOLOGIA

PORTO

DESENVOLVIMENTO DE ANÁLOGOS DE CARNE À BASE DE PROTEÍNA VEGETAL POR EXTRUSÃO HÚMIDA

Relatório de Estágio apresentado à Escola Superior de Biotecnologia da
Universidade Católica Portuguesa para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Alimentar

por

André dos Santos Roseiro

Supervisor (empresa): Dr. Bhavesh Natavarlal

Orientadora (Universidade): Cristina Luísa Miranda Silva

Co-Orientadora (Universidade): Paula Cristina Maia Teixeira

SETEMBRO 2023

Agradecimentos

Agradeço a todos os que contribuíram para o sucesso desta etapa e que, de alguma forma, me apoiaram na concretização deste objetivo, e em especial:

-À minha família pelo apoio e paciência;

- Aos meus supervisores externos, Sr. Camil e Dr. Bhavesh, por todo o conhecimento que me transmitiram e ao Sérgio e Adriano, pelo suporte proporcionado que permitiu o meu desenvolvimento pessoal enquanto profissional na área;

-Às professoras Cristina Silva e Paula Teixeira por todo o apoio e orientação prestados, quer aquando da realização do estágio, quer na elaboração do presente relatório;

-E, por fim, à Sónia e a todos os meus amigos que me acompanharam nesta jornada.

A todos o meu obrigado!

Resumo

Este relatório é o resultado do estágio curricular realizado no âmbito do Mestrado em Engenharia Alimentar da Escola Superior de Biotecnologia da Universidade Católica Portuguesa no Porto, na empresa New Foods Company, na Maia, entre os dias 1 de fevereiro a 5 de julho de 2023.

O estágio teve como principal objetivo investigar e aplicar conhecimentos relativos à produção de análogos de carne por extrusão húmida, melhorando o produto e tornando o processo mais eficiente com a redução e adaptação de tarefas. Foram realizadas pesquisas relativas à composição de um análogo de carne produzido por extrusão húmida, bem como sobre o funcionamento de uma extrusora, nomeadamente, no que diz respeito ao papel dos fusos, do *cooling die* e do processo de texturização.

A extrusão húmida é um processo complexo visto ser necessário definir, controlar e adaptar diferentes variáveis intrínsecas ao processo e à formulação do produto. Ao longo do estágio, foram efetuados diversos ensaios com a alteração sistemática de variáveis do processo, tais como a temperatura de extrusão, a temperatura de arrefecimento do produto no *cooling die*, a velocidade de processamento e os caudais de entrada de matéria-prima no processo. Durante os ensaios surgiram, inevitavelmente, contratempos, tais como o entupimento do *cooling die* ou o rebentamento do tubo de admissão de óleo à extrusora, que exigiram sempre uma resolução rápida e eficiente.

Produziram-se análogos de frango, aos quais foram realizadas análises à textura, cor, pH e atividade da água (a_w). Após as análises, foi efetuada a comparação dos ensaios realizados na New Foods Company com um produto homólogo da concorrência e um bife de frango. Seguidamente, após a apresentação das conclusões obtidas, foram dadas sugestões com vista à resolução de problemas que surgiram com a alteração das variáveis.

Palavra-chave: Extrusão húmida, Análogos de Carne, Proteínas, Textura, Frango

Abstract

This thesis is the result of the curricular internship carried out within the scope of the master's degree in food engineering at the Escola Superior de Biotecnologia of the Universidade Católica Portuguesa in Porto at the company New Foods Company, in Maia, between February 1st and July 5th, 2023.

The main objective of the internship was to investigate and apply knowledge related to the production of meat analogs through wet extrusion, improving the product and making the process more efficient by reducing and adapting tasks.

Research was conducted on the composition of a meat analog produced by wet extrusion, as well as on the operation of an extruder, specifically regarding the role of screws, the cooling die, and the texturization process. Wet extrusion is a complex process as it requires defining, controlling, and adapting various variables inherent to the process and product formulation.

Throughout the internship, various experiments were conducted with the systematic alteration of process variables, such as extrusion temperature, cooling temperature in the cooling die, processing speed, and raw material input flow rates. During the experiments, there were inevitably setbacks, such as clogging of the cooling die or bursting of the oil intake tube into the extruder, which always required a quick and efficient resolution.

Chicken analogs were produced, and texture, color, pH, and water activity (a_w) analyses were performed. After the analyses, a comparison was made between the experiments conducted at New Foods Company, a competing product, and a chicken steak. Following the presentation of the conclusions obtained, suggestions were given for resolving issues that arose with the alteration of variables.

Keywords: Wet Extrusion, Meat analogue, Proteins, Texture, Chicken

Conteúdo

Agradecimentos	v
Resumo.....	vi
Abstract	vii
Lista de figuras	x
Lista de tabelas	xi
Lista de Gráficos.....	xi
Acrónimos e abreviaturas.....	xii
Objetivos	1
New Foods Company.....	2
1. Introdução	3
1.1. Consumo de <i>plant based meat</i>	5
1.2. Análogos de Carne.....	5
1.3. Extrusão	6
2. Extrusão Húmida.....	6
2.1. O Processo.....	6
2.2. Fusos Duplos (Twin screw).....	8
2.3. <i>Cooling Die</i>	8
2.4. Linha de produção da New Foods Company	10
2.4.1. Variáveis modificáveis	12
2.5. Processo de Texturização	14
2.6. Composição dos Análogos de Carne	16
2.6.1. Proteínas.....	16
2.6.2. <i>Proteína de Soja</i>	17
2.6.3. <i>Glúten</i>	18
2.6.4. <i>Fibras</i>	18
2.6.5. <i>Aromas e Mascarante</i>	19
2.6.6. <i>Corantes</i>	19
2.6.7. <i>Óleos</i>	20
2.6.8. <i>Água</i>	20
2.6.9. <i>Sal</i>	21
2.7. Fluxograma do processo	22
2.8. Produção atual NFC.....	24
2.9. Textura	26
3. Materiais e Métodos	27

3.1.	Ensaio 1.....	27
3.2.	Ensaio 2.....	27
3.3.	Textura, Cor, pH e a_w	28
3.3.1.	Preparação das amostras	28
3.3.2.	Análise da textura	29
3.3.3.	Leitura da cor.....	30
3.3.4.	Leitura do pH.....	31
3.3.5.	Leitura da a_w	31
3.4.	Análise ao tamanho do <i>Cooling die</i>	32
4.	Resultados e discussão.....	33
4.1.	Ensaio 1.....	33
4.2.	Ensaio 2.....	35
4.3.	Análise da textura	37
4.4.	Análise da cor.....	41
4.5.	Análise do pH.....	42
4.6.	Análise do a_w	43
4.7.	Análise ao tamanho do <i>cooling die</i>	45
5.	Outras atividades desenvolvidas	47
5.1.	Estruturação por congelação	47
5.2.	Dias de teste	47
5.3.	Identificação da linha.....	48
5.4.	Criação de base de dados	49
6.	Conclusões e recomendações.....	50
7.	Sugestões Futuras.....	52
8.	Referências.....	53
	Anexo I- Outputs recolhidos	57
	Anexo II- Dados recolhidos.....	58
	Anexo III- Outras atividades desenvolvidas.....	59

Lista de figuras

Figura 1- Representação de uma extrusora	7
Figura 2- Perfil frontal dos fusos duplos.....	8
Figura 3- Bloco do cooling die da NFC	9
Figura 4- Esquema representativo da linha de extrusão húmida da NFC	10
Figura 5- Esquema representativo da linha de embalagem da NFC	11
Figura 6- Extrusora e painel de controlo da NFC	12
Figura 7- Painel de controlo do processo da NFC	13
Figura 8- Processo de texturização esquematizado (adaptado de Ryu, 2020).....	15
Figura 9- Impacto do aumento de glúten na textura (adaptado de Ryu, 2020).....	18
Figura 10- Fluxograma análogos de carne NFC	22
Figura 11- Embalagem exemplo de substituto vegetal de porco da NFC	24
Figura 12- Embalagem exemplo de substituto vegetal de vaca da NFC	24
Figura 13- Embalagem exemplo de substituto vegetal de frango da NFC	24
Figura 14- Embalagens de substituto vegetal de frango em filete (bife), pedaços e picado.....	24
Figura 15- Declaração nutricional de um bife de frango.....	25
Figura 16- Tipo de corte filete (bife).....	28
Figura 17- Preparação de uma amostra (cozimento).....	28
Figura 18- Texturómetro	29
Figura 19- Sonda utilizada	29
Figura 20- Preparação das amostras (corte)	29
Figura 21- Colorímetro	30
Figura 22- Output do colorímetro.....	30
Figura 23- Leitor de pH.....	31
Figura 24- Leitor de a_w	32
Figura 25- Output do leitor de a_w	32
Figura 26- Produto a ser expelido pelas laterais do cooling die	33
Figura 27- Cooling die aberto para limpeza	33
Figura 28- Entupimento do tubo de admissão de óleo	34
Figura 29- Misturadora de matérias-primas secas e óleo	34
Figura 30- Fecho da admissão de óleo por tubo	34
Figura 31- Tira do ensaio 1.....	35
Figura 32- Tira do ensaio 1 dobrada a meio	35
Figura 33- Tira do ensaio 2 dobrada a meio	36
Figura 34- Tira do ensaio 2.....	36
Figura 35- Representação ilustrativa do cooling die da NFC.....	45
Figura 36- Representação ilustrativa do final do cooling die da NFC	45
Figura 37- Prova dos ensaios realizados	47
Figura 38- Identificação de equipamentos	48
Figura 39- Identificação zona de matérias-primas.....	48
Figura 40- Exemplo de um output em gráfico do texturómetro	57
Figura 41- Exemplo de um output em tabela do texturómetro	57
Figura 42- Exemplo dos dados recolhidos e tratados relativos à cor, pH e a_w	58
Figura 43- Exemplo de base de dados.....	59

Lista de tabelas

Tabela 1- Declaração nutricional do análogo de frango da NFC.....	25
Tabela 2- Análise da cor em cru.....	41
Tabela 3- Análise da cor após cozidas.....	41
Tabela 4- Compilação de todos os dados tratados relativos ao teste TPA	57

Lista de Gráficos

Gráfico 1- Representação gráfica da análise à dureza.....	37
Gráfico 2- Representação gráfica da análise à adesividade.....	38
Gráfico 3- Representação gráfica da análise à resiliência	38
Gráfico 4- Representação gráfica da análise à coesão	39
Gráfico 5- Representação gráfica da análise à gomosidade	40
Gráfico 6- Representação gráfica da análise à mastigabilidade.....	40
Gráfico 7- Representação gráfica da análise da cor (L*, a* e b*) em cru.....	41
Gráfico 8- Representação gráfica da análise da cor (L*, a* e b*) após cozidas.....	41
Gráfico 9- Representação gráfica da análise do pH em cru	42
Gráfico 10- Representação gráfica da análise do pH cozidas.....	43
Gráfico 11- Representação gráfica da análise ao aw em cru	44
Gráfico 12- Representação gráfica da análise ao aw cozidas	44

Acrónimos e abreviaturas

NFC- New Foods Company

PBM- Plant Based Meat

TVP- Proteína texturizada de soja

LMEC- Low-moisture extrusion cooking

HMEC- High-moisture extrusion cooking

DSF- Defatted Soy Flour

MP- matéria-prima

NSI- Índice de solubilidade em nitrogénio

PDI- Índice de dispersão de proteínas

Rpm- rotações por minuto

°C- graus Celsius

MPa- Megapascal

MAP- Embalagem em atmosfera modificada

PCC- Ponto crítico de controlo

Objetivos

Este trabalho teve como principal objetivo investigar e aplicar conhecimentos relacionados com a produção de análogos de carne, utilizando uma tecnologia ainda em fase embrionária em Portugal: a extrusão húmida.

Primeiramente, pretendeu-se investigar o consumo de análogos de carne e as suas implicações na sustentabilidade ambiental e, de seguida, realizar uma pesquisa de forma aprofundada do processo de extrusão húmida: os equipamentos necessários, o respetivo funcionamento e a composição dos análogos de carne (proteínas, glúten, fibras, etc..).

Objetivou-se, para além disso, otimizar o processo, tornando-o mais eficiente, com vista a melhorar a qualidade e estabilidade ao longo do tempo dos análogos de carne.

Por fim, foram analisadas as alterações efetuadas e a sua contribuição para a melhoria do produto, sendo para isso realizadas diferentes análises, nomeadamente, à textura, cor, pH e a_w .

New Foods Company

A New Foods situa-se na cidade da Maia, pertencente ao distrito do Porto, em Portugal. Foi constituída no ano de 2019 e iniciou a sua atividade laboral em 2020.

Atualmente, a New Foods *Company* (NFC) é uma start-up de “*plant based meat*” em desenvolvimento, que apresenta diversas alternativas vegetarianas à carne. O foco da NFC é atender às expectativas dos consumidores de análogos de carne, oferecendo produtos realmente semelhantes à carne animal. A sua visão passa por oferecer diferentes alternativas a consumidores vegetarianos e flexitarianos, de modo a permitir um estilo de vida mais saudável e sustentável (*New Foods Company*, n.d.).

A versatilidade é a palavra que melhor descreve os produtos da NFC, uma vez que a aposta passa pela produção de produtos com sabores neutros, permitindo aos seus clientes personalizar a sua refeição com os condimentos e temperos que desejam. Esta é uma solução proteica que pode ser incorporada em diferentes pratos, desde saladas, pizzas, sandwiches, etc.

1. Introdução

O mundo está em constante mudança e um dos desafios que a comunidade global enfrenta passa pela capacidade de fornecer alimentos à crescente população mundial, sem comprometer o ecossistema. Em 2023, 8 mil milhões de pessoas habitam o planeta Terra, sendo que a previsão de crescimento populacional é de 8.5 mil milhões para o ano de 2030 e de 10 mil milhões em 2050 (Kołodziejczak et al., 2022). Com este crescimento exponencial da população, será necessário intensificar a produção alimentar, podendo originar um cenário insustentável. Em pleno século XXI, o consumo de gado é visto como a principal fonte de proteína (Kyriakopoulou et al., 2019). Estima-se que a procura de carne chegará a 455 milhões de toneladas até 2050, sendo um aumento de 76% em relação a 2005 (Zhang et al., 2022). A carne representa um componente essencial na alimentação humana, visto fornecer elementos essenciais para o corpo humano tais como proteínas, gorduras, vitaminas e minerais (Boukid, 2021). Questões relativas ao bem-estar animal e do planeta levam especialistas a argumentar que sérias consequências ao nível da *food security* surgirão, enfatizando a importância de uma transição para uma alimentação à base de plantas, reduzindo assim o consumo de carne (Kyriakopoulou et al., 2019).

A criação de gado para produção de carne proporciona benefícios à sociedade, mas, em paralelo, os impactos negativos começam a ser notáveis a nível global com a degradação de solos, poluição da água, perda de biodiversidade e alterações climáticas (Sakadevan & Nguyen, 2017). Vários estudos comprovam que a pegada carbónica de produtos proteicos à base de plantas é consideravelmente inferior em comparação aos produtos à base de carne (Wild, 2016). A pegada carbónica é um conceito que consiste na quantificação do que é produzido, consumido ou utilizado por humanos que, de alguma forma, requer o consumo de recursos naturais (Fresán et al., 2019). A produção animal é também menos eficiente em relação à produção de vegetais, visto que para produzir 1 kg de proteína de carne são necessários 6 kg de vegetais. A produção animal é insuficiente para garantir a *food security* das populações em constante crescimento, sendo crucial procurar novas fontes alternativas de proteínas. Questões relacionadas com a saúde das pessoas são também levantadas quando é discutido o consumo de carne. Há uma ligação entre o consumo excessivo de carne e o aumento da probabilidade de desenvolvimento de doenças cardiovasculares, obesidade, diabetes do tipo 2, cancro ou acidentes

vasculares cerebrais (Kołodziejczak et al., 2022). O consumo de carne aumenta ainda a probabilidade de zoonoses e exposição aos antibióticos veterinários (Singh et al., 2021).

No passado, as alternativas à carne eram maioritariamente vistas como uma opção para vegetarianos, contudo, atualmente, este tipo de produtos desperta interesse a um leque mais vasto de consumidores, incluindo aqueles que desejam reduzir o seu consumo de carne ou adotar uma dieta mais diversificada (Sadler, 2004).

Os produtos proteicos processados à base de plantas tiveram origem há mais de 2000 mil anos, na China, com o fabrico de tofu: um fermentado de soja coagulado e coalhado de forma a originar um bloco branco sólido. Mais tarde, surgem diferentes produtos como o *tempeh* e seitan, sendo amplamente considerados como alternativas à carne, mas não como substitutos de carne. Surge então a proteína texturizada de soja (TVP), produzida através de um processo de fusão da mistura das diferentes proteínas por extrusão, conferindo propriedades semelhantes às da carne (textura), permitindo a produção de análogos de carne como hambúrgueres, *hot dogs*, bacon, carne moída, entre outros (He et al., 2020).

Associada à sua versatilidade, baixo custo e eficiência energética, a tecnologia de extrusão alimentar pode ser classificada em dois tipos: extrusão de baixa humidade (LMEC | *Low Moisture Extrusion Cooking* 10-40% (w/w) água) e extrusão húmida (HMEC | *High Moisture Extrusion Cooking* acima de 70% (w/w) água). A extrusão de baixa humidade é então utilizada na produção de proteínas texturizadas de soja (TVPs), sendo necessário fazer a sua reidratação no momento antecedente ao seu consumo.

A extrusão húmida requer um controlo no momento do arrefecimento (no *cooling die*), após a fase de fusão de modo a prevenir a evaporação da água presente no produto. Temperaturas elevadas no momento de arrefecimento no *cooling die* originam perda de água no produto, fazendo com que o mesmo se fragmente em pequenos pedaços (Schmid et al., 2022).

1.1. Consumo de *plant based meat*

As projeções globais relativas ao mercado de *plant based meat* apontam para um aumento dos iniciais 4.6 mil milhões de dólares em 2018 para 85 mil milhões de dólares em 2030. O aumento do consumo de análogos de carne deve-se em parte ao aumento da variedade de opções disponíveis no mercado, com diferentes experiências sensoriais e nutricionais (Singh et al., 2021).

Segundo o estudo “*The Green Revolution Portugal*”, em Portugal, o consumo de produtos *plant based* aumentou, bem como o número de vegetarianos, vegans e flexitarianos representando em 2021 cerca de 9% da população correspondendo a 760 mil portugueses (Lantern Papers, 2022).

1.2. Análogos de Carne

Os análogos de carne são considerados pelo consumidor como “alternativa à carne”, “substituto de carne”, “carne falsa”, “carne vegetariana ou “imitação de carne”. Estes são também conhecidos como proteínas vegetais texturizadas, cujo processo lhes confere uma textura semelhante à da carne (Ryu, 2020).

A carne é uma estrutura muito complexa constituída por uma série de elementos que contribuem para a sua textura, como as fibras musculares e tecido conjuntivo, entre outros. A sua textura e atributos como a sua dureza, coesividade, mastigabilidade, maciez, entre outros, são importantes para a perceção de qualidade por parte do consumidor.

A cor é um atributo importante na perceção de qualidade por parte do consumidor e, como tal, um análogo de carne deve ter uma cor semelhante aos produtos de base animal, sendo para isso utilizados extratos de pigmentos naturais (Chen et al., 2022).

Um análogo de carne ideal deve ter um reduzido impacto ambiental, ser acessível e apresentar um elevado teor de nutrientes e proteínas (Singh et al., 2021).

1.3. Extrusão

Em 1797, surge pela primeira vez o processo de extrusão pelas mãos de Joseph Bramah, tendo como objetivo o fabrico de tubos de chumbo. No final do século XIX, início do século XX, são introduzidos outros metais em processos de extrusão (Taber Extrusions, 2018). O primeiro registo de aplicação de uma extrusora na indústria alimentar remonta ao ano de 1869 para a produção de salsichas em Inglaterra (Riaz, 2000).

2. Extrusão Húmida

O primeiro registo de uma extrusão húmida ou em inglês como é comumente conhecida *Wet Extrusion* foi no Japão, no ano de 1989. Nesta primeira experiência, foi utilizada soja sem gordura (DSF- *Defatted Soy Flour*) e foram testadas diferentes variáveis como a temperatura e o pH, de modo a perceber a influência das mesmas na elasticidade da proteína da soja (Shurtleff & Aoyagi, 2020).

2.1. O Processo

O processo de extrusão húmida consiste na transformação de proteína de origem vegetal, normalmente isolada ou concentrada, em produtos fibrosos e com um elevado conteúdo de água. Esta combina uma intensa mistura mecânica com elevadas temperaturas e pressões, causando assim a alteração nativa da estrutura dos ingredientes, seguindo-se uma agregação macroscópica e microscópica das mesmas (Schmid et al., 2022).

A estrutura básica de produtos LMEC é formada pela manipulação e transformação dos biopolímeros (das proteínas ou fibras), fornecendo assim polímeros derretidos (fluido) a altas temperaturas, que retêm os gases libertados durante o processo de expansão. No final do *cooling die*, dá-se a queda rápida da pressão, criando a evaporação repentina de parte da água presente no produto.

Numa extrusora, a transferência de energia dá-se tipicamente através de duas formas distintas: pela elevada rotação dos fusos (energia mecânica) e energia térmica pelo aquecimento das paredes da extrusora (Singh et al., 2017).

O processo de extrusão pode ser sumarizado genericamente em quatro zonas, como é possível observar em mais detalhe na Figura 1:

- 1- Zona de alimentação (Produto seco, água e óleo);
- 2- Zona de mistura;
- 3- Zona de fusão;

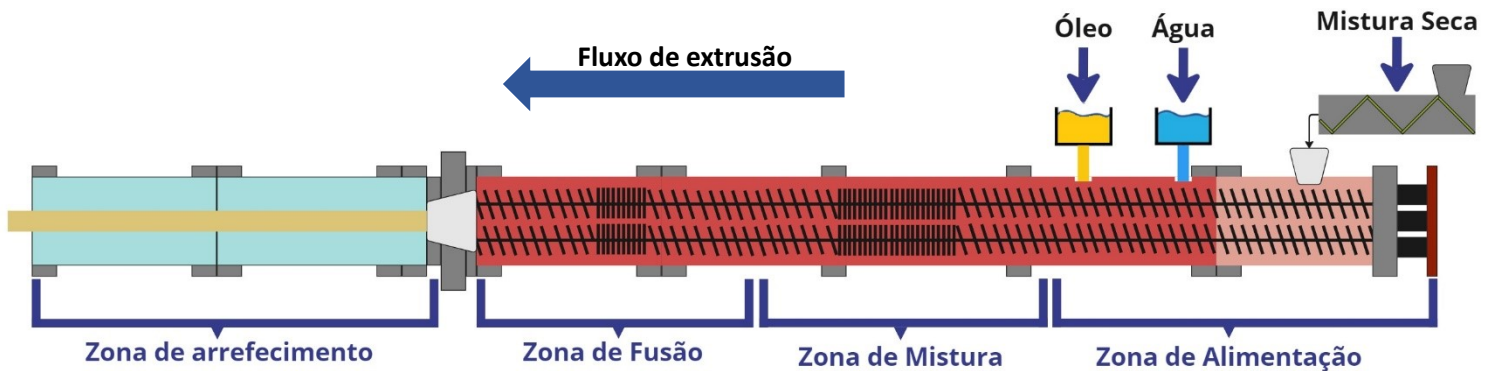


Figura 1- Representação de uma extrusora

Parâmetros como a temperatura e pressão são variáveis ao longo da extrusora e diferem consoante o tipo de produto que se deseja processar. A extrusora é composta por sete secções com blocos que permitem o seu aquecimento individual. O *cooling die* é composto por secções de temperatura ajustável. A zona de alimentação das matérias-primas é o local onde se inicia a compressão e onde a matéria-seca começa a ser hidratada tendo uma temperatura média de 75 °C. A temperatura começa a subir no final da zona referida, passando para uma média de 130 °C na zona da mistura onde esta é amassada e desagregada. A zona de fusão trabalha a uma temperatura média de 145 °C. Através de forças de cisalhamento, dá-se a plastificação das proteínas e a rotura da ligação das mesmas. A mistura derretida segue para a zona de arrefecimento, o *cooling die*, que opera numa média de temperaturas de 65 °C, onde é arrefecida de forma forçada. A fase de arrefecimento permite a estabilização do produto da extrusão, com a formação e alinhamento das fibras, recreando assim o aspeto fibroso da carne (Schmid et al., 2022).

2.2. Fusos Duplos (Twin screw)

No processo de extrusão, com o uso de *Twin Screw*, é recomendado que os fusos duplos tenham uma relação de comprimento do fuso/ diâmetro do fuso entre 30 e 50, de modo a garantir um correto tratamento termomecânico (Guyony et al., 2022). Os fusos utilizados na extrusora da NFC têm um comprimento de 190 cm e um diâmetro de 4 cm, tendo então uma relação de 47,5, garantindo o correto tratamento termomecânico.

Os fusos desempenham um papel importante no processo de extrusão, pois a capacidade de transferência de calor depende dos mesmos. A temperatura necessária para fundir as matérias-primas está relacionada com o rácio comprimento-diâmetro dos fusos (Schmid et al., 2022).

As extrusoras com fusos duplos, cuja rotação é feita no mesmo sentido, como podemos ver na figura 2, são comumente utilizadas no processamento alimentar como é o caso da extrusora da NFC. Esta configuração de rotação dos fusos permite uma autolimpeza dos mesmos, visto que as secções que os compõem, em conjunto com o sentido da rotação, evitam a acumulação e depósito dos ingredientes, o que por sua vez, no caso de uma alimentação insuficiente, pode causar interrupções no processo e, consequentemente, diminuir a qualidade do produto final (Ek & Ganjyal, 2020).

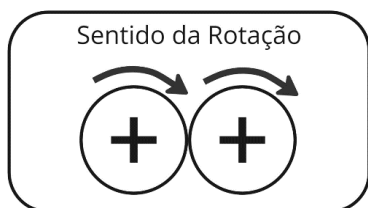


Figura 2- Perfil frontal dos fusos duplos

2.3. Cooling Die

O *cooling die* corresponde a uma parte subsequente à extrusora que provoca o arrefecimento forçado da matéria vinda da extrusão. As temperaturas reduzidas das suas paredes forçam a descida de temperatura do produto. O gradiente de temperaturas criado tem um elevado impacto sobre a viscosidade do produto final, resultando num perfil de fluxo laminar. O tempo do produto no interior do *cooling die* conduz à reestruturação

molecular das proteínas previamente desnaturadas no processo de extrusão contribuindo assim para formação linear das fibras (Zhang et al., 2022).

Na figura 3, pode-se observar representado um bloco do *cooling die* da NFC. Cada bloco do *cooling die* é composto por dois módulos individuais: um superior ao produto e outro inferior, onde no seu interior circula água fria provocando o arrefecimento forçado. A azul, na Figura 3, podemos ver a corrente de água fria que entra no módulo e que circula dentro do mesmo e a vermelho a corrente quente que resulta da transferência de calor do produto para a água. O produto nunca entra em contacto diretamente com a água de arrefecimento, apenas com a parte superior e inferior dos módulos, que por serem constituídos por um material altamente condutor facilitam a transferência de calor, permitindo um arrefecimento eficaz.

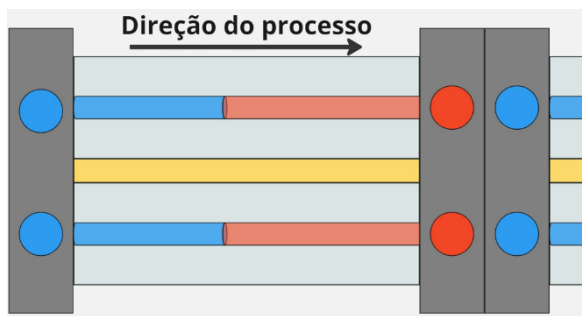


Figura 3- Bloco do *cooling die* da NFC

A corrente de água quente é direcionada para um equipamento (Chiller) que faz o arrefecimento da água, permitindo a recirculação da mesma e controlando assim a temperatura do sistema. Este é um equipamento fundamental para o processo, pois garante o controlo da temperatura, permitindo baixar e subir as mesmas de forma rápida e eficiente.

2.4. Linha de produção da New Foods Company

Nas figuras 4 e 5, é possível observar a representação esquemática da linha de produção e de embalagem da NFC.

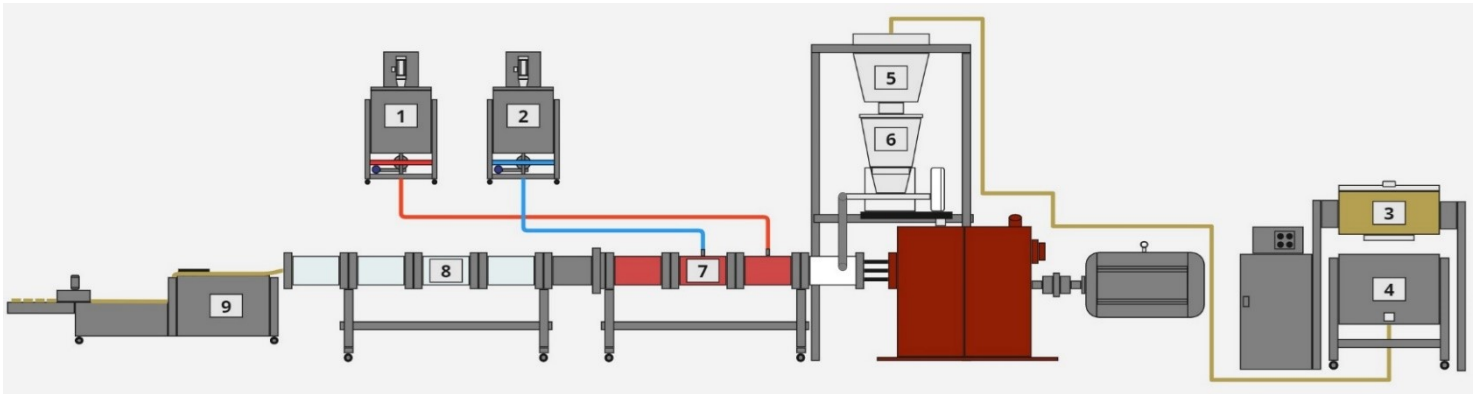


Figura 4- Esquema representativo da linha de extrusão húmida da NFC

Sistema típico de produção de análogos de carne:

1. Depósito e injetores de óleo;
2. Depósito e injetores de água;
3. Misturador de borboleta (matéria seca);
4. Estação de transporte a vácuo;
5. Silo de armazenamento a vácuo;
6. Alimentador dos fusos de precisão;
7. Extrusora de fusos duplos (*twin screw*);
8. Zona de arrefecimento forçado (*Cooling Die*);
9. Unidade de corte.

O processo produtivo inicia-se com a adição da matéria seca no misturador borboleta (3). Após a mistura estar devidamente homogeneizada, é descarregada para a estação de transporte a vácuo (4), seguindo de imediato para o silo de armazenamento a vácuo (5), permanecendo no mesmo até ordem de descarga para o alimentador dos fusos de precisão (6). Começa então o processo de extrusão nos fusos duplos (*Twin-Screw*) (7) com ação de temperatura e pressão.

Ao longo desta zona quente, representada pela cor vermelha, são ainda injetados óleo e água na quantidade desejada. Logo de seguida, o produto passa para a zona de arrefecimento forçado (8) representado na figura a azul. Após o arrefecimento, o produto segue para a unidade de corte (9), dando-se como finalizado o processo de extrusão e iniciando-se as etapas de embalagem.

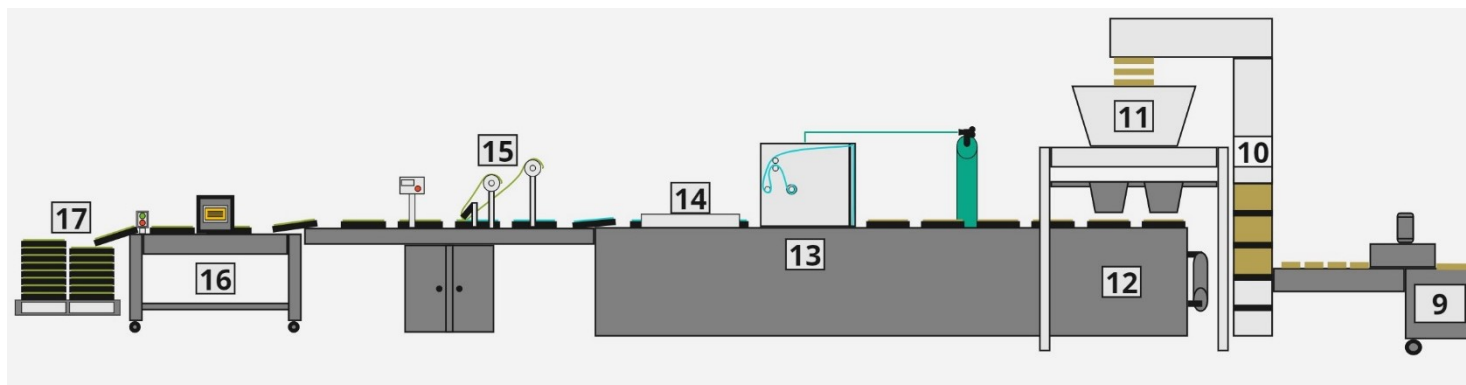


Figura 5- Esquema representativo da linha de embalagem da NFC

Sistema típico de embalagem de análogos de carne:

9. Unidade de corte;
10. Tapete transportador/elevatório
11. Pesadora multicabeças;
12. Termo moldagem das embalagens;
13. Embalamento em atmosfera modificada (MAP - *Modified Atmosphere Packing*);
14. Cortadora de embalagens;
15. Etiquetadora automática;
16. Detetor de metais;
17. Palete para expedição.

Assim que cortado, o produto segue da unidade de corte (9) para um tapete transportador/ elevatório (10), sendo assim encaminhado para as 10 cabeças da pesadora (11), onde é ajustado o peso de produto para cada embalagem. Entre a unidade de corte e o tapete transportador, é ainda possível adicionar ao processo um tambor de aromatização para os casos em que se pretende fazer aromatização na parte exterior do produto. Este cai então das cabeças das pesadoras para as embalagens termo moldadas (12). As embalagens com produto seguem para o embalamento em atmosfera modificada (13),

sendo de seguida cortadas (14). As embalagens, devidamente seladas, são etiquetadas automaticamente (15) e direcionadas para o detetor de metais (16). O último passo é a paletização para expedição (17).

2.4.1. Variáveis modificáveis

A extrusão é um processo complexo visto ser necessário definir, controlar e adaptar diferentes variáveis do mesmo. Variáveis intrínsecas ao processo e à formulação do produto podem ter um impacto positivo ou negativo no produto final, sendo então imperativo o seu controlo efetivo. A alteração da velocidade dos fusos altera o tempo de permanência do produto, tanto na extrusora como no *cooling die*, alterando igualmente as pressões de processamento. Os caudais de matérias-primas, de água e de óleo e as temperaturas de fusão na extrusora e de arrefecimento no *cooling die* são variáveis do processo igualmente importantes com elevado impacto nas características finais do produto. Por último, mas não menos importante, o tipo e qualidade das matérias-primas utilizadas define uma vez mais a qualidade final do produto.

A variação dos parâmetros de processamento altera essencialmente o input de energia termomecânica de compressão. A água é utilizada como meio de transferência desta energia afetando diretamente o processo de transformação das proteínas e da sua interação com os diferentes ingredientes, o comportamento do fluxo da massa fundida, a orientação das fibras e a formação de texturas semelhantes à carne (Zhang et al., 2022).

Todas as variáveis anteriormente referidas podem ser devidamente programadas e controladas num ecrã presente junto à extrusora como é possível observar a vermelho na figura 6.



Figura 6- Extrusora e painel de controlo da NFC

Na figura 7, podemos ver com mais detalhe o painel de controlo referido anteriormente, onde é possível programar as temperaturas da extrusora, a rotação dos fusos, os caudais de alimentação de matéria-prima seca e da água e óleos.

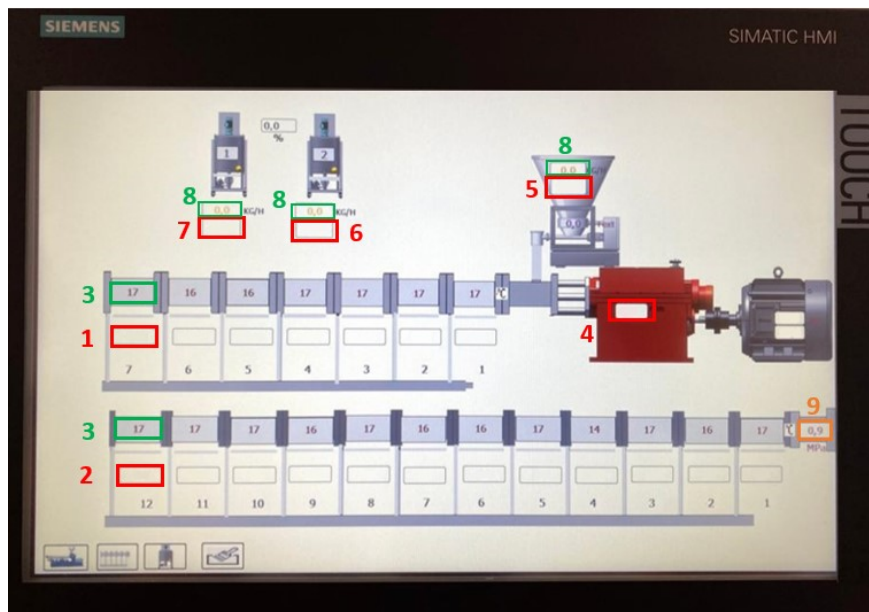


Figura 7- Painel de controlo do processo da NFC

Painel de controlo do processo:

- 1- Temperatura desejada de um módulo da extrusora em ° C;
- 2- Temperatura desejada um módulo do *cooling die* em ° C;
- 3- Temperatura real a que se encontra um módulo em ° C;
- 4- Rotação dos fusos em rotações por minuto (rpm);
- 5- Caudal desejado de mp seca em kg/h;
- 6- Caudal desejado de água em kg/h;
- 7- Caudal desejado de óleo em kg/h;
- 8- Caudais reais em kg/h;
- 9- Pressão entre a extrusora e o *cooling die* em MPa.

A extrusora é composta por módulos individuais numerados de 1 a 7 e o *cooling die* numerado de 1 a 12, cujas temperaturas podem ser configuradas individualmente. Todos os módulos são dotados de sondas térmicas interiores que permitem ao operador perceber em tempo real a temperatura desejada e a temperatura interna (marcado a verde com o número 3 na figura 7). O fluxo do processo dá-se do módulo 1 da extrusora até ao 7 da

mesma, estando este acoplado ao módulo 1 do *cooling die* que arrefece o produto, até ao módulo 12 que corresponde ao local onde o produto sai.

No painel presente na figura 7 acima é ainda possível acompanhar os feedbacks em tempo real dados pelos equipamentos em °C (número 3) e em kg/h os caudais (número 8). A extrusão é um processo que está associado a elevadas pressões sendo então importante medir a pressão criada na junção da extrusora com o *cooling die* representada com o número 9 na referida figura. Um valor díspar desta pressão pode ser um indicador de que algo não está dentro dos níveis de conformidade e pode ser necessário efetuar alguma retificação no processo.

2.5. Processo de Texturização

A texturização é um passo crucial, tendo em conta que a expectativa dos consumidores é de encontrar um produto cuja textura, trinca, sabor e valor nutricional seja semelhante aos produtos de carne. Para imitar as fibras musculares da carne, as proteínas vegetais são sujeitas a diversas transformações, passando da sua forma inicial para a forma linear, dando origem à proteína texturizada (Boukid, 2021).

O processo de texturização ocorre ao longo de todo o procedimento produtivo dos análogos de carne produzidos por HMEC, tal como podemos observar esquematizado na figura 8.

Para a formação de fibras, é necessário ter em consideração os três principais parâmetros variáveis da extrusora, ou seja: a configuração da própria extrusora (dimensão e formato dos fusos), as variáveis de processamento (temperatura e rotação dos fusos) e a entrada de matéria-prima (mp) (características da mp, da água e óleo) (Guyony et al., 2022).

Com a elevada rotação dos fusos no interior da extrusora, aliada ao efeito da temperatura e humidade, a estrutura tridimensional das proteínas é destruída e as cadeias de aminoácidos unidas por ligações peptídicas são desdobradas. Durante o processo de extrusão, a proteína derrete (funde) e, quando passa pelo *cooling die*, é texturizada pela formação do fluxo laminar, no sentido longitudinal do mesmo (Ryu, 2020).

As reações químicas presentes no processo de texturização e esquematizadas na figura 8 criam mudanças significativas na estrutura das proteínas, a nível funcional e nutricional. O processo de ligação cruzada de proteínas e a formação de uma rede tridimensional sólida exigem a passagem pelos três estados que podemos observar na figura 8: o estado de desdobração, o estado de alinhamento e o estado interligado.



Figura 8- Processo de texturização esquematizado (adaptado de Ryu, 2020)

Durante o processo de extrusão, as proteínas assim que aquecidas começam a aumentar de volume, a dissolver-se e a desdobrar-se quando misturadas com a água. Esta é uma fase que está diretamente dependente do estado nativo das proteínas e do seu pré processamento.

Numa segunda fase (estado alinhado), as proteínas formam ligações covalentes entre moléculas como as ligações dissulfeto, que permitem a construção estável da rede de proteínas, tornando grupos tiol livres, acessíveis e, conseqüentemente, dando origem a um produto extrudido com uma estrutura elástica e mastigável. A terceira fase de formação de fibras corresponde ao arrefecimento do produto no *cooling die*. Esta consiste na estabilização, alinhamento e criação de pequenos aglomerados de moléculas de proteína, que devido à pressão exercida pela extrusora obriga o produto a passar por um molde arrefecido que alinha a macroestrutura e define o perfil final do produto. Com a diminuição da temperatura do produto, as moléculas de proteína formam ligações

eletrostáticas não covalentes, surgindo interações hidrofóbicas que permitem a estabilização final da rede tridimensional de proteínas (Wild, 2016).

2.6. Composição dos Análogos de Carne

A formulação e as matérias-primas têm um grande impacto na qualidade do produto final (Wild, 2016).

Um análogo de carne é tipicamente constituído por água (50-80%), proteína vegetal texturizada (10-25%), proteínas não texturizadas (4-20%), aromas (3-10%), gorduras/óleos (0-15%), agentes ligantes (1-5%) e corantes (0-0,5%). A combinação destes ingredientes resulta num produto capaz de recriar sensorial e nutricionalmente a carne (Kyriakopoulou et al., 2019).

Os diferentes ingredientes apresentam genericamente diferentes funções ao longo do processo produtivo. As proteínas têm um papel essencial na formação da estrutura, as fibras adicionadas retêm a água no produto. A água, tal como os óleos, atua como plastificante ou lubrificante, o sal como sólido solúvel é intensificador de sabor e os aromas e corantes contribuem para a cor e o sabor do produto final (Guy, 1994).

2.6.1. Proteínas

As proteínas são moléculas grandes que consistem em cadeias de aminoácidos ligadas por ligações covalentes, que contribuem de forma funcional para a qualidade dos alimentos (Singh et al., 2017).

De todos os ingredientes utilizados num processo de extrusão húmida, as proteínas à base de vegetais representam o ingrediente mais importante e com o custo mais elevado (Guyony et al., 2022). Elevados níveis de proteína nas matérias-primas favorecem a texturização do produto, resultando em produtos com texturas mais fortes e firmes. A textura é um dos parâmetros a que o consumidor dá mais atenção nos análogos de carne (Plattner, 2020).

As proteínas têm a capacidade de reter água e óleo, com propriedades emulsionantes e de gelificação extremamente importantes para a formação da estrutura.

A pureza da proteína, a sua qualidade e o tamanho das suas partículas são fatores importantes na escolha da mesma. Quanto mais pura for a proteína utilizada, melhor serão os resultados de firmeza e resistência do produto final. A qualidade da proteína é medida por dois índices: um índice de solubilidade em nitrogénio (NSI) e um índice de dispersão da mesma (PDI). A utilização de proteínas com níveis baixos de NSI e PDI e, conseqüentemente, menor qualidade, obrigam à utilização de mais energia mecânica para texturizar as mesmas, levando a um produto final com uma cor mais escura e com uma textura de qualidade inferior. O tamanho das partículas é importante para a distribuição da massa na extrusora, a transferência de calor na mesma e tem impacto na viscosidade do produto final. Relativamente ao tamanho das partículas, a hidratação de partículas de tamanho superior é mais difícil, dificultando a mistura dos ingredientes. O processo de dispersão e plastificação do produto é obtido com mais dificuldade, o que aumenta o tempo de texturização (Guyony et al., 2022).

2.6.2. Proteína de Soja

O concentrado de proteína de soja é a fonte proteica mais comumente utilizada em análogos de carne, em consequência das suas características funcionais, sensoriais, nutricionais, preço e elevada disponibilidade no mercado. Os concentrados de proteína de soja são os que apresentam níveis superiores de proteína, sendo produzidos através de flocos desengordurados de soja. O processo de extração hidro-etanólica resulta num produto com um teor proteico superior a 70%.

A utilização de proteínas de soja tem como vantagem ter uma cor clara que permite a criação de diferentes tipos de análogos de carne com diferentes cores (Kyriakopoulou et al., 2019).

2.6.3. Glúten

Este subproduto da farinha de trigo é uma proteína insolúvel constituída por dois aminoácidos: a gliadina e glutenina. O seu baixo custo de produção faz com que o glúten seja habitualmente usado em análogos de carne (Ryu, 2020). A elevada capacidade de criar redes tridimensionais de fibras finas e alongadas faz do glúten um ingrediente chave na transformação de proteínas vegetais em análogos de carne.

O glúten pode ser considerado um agente ligante natural, visto ter a capacidade de ligar os diferentes ingredientes do produto graças às suas propriedades coesivas e viscoelásticas. Este tem ainda a capacidade de reduzir possíveis perdas no momento de confeção do produto, melhorando as características de corte (Kyriakopoulou et al., 2019).

O aumento do conteúdo de glúten aumenta proporcionalmente propriedades relacionadas com a textura com o aumento da elasticidade e resistência/força ao corte, como é possível observar na figura 9 (Ryu, 2020) .




Conteúdo de Glúten (%)	Produto final
20	
40	
60	

Figura 9- Impacto do aumento de glúten na textura (adaptado de Ryu, 2020)

2.6.4. Fibras

As fibras desempenham um leque alargado de funções quando adicionadas a formulações. As fibras são usualmente utilizadas para melhorar a textura e assim replicar uma estrutura mais próxima da carne animal, mais fibrosa e mais agradável quando

mastigada. As fibras ajudam a reter água, contribuindo para a suculência e aderência do produto.

As fibras dietéticas contribuem para a melhoria nutricional do produto, visto que podem ser usadas para dar coesão ao produto, tornando-o mais estável e ajudando na integridade do mesmo. Estas podem ainda contribuir para melhorar a cor e sabor do produto pós extrusão (Ryu, 2020).

2.6.5. Aromas e Mascaramento

A aceitação por parte dos consumidores de análogos de carne está dependente do sabor e aroma do produto (Kyriakopoulou et al., 2019). Um dos desafios de elevada complexidade dos análogos de carne de origem em proteínas vegetais passa por simular o sabor e aroma de carne. É sabido que este tipo de produto apresenta sabores e odores naturalmente presentes de difícil remoção. As proteínas de origem vegetal têm a capacidade de se ligar a compostos voláteis e não voláteis, responsáveis por transportar o sabor, daí serem adicionados diferentes compostos com o propósito de alterar o sabor original do produto (Wang et al., 2022).

A aromatização durante o processo de extrusão torna-se complexa devido às variações físicas e químicas do produto durante o processo (Kyriakopoulou et al., 2019).

As notas criadas pelos aromas naturais das proteínas levam à necessidade de mascarar as mesmas com diferentes agentes, melhorando sensorialmente o produto final e aproximando-o às notas sensoriais da carne (Wang et al., 2022).

2.6.6. Corantes

À semelhança do aroma e sabor, a cor é uma das características importantes quando falamos da aceitação por parte do consumidor. A cor e as suas alterações são um atributo importante na carne, bem como nos seus análogos.

Os corantes tornam-se um aditivo relevante tendo em conta que os ingredientes utilizados na formulação do produto são de origem vegetal, como é o caso das proteínas que tipicamente têm cores distintas da carne. As temperaturas utilizadas no processo de

extrusão tornam desafiante o processo de coloração do produto, pois apenas um leque restrito de corantes mantém a sua função após ter sido submetido a altas temperaturas, deixando corantes termicamente instáveis fora da escolha (Kyriakopoulou et al., 2019).

2.6.7. Óleos

Óleos vegetais são adicionados aos análogos de carne com o objetivo de reduzir os níveis de ácidos gordos saturados, comparativamente com os presentes naturalmente na carne (Zahari et al., 2022). A adição de óleos é essencial para que seja possível realçar o sabor dos análogos de carne e reter os seus compostos voláteis durante a confeção (Kyriakopoulou et al., 2019). Os análogos de carne de origem de proteínas vegetais são muitas vezes associados a produtos com pouca suculência (Wang et al., 2022).

Diferentes tipos de óleos são utilizados em diferentes quantidades com o objetivo de obter uma melhor textura, mais semelhante à carne e ainda aumentar a sua suculência, trabalhando assim as qualidades sensoriais do produto final (Zahari et al., 2022).

O óleo altera as condições do processo de extrusão, as propriedades reológicas do produto e as características do mesmo. Este funciona como agente lubrificante entre as partículas e a extrusora. Com o aumento do conteúdo de óleo, a temperatura dos materiais diminui, bem como a pressão do *cooling die*, consequência da redução de energia termomecânica (Kendler et al., 2021).

2.6.8. Água

A água atua como plastificante dos polímeros naturalmente presentes nas proteínas, provocando um efeito viscoso, o que contribui para a dissipação de energia mecânica. A qualidade da água pode afetar de forma significativa o processo, sendo ideal que esteja no seu estado mais puro possível apenas com pequenos vestígios de minerais como o magnésio e cálcio (Guy, 1994).

A água tem então um papel de lubrificante na extrusora. Com o aumento do conteúdo de água de 60 para 70% (base húmida), a percentagem de torque, a pressão do

“die” e a temperatura do produto diminuem significativamente, reduzindo assim a fricção entre o material de extrusão, os sem fim e o *cooling die* (Lin et al., 2002).

2.6.9. Sal

O sal é habitualmente utilizado como intensificador de sabor e dá ao produto um sabor puro e salgado. A percepção do mesmo é influenciada por uma série de fatores e varia de indivíduo para indivíduo. O sódio presente nos alimentos liberta o neurotransmissor da dopamina, que está associado aos mecanismos de motivação, recompensa e sensações e emoções de prazer (Rysová & Šmídová, 2021).

O sal corresponde por norma a 1-1,5% da formulação do produto. Este dissolve-se na água durante o processamento, não tendo um elevado impacto nas variáveis do processo, apenas provocando pequenas alterações na viscosidade, mas sem grande impacto numa escala industrial (Guy, 1994).

2.7. Fluxograma do processo

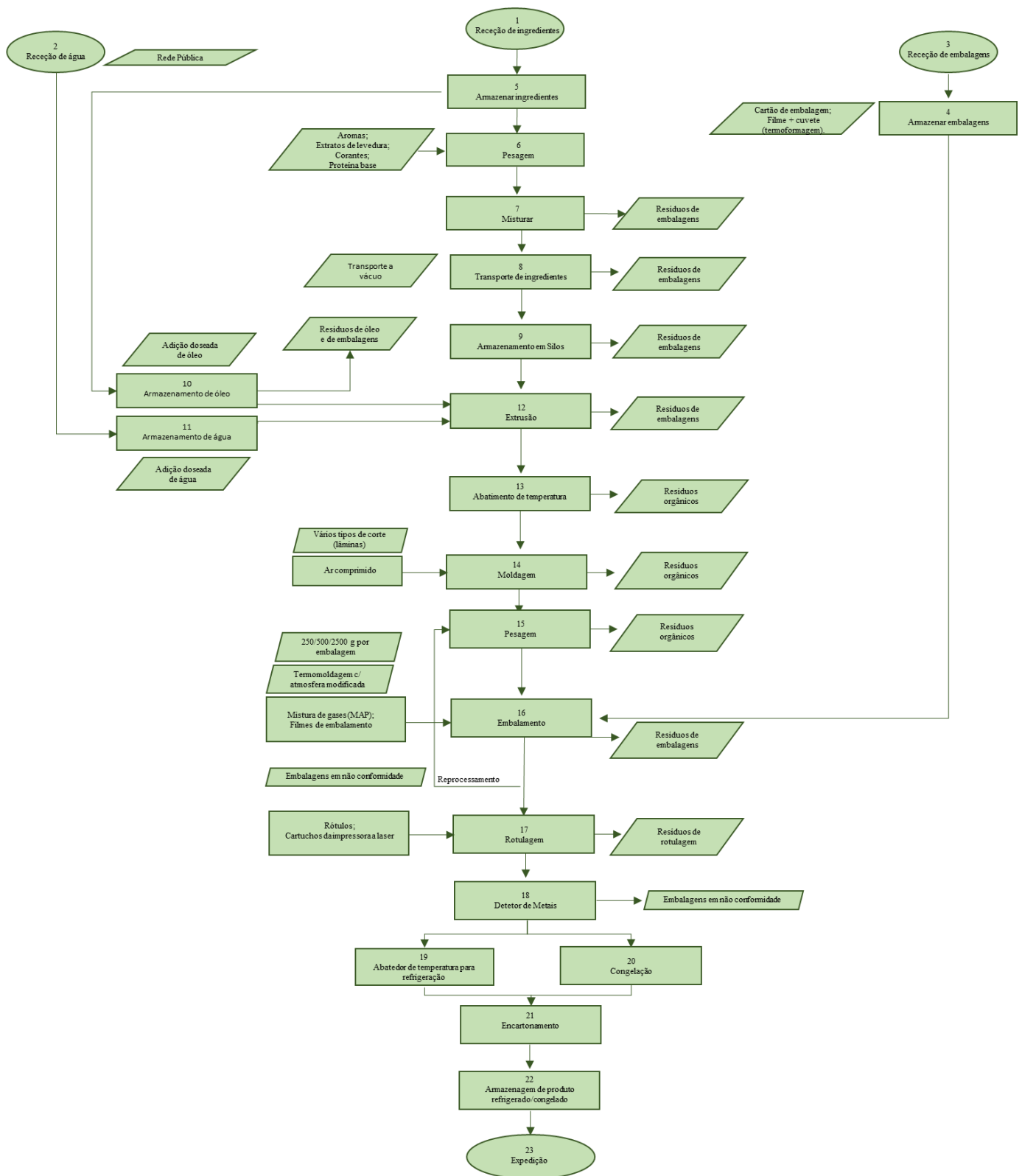


Figura 10- Fluxograma análogos de carne NFC

Na figura 10, podemos observar o fluxograma do processo produtivo de análogos de carne da NFC. A fim de iniciar o processo, dá-se a receção de ingredientes onde é realizada uma inspeção visual dos ingredientes e das condições em que são armazenados. Segue-se o armazenamento de água proveniente da rede pública num tanque na linha, para utilização no processo. As embalagens são recebidas, inspecionadas e feita a verificação das suas fichas técnicas, analisando-se as suas condições e o local do seu armazenamento. Após serem armazenados todos os ingredientes e embalagens, são pesadas as matérias-primas a utilizar no processo, tais como as proteínas, corantes e aromas. Estas são de seguida colocadas no misturador que homogeneiza a mistura de ingredientes. Dá-se o transporte por vácuo da mistura para o silo de armazenamento. Após definido o *setup* do processo no computador presente na linha, inicia-se o processo de extrusão com a entrada na extrusora das matérias-primas secas vindas do silo de armazenamento e da água e óleos vindos respetivamente dos seus tanques de armazenamento. O produto extrudido segue a altas temperaturas para o *cooling die* onde é forçado a arrefecer. Com uma temperatura mais reduzida, segue para a moldagem onde, com diferentes tipos de corte, é moldado. Com o molde pretendido, o produto é pesado em embalagens de 250 g, 500 g e 2500 g, sendo depois embalado em atmosfera modificada (MAP com dióxido de carbono e azoto), rotulado e passado pelo detetor de metais. Na eventualidade do produto ser armazenado refrigerado, vai em primeiro lugar a um abatedor de temperatura que o deixa a 4 °C, segue para o encartonamento e depois é armazenado numa câmara a uma temperatura de refrigeração de 4 °C +/- 2 °C. Se o produto for congelado, após o detetor de metais, é colocado num armário de congelação à temperatura de -30 °C e só depois de congelado será encartonado e armazenado numa câmara à temperatura de congelação de -18°C +/- 2°C. A etapa correspondente ao detetor de metais representa o único ponto crítico de controlo (PCC) da linha. Após o armazenamento, o produto está preparado para ser expedido.

2.8. Produção atual NFC

Atualmente, na NFC são produzidos três tipos de análogos de carne cuja matéria-prima principal apesar de ser a mesma (proteína de soja) apresenta diferentes sabores e cores. A MOCKY é a marca com que a NFC produz e comercializa análogos de carne de porco, vaca e com mais expressão a carne de frango. Nas figuras 11, 12 e 13 podemos observar as três embalagens comercializadas, respectivamente, de porco, vaca e frango.



Figura 11- Embalagem exemplo de substituto vegetal de porco da NFC



Figura 12- Embalagem exemplo de substituto vegetal de vaca da NFC



Figura 13- Embalagem exemplo de substituto vegetal de frango da NFC

Nas figuras 11 ,12 e 13 podemos observar um retângulo branco que corresponde ao local destinado para o rótulo da embalagem onde são especificados os ingredientes utilizados, a declaração nutricional do produto, as instruções de preparação, a declaração de alergênicos e ainda informações relativas à rastreabilidade e ao peso.

Os níveis de exigência impostos pelos consumidores aumentaram, daí a necessidade de apresentar o mesmo produto sob diferentes formas, permitindo a realização de receitas diversificadas com base no mesmo produto. Para isso, as embalagens MOCKY são apresentadas em três tipos de corte para venda ao consumidor: em filete (bife), pedaços e em picado como é possível ver na figura 14, tratando-se de embalagens de substituto vegetal de frango.



Figura 14- Embalagens de substituto vegetal de frango em filete (bife), pedaços e picado

Na tabela 1, podemos observar a declaração nutricional do análogo de carne de frango na NFC, sendo interessante destacar o elevado valor proteico de 24,3 g, tendo 6,3g de fibras e apenas 4,5 g de hidratos de carbono numa porção de 100 g.

Tabela 1- Declaração nutricional do análogo de frango da NFC

Declaração Nutricional		
Valores médios por:	100 g	Porção (62,5g)
Energia	652 kJ/ 156 kcal	408 kJ/ 97,5 kcal
Lípidos Totais	3,2	2
dos quais - Saturados	0,53	0,33
Hidratos de carbono dos quais	4,5	2,8
- Açúcares	0,2	0,06
Fibra	6,3	3,9
Proteínas	24,3	15,1
Sal	1,5	0,9

* Dose de referência para um adulto médio (8400 kJ / 2000 kcal)

Na figura 15, é possível observar a declaração nutricional de um bife de frango. Comparando com a declaração nutricional presente na tabela 1 com a figura 15, é possível perceber que estes são produtos relativamente semelhantes a nível nutricional. O análogo de carne de frango tem um valor de fibras e proteína superior ao bife de frango e valores calóricos de lípidos e de hidratos de carbono inferiores. Em contrapartida, o análogo de frango apresenta um valor de sal superior ao bife de frango.

Quantidade	100 g	
	Por dose	% DR*
Energia	452 kJ	5%
	108 kcal	
Lípidos	1,20g	2%
Lípidos Saturados	0,300g	2%
Carboidratos	0,10g	0%
Açúcar	0,10g	0%
Fibras	0,1g	
Proteínas	24,10g	48%
Sal	0,00g	0%

Figura 15- Declaração nutricional de um bife de frango

2.9. Textura

A textura e a sua quantificação podem ser muito importantes para a qualidade de um produto, uma vez que é um dos principais atributos sensoriais nos alimentos, daí ser importante no desenvolvimento dos mesmos. A análise da textura permite que se realize a verificação das propriedades físicas e reológicas dos produtos, bem como o controlo de processos, visto que diferentes fatores na produção podem alterar as características do produto, a sua estabilidade e vida útil, entre outros.

O teste TPA (*Texture Profile Analysis*) é uma técnica habitualmente usada para avaliar a textura de alimentos. Este mede características físicas do alimento como a dureza, adesividade, resiliência, coesão, elasticidade, gomosidade e mastigabilidade.

A dureza é um atributo relativo à força mecânica necessária a aplicar para deformar ou penetrar um produto. Na boca, é percebida pela compressão do produto entre os dentes e ou entre a língua.

A adesividade está relacionada com a força necessária para remover o produto que adere à boca ou a um substrato.

A coesão é um atributo da textura relativo à extensão do produto, ou seja, à deformação que o mesmo sofre antes do momento de rotura.

A elasticidade é um atributo relativo à velocidade de recuperação da deformação realizada a um produto e a capacidade que o mesmo tem em voltar à sua condição inicial, depois da força de deformação ser removida.

A gomosidade é um conceito difícil de visualizar, mas na boca está relacionada com a força necessária para desintegrar o produto até ao ponto ideal de deglutição.

A mastigabilidade está relacionada com a coesão e o tempo. Pode ser descrita como o tempo necessário para um produto sólido estar pronto para a deglutição (Filho, 2017).

3. Materiais e Métodos

3.1. Ensaio 1

As alterações realizadas nos parâmetros começaram por ser com base em parâmetros observados em artigos científicos, mas foi rapidamente perceptível que os parâmetros teriam de ser personalizados e ajustados para os equipamentos da NFC.

As temperaturas utilizadas nos sete módulos da extrusora, desde a zona de alimentação até à zona acoplada ao *cooling die* foram de 70 °C, 70 °C, 130 °C, 140 °C, 145 °C, 150 °C e 150 °C respetivamente. As temperaturas ao longo dos 12 módulos do *cooling die* desde a união da extrusora ao último módulo foram de 140 °C, 120 °C, 110 °C, 100 °C, 90 °C, 85 °C, 85 °C, 85 °C, 80 °C, 75 °C, 70 °C e 65 °C respetivamente.

A velocidade é de 400 rpm, o caudal de matéria-seca de 35 kg/h e de água e óleo de 65 kg/h e 5 kg/h respetivamente.

3.2. Ensaio 2

Depois da realização do ensaio 1, foi necessário fazer algumas alterações ao nível do processo e ajustes das temperaturas utilizadas.

Para assegurar uma dissociação e desdobramento completo das proteínas, resultando na texturização das mesmas, é necessário garantir que a temperatura do processo seja entre 120 °C a 160 °C, sendo 140 °C considerada a temperatura ótima de (Zhang et al., 2022).

As temperaturas utilizadas desde a zona de alimentação da extrusora até à zona acoplada ao *cooling die* foram de 70 °C, 95 °C, 120 °C, 130 °C, 140 °C, 140 °C e 130 °C respetivamente. As temperaturas ao longo dos 12 módulos do *cooling die* desde a união da extrusora até ao último módulo foram de 100 °C, 80 °C, 50 °C, 50 °C, 50 °C, 40 °C, 40 °C, 40 °C, 40 °C, 30 °C e 30 °C respetivamente.

A velocidade dos fusos foi adaptada para 500 rpm, o caudal de matéria-seca a 35 kg/h e de água a 60 kg/h (Guyony et al., 2022).

3.3. Textura, Cor, pH e a_w

A fim de quantificar as diferenças obtidas como consequência da alteração dos parâmetros da extrusora, foram feitas análises relativas à textura, cor, pH e a_w das diferentes amostras em teste.

Todas as amostras em teste consistiam em filetes/bifes (tipo de corte), como podemos observar na figura 16, tendo sido utilizadas amostras do produto anterior às modificações realizadas, do produto após as alterações, a um produto concorrente já no mercado e a um bife de frango.



Figura 16- Tipo de corte filete (bife)

3.3.1. Preparação das amostras

Tendo em conta que a análise das amostras foi realizada com as amostras cruas e cozinhadas, foi então necessário fazer a preparação das mesmas. Todas as amostras foram mantidas à temperatura de refrigeração até à sua preparação.

As amostras cruas foram apenas preparadas separadamente em cada uma das análises realizadas. As amostras cozinhadas foram previamente preparadas numa frigideira como se pode observar na figura 17. O procedimento de cozedura foi transversal a todas as amostras (com exceção das cruas), perfazendo um total de 6 minutos, sendo 2 minutos de cada lado, terminando virando mais 1 minuto.



Figura 17- Preparação de uma amostra (cozimento)

3.3.2. Análise da textura

Para avaliar as propriedades de textura das amostras foram realizadas análises com recurso a um texturómetro (Texture Analyzer TA-XTplus), como podemos verificar na figura 18, capaz de medir as características físicas do produto. O teste foi realizado com uma sonda de 6 mm (código P/6 10873) acoplada a um adaptador como podemos observar na figura 19. A altura da sonda foi calibrada com o objetivo de otimizar o tempo de teste. Foram preparadas nove amostras (nove réplicas por produto) de cada produto com 10 mm de altura e 20 mm de comprimento e largura, exemplificadas na figura 20.

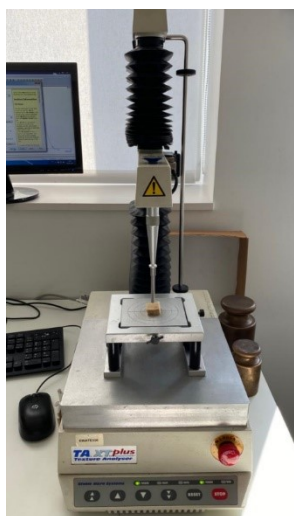


Figura 18- Texturómetro



Figura 19- Sonda utilizada



Figura 20- Preparação das amostras (corte)

O teste inicia-se com o movimento descendente da sonda na direção da amostra a uma velocidade de 2 mm/s. Assim que a sonda entra em contacto com a superfície da amostra, inicia-se o registo no software, sendo exercida força até ao momento em que a amostra é perfurada.

De modo a obter valores representativos foram realizadas nove réplicas para cada uma das amostras, tendo sido excluídos os valores correspondentes aos extremos (máximo e mínimo), para obter assim uma representação mais precisa dos valores correspondentes às várias variáveis em estudo.

Os outputs dos testes podem ser observados e analisados sob a forma de gráficos ou tabelas no computador ligado ao texturómetro.

Foram utilizadas seis amostras diferentes e realizadas nove réplicas por amostra o que representa um total de 54 testes.

3.3.3. Leitura da cor

A cor é um atributo igualmente importante para a percepção de qualidade por parte do consumidor, tal como foi referido anteriormente.

Para que a comparação entre as diferentes amostras não fosse apenas realizada de forma ocular e subjetiva, foram realizados testes para poder quantificar a diferença entre as diferentes amostras. As amostras foram analisadas com recurso a um colorímetro (Chroma Meter CR-400) que podemos observar na figura 21, para desta forma medir as suas propriedades de cor. O equipamento é encostado à superfície da amostra e é dada a leitura dos valores de L^* , a^* e b^* como podemos observar na figura 22 (Xia et al., 2023).

A cor é expressa com os parâmetros CIE.lab (L^* , a^* e b^*) em que L^* expressa a luminosidade da amostra (0 = preto e 100 = branco), os valores negativos de a^* expressam a cor verde e os valores positivos a cor vermelha, os valores negativos do parâmetro b^* expressam a cor azul e os positivos a cor amarela (Kantanen et al., 2022).

Antes de preparadas as amostras (cortadas), ainda em tira, são analisadas cada uma cinco vezes (cinco réplicas) para que posteriormente seja feita uma média das leituras de L^* , a^* e b^* de cada uma das amostras em teste.



Figura 21- Colorímetro

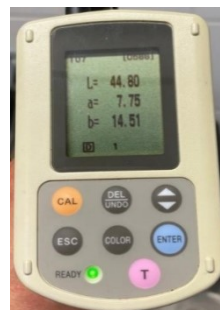


Figura 22- Output do colorímetro

3.3.4. Leitura do pH

Apesar de não ser um atributo perceptível por parte do consumidor, a medição do valor de pH é essencial, pois fornece informações essenciais sobre a qualidade, segurança e consistência do alimento. Para a medição do valor de pH das diferentes amostras foi utilizado um medidor de pH de sólidos (SensION + PH3 Basic laboratory pH & ORP Meter) exemplificado na figura 23. O eletrodo do medidor de pH é inserido na amostra e, após estabilizar, é possível fazer a leitura do valor. Para cada amostra foram realizadas cinco leituras e realizada a média das mesmas para desta forma obter um valor que represente melhor toda a amostra. Esta é uma análise medida numa escala de 0 a 14 em que sete representa a neutralidade, valores inferiores a sete são considerados ácidos e valores superiores a sete considerados alcalinos (*Sper Scientific Direct*, 2021).



Figura 23- Leitor de pH

3.3.5. Leitura da a_w

A atividade da água (a_w) é um parâmetro de extrema importância na avaliação de um produto alimentar. A a_w de um alimento é referente à quantidade de água livre disponível num alimento e determina a segurança do mesmo, a qualidade e textura, a sua estabilidade e vida útil. A faixa de valores de a_w varia de 0,0 a 1,0 (água pura) (Allan & Mauer, 2016).

Para medir a a_w das diferentes amostras foi utilizado um equipamento de análise (LabMaster- a_w Neo) que podemos observar na figura 24. As amostras são preparadas e

colocadas numa cápsula redonda, o equipamento é fechado e, após alguns instantes, é possível observar o valor do a_w no visor como exemplificado na figura 25.

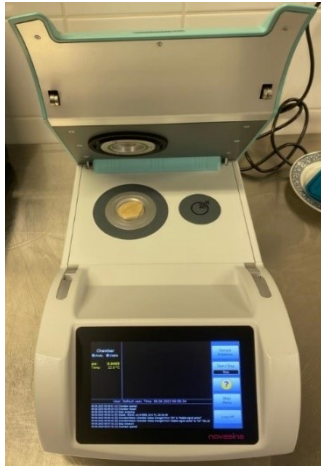


Figura 24- Leitor de a_w



Figura 25- Output do leitor de a_w

3.4. Análise ao tamanho do *Cooling die*

O *cooling die* deve ser dimensionado de forma a fazer um arrefecimento controlado da massa previamente fundida na extrusora. Quando esta entra na zona de arrefecimento é criada pressão. O tamanho da abertura no final do molde do *cooling die* afeta a velocidade de fusão, uma vez que se a tensão entre as paredes for estreita aumenta significativamente a pressão da abertura impactando negativamente as características do produto. Uma abertura relativamente grande do molde produz um produto suave e com maior resistência (Schmid et al., 2022).

O *cooling die* deve ter pelo menos o mesmo comprimento que os fusos da extrusora, devendo ser 60 a 140 vezes maior que a altura do molde de forma a favorecer a formação de fibras, coalescência (fusão, união de elementos que estavam dispersos e que se unem) e orientação na direção do fluxo da massa (Guyony et al., 2022).

4. Resultados e discussão

Após as alterações realizadas aos parâmetros do processo, foi necessário avaliar se as alterações acrescentaram efetivamente algum benefício ao produto final.

Foram analisadas amostras da produção com os parâmetros iniciais que dizem respeito ao ensaio 1, amostras do ensaio 2, fruto de alterações efetuadas com base em bibliografia relacionada e com base no feedback dos equipamentos. Foi ainda testada uma amostra já no mercado correspondente ao mesmo análogo da concorrência e, tendo em conta que as amostras em teste são análogos de carne de frango, foi também testado um bife de frango para que fosse possível fazer uma comparação.

4.1. Ensaio 1

Com o *setup* de temperaturas do ensaio 1 era possível retirar algum produto do final da extrusora, mas após algum tempo de processamento a tendência da extrusora era entupir, o que obrigava à paragem da linha e à abertura do *cooling die* para proceder à sua limpeza. Na figura 26, podemos observar o que corresponde aos primeiros indicadores de que a extrusora irá entupir. Com a elevada pressão e não tendo local por onde sair, o produto acaba por escapar pelas laterais do *cooling die* o que representa desperdício de produto. A acumulação de produto demasiado cozido no *cooling die*, em consequência das altas temperaturas da extrusora e do *cooling die*, causa o entupimento, impedindo o fluxo normal do produto. Na figura 27, podemos observar o *cooling die* aberto para se proceder à limpeza e a tira de produto demasiado cozido que originou a paragem da linha.



Figura 26- Produto a ser expelido pelas laterais do cooling die



Figura 27- Cooling die aberto para limpeza

As elevadas temperaturas do *cooling die* não permitem o arrefecimento eficiente do produto o que leva a que este coza em demasia, acabando por perder lubrificação (água) e ganhando atrito com as paredes do *cooling die*. O produto estando demasiado rijo no *cooling die* impede que o material mais mole vindo da extrusora tenha a força necessária para o empurrar até ao final do processo, provocando assim o bloqueio do processo.

O rebentamento do tubo que transporta o óleo do tanque para a extrusora representa um outro problema recorrente causado pela pressão e temperaturas elevadas tanto do óleo (a temperatura de fusão da mistura de óleos utilizada é de 40 °C), como da extrusora, o que podemos observar no círculo vermelho presente na figura 28. Este facto obriga à paragem da linha e à sua reparação que, apesar de rápida, impede o funcionamento eficiente do processo. O cenário posterior ao rebentamento do tubo de alimentação de óleo, e ao conseqüente entupimento do *cooling die*, leva o produto presente no interior da extrusora a sair pela zona de entrada de matéria-prima como é possível observar igualmente na figura 28. Para resolver este problema, testou-se derreter o óleo (óleo de palma e de coco) e fazer a sua adição diretamente na misturadora. Como a quantidade de óleo utilizada na receita é de apenas 3% e com uma mistura eficiente na misturadora presente na figura 29, o óleo pode ser então incorporado diretamente na matéria-prima seca e o local onde o óleo era anteriormente injetado fechado como podemos ver na figura 30.



Figura 28- Entupimento do tubo de admissão de óleo



Figura 29- Misturadora de matérias-primas secas e óleo



Figura 30- Fechado da admissão de óleo por tubo

O produto resultante deste processo tem uma textura agradável à mastigação, mas quando arrefecido tem tendência para se quebrar em pedaços. O ideal é que o produto tenha as características mais aproximadas às do bife de frango e, portanto, ser mais fibrado. A etapa de arrefecimento é crucial para a formação de fibras e para a melhoria da textura de um análogo de carne. As temperaturas elevadas no *cooling die* levam à perda de fibras e redução da qualidade da aparência do produto final porque não fica tão realista, como podemos verificar na tira presente na figura 31. Na figura 32, podemos ver uma tira resultante do ensaio 1 que após ser dobrada se parte revelando estar pouco fibrado.



Figura 31- Tira do ensaio 1



Figura 32- Tira do ensaio 1 dobrada a meio

Quando realizada uma análise sensorial pelos funcionários da NFC, descritivos como “farinhenta, granulosa e pegajosa” foram usados para descrever a mastigação desta mesma amostra.

4.2. Ensaio 2

O ensaio 2 representa a receita final após várias tentativas e testes falhados. A distribuição de calor na extrusora dá-se de forma mais completa e as temperaturas do *cooling die* permitem o arrefecimento do produto de forma eficiente.

O processo de extrusão atinge a temperatura necessária para fundir as matérias-primas permitindo o processo de gelatinização e cozimento originando um produto homogêneo.

As temperaturas mais baixas ajudam a formar a textura desejada nos análogos de carne, contribuindo para a estrutura interna que imita a carne. Torna também o processo de produção mais eficiente, garantindo uma transição mais suave da extrusão para a zona de arrefecimento. Os danos térmicos nos equipamentos e no produto são inevitavelmente inferiores com temperaturas mais reduzidas.

Como podemos observar na figura 33, o produto apresenta agora uma textura e aspeto mais fibroso, com uma aparência mais semelhante à carne de frango.



Figura 33- Tira do ensaio 2 dobrada a meio

Quando observamos este mesmo produto em tira (figura 34), podemos igualmente perceber que este se aproxima mais do aspeto pretendido e com uma aparência irregular e mais natural.



Figura 34- Tira do ensaio 2

Após realizada uma análise sensorial interna na NFC, a amostra em questão era percebida como ligeiramente mais dura que a do ensaio 1, mas em contrapartida com uma trinca/ mastigação muito próxima de um bife de frango.

4.3. Análise da textura

Os resultados do TPA são gerados sob duas formas, gráficos ou tabelas como podemos ver na figura 40 e 41 respectivamente presente no anexo I. Na figura 40, no anexo I, podemos ver ainda um exemplo do output gerado pelo programa de análise de textura com dois dos testes executados já eliminados. De modo a não enviesar a média, foram eliminados os valores correspondentes ao máximo e ao mínimo (*outliers* eliminados) e feita a média de cada parâmetro analisado. No anexo I é também possível ver a tabela 4 com a compilação de todos os dados devidamente tratados relativos ao teste TPA realizado a todas as amostras.

A fim de facilitar a sua interpretação, os dados foram representados sob a forma de gráficos para que, individualmente, cada parâmetro pudesse ser analisado.

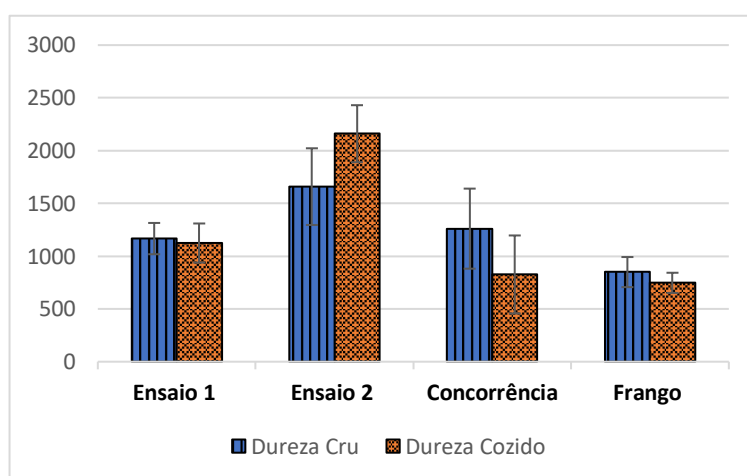


Gráfico 1- Representação gráfica da análise à dureza

No gráfico 1 podemos ver a representação da dureza das diferentes amostras em cru e após serem cozidas. Podemos verificar que as amostras correspondentes ao ensaio 2 são aquelas cujo valor da dureza é superior, seguindo-se as do ensaio 1, as amostras da concorrência e por fim as correspondentes ao frango. As amostras que mais se aproximam das amostras de frango são as da concorrência que, apesar de em cru apresentarem uma dureza superior, após serem confeccionadas apresentam um valor semelhante ao frango.

Podemos ainda observar que as amostras do ensaio 2 se tornaram mais duras após a cozedura, oferecendo mais resistência à penetração da sonda, tendo um comportamento contrário a todas as restantes amostras que após confeccionadas se tornaram mais moles.

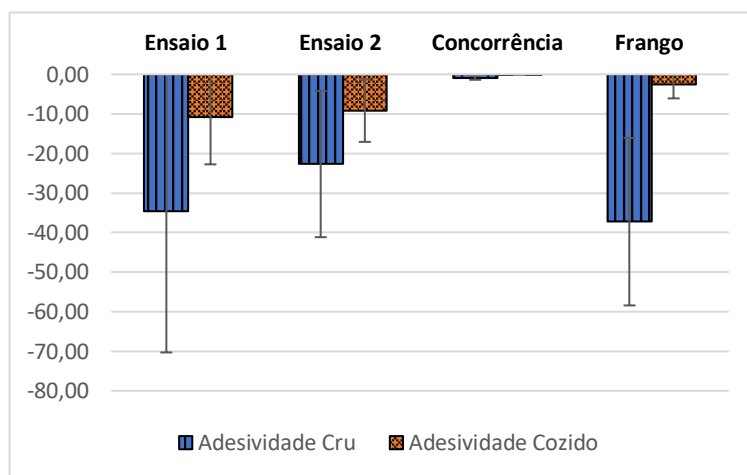


Gráfico 2- Representação gráfica da análise à adesividade

No gráfico 2, podemos observar a leitura relativa à adesividade das diferentes amostras cruas e cozidas. O frango apresenta uma elevada adesividade quando está em estado cru, mas em contrapartida, assim que cozido, o seu valor de adesividade é significativamente inferior. A amostra da concorrência tanto crua como cozida apresenta um valor baixo, contrariamente às restantes amostras. Em cru, o ensaio 1 apresenta um valor de adesividade superior às amostras do ensaio 2, contudo o comportamento é semelhante quando as amostras são cozidas, perdendo ambas adesividade, ou seja, a capacidade de aderir à boca no momento de mastigação. Todas as amostras tiveram o mesmo comportamento após cozidas, perdendo todas adesividade.

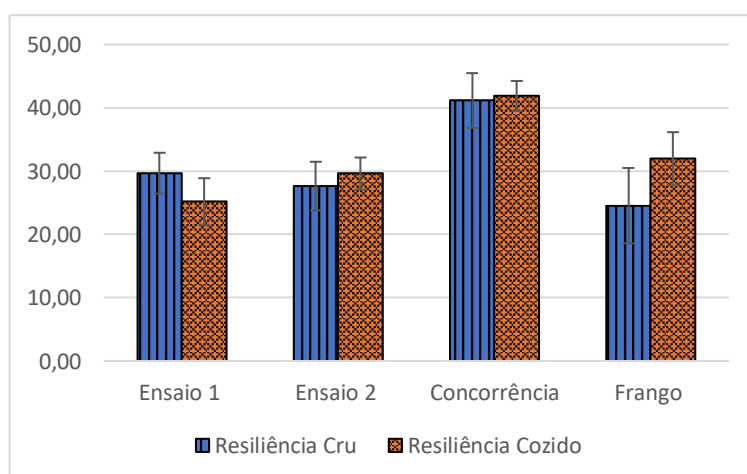


Gráfico 3- Representação gráfica da análise à resiliência

Relativamente aos valores da resiliência presentes no gráfico 3, a amostra correspondente à concorrência apresenta o valor mais elevado em relação às restantes amostras em teste, sendo então as que têm maior capacidade de após serem pressionadas voltar à forma original. Pode-se ver que a amostra do ensaio 2 é a que mais se assemelha aos valores de resiliência do frango tanto em cru como cozido. Com exceção das amostras do ensaio 1, as amostras em teste, após cozidas, apresentaram um valor superior em relação à mesma em cru. Será expectável que a amostra cozida do ensaio 1, quando mastigada, seja percebida como compacta (não se move).

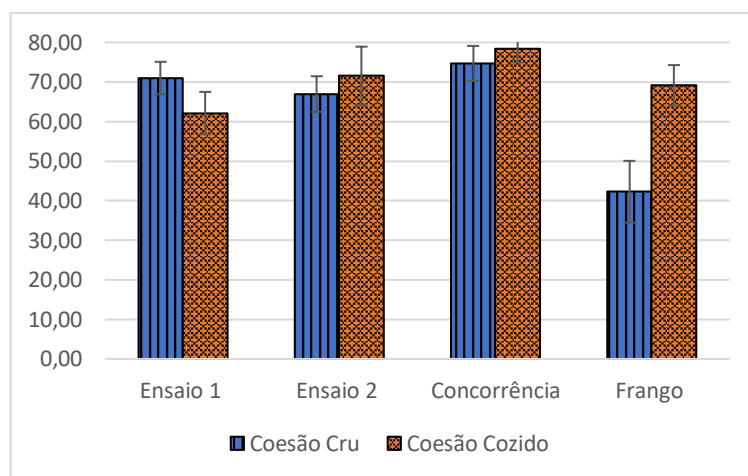


Gráfico 4- Representação gráfica da análise à coesão

A coesão da amostra da concorrência apresenta o valor mais elevado entre as amostras em teste, tendo a maior capacidade de se manter unido e não se desintegrar facilmente, como podemos ver no gráfico 4. Por outro lado, temos o ensaio 1 que apresenta um comportamento diferente dos restantes quando cozido, diminuindo a sua coesão e apresentando o valor mais baixo, perdendo assim a capacidade de ligação entre as partículas da amostra e perdendo integridade quando mastigado, sendo percebido como desagregado. O ensaio 2, quando cozido, apresenta a amostra que mais se assemelha à amostra de frango cozido.

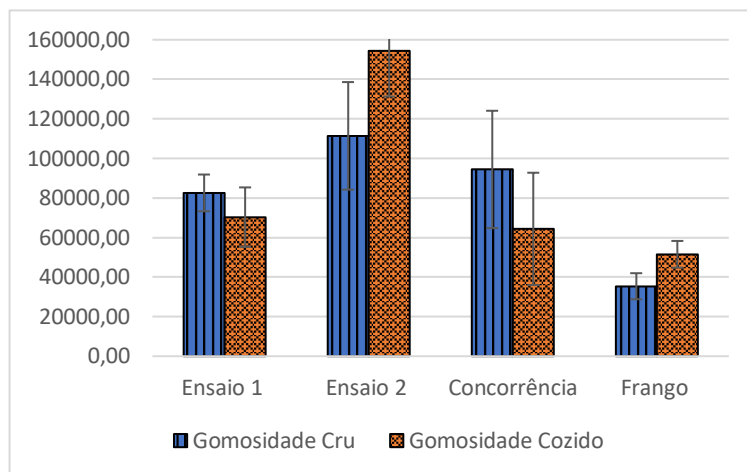


Gráfico 5- Representação gráfica da análise à gomosidade

No gráfico 5, pode observar-se que a gomosidade teve um aumento quando cozida nas amostras do ensaio 2 e do frango. Contrariamente às amostras do ensaio 1 e da concorrência, diminuíram o seu valor após cozidas. A amostra da concorrência é a amostra que cozida mais se assemelha com a amostra cozida de frango. A amostra do ensaio 2 apresenta uma elevada gomosidade face às restantes, que na mastigação pode ser percebida como indesejável.

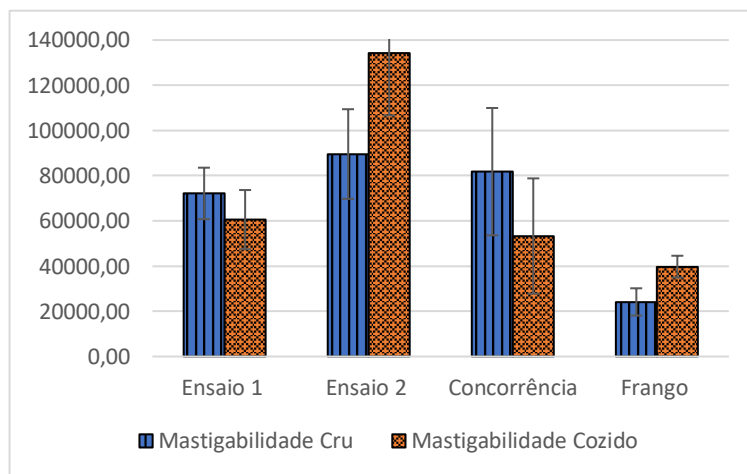


Gráfico 6- Representação gráfica da análise à mastigabilidade

A mastigabilidade é o último parâmetro analisado num teste TPA de alimentos e pode ver-se nos resultados representados no gráfico 6 acima. A concorrência é a amostra cujo valores mais se assemelham aos do frango.

À semelhança do teste à gomosidade, as amostras do ensaio 1 e da concorrência apresentam um comportamento diferente das amostras do ensaio 2 e do frango, visto que assim que cozidas o seu valor de mastigabilidade diminui.

4.4. Análise da cor

O gráfico 7 e a tabela 2 ilustram a combinação de parâmetros lidos no teste realizado à cor das amostras em teste em cru e depois de cozidos respetivamente. A cor é uma das características mais importantes num produto, pois é dos atributos sensoriais que mais atrai os consumidores. Os análogos de carne devem ter uma cor semelhante à dos produtos animais antes e depois da cozedura (Chen et al., 2022). No anexo II, na figura 42 é possível observar um exemplo dos dados recolhidos e tratados relativos à cor.

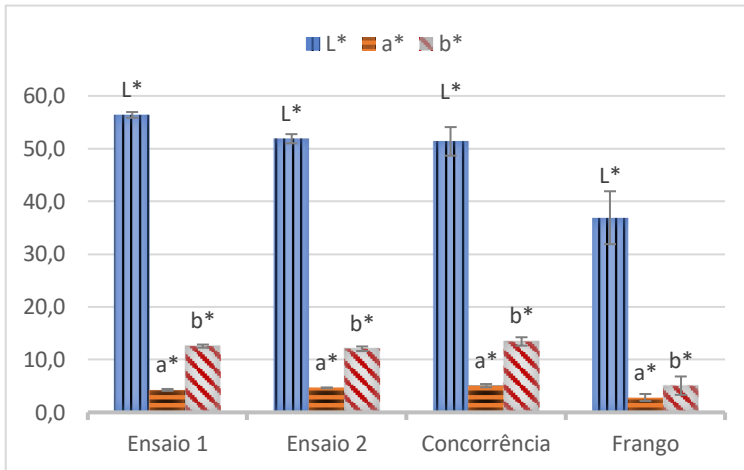


Tabela 2- Análise da cor em cru

Cor			
	L*	a*	b*
Ensaio 1	56,4	4,3	12,6
Ensaio 2	51,9	4,7	12,1
Concorrência	51,4	5,1	13,4
Frango	36,9	2,8	5,1

Gráfico 7- Representação gráfica da análise da cor (L*, a* e b*) em cru

No gráfico 7 podemos ver a representação gráfica da leitura realizada às diferentes amostras quando ainda se encontravam cruas e na tabela 2 podemos observar a média dos valores registados. Os valores correspondentes à luminosidade (L*) , ao eixo vermelho-verde (a*) e ao eixo amarelo-azul (b*) do ensaio 1, 2 e da concorrência são superiores ao valor correspondente do frango como é possível observar na tabela 2. Nenhuma das amostras em teste se aproxima em cru aos valores da cor do frango.

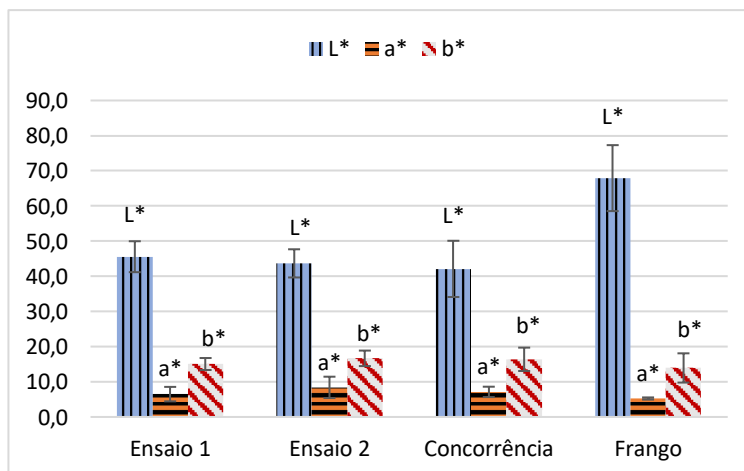


Tabela 3- Análise da cor após cozidas

Cor			
	L*	a*	b*
Ensaio 1	45,6	6,5	15,1
Ensaio 2	43,7	8,4	16,7
Concorrência	42,1	7,1	16,4
Frango	67,9	5,2	13,9

Gráfico 8- Representação gráfica da análise da cor (L*, a* e b*) após cozidas

Com a ação do calor (cozedura) todas as amostras apresentam valores diferentes de cor em relação à sua cor original em cru, como se pode observar no gráfico 8. O ensaio 1, 2 e a concorrência correspondentes aos análogos de carne em teste apresentaram uma descida no seu valor de luminosidade quando cozinhadas, ao contrário da amostra de frango que quando cozinhada apresentou um valor aproximadamente 82% superior face ao mesmo valor em cru.

Quando falamos dos valores de a^* e b^* todas as amostras apresentam um aumento no seu valor quando cozinhadas relativamente a quando analisadas cruas.

Podemos observar que, tanto em cru como quando cozinhadas, nenhuma das amostras do ensaio 1, ensaio 2 e da concorrência conseguiu replicar a cor pretendida que corresponde à cor do frango.

Quanto mais elevado for o valor de L^* mais clara será a amostra e podemos observar pela tabela 3 que o valor mais elevado corresponde ao frango e que as restantes amostras em teste têm um valor mais baixo que é típico de produtos mais escuros.

4.5. Análise do pH

A análise do valor de pH dos alimentos é importante para o controlo e segurança alimentar, para a preservação e para a estabilidade dos mesmos. Nos gráficos 9 e 10, podemos observar representados graficamente a média das leituras de pH em cru e cozidas respetivamente. No anexo II, na figura 42 é possível observar um exemplo dos dados recolhidos e tratados relativos ao pH.

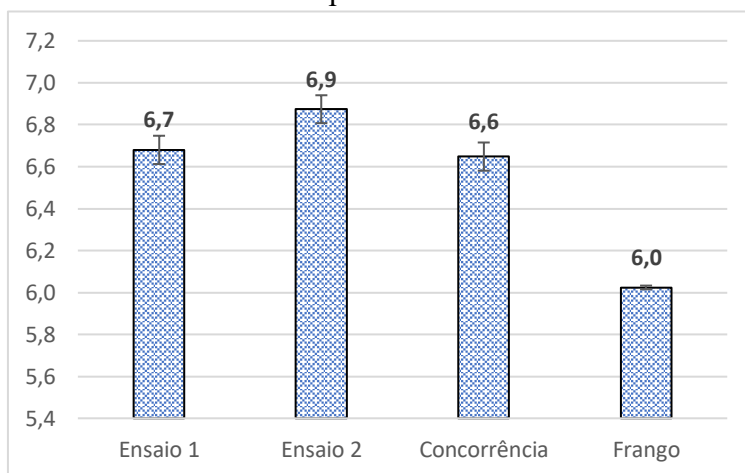


Gráfico 9- Representação gráfica da análise do pH em cru

Podemos verificar no gráfico 9 acima que os valores médios do pH analisado dos análogos de carne (ensaio 1, ensaio 2 e concorrência) estão perto da neutralidade. Apesar de mais baixo do que os restantes, o pH do frango apresenta um valor com pouca acidez, tendo um valor de 6.

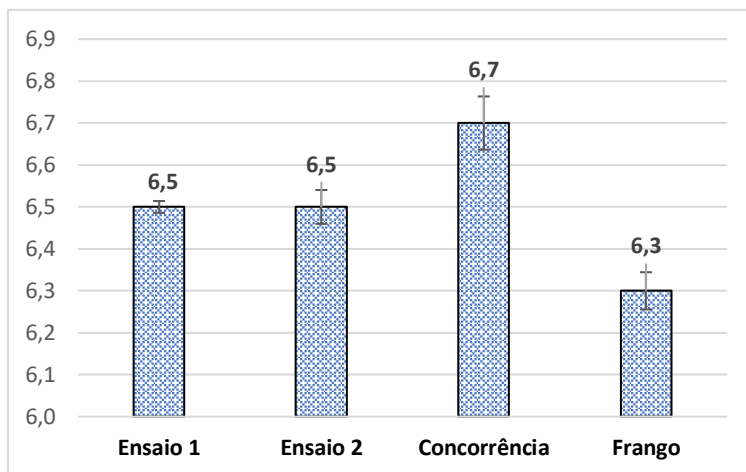


Gráfico 10- Representação gráfica da análise do pH cozidas

No gráfico 10 apresenta-se a média das leituras efetuadas às diferentes amostras após serem cozinhadas. Como podemos observar, as amostras relativas aos ensaios 1 e 2 apresentam um decréscimo do seu valor de pH assim que cozinhadas. Em contrapartida, as amostras correspondentes à concorrência e ao frango aumentaram o seu valor médio de pH. A alteração do pH pode ser causada pela formação de ácidos após o aquecimento de certos compostos presentes nas amostras e pelos efeitos das reações de Maillard que ocorrem entre aminoácidos e açúcares durante o cozimento, entre outros.

4.6. Análise do a_w

A atividade da água de um alimento é um parâmetro crítico na estabilidade, segurança e qualidade dos análogos de carne. Nos gráficos 10 e 11, é possível observar a média das análises efetuadas às diferentes amostras cruas e cozidas. No anexo II, na figura 42, é ainda possível observar um exemplo dos dados recolhidos e tratados relativos à a_w .

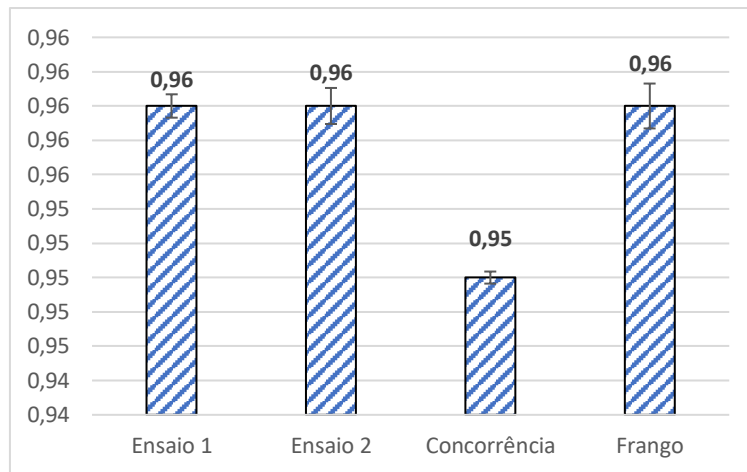


Gráfico 11- Representação gráfica da análise ao a_w em cru

No gráfico 11, podemos observar que a a_w das amostras relativas ao ensaio 1, ensaio 2 e ao frango apresentam o mesmo valor de a_w . A amostra da concorrência apresenta um valor inferior às restantes.

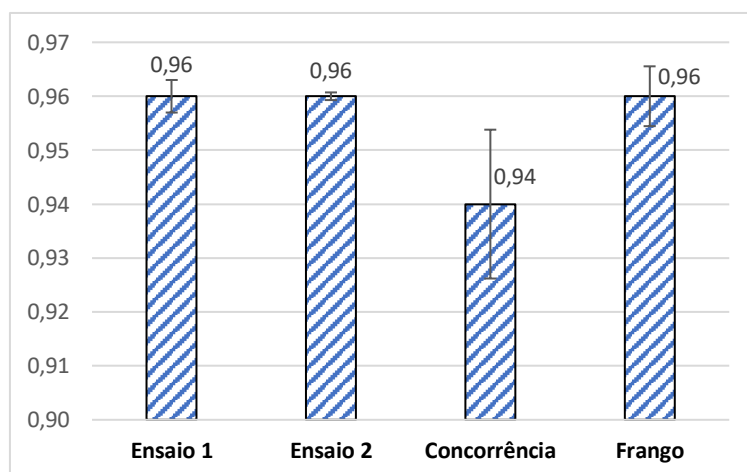


Gráfico 12- Representação gráfica da análise ao a_w cozidas

Após aplicar um tratamento térmico (cozedura), as amostras dos ensaios 1, 2 e de frango mantiveram os seus valores de a_w inalterados, como podemos observar no gráfico 12, mantendo o seu valor a 0,96, mostrando que a quantidade de água livre disponível nas amostras não foi significativamente alterada no processo de cozedura, ao contrário da amostra da concorrência que desceu 0,01 na sua a_w .

Tendo em conta os elevados valores de pH e a_w das amostras, é imperativo que os produtos sejam manuseados, embalados e armazenados com precaução de modo a evitar possíveis contaminações. Estes valores elevados de a_w e com um valor de pH

praticamente neutro tornam as amostras de análogos de carne num cenário favorável à proliferação de microrganismos como bactérias, fungos e leveduras que podem comprometer a segurança e qualidade do produto.

Realizar uma marinada pode beneficiar os produtos em vários aspectos. A nível da textura, esta pode tornar-se mais macia em consequência da hidratação da marinada. A nível de sabor, pode tornar-se um alimento mais aromatizado, uma vez que a marinada pode integrar ingredientes que contribuam para a alteração do sabor. Pode ainda influenciar a cor, dando luminosidade e tornando o análogo mais claro.

Por fim, a marinada pode ser constituída por um agente acidificante que permitirá reduzir o pH e assim estender o tempo de vida útil, diminuindo o risco de contaminações.

4.7. Análise ao tamanho do *cooling die*

Como é possível ver na figura 35 abaixo, o *cooling die* da NFC tem um comprimento de 300 cm. Na figura 36, podemos observar de frente a saída de produto no *cooling die*, estando representado a amarelo o produto arrefecido que sai do mesmo. A saída de produto no molde tem 10 cm de comprimento e 1 cm de altura.

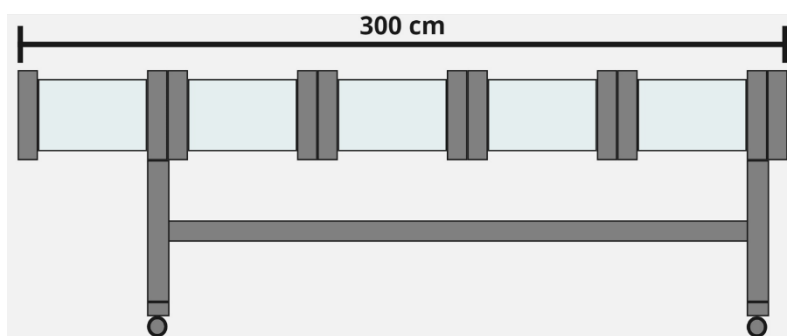


Figura 35- Representação ilustrativa do *cooling die* da NFC

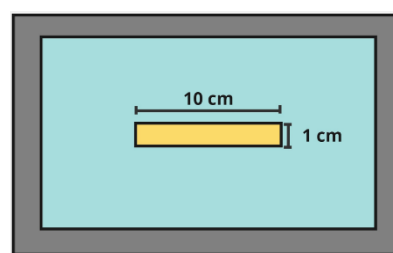


Figura 36- Representação ilustrativa do final do *cooling die* da NFC

Tal como referido anteriormente no tópico relativo ao *cooling die*, o comprimento do mesmo deve ser o mesmo que os fusos da extrusora. Tendo em conta que os fusos da extrusora têm 190 cm, esta é uma das condições ótimas de produção que é satisfeita. Para o favorecimento da formação de fibras, o *cooling die* deve ainda ser 60 a 140 vezes

superior à altura do molde. O molde da NFC tem 1 cm de altura como é possível observar na figura 36.

Calculando:

$$\text{Comprimento mínimo: } 1 \text{ cm} \times 60 = 60 \text{ cm}$$

$$\text{Comprimento máximo: } 1 \text{ cm} \times 140 = 140 \text{ cm}$$

Se a altura do *cooling die* fosse alterada de 1 cm para 2 cm de altura:

$$\text{Comprimento mínimo: } 2 \text{ cm} \times 60 = 120 \text{ cm}$$

$$\text{Comprimento máximo: } 2 \text{ cm} \times 140 = 280 \text{ cm}$$

Pode concluir-se que o *cooling die* da NFC tem um comprimento demasiado longo para que ocorra um correto favorecimento de fibras segundo Guyony et al. (2020). Este deveria ter então uma altura de 2 cm no molde e 280 cm de comprimento máximo para que a formação de fibras fosse considerada ótima. Se mal dimensionado, o *cooling die* pode representar um problema para o processo, podendo levar ao seu entupimento.

5. Outras atividades desenvolvidas

5.1. Estruturação por congelação

A fim de melhorar a textura, foram realizadas algumas pesquisas para se compreender que tipo de alterações poderiam ser realizadas. A estruturação por congelação consiste em congelar o produto saído da extrusora (Dekkers et al., 2018). Este processo resulta numa estrutura isotrópica unidirecional, ou seja, a formação de cristais de gelo ocorre de maneira uniforme em todas as direções (Singh et al., 2021). Este processo é agora utilizado pela NFC para simular a textura da carne animal.

5.2. Dias de teste

Ao longo de todo o período de estágio, foram realizados, no processo produtivo, inúmeros ensaios e, como tal, foi necessário criar um procedimento de prova das amostras. Habitualmente, a manhã era dedicada à produção e a tarde à análise das amostras produzidas, retiradas as conclusões e realização de pesquisa para melhoria ou com vista à realização de novos testes.

As amostras são preparadas em tabuleiros como é possível observar na figura 37, identificadas e, posteriormente, realiza-se a prova. Numa das partes do tabuleiro, é colocada a amostra em cru e, na parte da frente, a mesma amostra cozinhada. Desta forma, foi possível analisar as diversas texturas resultantes dos diferentes ensaios realizados, tanto em cru como cozidos. Realizaram-se estes testes sempre que existia uma produção com a equipa de desenvolvimento, de produção e o CEO, sendo registada a ordem de preferência de amostras e a respetiva justificação.



Figura 37- Prova dos ensaios realizados

5.3. Identificação da linha

A correta identificação da linha é importante para eliminar erros, organizar o trabalho de forma lógica e ver de forma rápida o que está a acontecer através de padrões claros em cada zona de trabalho. Como resultado, é possível identificar rapidamente condições anormais e estabelecer locais para determinadas funções e equipamentos.

Na figura 38 podemos observar um exemplo de identificação realizada no painel de controlo da misturadora.



Figura 38- Identificação de equipamentos

Na figura 39 podemos observar a identificação da zona de matérias-primas separando fisicamente a zona de alergénicos de não alergénicos. A vermelho nesta mesma figura podemos observar a identificação da zona da soja e de alergénios.



Figura 39- Identificação zona de matérias-primas

5.4. Criação de base de dados

Foi ainda criada uma base de dados em Excel de matéria-prima em stock e de produto pronto para expedição como podemos ver na figura 43 no anexo III de forma a quantificar a quantidade de mp disponível para a produção e a quantidade de produtos prontos para venda. Para ambas as bases de dados foram criadas macros em Excel que permitem inserir e retirar filtros para facilitar a sua utilização. Neste Excel é então possível observar a validade de cada produto, quantos dias faltam para o seu término (+ de 30 dias = cor verde, 10 dias = cor amarela e 0 dia = cor vermelha), lote e data de produção entre outros.

6. Conclusões e recomendações

O estágio curricular, integrado no plano de estudos do mestrado em Engenharia Alimentar, realizado na empresa New Foods Company, teve a duração de seis meses. Todas as tarefas que foram propostas para a realização deste estágio foram cumpridas com dedicação, interesse e espírito crítico.

A realização deste estágio permitiu investigar e aplicar conhecimentos relacionados com a produção de análogos de carne por extrusão húmida na empresa.

O primeiro passo consistiu em pesquisar bibliografia de forma a conhecer o impacto dos análogos de carne na alimentação e na economia mundial. Em simultâneo, foi possível analisar e observar em tempo real o funcionamento de uma extrusora à escala industrial.

Ao nível do produto, o objetivo passava por aproximar o mais possível o ensaio 2 ao bife de frango. Genericamente, a textura do ensaio 1 para o ensaio 2 apresentou melhorias, com exceção do parâmetro correspondente à dureza das amostras. Apesar de apresentar um aspeto mais fibrado que se aproxima da carne de frango, o ensaio 2 apresenta um elevado valor de dureza, afastando-se da dureza pretendida para um análogo de carne de frango.

A cor dos análogos correspondentes ao ensaio 1 e 2, apesar de próxima do bife de frango ainda apresenta uma cor mais escura do que o pretendido. Tendo em conta que com corantes se torna difícil tornar o produto mais claro, é necessário então encontrar fornecedores com matéria-prima mais pura, sendo espectável que esta origine um produto final mais claro (valor de L^* mais elevado à semelhança do bife de frango).

O *cooling die*, se tiver o comprimento adequado, favorecerá a criação de fibras no produto e permitirá o aclaramento da cor. Quanto maior for o tempo de permanência do produto no *cooling die*, mais tempo este terá para absorver a água sob a forma de vapor, o que invariavelmente acaba por escurecer o mesmo. O análogo de carne de frango desejava-se com uma cor clara, à semelhança da carne cozida e, portanto, se o *cooling die* estiver dimensionado para a extrusora permitirá que o produto perca água por evaporação e, consequentemente, fique mais claro.

Através da análise de pH realizada às diferentes amostras, percebeu-se que o valor tanto em cru como quando cozido do mesmo nos ensaios 1 e 2 e na amostra da concorrência apresenta um valor perto da neutralidade. O valor correspondente à a_w não teve qualquer alteração do ensaio 1 para o ensaio 2, tendo o mesmo valor de 0,95 de a_w que o frango.

As elevadas temperaturas praticadas ao longo do processo eliminam os microrganismos provenientes das matérias-primas. Contudo com um pH perto da neutralidade e uma a_w elevada, este torna-se o cenário ideal para o crescimento de microrganismos provenientes de possíveis contaminações cruzadas no manuseamento e embalagem do produto, sendo por isso importante manter as boas práticas de higiene e segurança.

A aplicação de uma marinada com agentes acidificantes e aromáticos, nos momentos antecedentes ao processo de embalagem, poderiam favorecer o sabor, textura, pH, cor e, conseqüentemente, o tempo de vida útil. Uma marinada poderá tornar o produto *juiciness* ou suculento, podendo assim reduzir o valor da dureza e aproximar-se da dureza esperada num bife de frango.

Replicar as condições observadas em artigos científicos foi desafiante, tendo em conta que os parâmetros não são de aplicação direta. Nos trabalhos reportados nesses mesmos artigos foram utilizadas extrusoras à escala piloto. O processo de *scale-up* é muito desafiante, pois surgem diferentes problemas ao longo deste processo.

Em suma, a aplicação de conhecimento resultante da pesquisa bibliográfica, bem como dos *brainstormings* recorrentes com a equipa da NFC resultou numa melhoria do produto e do desempenho da empresa, aumentando a sua produtividade, tornando-a assim mais competitiva.

7. Sugestões Futuras

A inovação é fundamental para o crescimento de uma empresa e, assim, ao longo do estágio, foram reunidas diversas sugestões, a aplicar futuramente, quer a nível da formulação do produto, quer no que diz respeito à eficiência processual.

Substituir a soja e o glúten por outros ingredientes que não constem na lista de alergénios, utilizando farinha de inseto como base proteica ou microalgas e adicionar vitaminas, que por norma estão associadas ao consumo de carne (ex: vitamina B12), para desta forma aproximar o valor nutricional dos análogos ao da carne são alguns exemplos apontados para a melhoria ao nível da formulação do produto.

Quanto ao ponto de vista processual, foram dados diversos exemplos de possibilidade de melhoria, nomeadamente, no que concerne ao estudo do impacto do tempo de armazenamento na cor, sabor e textura do produto final.

8. Referências

- Allan, M., & Mauer, L. J. (2016). Comparison of methods for determining the deliquescence points of single crystalline ingredients and blends. *Food Chemistry*, *195*, 29–38. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2015.05.042>
- Boukid, F. (2021). Plant-based meat analogues: from niche to mainstream. *European Food Research and Technology*, *27* (2), 297–308. <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03630-9>
- Chen, Y. P., Feng, X., Blank, I., & Liu, Y. (2022). Strategies to improve meat-like properties of meat analogs meeting consumers' expectations. *Biomaterials*, *287*. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2022.121648>
- Dekkers, B. L., Boom, R. M., & van der Goot, A. J. (2018). Structuring processes for meat analogues. *Trends in Food Science and Technology* *81*, 25–36). <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.08.011>
- Ek, P., & Ganjyal, G. M. (2020). Basics of extrusion processing. *Extrusion Cooking* (pp. 1–28). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815360-4.00001-8>
- Filho, H. (2017, October 16). *Qualidadeonline's Blog*. O Perfil Da Textura. <https://qualidadeonline.wordpress.com/2017/10/16/o-perfil-de-textura/>
- Fresán, U., Marrin, D. L., Mejia, M. A., & Sabaté, J. (2019). Water footprint of meat analogs: Selected indicators according to life cycle assessment. *Water (Switzerland)*, *11*(4). <https://doi.org/10.3390/w11040728>
- Guy, R. C. E. (1994). Raw Materials for Extrusion Cooking Processes. *In The Technology of Extrusion Cooking*, 52–72.
- Guyony, V., Fayolle, F., & Jury, V. (2022). High moisture extrusion of vegetable proteins for making fibrous meat analogs: A review. *Food Reviews International*. Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.2023816>
- He, J., Evans, N. M., Liu, H., & Shao, S. (2020). A review of research on plant-based meat alternatives: Driving forces, history, manufacturing, and consumer attitudes. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *19*(5), 2639–2656. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12610>

- Kantanen, K., Oksanen, A., Edelmann, M., Suhonen, H., Sontag-Strohm, T., Piironen, V., Diaz, J. M. R., & Jouppila, K. (2022). Physical Properties of Extrudates with Fibrous Structures Made of Faba Bean Protein Ingredients Using High Moisture Extrusion. *Foods*, *11*(9). <https://doi.org/10.3390/foods11091280>
- Kendler, C., Duchardt, A., Karbstein, H. P., & Emin, M. A. (2021). Effect of oil content and oil addition point on the extrusion processing of wheat gluten-based meat analogues. *Foods*, *10*(4). <https://doi.org/10.3390/foods10040697>
- Kołodziejczak, K., Onopiuk, A., Szpicer, A., & Poltorak, A. (2022). Meat Analogues in the Perspective of Recent Scientific Research: A Review. In *Foods*, *11*. <https://doi.org/10.3390/foods11010105>
- Kyriakopoulou, K., Dekkers, B., & van der Goot, A. J. (2019). Plant-Based Meat Analogues. *Sustainable Meat Production and Processing*, 103–126. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814874-7.00006-7>
- Lantern Papers. (2022). *The Green Revolution Portugal*. <https://www.lantern.es/lanternpapers-eng/the-green-revolution-portugal>
- Lin, S., Huff, H. E., & Hsieh, F. (2002). Extrusion process parameters, sensory characteristics, and structural properties of a high moisture soy protein meat analog. *Journal of Food Science*, *67*(3), 1066–1072. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb09454.x>
- Mian N. Riaz. (2000). *Extruders in Food Applications* (M. N. Riaz, Ed.; 1st Edition). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781482278859>
- New Foods Company. (n.d.). Retrieved August 26, 2023, from <https://newfoods.pt/wp-content/uploads/2022/07/newfoods-ppt.pdf>
- Plattner, B. (2020, June). Extrusion Techniques for Meat Analogues. *Cereal Foods World*, *65*(4). <https://doi.org/10.1094/cfw-65-4-0043>
- Rysová, J., & Šmídová, Z. (2021). Effect of salt content reduction on food processing technology. In *Foods*, *10*, (9). <https://doi.org/10.3390/foods10092237>

- Ryu, G.-H. (2020). Extrusion cooking of high-moisture meat analogues. In *Extrusion Cooking*, 205–224. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815360-4.00007-9>
- Sadler, M. J. (2004). Meat alternatives - Market developments and health benefits. *Trends in Food Science and Technology*, 15(5), 250–260. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.09.003>
- Sakadevan, K., & Nguyen, M. L. (2017). Livestock Production and Its Impact on Nutrient Pollution and Greenhouse Gas Emissions. *Advances in Agronomy*, 141, 147–184. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2016.10.002>
- Schmid, E. M., Farahnaky, A., Adhikari, B., & Torley, P. J. (2022). High moisture extrusion cooking of meat analogs: A review of mechanisms of protein texturization. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21, (6), 4573–4609. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13030>
- Shurtleff, W., & Aoyagi, Akiko. (2020). *History of extrusion cooking and extruders (1938-2020) : extensively annotated bibliography and sourcebook*. Soyinfo Center.
- Singh, B., Sharma, C., & Sharma, S. (2017). *FUNDAMENTALS OF EXTRUSION PROCESSING*.
- Singh, M., Trivedi, N., Enamala, M. K., Kuppam, C., Parikh, P., Nikolova, M. P., & Chavali, M. (2021). Plant-based meat analogue (PBMA) as a sustainable food: a concise review. *European Food Research and Technology*, 247, (10), 2499–2526. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03810-1>
- Sper Scientific Direct*. (2021, January 5). The Importance of PH in Food Quality and Production. <https://sperdirect.com/blogs/news/the-importance-of-ph-in-food-quality-and-production>
- Taber Extrusions. (2018, November 8). *A Brief History of Aluminum Extrusions and How They Will Shape the Future*. Taber Extrusions. <https://taberextrusions.com/a-brief-history-of-aluminum-extrusions/>
- Wang, Y., Tuccillo, F., Lampi, A. M., Knaapila, A., Pulkkinen, M., Kariluoto, S., Coda, R., Edelman, M., Jouppila, K., Sandell, M., Piironen, V., & Katina, K. (2022). Flavor challenges in extruded plant-based meat alternatives: A review.

Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 21(3), 2898–2929.
<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12964>

Wild, F. (2016). Manufacture of Meat Analogues Through High Moisture Extrusion. *Reference Module in Food Science*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.03281-9>

Xia, S., Song, J., Ma, C., Hao, T., Hou, Y., Shen, S., Li, K., Ma, L., Xue, Y., Xue, C., & Jiang, X. (2023). Effects of moisture content and processing temperature on the strength and orientation regulation of fibrous structures in meat analogues. *Food Hydrocolloids*, 145. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109113>

Zahari, I., Östbring, K., Purhagen, J. K., & Rayner, M. (2022). Plant-Based Meat Analogues from Alternative Protein: A Systematic Literature Review. *Foods*, 11, (18). <https://doi.org/10.3390/foods11182870>

Zhang, J., Chen, Q., Kaplan, D. L., & Wang, Q. (2022). High-moisture extruded protein fiber formation toward plant-based meat substitutes applications: Science, technology, and prospect. *Trends in Food Science and Technology*, 128, 202–216. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.08.008>

Anexo I- Outputs recolhidos

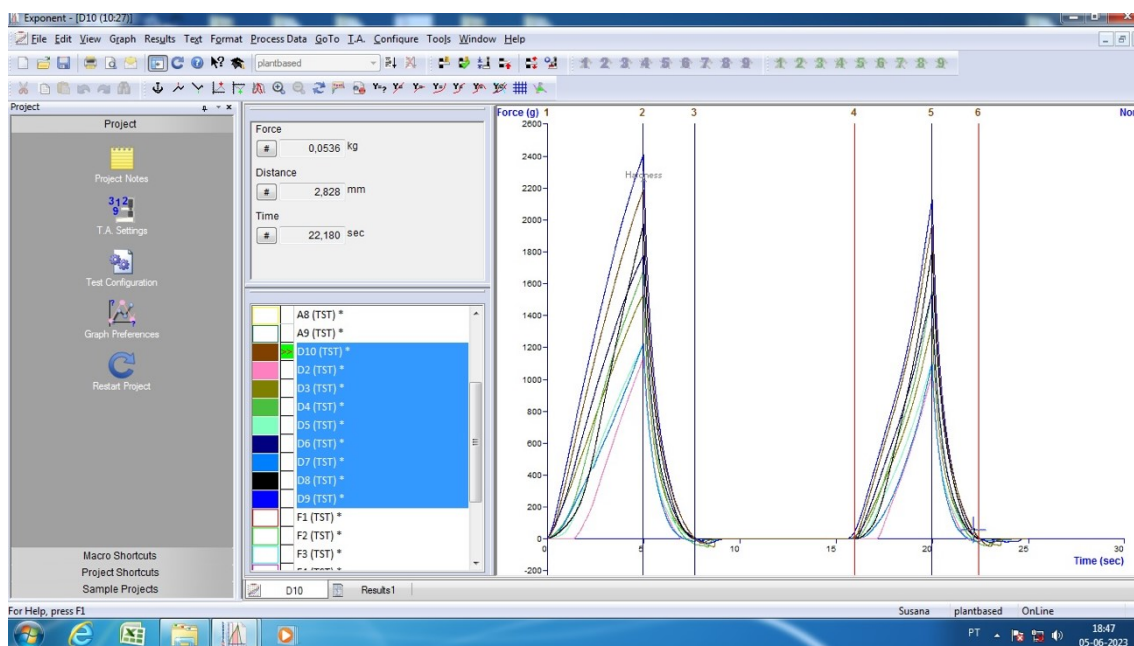


Figura 40- Exemplo de um output em gráfico do texturómetro

1	A	B	D	E	F	G	H	I	J
2	Test ID	Batch	Hardness	Adhesiveness	resilience	cohesion	springiness	gumminess	Chewiness
3			g	g.sec	%	%	%		
4			Hardness	Adhesiveness					
5	Start Frango Cru	Cru							
6	Cru01	Cru	686,538	-29,083	29,036	45,764	59,700	31418,613	18756,912
7	Cru02	Cru	1000,152	-73,277	15,774	31,093	67,100	31097,567	20866,467
8	Cru03	Cru	1009,487	-52,894	26,207	43,482	65,900	43894,013	28926,155
9	Cru04	Cru	675,300	-7,942	27,630	46,458	60,400	31373,167	18949,393
10	Cru06	Cru	758,470	-30,248	27,823	44,589	57,000	33819,143	19276,912
11	Cru07	Cru	875,944	-42,144	29,207	52,325	72,000	45834,135	33000,577
12	Cru09	Cru	938,325	-25,128	16,139	32,158	97,100	30174,994	29299,919
13	End Frango Cru	Cru							
14	Average:	Cru (F)	849,174	-37,245	24,545	42,267	68,457	35373,090	24153,762
15	S.D.	Cru (F)	143	21	6	8	14	6600	6032
16	Coef. of Variation	Cru (F)	16,797	-56,832	24,247	18,450	19,906	18,659	24,974
17									

Figura 41- Exemplo de um output em tabela do texturómetro

Tabela 4- Compilação de todos os dados tratados relativos ao teste TPA

	Dureza (g)	Adesividade (g.sec)	Resiliência (%)	Coesão (%)	Elasticidade (%)	Gomosidade	Mastigabilidade
1-Ensaio 1 Cru	1166 ± 148	-35 ± 36	30 ± 3	71 ± 4	87 ± 5	82557 ± 9299	72146 ± 11398
2- Ensaio 2 Cru	1659 ± 363	-23 ± 18	28 ± 4	67 ± 5	81 ± 3	111396 ± 27199	89577 ± 19833
3- Concorrência Cru	1261 ± 379	-1 ± 0,5	41 ± 4	75 ± 4	86 ± 3	94404 ± 29686	81785 ± 28170
4- Frango Cru	849 ± 143	-37 ± 21	25 ± 6	42 ± 8	68 ± 14	35373 ± 6600	24154 ± 6032
5- Ensaio 1 Cozido	1124 ± 185	-11 ± 12	25 ± 4	62 ± 5	86 ± 5	70313 ± 15030	60559 ± 13084
6- Ensaio 2 Cozido	2160 ± 270	-9 ± 8	30 ± 3	72 ± 7	86 ± 6	154488 ± 23168	134270 ± 27599
7- Concorrência Cozido	827 ± 370	-0,06 ± 0,01	42 ± 2	78 ± 3	82 ± 6	64390 ± 28379	53292 ± 25510
8- Frango Cozido	747 ± 96	-3 ± 4	32 ± 4	69 ± 5	77 ± 4	51523 ± 6754	39761 ± 4820

Anexo II- Dados recolhidos

Ensaio 1 COZIDO							
Cor				pH		a _w	
	L	a	b				
1	41,3	9,99	16,77	1	6,52	1	0,9572
2	49,6	5,41	14,51	2	6,54	2	0,9621
3	49,85	6,67	16,86	3	6,52	3	0,9566
4	46,44	5,42	14,15	4	6,55	Média	0,958633
5	40,68	4,97	12,99	5	6,52	Desvio Padrão	0,003017
Média	45,574	6,492	15,056	Média	6,53		
Desvio Padrão	4,4006	2,055729	1,701435	Desvio Padrão	0,014142		

Figura 42- Exemplo dos dados recolhidos e tratados relativos à cor, pH e a_w

Anexo III- Outras atividades desenvolvidas

LIMPAR FILTROS		FRANGO	VACA	PORCO	18/03/2023 16:03				
Tipo de Produto	Tipo de Corte	Peso emb.	Data de produção	Lote	Validade	Unid	Dias Limite	Valor em Stock	
Frango	Picado	250 g	06/02/2023	L2302061M010101	23/03/2023	31	4	1 713,66 €	
Frango	Picado	250 g	02/02/2023	L2302021M010101	19/03/2023	56	0		
Frango	Picado	250 g	26/02/2023	L2302161M010101	02/04/2023	25	14		
Frango	Bife	250 g	02/02/2023	L2302021M010301	19/03/2023	56	0		
Frango	Bife	250 g	06/02/2023	L2302061M010301	23/03/2023	40	4		
Frango	Bife	250 g	16/02/2023	L2302161M010301	02/04/2023	30	14		
Frango	Pedaços	250 g	02/02/2023	L2302021M010201	19/03/2023	9	0		
Frango	Pedaços	250 g	06/02/2023	L2302061M010201	23/03/2023	40	4		
Frango	Pedaços	250 g	16/02/2023	L2302161M010201	02/04/2023	20	14		
Vaca	Picado	250 g	15/12/2022	L2212151M030101	22/03/2023	4	3		
Vaca	Picado	250 g	02/02/2023	L2302021M030101	19/03/2023	40	0		
Vaca	Bife	250 g	02/02/2023	L2302021M030301	19/03/2023	26	0		
Vaca	Pedaços	250 g	02/02/2023	L2302021M030201	19/03/2023	29	0		
Vaca	Pedaços	250 g	14/12/2022	L2212151M030201	23/03/2023	8	4		
Porco	Picado	250 g	02/02/2023	L2302021M020101	24/03/2023	43	5		
Porco	Bife	250 g	02/02/2023	L2302021M020301	25/03/2023	33	6		
Porco	Pedaços	250 g	02/02/2023	L2302021M020201	26/03/2023	17	7		
Total						507			

Figura 43- Exemplo de base de dados