

**JOANA ISABEL PINTO SANTOS**

**BIOCONVERSÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS  
PELA LARVA DA MOSCA SOLDADO NEGRO E  
AS SUAS APLICAÇÕES NA ALIMENTAÇÃO  
ANIMAL E HUMANA**

**Orientadora:** Professora Doutora Sofia Van Harten

**Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias  
Faculdade de Medicina Veterinária**

**Lisboa**

**2022**

**JOANA ISABEL PINTO SANTOS**

**BIOCONVERSÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS  
PELA LARVA DA MOSCA SOLDADO NEGRO E  
AS SUAS APLICAÇÕES NA ALIMENTAÇÃO  
ANIMAL E HUMANA**

Dissertação defendida em provas públicas para a obtenção do Grau de Mestre em Medicina Veterinária no Curso de Mestrado Integrado em Medicina Veterinária conferido pela Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, no dia 17/03/2022, com o despacho de Nomeação de Júri nº 48/2022, com a seguinte composição de Júri:

Presidente: Prof<sup>ª</sup>. Doutora Margarida Alves

Arguente: Prof<sup>ª</sup>. Doutora Cristina Bressan

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Doutora Sofia Van Harten

**Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias**

**Faculdade de Medicina Veterinária**

**Lisboa**

**2022**

*It's believing in those dreams and  
facing our fears head on that allows  
us to live our lives beyond our limits.*

*Amy Purdy*

## Agradecimentos

À minha instituição de ensino Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias e a todos os meus professores, pelo acompanhamento e por todas as aprendizagens e experiências vivenciadas ao longo deste percurso.

À empresa Mendes Gonçalves e a todos os seus colaboradores por me terem integrado e por estarem sempre disponíveis para ajudar durante todo o meu estágio.

À empresa EntoGreen, que durante todo o estágio foi uma parceria incrível, que sempre me acolheu e contribuiu de forma incansável para a concretização do meu projeto na empresa Mendes Gonçalves.

À empresa Orivárzea, que gentilmente cedeu um dos seus subprodutos que foi essencial na experiência.

À minha orientadora, Doutora Professora Sofia van Harten que me acompanhou e orientou na fase final da dissertação, esclarecendo todas as minhas dúvidas.

À minha orientadora da empresa Mendes Gonçalves, Rita Melo que contribuiu na minha integração e foi essencial para o desenvolvimento do projeto.

Ao Doutor Daniel Murta, que foi o meu orientador no início da dissertação e que sempre esteve disponível para me ajudar durante o estágio e esclarecer todas as dúvidas.

Ao Doutor Ivã Guidini, que foi essencial na parte teórica da minha dissertação, esteve sempre disponível para esclarecer as minhas dúvidas.

Ao Engenheiro Rui Nunes que me ajudou com os componentes para a elaboração das dietas.

À Maria Machado, que sempre esteve disponível para me ajudar, contribuindo de forma incansável para a realização do meu projeto.

Às minha colegas de estágio, Carolina Canadas e Carolina Ligeiro, que me acompanharam nesta fase.

Às amigas da faculdade que ficam para a vida, Ana Margarida, Ana Rita, Jéssica Correia, Joana Pacheco e Patrícia Roças.

Às minhas amigas de sempre e de toda a hora, Inês Malcata, Raquel Mariano e Patrícia Rodrigues, que sempre estiveram lá para me ouvir e para me ajudar a ultrapassar esta fase.

À minha amiga Alexandrina, que por mais que o tempo passe a nossa amizade permanece igual, que me compreende e que está sempre disposta a ajudar.

Aos meus avós, que estão muito orgulhosos de ver a sua neta conseguir alcançar este objetivo tão desejado.

À minha Madrinha, Nando e Mina, que sonham os meus sonhos.

E acima de tudo, aos meus pais porque nada disto seria possível sem eles, sempre estiveram aqui para mim, ao longo deste grande percurso.

## Resumo

As larvas da Mosca Soldado Negro (BSF) podem ser uma alternativa promissora para dois desafios globais crescentes, a gestão de resíduos orgânicos e a procura por fontes de alimentação mais sustentáveis.

Os objetivos deste estudo consistiram em valorizar os subprodutos da indústria alimentar, obter um ingrediente para alimentação animal e ainda verificar a influência da dieta no peso, comprimento e composição nutricional das larvas. Durante 14 dias, foram testadas cinco dietas, com várias combinações de subprodutos, perfazendo um total de 25 unidades experimentais, com as larvas inoculadas no início do estudo. Os subprodutos utilizados foram a couve portuguesa, farelo de arroz, resíduo da fermentação de figos e casca/raiz de alho. Foram avaliados parâmetros como o peso, comprimento das larvas e temperatura das dietas.

Os resultados demonstraram que a dieta influenciou significativamente o peso e o comprimento médio das larvas. Em relação à composição nutricional das larvas, o teor de proteína não foi alterado pela dieta fornecida, mas o teor de gordura e cinzas da dieta influenciou diretamente a composição das larvas. Adicionalmente, observou-se que o teor de fibra das dietas não foi um fator limitante quando estas se encontravam em granulometrias de pequenas dimensões.

Verificou-se neste estudo que as larvas da BSF podem ser uma ferramenta útil para valorizar subprodutos, promovendo uma economia circular mais sustentável.

**Palavras-Chave:** BSF, bioconversão, resíduos orgânicos, alimentação animal, alimentação humana.

## **Abstract**

Black soldier fly (BSF) larvae may be a promising alternative for two growing global challenges, organic waste management and the search for more sustainable food sources.

The objectives of this study were to valorize the by-products of the food industry, to obtain an ingredient for animal feed, and also to verify the influence of the diet on weight, length and nutritional composition of the larvae. For 14 days, five diets were tested, with various combinations of by-products, totaling 25 experimental units, with the larvae inoculated at the beginning of the study. The by-products used were Portuguese cabbage, rice bran, fig fermentation residue, and garlic peel/root. Parameters such as weight, length of larvae and temperature of the diets were evaluated.

The results showed that the diet significantly influenced the average weight and length of the larvae. Regarding the nutritional composition of the larvae, protein content was not altered by the diet provided, but fat and ash content influenced directly the composition of the larvae. Additionally, it was observed that fiber content of the diets was not a limiting factor when diets were in small particle sizes.

It was found in this study that BSF larvae can be a useful tool to valorize by-products, promoting a more sustainable circular economy.

**Keywords:** BSF, bioconversion, organic waste, animal feed, human food.

## Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos

AG - Ácidos gordos

BSF- Mosca Soldado Negro (*Black soldier fly*)

C - Carbono

CF- Couve portuguesa e farelo de arroz

CFA- Couve portuguesa, farelo de arroz e cascas/raízes de alho

CFF- Couve portuguesa, resíduo da fermentação de figos e farelo de arroz

Cm - Centímetro

CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono

Cs.Al – Cascas de alho

Cv.P - Couve portuguesa

EFSA - *European Food Safety Authority*

*Et al.* – E outros, da locução latina “et alli”

EUA – Estados Unidos da América

UE – União Europeia

FAO- *Food and Agriculture Organization of the United Nations*

Fr.A - Farelo de arroz

FF- Resíduo da fermentação de figos e farelo de arroz

HC - Hidratos de carbono

Hr – Humidade relativa

g- Gramas

GB- Gordura bruta

GEE - Gases com efeito de estufa

INIAV - Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária

Kg – Quilograma

ln- Logaritmo

m<sup>2</sup> – Metros quadrados

MS – Matéria seca

N - Azoto

nd- Não disponível

ODS- Objetivos de desenvolvimento sustentável

PB- Proteína bruta

Pf- Peso final

Pi- Peso inicial

Rs.F - Resíduo da fermentação de figos

spp.- Várias espécies (*several species*)

TCE - Taxa de crescimento específico

W- *watts*

WHO- *World Health Organization*

°C- Grau Celsius

% - Percentagem

® – Marca registada

“+” - Mais

“-“ - Menos

“±” - Mais ou menos

≤ - Menor ou igual

## Índice Geral

<b>I. Descrição da Casuística de Estágio .....</b>	<b>13</b>
<b>II. Introdução .....</b>	<b>15</b>
1. Desafios ambientais e fontes alternativas de alimentação .....	15
1.1. Insetos como fonte alternativa de alimentação.....	16
2. Problemática dos Resíduos Orgânicos .....	18
3. Gestão de resíduos orgânicos .....	21
4. Valorização de resíduos orgânicos.....	22
5. Mosca Soldado Negro .....	25
5.1. Descrição e ciclo de vida.....	25
5.2. Larva da Mosca Soldado Negro .....	28
5.2.1. Alimentação das larvas Mosca Soldado Negro .....	28
5.2.2. Parâmetros Ambientais.....	30
6. Aplicações da larva Mosca Soldado Negro .....	31
6.1. Valor nutricional das larvas Mosca Soldado Negro.....	32
6.1.1. Matéria Seca .....	32
6.1.2. Proteína.....	32
6.1.3. Gordura.....	32
6.1.4. Minerais e Aminoácidos .....	33
6.1.5. Quitina .....	33
6.2. Larva da Mosca Soldado Negro na Alimentação Animal.....	34
6.3. Larva da Mosca Soldado Negro na Alimentação Humana .....	35
7. Contextualização do estudo .....	36
<b>III. Material e Métodos .....</b>	<b>37</b>
1. Descrição do local do estudo .....	37
2. Unidade Piloto.....	37

3. Insetos e dietas experimentais.....	38
4. Delineamento experimental .....	39
5. Amostragens e Análise Nutricional .....	40
6. Análise Estatística.....	41
<b>IV. Resultados .....</b>	<b>42</b>
1. Condições ambientais na unidade piloto e nos substratos .....	42
2. Crescimento das larvas .....	43
3. Conversão de subprodutos .....	46
4. Composição Nutricional das larvas .....	47
4.1. Matéria Seca.....	47
4.2. Proteína.....	47
4.3. Gordura.....	47
4.3.1. Perfil de ácidos gordos .....	47
4.4. Fibras.....	48
4.5. Hidratos de carbono .....	48
4.6. Cinzas .....	48
5. Gestão de subprodutos na unidade piloto .....	49
<b>V. Discussão.....</b>	<b>50</b>
<b>VI. Conclusões.....</b>	<b>58</b>
<b>VII. Perspetivas futuras .....</b>	<b>59</b>
<b>VIII. Referências Bibliográficas .....</b>	<b>60</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>I</b>
Apêndice I- Larvas alimentadas com a dieta CF.....	II
Apêndice II- Larvas alimentadas com a dieta CFA.....	III
Apêndice III – Produto de teste “Húmus com vários níveis de inclusão de farinha de BSF” ..	IV
Apêndice IV- Produto de teste” Creme de frutos secos e mel com vários níveis de inclusão de farinha de BSF” .....	V

## Índice de Tabelas

<b>Tabela 1-</b> Comparação da proteína bruta e gordura bruta da larva BSF com fontes de proteína convencionais. ....	31
<b>Tabela 2-</b> Conteúdo em proteína bruta e gordura bruta da pré-pupa de BSF alimentadas com diferentes substratos. ....	34
<b>Tabela 3-</b> Caracterização nutricional dos subprodutos utilizados na experiência. ....	39
<b>Tabela 4-</b> Composição nutricional das dietas experimentais.....	40
<b>Tabela 5-</b> Composição nutricional das larvas alimentadas com as dietas experimentais.....	47
<b>Tabela 6-</b> Composição em ácidos gordos presentes nas larvas alimentadas com as dietas experimentais.....	48

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> - Benefícios ambientais dos insetos quando comparados com animais de pecuária convencional.....	18
<b>Figura 2</b> - Economia circular sustentável .....	24
<b>Figura 3</b> - Características das larvas de BSF .....	25
<b>Figura 4</b> - Esquema do ciclo de vida da BSF. ....	26
<b>Figura 5</b> - Primeiros 5 instares larvares, seguido do último instar, a pré-pupa e pupa da BSF, da esquerda para a direita. ....	27
<b>Figura 6</b> - Sala onde foi instalada a unidade piloto de tratamento de subprodutos com as larvas BSF .....	37
<b>Figura 7</b> - Subprodutos utilizados na experiência. ....	38
<b>Figura 8</b> - Dietas convertidas pelas larvas da BSF no final da experiência. ....	46

## Índice de Gráficos

<b>Gráfico 1</b> - Temperatura (°C) e humidade relativa do ar (%) no interior da sala da unidade piloto ao longo da experiência .....	42
<b>Gráfico 2</b> - Temperatura média das dietas (substratos) (°C) nas caixas experimentais durante a experiência.....	43
<b>Gráfico 3</b> - Peso médio/larva (mg) no fim da experiência.....	44
<b>Gráfico 4</b> - Comprimento médio/larva (mm) no final da experiência .....	44
<b>Gráfico 5</b> - Peso médio (mg) larvar ao longo da experiência .....	45

## I. Descrição da Casuística de Estágio

O estágio decorreu na empresa Mendes Gonçalves, na vila da Golegã entre 14 de setembro de 2020 e 14 de fevereiro de 2021. Esta empresa foi fundada em 1982 e dedica-se à produção de vinagres, molhos e temperos. Gera em média 81.000 kg de resíduos anuais e procura inovar e melhorar os seus processos de forma contínua para alcançar maior sustentabilidade, surgindo, desta forma, a parceria com a empresa EntoGreen. A EntoGreen, Ingredient Odyssey SA é uma empresa de produção de proteína animal e fertilizantes orgânicos, através da reutilização e valorização de subprodutos da indústria agroalimentar. Para isso, utiliza as larvas da Mosca Soldado Negro (BSF), *Hermetia illucens* L. (1758), para realizar a bioconversão dos subprodutos, contribuindo assim para sustentabilidade do setor agroalimentar.

O principal objetivo do estágio foi implementar na empresa Mendes Gonçalves uma unidade piloto de produção de larvas BSF para converter os nutrientes dos resíduos da sua indústria em proteína animal e fertilizante orgânico. De forma a obter conhecimento sobre o processo de digestão de resíduos por parte das larvas, a autora iniciou o seu estágio na unidade de pesquisa piloto, no Pólo de Santarém do Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária (INIAV) durante um mês e meio, duas vezes por semana. Neste período foi possível adquirir conhecimentos sobre as técnicas de produção da BSF, como a montagem de dispositivos para deposição dos ovos, recolha de ovos e posterior incubação dos mesmos, caixas de biodigestão de larvas, processos de peneiração e preparação de pupas para transformação em moscas, assim como as condições ambientais e infraestruturas necessárias para cada etapa dos processos. Para além da aprendizagem de técnicas essenciais para posterior implementação da unidade piloto na empresa Mendes Gonçalves, a autora colaborou com as experiências da própria empresa e de outras estagiárias da EntoGreen, Carolina Canadas e Carolina Ligeiro. Durante este período foi possível acompanhar ensaios de biodigestão de larvas BSF com a ração formulada pela empresa (mistura de cereais) e subprodutos da indústria agroalimentar, como por exemplo, repiso de tomate e batata-doce, e ainda efluentes.

Para finalizar a construção da sala onde seria implementada a unidade piloto, a autora elaborou uma lista de necessidades de modo a proporcionar as condições necessárias ao início do projeto. Outros pontos importantes no estágio da autora foram a realização de um levantamento dos subprodutos gerados pela empresa e a disponibilidade dos mesmos para

utilização, e o envio de amostras para análise físico-química, para posterior elaboração das dietas utilizadas na presente dissertação.

Durante a construção da unidade piloto, a autora utilizou outra sala para fazer alguns ensaios prévios com uma mistura de cereais e subprodutos da empresa. Aquando da finalização do espaço a utilizar, foi iniciado o projeto da unidade piloto, começando por preparar as dietas estudadas nesta dissertação. No dia anterior ao início de cada ensaio, foi realizada a preparação das dietas e no dia do ensaio recolheu as larvas juvenis, com 5 dias de vida, cedidas pela EntoGreen para realizar a conversão.

Após a bioconversão, as larvas juntamente com o fertilizante orgânico serviram para alimentação animal e nutrição das terras, respetivamente. Os animais alimentados foram galinhas autóctones portuguesas, nomeadamente, de raça pedrês portuguesa, preta lusitânica, branca portuguesa e amarela. Estas foram criadas em regime de produção extensiva, ao ar livre com a alimentação baseada em ervas, hortaliças, frutas e outros legumes produzidos na agrofloresta da empresa, e também ração biológica.

Uma vez que a autora estava inserida numa empresa de produtos alimentares, surgiu a ideia de criar receitas para consumo humano. Desta forma, realizou alguns testes e criou duas receitas distintas com várias inclusões de farinha de BSF. Inicialmente desidratou as larvas durante 35 horas a 58°C, vigiadas em períodos regulares até obtenção de um peso constante. As duas receitas confeccionadas foram “Húmus” e “Creme de frutos secos e mel” com diferentes inclusões de farinha de larva BSF, 0 %, 0,5 %, 1%, 2% e 3%.

A autora também teve oportunidade de assistir ao “Planetiers World Gathering 2020- o maior evento de inovação sustentável” realizado no Altice Arena entre 22 e 23 de outubro, via online e ao evento gastronómico online do chef Marco Gomes no dia 29 de outubro de 2020.

Para além do projeto da unidade piloto, a autora colaborou com outros projetos da empresa Mendes Gonçalves.

## II. Introdução

### 1. Desafios ambientais e fontes alternativas de alimentação

A população mundial atingiu 7,7 biliões de habitantes em 2019 e prevê-se que atinja 9,7 biliões em 2050, podendo chegar aos 10,9 biliões em 2100. Os países da África Subsariana correspondem a mais de metade do crescimento da população entre 2019 e 2050 (Nações Unidas, 2019). Com o rápido crescimento populacional, desenvolvimento económico, urbanização e mudanças de hábitos alimentares, sobretudo em países de baixo e médio rendimento, satisfazer a procura de alimentos e gerir os resíduos orgânicos vai exercer uma enorme pressão sobre os recursos naturais. O crescimento da capacidade económica em países de baixo e médio rendimento vai promover uma transição alimentar para um maior consumo de carne, frutas e vegetais, em relação ao de cereais, o que exigirá mudanças proporcionais na produção e uma maior pressão sobre os recursos naturais (*Food and Agriculture Organization of the United Nations* [FAO], 2017b).

A produção alimentar terá de aumentar dos atuais 8,4 biliões de toneladas para aproximadamente 13,5 biliões de toneladas por ano, para suprimir a demanda mundial até 2050 (FAO, 2017a). Projeta-se que a produção de cereais, tanto para alimentação humana e animal terá de aumentar de 2,1 biliões de toneladas em 2005/2007 para 3 biliões de toneladas em 2050, o que corresponde a um aumento de 43 % (Alexandratos & Bruinsma, 2012). Por outro lado, a procura de outros produtos alimentares (carnes, produtos lácteos, pescados da pesca extrativa e da aquacultura e óleos vegetais) é espectável que aumente a um ritmo mais acelerado do que a procura de cereais, visto que o desenvolvimento económico resulta num maior consumo de proteína animal (Pinotti *et al.*, 2019).

A produção animal é responsável por cerca de 70% da utilização das terras agrícolas, e com a procura global de produtos de pecuária, prevista para mais do dobro entre 2000 e 2050 (de 229 milhões de toneladas para 465 milhões de toneladas), a satisfação desta procura exigirá soluções inovadoras, como por exemplo, o uso de proteínas alternativas como os insetos. Além disto, o desenvolvimento do setor pecuário é fortemente influenciado pela disponibilidade de fontes de alimentação convencionais, especialmente fontes de proteína como o farelo de soja e farinha de peixe (van Huis *et al.*, 2013).

A produção de soja ocupa uma grande percentagem de terra arável, particularmente nas zonas tropicais. O modo de uso da terra associado à deflorestação e o transporte

intercontinental do produto final elevam as emissões de gases de efeito de estufa (GEE), aumentando as pressões ambientais (Houghton *et al.*, 2012). Para além do impacto ambiental negativo, os recursos proteicos convencionais estão também a tornar-se menos favoráveis do ponto de vista económico. A procura crescente destes ingredientes levou ao aumento dos preços de mercado nos últimos cinco anos. Além disso, os custos das rações representam 60-70% dos custos totais de produção (Veldkamp & Bosch, 2015). Desta forma, fatores como o aumento do preço e aspetos relacionados com a sustentabilidade estimulam o interesse por fontes alternativas de proteínas para os animais (van Huis *et al.*, 2013).

Em suma, a agricultura está confrontada com uma vasta gama de desafios complexos. Com a diminuição da disponibilidade de terras agrícolas, as alterações climáticas e a ameaça do declínio dos recursos de água, a tarefa consiste em satisfazer a crescente procura de alimentação, rações e produtos que causem menos impactos ambientais negativos (Pinotti *et al.*, 2019).

Estes desafios estão a impulsionar a exploração de várias fontes alternativas de alimentos para humanos, como insetos, fungos, carne de cultura, micro e macroalgas e para animais, novas fontes de “resíduos” (ou subprodutos) de indústrias alimentares, de biocombustíveis e até de processos industriais estão a ser cada vez mais utilizados (Parodi *et al.*, 2018). Além disso, novos tipos de ingredientes tais como insetos, algas ou outros recursos marinhos e plantas aquáticas são contemplados para utilização na alimentação animal (FAO & World Health Organization [WHO], 2019).

### **1.1. Insetos como fonte alternativa de alimentação**

A produção de insetos para a alimentação humana e animal é considerada uma estratégia viável que pode potencialmente contribuir para a segurança alimentar global (van Huis *et al.*, 2015). Os insetos estão a surgir rapidamente como uma opção alimentar para o consumo humano e animal com produção em massa, ganhando alguma popularidade a nível mundial (FAO, 2021).

Cerca de 2111 espécies de insetos são consumidas em cerca de 140 países, principalmente na Ásia, África e América do Sul por mais de dois biliões de pessoas (van Huis *et al.*, 2013; Jongema, 2017). Exemplares de quase todos os grupos de insetos são consumidos, como os besouros (31%), lagartas (18%), vespas, abelhas e formigas (15%), grilos e

gafanhotos (13%), percevejos e cigarras (11%) e térmitas, libélulas, moscas e outras (12%) (van Huis, 2016).

O mercado global de insetos comestíveis deverá atingir aproximadamente 8 mil milhões de dólares até 2030 (Globe Newswire, 2019). Desde 2017, os grilos ocupam a maior parte no mercado global de insetos comestíveis. Na Europa, para além do grilo doméstico (*Acheta domestica*), também são comercializadas larvas da farinha (*Tenebrio molitor*), larvas da farinha menor (*Alphitobius diaperinus*) e o gafanhoto migratório (*Locusta migratoria*) (van Huis, 2016).

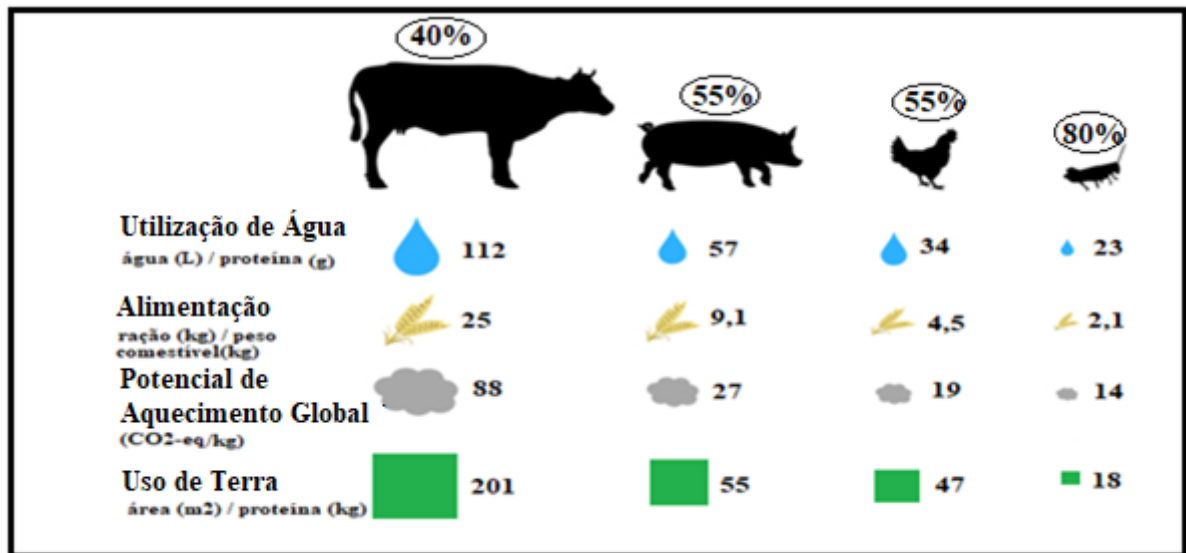
No passado dia 1 de junho, após conclusão de um processo de autorização no âmbito do regulamento dos novos alimentos, foi autorizado como um novo alimento “Larvas de *Tenebrio molitor* desidratadas” para colocação no mercado. De assinalar que será necessário cumprir determinadas especificações e disposições de rotulagem, nomeadamente relativas a reações alérgicas, mencionadas no Regulamento de Execução (UE) 2021/882 da Comissão de 1 de junho de 2021.

A utilização de insetos como alimento para consumo humano e animal possui vários benefícios, descritos abaixo:

- Benefícios ambientais, tais como uma pegada ambiental baixa quando comparada à produção de outros animais, como os bovinos, suínos e frangos, devido à emissão de quantidades inferiores de GEE, menores quantidades de água utilizada e espaços necessários para produção, elevada eficiência na conversão alimentar (Figura 1), bem como a possibilidade de criação em diferentes resíduos orgânicos (Oonincx & De Boer, 2012; van Huis *et al.*, 2013; Miglietta *et al.*, 2015);

-Benefícios para a saúde, devido ao seu alto teor nutritivo comparáveis com a carne bovina e de pescado, sendo ricos em proteína, gordura, energia, vitaminas e minerais. Os insetos podem ser particularmente importantes como suplemento alimentar para crianças subnutridas, pois a maioria dos insetos é rica em ácidos gordos, representando também um baixo risco de transmissão de doenças zoonóticas (van Huis *et al.*, 2013);

-Benefícios sócios-económicos, os insetos podem oferecer oportunidades de empreendedorismo em economias desenvolvidas, em transição e em desenvolvimento, uma vez que para esta atividade não são necessários elevados conhecimentos técnicos ou de capital para adquirir equipamentos básicos de recolha e criação de insetos (van Huis *et al.*, 2013).



**Figura 1** - Benefícios ambientais dos insetos quando comparados com animais de pecuária convencional (comparação da utilização de água, alimentação, potencial de aquecimento global e uso de terra necessária para produzir 1kg de peso comestível). Também está representada a percentagem comestível para cada espécie (Adaptado de Ooninx & De Boer, 2012; van Huis *et al.*, 2013; Miglietta *et al.*, 2015).

## 2. Problemática dos Resíduos Orgânicos

À medida que a necessidade de produção alimentar aumenta, aumenta também a produção de resíduos. A problemática dos resíduos orgânicos envolve impactos ambientais, económicos e sociais significativos. Estes conduzem a uma exploração desnecessária dos recursos naturais (terra, água e energia fóssil) e a notáveis emissões de GEE (Pham *et al.*, 2015). Em 2016 foram produzidos 1,6 biliões de toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a nível mundial, e ainda se prevê que estes valores aumentem para 2,6 biliões de toneladas/ano até 2050 (Kaza *et al.*, 2018).

Atualmente, o desenvolvimento crescente da indústria e o aumento demográfico da população são dois fatores importantes que produzem indiretamente efeitos negativos sobre o ambiente, em resultado da poluição causada pela gestão inadequada dos resíduos (Hălmăciu *et al.*, 2021). A expansão urbana, o crescimento económico e a eficiência da recolha e do tratamento de um sistema atuam como os fatores que influenciam de forma significativa a quantidade e a complexidade dos resíduos gerados (Kaza *et al.*, 2018).

Globalmente, são gerados cerca de 2,01 biliões de toneladas/ano de resíduos sólidos urbanos, e espera-se que esta quantidade atinja os 3,40 biliões de toneladas/ano até 2050. A geração de resíduos aumenta com o desenvolvimento económico e urbanização (Raksasat *et al.*, 2020). Embora os países de elevado rendimento representem apenas 16% da população mundial, como por exemplo, os da Europa ou da América do Norte, estes geram cerca de 34% (ou 683 milhões de toneladas) dos resíduos do mundo, enquanto os países de baixo rendimento, como o exemplo da África Subsariana geram apenas cerca de 5%, ou seja, 93 milhões de toneladas. A nível mundial são produzidos em média 0,74 kg de resíduos por pessoa/dia, mas variam amplamente, de 0,11 a 4,54 kg, de acordo com o desenvolvimento económico da região (Kaza *et al.*, 2018).

A maior parte da composição de resíduos sólidos urbanos é sob a forma de resíduos orgânicos, abrangendo em média cerca de 44%. Os recicláveis secos (plástico, papel e cartão, metal e vidro), por sua vez, representam outros 38% dos resíduos. A composição dos resíduos difere consoante os níveis de rendimento da população. Países de elevado rendimento geram relativamente menos resíduos orgânicos, com 32% do total de resíduos, e geram mais resíduos secos que podem ser reciclados, que representam 51% dos resíduos. Os países de rendimento médio e baixo geram 53% e 56% de resíduos orgânicos, respetivamente, com a fração de resíduos orgânicos a aumentar à medida que os níveis de desenvolvimento económico diminuem (Kaza *et al.*, 2018; Raksasat *et al.*, 2020).

Nos resíduos orgânicos podem ser incluídos resíduos alimentares e subprodutos indesejáveis de várias indústrias, nomeadamente lamas de depuração de estações de tratamento de águas e estrume de animal, proveniente de explorações agrícolas, entre outros (Ellis, 2018).

Uma das principais fontes de resíduos é sob a forma de resíduos alimentares, sendo reconhecidos como uma questão global importante que afeta a sustentabilidade da cadeia de abastecimento alimentar (Tonini *et al.*, 2018; FAO, 2019). Globalmente, um terço dos alimentos produzidos para consumo humano são perdidos ou desperdiçados, o que corresponde a cerca de 1,3 biliões de toneladas de alimentos por ano que não são consumidos (FAO, 2019). Na União Europeia (UE), o valor corresponde a 87,6 milhões de toneladas de alimentos todos os anos (Conselho da União Europeia e do Conselho Europeu, 2021).

Os alimentos são desperdiçados em toda a cadeia de abastecimento alimentar, desde a produção agrícola até ao consumidor final. As fases da cadeia de abastecimento alimentar incluem todas as fases que os alimentos atravessam desde a produção agrícola até chegarem ao

consumidor final. Estas incluem a produção agrícola, o manuseamento e armazenamento pós-colheita, processamento, produção de produtos alimentares, distribuição e consumo (FAO, 2011).

Os termos perdas e desperdícios alimentares são frequentemente utilizados indiferentemente, mas na realidade referem-se a perdas em diferentes fases da cadeia de abastecimento alimentar (Kennard, 2019). Os desperdícios alimentares ocorrem depois de os alimentos chegarem ao consumidor, frequentemente causado por um mau planeamento das compras, das refeições, compras em excesso ou armazenamento inadequado dos alimentos em casa (FAO, 2019). Por outro lado, a perda alimentar ocorre antes dos alimentos chegarem ao consumidor, como por exemplo, na produção primária e processamento, devido à falta de armazenamento ou colheita precoce (FAO, 2011).

Nos países industrializados, a maior parte dos desperdícios alimentares é gerada na fase final da cadeia de abastecimento a nível do consumidor, correspondendo a 222 milhões de toneladas, sendo este valor quase tão alto quanto a produção líquida total de alimentos na África Subsariana (230 milhões de toneladas) (FAO, 2011). Estima-se que 40-47% do fornecimento de pescado nos Estados Unidos da América (EUA) não foi consumido entre 2009-2013. As maiores porções dessa perda ocorreram ao nível dos consumidores, dentro e fora de casa, com valores de 51-63%, capturas descartadas por pescadores comerciais (16-32%), e em operações de distribuição e retalho (13-16%) (Love *et al.*, 2015).

Na UE, mais de 50% do total de resíduos alimentares gerados ocorre a nível do consumidor final (47 milhões de toneladas) (Stenmarck *et al.*, 2016; Laurentiis *et al.*, 2018). Numa base *per capita*, os consumidores na Europa desperdiçam alimentos entre 95 e 115 kg/ano (FAO, 2011). Outros setores que contribuem para os resíduos alimentares na UE são a transformação de alimentos, com cerca de 17 milhões de toneladas (19%), os serviços alimentares (12%), a produção primária (11%), o comércio por grosso e a retalho (5%) (Stenmarck *et al.*, 2016).

Em países de baixos rendimentos, os alimentos perdem-se principalmente durante as fases inicial e intermédia da cadeia de abastecimento alimentar. Nestes países a percentagem de alimentos desperdiçados pelo consumidor é muito inferior (FAO, 2011).

Um dos principais setores relacionado com os resíduos alimentares, especialmente em regiões industrializadas, são os dos resíduos de frutas e vegetais (FAO, 2011; Porter *et al.*,

2016). Nestas regiões os resíduos de frutas e vegetais são principalmente gerados antes de chegar ao consumidor, devido ao excesso de produção e não cumprimento dos padrões de qualidade dos retalhistas. Estes colocam problemas ambientais devido à sua elevada biodegradabilidade, representando uma perda de biomassa e nutrientes valiosa, bem como um custo económico para as empresas, podendo assim, ter um grande potencial de reutilização, reciclagem e recuperação de energia (Plazzotta *et al.*, 2017).

### **3. Gestão de resíduos orgânicos**

Os resíduos não constituem apenas uma perda de recursos valiosos, representam também uma série de desafios na sua gestão. Para além da prevenção na fonte, as opções de gestão dos resíduos incluem a reciclagem, compostagem, digestão anaeróbia, incineração e aterro sanitário (Kaza *et al.*, 2018; Raksasat *et al.*, 2020).

Globalmente, a opção prevalecente para a maior parte dos resíduos é o aterro sanitário, especialmente em países pouco desenvolvidos, devido às suas vantagens económicas, contribuindo igualmente com riscos ambientais, tais como o aquecimento global, poluição do solo e da água, tornando-se assim uma preocupação crescente para a sociedade. Cerca de 40% dos resíduos são depositados em algum tipo de aterro, 33% são despejados abertamente, 19% são recuperados através de reciclagem e compostagem e 11% são tratados através da incineração (Kaza *et al.*, 2018; Singh & Kumari, 2019). Desta forma, muitas toneladas de resíduos orgânicos são despejadas em aterros, resultando em grandes emissões de gás metano (CH<sub>4</sub>), o qual contribui para a poluição atmosférica (Samayoa *et al.*, 2016).

Uma gestão inadequada de resíduos orgânicos contribui com problemas ambientais e económicos (Kaza *et al.*, 2018). Assim, é necessário um planeamento adequado de redução e aproveitamento de resíduos numa tentativa de os gerir de forma segura e sustentável, com um mínimo de emissão de GEE (Raksasat *et al.*, 2020). Uma das principais lacunas na gestão de resíduos reside na ineficiência de apresentar tecnologias para promover a utilização valiosa dos mesmos no sistema de reutilização e reciclagem. As atuais políticas de gestão de resíduos sólidos ou urbanos restringem-se fortemente à recolha, transporte, tratamento e eliminação e, por isso, carecem de valorização em larga escala dos resíduos ricos em matéria orgânica (Singh & Kumari, 2019).

Desde 2012 que existem algumas mudanças a referir, a alteração na composição dos resíduos em países de baixo rendimento reflete mudanças nos padrões de consumo, sendo que a percentagem de resíduos orgânicos caiu de 64% para 56%. A recolha de resíduos nos países de baixo rendimento também aumentou significativamente de cerca de 22% para 39%, refletindo a priorização da recolha adequada de resíduos. Este avanço é complementado por uma tendência global de aumento da reciclagem e compostagem (Kaza *et al.*, 2018).

As estratégias de gestão de resíduos podem ser classificadas relativamente à disposição final de resíduos e ordenadas de acordo com a sua prioridade: minimização e prevenção (redução) da produção de resíduos, reciclagem e reutilização, recuperação de energia e deposição em aterros (Plazzotta *et al.*, 2017).

Decisores políticos, indústrias alimentares e retalhistas, investigadores e organizações não governamentais estão a trabalhar em conjunto para promover um movimento social para uma maior valorização dos alimentos e a minimização dos resíduos alimentares e os seus impactos (Kennard, 2019). A UE e os seus Estados-Membros pretendem, através dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) “criar um novo modelo global para acabar com a pobreza, promover a prosperidade e o bem-estar de todos, proteger o ambiente e combater as alterações climáticas”. Um dos ODS relata que pretendem “reduzir para metade o desperdício alimentar *per capita* ao nível mundial, de retalho e do consumidor, e reduzir os desperdícios alimentares ao longo das cadeias de produção e abastecimento, incluindo os que ocorrem pós-colheita, até 2030”. Este ODS pretende garantir padrões de consumo e de produção sustentáveis (ODS número 12) (Nações Unidas, 2015).

Desta forma, é necessário desenvolver e encontrar formas sustentáveis de decomposição de resíduos e determinar o seu valor nutritivo e económico inerente. Desde as últimas décadas, há uma enorme ênfase na valorização dos resíduos juntamente com a sua gestão, ou seja, uma abordagem integrada e geradora de rendimento sustentável para a gestão de resíduos orgânicos (Singh & Kumari, 2019).

#### **4. Valorização de resíduos orgânicos**

Os resíduos orgânicos constituem a maior porção dos resíduos sólidos e, portanto, possuem valores nutritivos elevados que podem ser valorizados. Capturar este valor inerente dos resíduos orgânicos poderia aliviar mais as consequências ambientais e simultaneamente

servir como alimento para animais ou outros produtos de interesse comercial (Lalander *et al.*, 2019). Além disso, a biomassa organicamente rica tem um grande potencial para substituir produtos químicos e podem ser utilizados como fertilizantes para culturas agrícolas (Singh & Kumari, 2019).

A valorização dos subprodutos orgânicos provenientes de cadeias de abastecimento agroalimentares é uma estratégia para superar a escassez de recursos. A produção de cereais gera uma quantidade significativa de subprodutos, como cascas e farelos. O farelo é o principal subproduto obtido da moagem dos cereais, com cerca de 150 milhões de toneladas de farelo de trigo produzido anualmente em todo o mundo, podendo este ser aplicado na alimentação animal (Katileviciute *et al.*, 2019; Valoppi *et al.*, 2021). Embora seja usado como ração animal, o farelo por vezes também pode ser descartado como resíduo (Derler *et al.*, 2021). Subprodutos produzidos por outras indústrias, tais como farinha de soja, soro de leite ou cascas de sementes também podem ser utilizados na alimentação animal (FAO & WHO, 2019).

Outra das formas de valorizar os resíduos é através da utilização de insetos, que constituem uma ferramenta útil para recuperar nutrientes de resíduos orgânicos e trazê-los de volta para a cadeia de valor alimentar, contribuindo para uma economia circular (Nguyen *et al.*, 2015; Spranghers *et al.*, 2017; Meneguz *et al.*, 2018; Chia *et al.*, 2020; Surendra *et al.*, 2020).

A criação de insetos em massa com substratos de resíduos orgânicos é uma solução potencialmente valiosa para a quantidade crescente destes resíduos, podendo os mesmos causar problemas ambientais se não forem geridos adequadamente (Salomone *et al.*, 2017). Ao alimentar os insetos nesses substratos (resíduos), é possível obter uma biomassa valiosa, além de um fertilizante orgânico, numa perspetiva de economia circular mais sustentável (Lohri *et al.*, 2017; Cappellozza *et al.*, 2019; Kuttiyatveetil *et al.*, 2019; Surendra & Kuehnle, 2019) (Figura 2).



**Figura 2** - Economia circular sustentável (Bioindústria e os Desafios Actuais da Indústria Agroalimentar, Entogreen. Retirado a 20 de maio de 2021 de <https://www.entogreen.com/bioindustria/>).

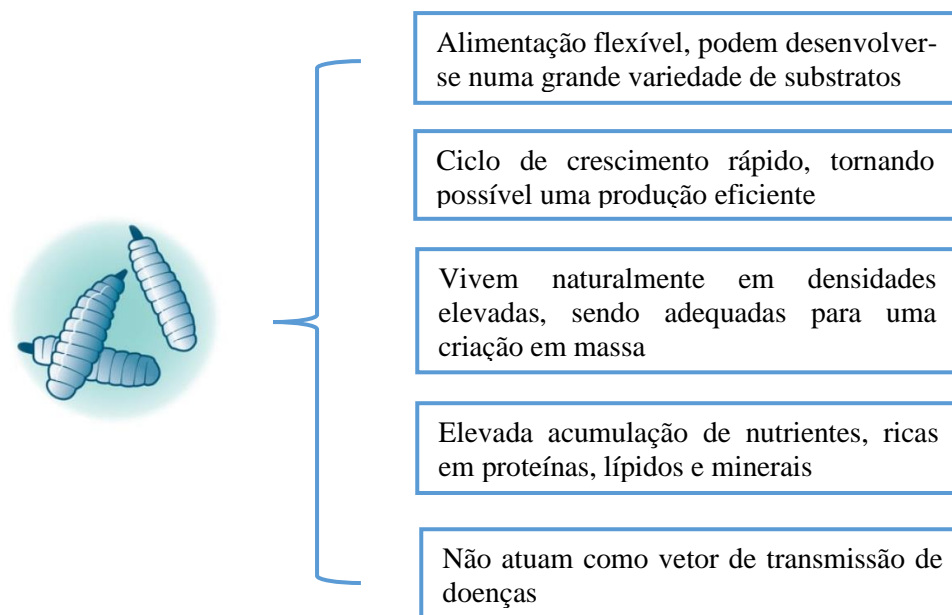
O conceito de economia circular pode oferecer ferramentas para melhorar e otimizar a sustentabilidade de um sistema alimentar. A missão é gerar valores sustentáveis, fornecendo produtos alimentares para satisfazer as necessidades dos consumidores, considerando ao mesmo tempo a segurança alimentar e menos impactos ambientais. Durante a última década, a economia circular tornou-se um dos temas mais importantes a nível mundial, o que estimula a promoção de políticas sustentáveis e eficientes em termos de benefícios socioeconómicos e ambientais a longo prazo (Jurgilevich *et al.*, 2016; Maina *et al.*, 2017; Milios, 2018).

A economia circular tem como finalidade a superação do padrão linear de produção e consumo através da adoção de estratégias circulares, ou seja, adotando um sistema de "fechar o ciclo" nos sistemas de produção industrial (Maina *et al.*, 2017). Nesta perspetiva, a utilização dos resíduos alimentares para a criação de insetos fornece uma chave atrativa para fechar o ciclo da cadeia de valor alimentar (Ojha *et al.*, 2020).

A bioconversão baseada em insetos tem sido relatada como uma solução comercializável para reduzir os resíduos alimentares. Trata-se de uma nova abordagem que pode converter eficazmente várias toneladas de resíduos alimentares em produtos valiosos, incluindo alimentos para a alimentação humana e animal, fertilizantes e outros compostos industriais secundários (Ojha *et al.*, 2020). Os insetos convertem eficazmente os resíduos orgânicos em novos produtos proporcionando algumas vantagens, como por exemplo, menor utilização de recursos do que outras fontes de proteínas e gorduras e rendimentos com a venda de produtos derivados de insetos (Gasco *et al.*, 2020).

As espécies de insetos com maior potencial para produção em larga escala são a Mosca Soldado Negro (*Hermetica illucens*), Mosca doméstica (*Musca domestica*) e Larva da farinha (*Tenebrio molitor*) (van Huis *et al.*, 2013). Estas espécies podem ser utilizadas na bioconversão de resíduos orgânicos de baixo valor (Veldkamp *et al.*, 2012).

A Mosca Soldado Negro é considerada uma espécie de inseto ideal, uma vez que as suas larvas possuem características únicas, apresentadas na Figura 3:



**Figura 3** - Características das larvas de BSF (Adaptado de *Insects to feed the world*, Bühler Insect Technology Solutions AG. Retirado a 10 de outubro de 2021 de <https://www.buhlergroup.com/content/buhlergroup/global/en/industries/insect-technology.html>).

## 5. Mosca Soldado Negro

### 5.1. Descrição e ciclo de vida

A Mosca Soldado Negro, *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758), em inglês “Black soldier fly” (BSF) pertence à ordem Diptera, família *Stratiomyidae* e é nativa de regiões tropicais, subtropicais e temperadas quentes da América. Atualmente, esta espécie está difundida nas regiões tropicais e temperadas do mundo entre as latitudes 45° Norte e 40° Sul (Woodley, 2001; Oliveira *et al.*, 2015; Dortmans *et al.*, 2017).

O ciclo de vida da BSF consiste em quatro fases: ovo, larva, pupa e adulta (Figura 4), com duração média de 40-43 dias nas regiões tropicais, sendo que a fase larvar pode ser prolongada em condições desfavoráveis (Čičková *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2015).



**Figura 4** - Esquema do ciclo de vida da BSF (Adaptado de Surendra *et al.*, 2020).

O ciclo inicia-se com a postura da mosca fêmea, que irá depositar entre 400 a 800 ovos perto de uma fonte de matéria orgânica em decomposição, em pequenas cavidades, secas e protegidas. A proximidade dos ovos com a matéria orgânica em decomposição garante que as larvas tenham, após a eclosão, a sua primeira fonte de alimentação próxima (Dortmans *et al.*, 2017).

Cerca de 4 dias após a postura, as larvas emergem, apresentando apenas alguns milímetros de tamanho. Como fotofóbicas, enterram-se na matéria orgânica mais próxima, iniciando a sua alimentação (Newton, 2015; Dortmans *et al.*, 2017). Vão crescer até cerca de 2,5 cm de comprimento e 0,5 cm de largura, apresentando uma cor creme. Em condições ideais e com a qualidade e quantidade ideal de alimentos, o desenvolvimento larvar dura cerca de 14-16 dias. No entanto, a larva da BSF é um organismo muito resiliente e tem a capacidade de prolongar o seu ciclo de vida em condições desfavoráveis (Dortmans *et al.*, 2017).

A fase larvar é o único período de alimentação da BSF, durante este período de desenvolvimento, haverá armazenamento de reservas de gordura e proteínas suficientes para permitir às larvas fazer a metamorfose enquanto pupas, e chegar à fase de adulto, reproduzirem-se e concluir o ciclo de vida (Dortmans *et al.*, 2017; Singh & Kumari, 2019).

A larva da BSF passa por seis instares, sendo que no último designa-se pré-pupa (Figura 5). No final deste instar, com uma duração de aproximadamente uma semana, a larva interrompe a sua alimentação e a sua movimentação, esvazia o intestino, antes de finalmente passar à fase de pupa (Makkar *et al.*, 2014; Singh & Kumari, 2019). Ao transformar-se em pré-pupa, a larva substitui a parte da boca por uma estrutura em forma de gancho, apresentando-se de cor castanha-escura. Este gancho é utilizado para se deslocar facilmente da fonte alimentar em direção a um ambiente próximo seco e protegido, tornando-se imóvel e rígida, iniciado a fase de pupa (Diener *et al.*, 2011; Dortmans *et al.*, 2017). A fase de pupa representa a última fase antes do aparecimento das moscas adultas e demora cerca de duas semanas (Spinelli *et al.*, 2019).



**Figura 5** - Primeiros 5 instares larvares, seguido do último instar, a pré-pupa e pupa da BSF, da esquerda para a direita (Hermetia illucens- Black Soldier Fly, Tan, J. (2019). Retirado a 3 de dezembro de 2021 de <https://wiki.nus.edu.sg/display/TAX/Hermetia+illucens++Black+Soldier+Fly>).

Depois de emergir, a mosca vive durante cerca de uma semana até ao acasalamento e oviposição (Raksasat *et al.*, 2020).

Em adulto, a mosca não possui ferrão, nem armadura bucal desenvolvida ou órgãos digestivos que lhe permita consumir resíduos, podendo medir até 20 mm de comprimento (Makkar *et al.*, 2014; Park, 2016).

As moscas adultas não são consideradas agentes patogénicos, pois são incapazes de picar e de se alimentar, desta forma, não atuam como um vetor de propagação de doenças (Diener *et al.*, 2011; Silva & Hesselberg, 2019).

## 5.2. Larva da Mosca Soldado Negro

A fase larvar é o período mais importante no que diz respeito à gestão de resíduos, uma vez que representa a fase em que as larvas se alimentam e contribuem assim para a bioconversão (Spinelli *et al.*, 2019). Estas são capazes de consumir o dobro do seu peso por dia (entre 25 a 500 mg de matéria fresca/larva/dia), reduzindo assim o volume de matéria orgânica rapidamente (Diener *et al.*, 2011). As larvas também são capazes de inativar bactérias potencialmente nocivas tais como, *Escherichia coli* e *Salmonella* spp. presentes em alguns substratos (Lopes *et al.*, 2020). A eliminação das colónias bacterianas é alcançada no intestino, onde condições de elevado pH, reações enzimáticas e bactérias intestinais competitivas criam condições de crescimento indesejáveis (Gold *et al.*, 2018).

Parâmetros de bioconversão, tais como a taxa de consumo de resíduos e a biomassa final obtida, são fortemente influenciados pela estratégia de criação aplicada, em termos de parâmetros ambientais (humidade e temperatura) e composição do substrato (Meneguz *et al.*, 2018).

### 5.2.1. Alimentação das larvas Mosca Soldado Negro

As larvas de BSF podem desenvolver-se numa vasta variedade de matéria orgânica, desde estrume animal, ração para galinhas, resíduos vegetais e frutas, resíduos de restaurantes, bem como subprodutos agro-industriais de vinícolas e cervejarias (Diener *et al.*, 2011; Meneguz *et al.*, 2018).

Relativamente às necessidades nutricionais das dietas, substratos ricos em proteínas e hidratos de carbono resultam num bom crescimento larvar. Estudos indicam que a larva tem tendência para consumir mais facilmente substratos que já foram submetidos a um processo de decomposição bacteriana ou fúngica (Dortmans *et al.*, 2017).

Entre todas as dietas estudadas até à data, a utilização de rações de frangos (dieta padrão) tinha dado origem a um menor tempo de desenvolvimento larvar em comparação com estrume animal, resíduos de restaurantes e resíduos de fruta e vegetais. O período de criação foi de apenas 12 dias, aquando da observação da primeira pré-pupa (Spranghers *et al.*, 2017). A

biomassa larvar total mais elevada foi também atingida quando se utilizava a ração de frangos como substrato. A utilização da ração para o crescimento das larvas e posterior alimentação de galinhas com as larvas não é uma boa abordagem económica, a menos que a biomassa larvar recolhida tenha outras utilizações comerciais. Desta forma, outros substratos de baixo custo são explorados para criar larvas de BSF, a fim de reduzir o custo de produção, e ao mesmo tempo valorizar resíduos orgânicos (Raksasat *et al.*, 2020).

A utilização de restos de restaurantes e resíduos de frutas e vegetais como os substratos de alimentação da larva BSF foram investigados recentemente por Spranghers *et al.* (2017) apresentando um período de criação de 19 e 15 dias para restos de restauração e resíduos de frutas e vegetais, respetivamente, aquando da observação da primeira pré-pupa.

Existe um interesse crescente em substratos vegetais e de frutas para a criação de BSF (Hem *et al.*, 2008; Paz *et al.*, 2015). Apesar de possuírem um valor inferior de proteína e energia em relação a outros resíduos, apresentam uma disponibilidade extremamente elevada, especialmente em regiões industrializadas, satisfazendo os requisitos de alimentação para a criação de animais destinados à produção de alimentos e rações (*European Food Safety Authority* [EFSA], 2015). Vários subprodutos provenientes de indústrias alimentícias de transformação de alimentos e vegetais (sumos e produtos prontos para consumo, entre outros) também poderiam ser utilizados como substratos para criação de insetos (Jucker *et al.*, 2017).

No entanto, a utilização de dietas vegetais para a BSF conduz, em alguns casos, a uma taxa de bioconversão mais baixa do que uma dieta de ração de frangos, devido ao seu baixo teor de nutrientes (Cappellozza *et al.*, 2019). Desta forma, o efeito sinérgico entre os diferentes resíduos vegetais deve ser investigado para promover a sua eficiência como substrato, levando à conversão de material de baixa qualidade em biomassa de insetos valiosa (Nguyen *et al.*, 2015). Mesmo que alguns estudos relatem a utilização de vegetais juntamente com resíduos enriquecidos em proteínas (Wynants *et al.*, 2019), são poucos aqueles que relatam uma análise detalhada do desempenho da bioconversão e correlação com a composição nutricional da BSF após a criação em matéria orgânica adequada de origem vegetal (Paz *et al.*, 2015; Barragan-Fonseca *et al.*, 2017; Jucker *et al.*, 2017).

Os substratos de criação de BSF, tais como frutas e vegetais, devem ser geridos de acordo com as mudanças de estação, seguindo a sua disponibilidade natural, maximizando assim o seu consumo global e a sua potencial eficiência de valorização (Barbi *et al.*, 2020).

A composição dos substratos tem um impacto importante no desenvolvimento da larva BSF, sobrevivência, composição nutricional e taxa de bioconversão do substrato (Surendra *et al.*, 2020). O componente limitante em substratos de alimentação de larvas é a proteína, a qual poderia ter um impacto positivo significativo no desenvolvimento da larva para completar o seu ciclo de vida (Gold *et al.*, 2018).

O tamanho das partículas do substrato é importante para um acesso aos nutrientes de forma eficaz. Desta forma, deve reduzir-se o tamanho das partículas antes da introdução às larvas (Surendra *et al.*, 2020). Por exemplo, se o substrato alimentar for constituído por carne, peixe ou fígado, tornando-se demasiado espesso, a ingestão alimentar larvar é reduzida, resultando numa menor sobrevivência e num maior tempo de desenvolvimento (Nguyen *et al.*, 2013).

A estratégia de produção com melhor desempenho deve variar em relação à finalidade da utilização da BSF. Deste modo, o conteúdo de gordura deve ser promovido se a BSF se destinar a ser utilizada como biocombustível ou ração, enquanto o teor de azoto (N) é mais relevante para diferentes aplicações, como por exemplo para fertilizantes (Barbi *et al.*, 2020).

O desenvolvimento larvar é acompanhado por um aumento regular da temperatura da dieta de alimentação. O aumento da temperatura do substrato no processo da sua bioconversão pelas BSF ocorre provavelmente devido à combinação da composição do substrato pela população microbiana presente no substrato, assim como a atividade larvar. Segundo Ushakova *et al.* (2018), podem distinguir-se quatro fases no que diz respeito às alterações da temperatura no substrato alimentar durante o desenvolvimento larvar. Na primeira fase, pode observar-se um atraso na mudança de temperatura (fase de atraso); na segunda fase, observa-se um aumento da temperatura (aquecimento); a terceira fase envolve uma conversão estacionária a uma temperatura elevada; e a quarta fase envolve uma descida acentuada da temperatura até esta atingir a temperatura ambiente (a fase de arrefecimento, ou fase final).

### **5.2.2. Parâmetros Ambientais**

Fatores abióticos tais como temperatura, humidade relativa e outros parâmetros relacionados com os resíduos (nível de humidade e pH) influenciam bastante no desenvolvimento larvar (Singh & Kumari, 2019). Sendo as BSF originárias dos trópicos, a temperatura e humidade são dois fatores chave que influenciam todo o ciclo de vida da BSF (Dortmans *et al.*, 2017).

A temperatura ideal para o desenvolvimento larvar situa-se entre os 24 e 30°C, sendo que, com temperaturas mais elevadas, as larvas afastar-se-ão dos substratos em busca de um local mais fresco e com temperaturas baixas, as larvas abrandarão o seu metabolismo, diminuindo o consumo, e, conseqüentemente, demorando mais tempo a desenvolverem-se (Dortmans *et al.*, 2017). A humidade relativa deve situar-se entre 50 e 70% (Makkar *et al.*, 2014).

As larvas evitam a luz e procuram sempre um ambiente escuro, longe da luz solar. Se o substrato for exposto à luz, irão deslocar-se mais profundamente dentro do substrato (Dortmans *et al.*, 2017).

## 6. Aplicações da larva Mosca Soldado Negro

As larvas da BSF apresentam diversas utilidades, como a capacidade de converter resíduos orgânicos em proteínas de alta qualidade, controlar certas bactérias, fornecer potenciais precursores químicos para a produção de biodiesel e ainda como alimento para uma variedade de animais (Barragan-Fonseca *et al.*, 2017), e possuem um grande potencial para a alimentação humana (Wang & Shelomi, 2017).

Sendo uma alternativa valiosa às fontes convencionais de proteína, como o farelo de soja e farinha de peixe (Tabela 1), a farinha de larva BSF é rica em compostos bioativos, incluindo quitina e peptídeos antimicrobianos (Surendra *et al.*, 2020).

**Tabela 1-** Comparação da proteína bruta e gordura bruta da larva BSF com fontes de proteína convencionais (Adaptado de Makkar *et al.*, 2014; Barragan-Fonseca *et al.*, 2017; Ewald *et al.*, 2020).

Matéria-Prima	PB (%MS)	GB (%MS)
Larva da BSF	37 – 63	7 - 39
Farinha de peixe	70,6	9,9
Farelo de soja	51,8	2,0

PB: Proteína Bruta; GB: Gordura Bruta; MS: Matéria Seca

## **6.1. Valor nutricional das larvas Mosca Soldado Negro**

As larvas de BSF são ricas em proteína, gordura e minerais (Surendra *et al.*, 2020). A sua composição nutricional varia em função do substrato utilizado para alimentação (Tabela 2), condições de crescimento larvar, métodos de abate e fase do ciclo (Barragan-Fonseca *et al.*, 2017; Wang & Shelomi, 2017; Larouche *et al.*, 2019; Palma *et al.*, 2019; Smets *et al.*, 2020).

### **6.1.1. Matéria Seca**

O teor em matéria seca (MS) das larvas é elevado, variando entre 35-45% em função da alimentação utilizada e aumenta ao longo do desenvolvimento larvar (Makkar *et al.*, 2014; Barragan-Fonseca *et al.*, 2017).

### **6.1.2. Proteína**

As larvas de BSF contêm cerca de 40% de proteína, podendo variar entre 37 e 63% da MS (Barragan-Fonseca *et al.*, 2017; Ewald *et al.*, 2020). Substratos ricos em proteínas melhoram o conteúdo proteico, o peso larvar e a bioconversão (Nguyen *et al.*, 2013; Oonincx *et al.*, 2015; Gold *et al.*, 2018).

O conteúdo proteico tende a diminuir com a idade larvar, tal como reportado por Rachmawati *et al.* (2010), em que verificaram que o teor de proteína diminui de 61% (MS) aos 5 dias de idade para os 44% aos 15 dias e 42% aos 20 dias.

Fatores abióticos, tais como a temperatura ambiente, também afetam o perfil nutricional das larvas. O teor de proteína, por exemplo, diminuiu quando a temperatura de criação foi aumentada de 28°C para 34°C (Palma *et al.*, 2019).

### **6.1.3. Gordura**

A composição das larvas contém geralmente cerca de 30% de lípidos em MS, podendo apresentar variações entre 7% e 39% (Barragan-Fonseca *et al.*, 2017; Ewald *et al.*, 2020).

O conteúdo lipídico do substrato, influencia diretamente o teor lipídico da biomassa da BSF (Gold *et al.*, 2018). Também o teor de hidratos de carbono do substrato influencia o conteúdo lipídico nas larvas de BSF (Li *et al.*, 2015). Verifica-se que as larvas de BSF quando alimentadas com substratos de baixo teor proteico e ricos em hidratos de carbono, estes são convertidos pelas larvas maioritariamente em lípidos (Pimentel *et al.*, 2017).

O conteúdo de gordura aumenta com o desenvolvimento larvar, aumentando de 13% (MS) aos 5 dias de idade para 19% e 23% aos 15 e 20 dias, respetivamente (Rachmawati *et al.*, 2010).

A larva de BSF possui um teor de ácidos gordos superior em relação a outras espécies de insetos (Ramos-Bueno *et al.*, 2016). Os ácidos láurico, palmítico e oleico são os ácidos gordos importantes presentes na gordura derivada da biomassa de BSF, representando cerca de 32-60%, 8-20%, e 5-12% do total de ácidos gordos, respetivamente. Além disso, os ácidos gordos saturados são responsáveis por cerca de 61-82% do total de ácidos gordos, enquanto os monoinsaturados e os ácidos gordos polinsaturados contribuem para 9-19% e 4-26% do total de ácidos gordos, respetivamente (Surendra *et al.*, 2020).

O método de abate também tem um efeito significativo na composição lipídica das larvas. A congelação pode influenciar a composição lipídica das larvas, ocorrendo a libertação de ácidos gordos livres devido à inativação da atividade da lipase nos ácidos gordos insaturados (Caligiani *et al.*, 2019). Laurouche *et al.* (2019) relata que um pré-tratamento térmico, branqueamento, resulta em baixa oxidação lipídica, reduzindo o teor de humidade, estabilidade da cor e redução significativa dos microrganismos na biomassa dos insetos. Caligiani *et al.* (2019) ainda observou que o abate por branqueamento tinha menos efeito sobre o perfil de ácidos gordos do que a congelação.

#### **6.1.4. Minerais e Aminoácidos**

As larvas são ricas em cálcio (5-8% da MS) e fósforo (0,6-1,5% da MS), apresentando também valores elevados de alguns aminoácidos essenciais, tais como, lisina e leucina (Makkar *et al.*, 2014; Marco *et al.*, 2015).

O teor de cinzas é relativamente elevado e varia entre 9 e 28% de MS (Makkar *et al.*, 2014; Barragan-Fonseca *et al.*, 2017), sendo que numa dieta padrão apresentam um teor de 10% (Spranghers *et al.*, 2017).

#### **6.1.5. Quitina**

A quitina é o principal constituinte do exoesqueleto da BSF (~7% da MS), sendo esta a forma mais comum de fibra nos insetos, devido a sua semelhança estrutural com a celulose. Pode ser falsamente considerada uma proteína bruta devido ao N presente na molécula de quitina (Finke, 2007; Spranghers *et al.*, 2017; Surendra *et al.*, 2020). Segundo Wang *et al.*

(2020) o teor de quitina diminui da fase larvar para a pré-pupa, atingindo o seu pico durante a fase pupa.

**Tabela 2-** Conteúdo em proteína bruta e gordura bruta da pré-pupa de BSF alimentadas com diferentes substratos.

Substrato	PB (%MS)	GB (%MS)	Referências
Ração para frangos	41,2	33,6	(Spranghers <i>et al.</i> , 2017)
Resíduos vegetais	39,9	37,1	(Spranghers <i>et al.</i> , 2017)
Resíduos de restaurante	43,1	38,6	(Spranghers <i>et al.</i> , 2017)
Estrume de ave	41.7 ± 4.0	36.2 ± 3.5	(Wang <i>et al.</i> , 2020)
Estrume de bovino	41.2 ± 2.1	35.7 ± 2.9	(Wang <i>et al.</i> , 2020)
Estrume de suíno	42,8 ± 4,4	36,5 ± 3,9	(Wang <i>et al.</i> , 2020)

PB: Proteína Bruta; GB: Gordura Bruta; MS: Matéria Seca

## 6.2. Larva da Mosca Soldado Negro na Alimentação Animal

As larvas da BSF podem ser utilizadas como alimento para uma grande variedade de animais, incluindo suínos, aves, peixes, e estão a ser exploradas como um ingrediente para a alimentação de animais de companhia (Barragan-Fonseca *et al.*, 2017). Estas podem ser utilizadas em diferentes fases larvares, vivas ou processadas, desidratadas e moídas (Makkar *et al.*, 2014).

O teor de proteína bruta na biomassa de BSF é semelhante à fonte mais comum de proteínas vegetais, farelo de soja, como mencionado anteriormente na Tabela 1, enquanto o valor energético bruto da biomassa de BSF é normalmente superior ao de fontes de energia comuns nas dietas animais, tais como farinha de milho e farinha de trigo (Surendra *et al.*, 2016).

Na literatura podem ser encontrados vários estudos com resultados variados sobre o uso da farinha da BSF como alimento para aves, que dependem da espécie da ave (frangos de carne ou galinhas poedeiras), da fase de crescimento, duração da alimentação, modo de alimentação, taxa de inclusão de farinha de BSF na dieta, tipos de farinhas da BSF (dependendo dos substratos utilizados para a criação da BSF) e método de processamento das larvas de BSF (Surendra *et al.*, 2020).

O fornecimento de aminoácidos essenciais é um fator chave na indústria avícola para as linhagens avícolas de crescimento rápido. Por esta razão, as dietas baseadas em farelo de soja, como a principal fonte de proteína da dieta são fornecidas junto com farinha de peixe para suprimir qualquer deficiência de aminoácidos de proteínas vegetais (Agazzi, 2016). Em compensação, as larvas de BSF podem ser utilizadas para fornecer proteínas e macro e micronutrientes como minerais, eliminando as necessidades de suplementação mineral em dietas para aves (Dierenfeld & King, 2008).

No geral, estudos têm demonstrado que a farinha de BSF poderia substituir uma porção substancial de farinha de soja em dietas de aves sem impacto negativo, melhorando o desempenho e a qualidade dos produtos (Surendra *et al.*, 2020). O bem-estar de frangos de carne também pode ser influenciado pelo fornecimento de larvas de BSF vivas, existindo um aumento da atividade, especialmente o comportamento forrageiro (Ipema *et al.*, 2020).

Do ponto de vista económico, a alimentação à base de insetos pode ser mais cara do que a alimentação convencional (Arru *et al.*, 2019). O valor da farinha de larva BSF é pelo menos o dobro da farinha de soja, mas menos do que farinha de peixe (Comissão Europeia, 2016). Contudo, à medida que os volumes de produção aumentam e a cadeia de produção sofre uma maior otimização, o preço da farinha de inseto deverá diminuir (FAO, 2021).

De salientar que no passado dia 17 agosto de 2021, foi autorizada a utilização de proteínas animais transformadas provenientes de insetos para a alimentação de aves de capoeira e suínos, regulamento (UE) 2021/1372, para além do já aprovado regulamento (UE) 2017/893 que autorizava a utilização de proteínas provenientes de insetos para alimentação de animais de aquicultura.

### **6.3. Larva da Mosca Soldado Negro na Alimentação Humana**

As larvas da BSF, que são utilizadas principalmente na alimentação animal, possuem um grande potencial para fornecer uma fonte sustentável de nutrientes para a alimentação humana (Bessa *et al.*, 2020).

Atualmente, a larva de BSF não está incluída na lista de insetos comestíveis aceites no regulamento de novos alimentos e teria que passar por um processo de autorização de comercialização antes de ser vendida nos mercados europeus (Regulamento (UE) 2015/2283 do Parlamento Europeu e do Conselho, 2015). Até à data não existem regulamentos específicos relativos ao consumo de larvas de BSF como alimento humano (Wang & Shelomi, 2017).

A perceção de segurança no que diz respeito ao consumo de insetos, incluindo a larva de BSF é um fator importante para obter a aceitação do consumidor. Desta forma, é fundamental investigar e compreender melhor a segurança do seu consumo (Rumpold & Schlüter, 2013; Schrögel & Wätjen, 2019; Van Huis *et al.*, 2013), sendo um motivo de preocupação devido ao seu papel na conversão da matéria orgânica (Wang & Shelomi, 2017).

Os resíduos orgânicos podem estar contaminados com diversos microrganismos e produtos farmacêuticos, pesticidas ou ainda metais pesados e outras toxinas (Gold *et al.*, 2018; Wang & Shelomi, 2017). Desta forma, é necessário controlar a presença de microrganismos e contaminantes químicos na biomassa de BSF de modo a garantir a segurança alimentar, especialmente se os substratos contaminados forem utilizados como fonte de alimentação para as larvas de BSF (Purschke *et al.*, 2017).

## **7. Contextualização do estudo**

A utilização da larva de BSF como alimento para animais é uma realidade cada vez mais presente no mundo e no nosso país. Desta forma é possível criar uma economia circular mais sustentável através da utilização destas larvas para bioconversão de resíduos orgânicos em alimento animal e fertilizante orgânico, valorizando os resíduos orgânicos gerados devido ao aumento da produção alimentar a nível mundial.

Com base no pressuposto de uma economia circular mais sustentável, os objetivos deste estudo consistiram em:

- Valorizar os subprodutos presentes na indústria alimentar através da utilização das larvas BSF;
- Obter um ingrediente para a alimentação animal;
- Comparar a influência das dietas no peso, comprimento e composição nutricional das larvas.

### III. Material e Métodos

#### 1. Descrição do local do estudo

O presente estudo decorreu na empresa Mendes Gonçalves, na vila da Golegã. Esta é uma empresa nacional, fundada em 1982, que se dedica à produção de vinagres, molhos e temperos. Esta empresa gera em média 81.000 kg de resíduos anuais, procurando inovar e melhorar os seus processos de forma contínua para alcançar maior sustentabilidade. Tendo por base este pressuposto, surge a ideia da criação de uma unidade piloto de produção de larvas BSF para a bioconversão de subprodutos obtidos localmente.

#### 2. Unidade Piloto

A unidade piloto foi instalada numa pequena sala (8 m<sup>2</sup>) e para colmatar a necessidade da circulação de ar, foram instalados dois ventiladores e um *data logger* (modelo 174H, Testo), de modo a garantir a ventilação e registar diariamente a temperatura e a humidade relativa do ar no interior da unidade. Adicionalmente, a sala foi equipada com os materiais necessários para a condução da experiência, nomeadamente balanças, lâmpadas, caixas plásticas (modelo E2, Hannover), materiais de manuseamento e um termoventilador de 2200 W (Vitek) (Figura 6). As condições ambientais no interior da sala foram mantidas a uma temperatura média de 20 °C e humidade relativa de 70%.



**Figura 6-** Sala onde foi instalada a unidade piloto de tratamento de subprodutos com as larvas BSF (fotografia original da autora).

### 3. Insetos e dietas experimentais

Larvas jovens de BSF foram obtidas de uma colónia localizada em Santarém e pertencente à empresa Ingredient Odyssey S.A. - EntoGreen. Esta colónia está ativa há mais de cinco anos, sendo mantida em condições climáticas constantes de temperatura (aproximadamente 28 °C) e humidade relativa (70%). A partir da colónia foram colhidos ovos, os quais foram dispostos em caixas plásticas contendo uma mistura de cereais e água (30:70) e incubados a temperatura constante (28 °C). Após eclodirem, as larvas alimentaram-se deste substrato por quatro dias e atingiram um peso aproximado de 4,5 mg. Essas larvas foram utilizadas na experiência aqui descrita.

As dietas experimentais foram produzidas a partir de subprodutos disponíveis localmente. Foram utilizadas cascas/raízes de alho (Figura 7A) oriundas da produção de massa de alho, couve portuguesa (Figura 7B), farelo de arroz (Figura 7C) e resíduos da fermentação do figo (Figura 7D), oriundo de um processo fermentativo para a produção de vinagre de figo seco. Todos os subprodutos foram fornecidos pela empresa Mendes Gonçalves, com exceção do farelo de arroz, cedido pela empresa Orivárzea.



**Figura 7** - Subprodutos utilizados na experiência. (A) cascas/raízes de alho, (B) couve portuguesa, (C) farelo de arroz, (D) resíduos da fermentação de figos (fotografias originais da autora).

Os subprodutos foram analisados quimicamente para obtenção da percentagem de humidade (Gravimetria), proteína (Volumetria), gordura (Hidrólise e Soxhlet), fibra total (Enzimático-Gravimétrico), hidratos de carbono (Cálculo) e cinzas (Gravimetria) (Tabela 3).

Os subprodutos foram utilizados no formato original ao fornecido pelas empresas, com exceção da couve portuguesa que foi triturada numa trituradora industrial e armazenada numa câmara de refrigeração (4°C) até ser utilizada. Os ingredientes foram pesados numa balança eletrónica (modelo 28, Barcelbal) e misturados em bateladas, com o auxílio de uma betoneira para simular um misturador industrial e homogeneizar bem os materiais.

**Tabela 3-** Caracterização nutricional dos subprodutos utilizados na experiência.

Subprodutos	MS	Proteína	Gordura	Fibra	Hidratos C	Cinzas
	--- % ---	----- % MS -----				
Cv.P	9,4	23,4	4,3	25,5	37,2	8,5
Rs.F	10,7	10,3	19,3	25,2	Nd	8,8
Fr.A	85,5	17	21,4	18,4	32,7	10,5
Cs.Al	65,8	< 3,0	0,76	25,2	6,1	4,9

Cv.P: couve portuguesa; Rs.F: resíduos da fermentação de figos secos; Fr.A: farelo de arroz; Cs.Al: cascas de alho; MS: matéria seca; C: carbono; nd: não disponível.

#### 4. Delineamento experimental

A partir da composição dos subprodutos, as dietas testadas neste estudo foram preparadas para suprimir as necessidades nutricionais das larvas de BSF, estando a sua composição descrita na Tabela 4. Para tal, foi utilizado um software específico pertencente à empresa Entogreen. As dietas experimentais testadas foram o controlo, composto por uma mistura de cereais (50% trigo, 20% milho e 30% luzerna) e água (CTR), couve portuguesa e farelo de arroz (CF), couve portuguesa, resíduos da fermentação de figos e farelo de arroz (CFF), resíduos da fermentação de figos e farelo de arroz (FF) e couve portuguesa, farelo de arroz e casca/raiz de alho (CFA).

Cada dieta foi avaliada através de cinco réplicas, perfazendo um total de 25 unidades. As unidades experimentais foram conduzidas em caixas plásticas (60 x 40 x 12 cm), as quais receberam um total de 13,5 kg cada. Após receberem a mistura de subprodutos, as caixas foram colocadas na sala experimental durante 24 horas, para que ocorresse um aumento da

temperatura dos substratos. Após as 24 horas, foram inoculadas nas caixas lotes homogêneos de larvas com quatro dias de vida, oriundas da EntoGreen, como descrito no subcapítulo 3. As larvas foram mantidas nas caixas experimentais durante 14 dias.

**Tabela 4-** Composição nutricional das dietas experimentais.

Subprodutos	MS	Proteína	Gordura	Fibras	Hidratos C	Cinzas
	--- % ---	----- % MS -----				
CTR	45	28,3	6,6	24,7	nd	nd
CF	40	17,5	20	20	32,5	10
CFF	40	17,5	20	20	32,5	10
FF	40	15	20	22,5	32,5	10
CFA	40	15	15	35	27,5	10

CTR: dieta controlo com uma mistura de cereais e água; CF: dieta composta por couve e farelo de arroz; CFF: dieta composta por couve, resíduos da fermentação de figos e farelo de arroz; FF: dieta composta por resíduos da fermentação de figos e farelo de arroz; CFA: dieta composta por couve, farelo de arroz e cascas/raízes de alho; MS: matéria seca; C: carbono; nd: não disponível.

## 5. Amostragens e Análise Nutricional

O ensaio teve a duração total de 14 dias e as larvas foram amostradas nos dias 0, 3, 6, 9, 12 e 14. Os seguintes parâmetros foram avaliados nos insetos colhidos:

Peso - foram recolhidas aleatoriamente 20 larvas de cada réplica, colocadas num copo de amostra e pesadas numa balança de precisão (modelo PLJ, Kern), com desvio de 0,01 gramas (g). Em seguida, as larvas foram devolvidas à respetiva caixa. Este procedimento foi realizado três vezes em cada réplica.

Comprimento - foram recolhidas aleatoriamente 20 larvas de cada réplica, colocadas numa folha branca junto a uma régua, e foram capturadas imagens com o auxílio de um microscópio digital (versão Basic, Dino-Lite). Posteriormente, as larvas foram medidas no software analisador de imagens *ImageJ*, em milímetros (mm). Este procedimento foi realizado três vezes em cada réplica.

A temperatura das caixas experimentais também foi avaliada nos mesmos dias em que se verificava o peso e comprimento das larvas. Um termómetro (Bodum) foi colocado no centro das caixas experimentais e foi registada a temperatura, em Grau Celsius (°C), dos substratos que estavam a ser consumidos pelas larvas.

Outro dos parâmetros avaliados foi a taxa de crescimento específico (TCE), de modo a demonstrar a velocidade na qual as larvas ganharam peso ao longo do tempo. Foi calculada através da fórmula  $TCE = 100 * [(lnPf - lnPi) / tempo]$ , onde Pf é o peso final, Pi o peso inicial e ln representa a função matemática logaritmo.

Adicionalmente, foram recolhidas larvas das unidades experimentais, de modo a perfazer 100 g de cada dieta, armazenadas separadamente a  $-20^{\circ}\text{C}$  e enviadas para análise laboratorial, para caracterização nutricional, no laboratório ALS Life Sciences Portugal. As análises realizadas foram a percentagem de humidade total (Gravimetria), cinzas (Termogravimetria), hidratos de carbono (Determinação de hidratos de carbono totais-cálculo), proteína (Técnica Dumas), fibras alimentares (Enzimático-Gravimétrico), gordura (Ressonância magnética nuclear pulsada). Além disso, o perfil de ácidos gordos foi avaliado quanto à concentração de ácidos saturados, insaturados e polinsaturados.

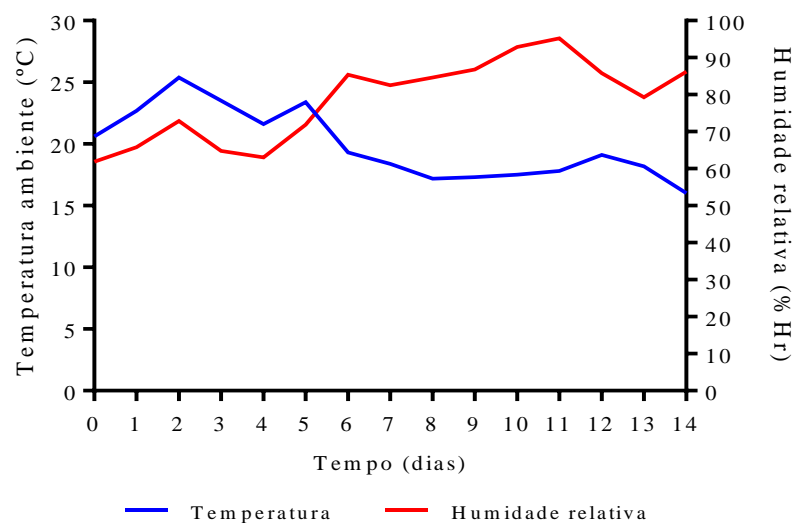
## 6. Análise Estatística

Para a realização da análise estatística foram recolhidos dados como o peso, comprimento e temperatura das dietas em períodos constantes ao longo do tempo. Desta forma são apresentados dados de estatística descritiva, nomeadamente médias e desvios-padrão, tendo sido utilizado o *software* Excel<sup>®</sup> (Microsoft) e o *software* Prism<sup>®</sup> (GraphPad). O teste estatístico utilizado foi o teste de comparação múltipla “Tukey’s” para comparar a influência da dieta nos dados mencionados anteriormente, e os resultados foram considerados estatisticamente significativos quando o valor de  $p \leq 0,05$ .

## IV. Resultados

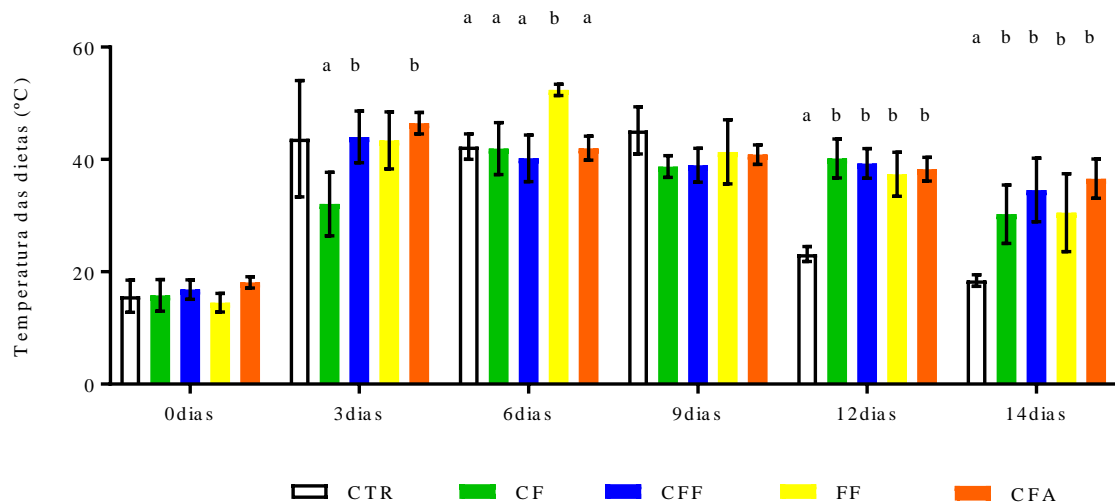
### 1. Condições ambientais na unidade piloto e nos substratos

A temperatura e humidade relativa do ar foram inicialmente estabelecidas em 20°C e 70%, respetivamente. No entanto, foi possível observar uma variação nestes parâmetros ao longo do tempo, sendo registadas temperaturas que variaram entre aproximadamente 15-25°C e humidade relativa entre 65-95%, com valores médios de  $19,9 \pm 2,7^\circ\text{C}$  e  $78,6 \pm 10,7\%$ , respetivamente (Gráfico 1).



**Gráfico 1** - Temperatura (°C) e humidade relativa do ar (%) no interior da sala da unidade piloto ao longo da experiência.

Enquanto as larvas consomem os substratos e se movimentam no interior das caixas experimentais, a temperatura no seu interior pode aumentar, como observado neste estudo. Foi possível observar que a temperatura média dos substratos no início da experiência foi de  $16,2 \pm 1,4^\circ\text{C}$  (considerando todas as dietas), e que esta média aumentou para  $41,9 \pm 5,6^\circ\text{C}$  no terceiro dia e  $43,8 \pm 4,9^\circ\text{C}$  no sexto dia, sendo por fim reduzida para  $30,1 \pm 7,0^\circ\text{C}$  no último dia experimental. Ao 12º dia do ensaio experimental a temperatura das dietas foi estatisticamente inferior na dieta controlo ( $23,2^\circ\text{C}$ ) em comparação com as restantes dietas. O mesmo acontece no 14º dia ( $18,5^\circ\text{C}$ ) (Gráfico 2).

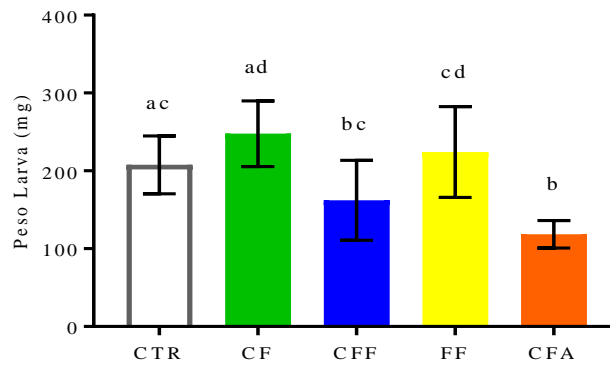


**Gráfico 2** - Temperatura média das dietas (substratos) (°C) nas caixas experimentais durante a experiência.

CTR: dieta controlo com uma mistura de cereais e água; CF: dieta composta por couve e farelo de arroz; CFF: dieta composta por couve, resíduos da fermentação de figos e farelo de arroz; FF: dieta composta por resíduos da fermentação de figos e farelo de arroz; CFA: dieta composta por couve, farelo de arroz e cascas/raízes de alho. As barras verticais representam o desvio padrão das médias calculadas para cada dia de avaliação. Letras diferentes entre cada tratamento diferem estatisticamente ( $P \leq 0,05$ ).

## 2. Crescimento das larvas

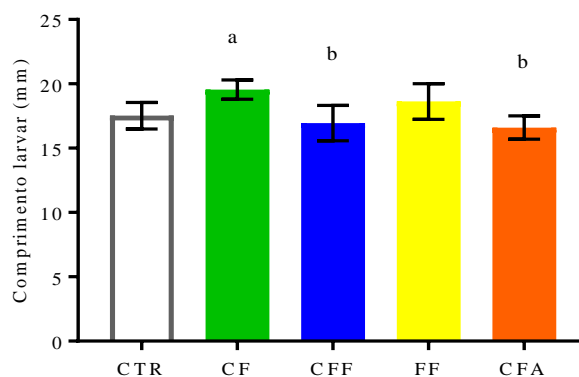
O crescimento das larvas de BSF nas dietas experimentais foi comparado do dia 0 ao dia 14. As larvas de BSF apresentaram crescimento variável quando comparadas às diferentes dietas experimentais ao longo do tempo. O peso médio inicial das larvas provenientes da empresa EntoGreen era de  $4,5 \pm 0,6$  mg e no final da experiência algumas larvas apresentaram um peso médio de  $247,7 \pm 42,2$  mg, como observado na dieta CF. No entanto, outras larvas não cresceram tanto quanto estas, apresentando um peso médio final de  $118,5 \pm 17,8$  mg (CFA), sendo este estatisticamente mais baixo do que os demais. As restantes dietas originaram larvas com pesos intermédios, com valores de  $162,1 \pm 51,3$  mg (CFF),  $207,7 \pm 37,2$  mg (CTR) e  $224,3 \pm 58,3$  mg (FF) (Gráfico 3).



**Gráfico 3** - Peso médio/larva (mg) no fim da experiência.

CTR: dieta controlo com uma mistura de cereais e água; CF: dieta composta por couve e farelo de arroz; CFF: dieta composta por couve, resíduos da fermentação de figos e farelo de arroz; FF: dieta composta por resíduos da fermentação de figos e farelo de arroz; CFA: dieta composta por couve, farelo de arroz e cascas/raízes de alho. As barras verticais representam o desvio padrão das médias calculadas para cada dia de avaliação. Letras diferentes entre cada tratamento diferem estatisticamente ( $P \leq 0,05$ ).

À semelhança do peso, as larvas também apresentaram um comprimento médio variável entre as diferentes dietas. A dieta afetou significativamente o comprimento total das larvas, sendo os maiores valores observados nas larvas alimentadas com a dieta CF ( $19,6 \pm 0,8$  mm) (Apêndice I), enquanto as menores larvas foram registadas na dieta CFA ( $16,6 \pm 0,8$  mm) (Apêndice II), seguidas pelas larvas alimentadas na dieta CFF ( $16,9 \pm 1,4$  mm). As restantes dietas originaram larvas com comprimentos intermédios, com valores de  $17,5 \pm 1,0$  mm para a dieta CTR e  $18,6 \pm 1,4$  mm para a FF (Gráfico 4).

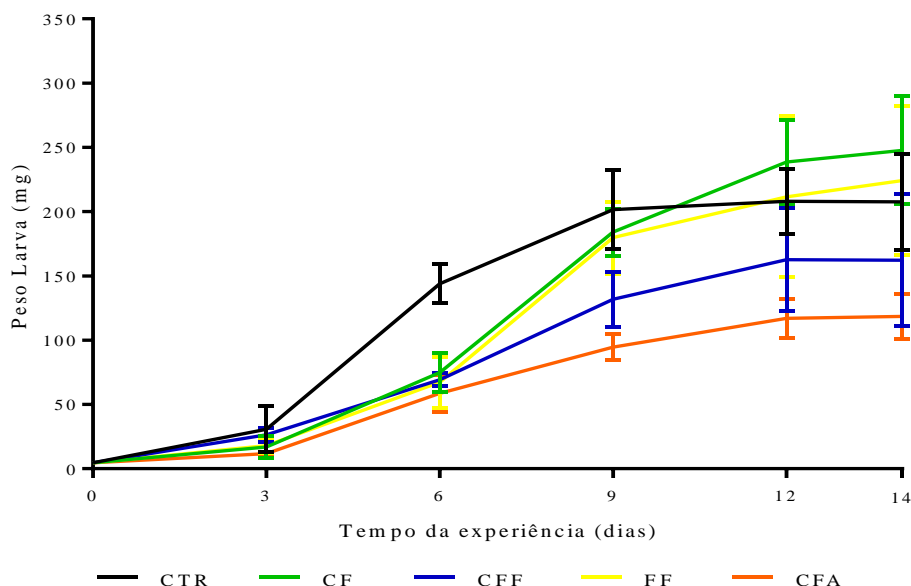


**Gráfico 4** - Comprimento médio/larva (mm) no final da experiência.

CTR: dieta controlo com uma mistura de cereais e água; CF: dieta composta por couve e farelo de arroz; CFF: dieta composta por couve, resíduos da fermentação de figos e farelo de arroz; FF: dieta composta por resíduos da fermentação de figos e farelo de arroz; CFA: dieta composta por couve, farelo de arroz e cascas/raízes de alho. As barras verticais representam o desvio padrão das médias calculadas para cada dia de avaliação. Letras diferentes entre cada tratamento diferem estatisticamente ( $P \leq 0,05$ ).

Através do cálculo da TCE, foi possível verificar que a fase em que as larvas cresceram mais rapidamente foi a inicial, nos seis primeiros dias, com valores de  $46,5 \pm 11,8\%$  dia<sup>-1</sup> e  $47,8 \pm 9,4\%$  dia<sup>-1</sup> para o intervalo entre o 0 e 3º dia e 3º e o 6º dia, respetivamente. A partir do 9º dia observou-se que a TCE começou a diminuir, com valores de  $5,6 \pm 2,9\%$  dia<sup>-1</sup> para o intervalo entre o 9º e o 12º dia. No período do 12º ao 14º dia observou-se uma TCE de  $0,8 \pm 1,8\%$  dia<sup>-1</sup> (considerando todas as dietas). A dieta CTR foi a que apresentou maior TCE entre os dias 3 a 6 ( $56\%$  dia<sup>-1</sup>), logo de seguida começou a diminuir no período do 6º ao 9º dia, com valores de  $11,1\%$  dia<sup>-1</sup>, diminuindo para  $1,1\%$  dia<sup>-1</sup> do 9º ao 12º dia, caindo para valores de  $-0,4\%$  dia<sup>-1</sup> no 12º a 14º dias. Entre o 6º a 9º dia a dieta que apresentou maior TCE foi a dieta FF seguida da dieta CF, com valores de  $34\%$  dia<sup>-1</sup> e  $30,6\%$  dia<sup>-1</sup>, respetivamente (Gráfico 5).

Assim, como observado para o peso final, as larvas do tratamento CF foram as que apresentaram maior TCE e ganho de peso, sendo de  $28,5\%$  dia<sup>-1</sup> e  $243,2$  mg, respetivamente. Contrariamente, o tratamento com os menores índices foi o CFA, com TCE média de  $23,3\%$  dia<sup>-1</sup> e ganho de peso de  $114$  mg ao longo dos 14 dias experimentais. Independentemente do ganho de peso, parte das larvas de todas as dietas atingiram o último instar larvar, a pré pupa, até ao final do período experimental (Gráfico 5).

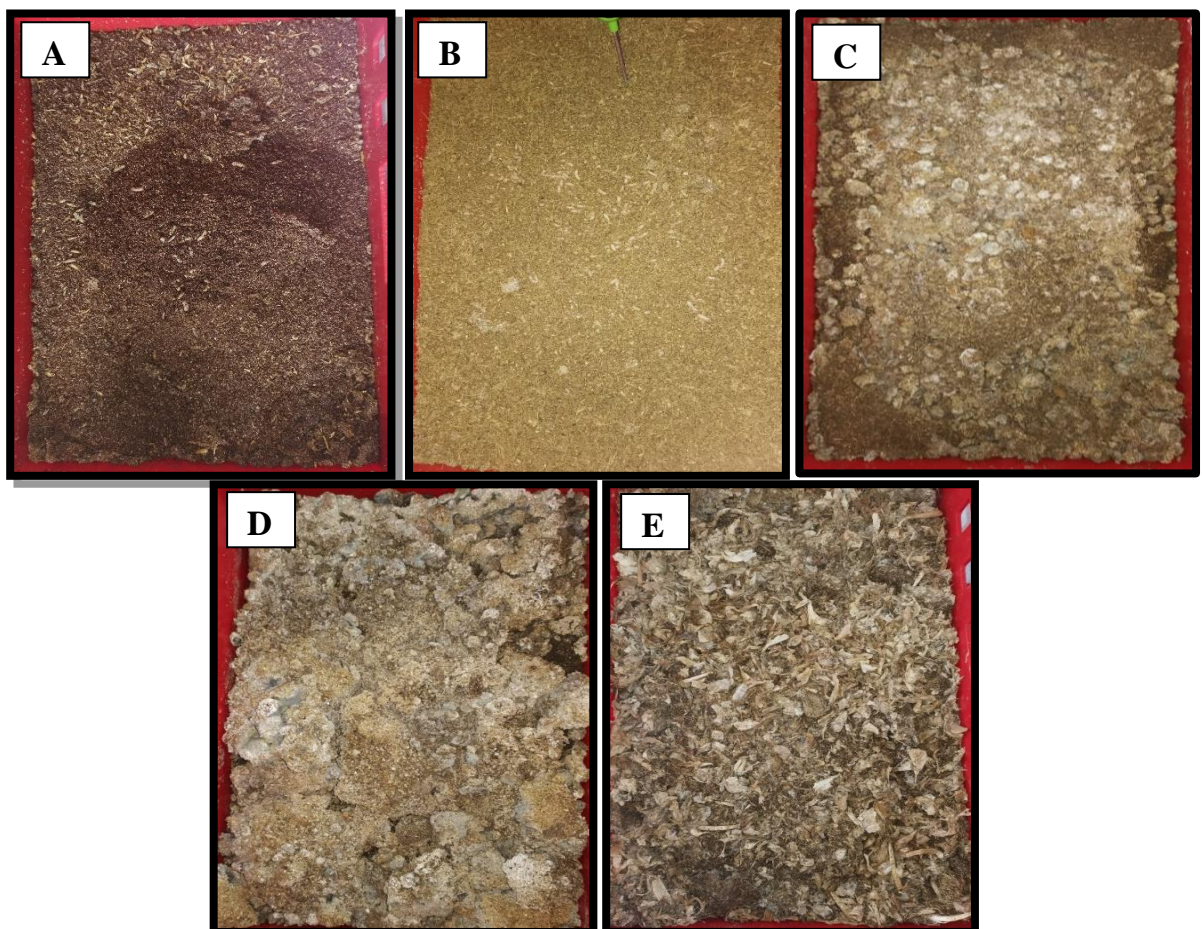


**Gráfico 5-** Peso médio (mg) larvar ao longo da experiência.

CTR: dieta controlo com uma mistura de cereais e água; CF: dieta composta por couve e farelo de arroz; CFF: dieta composta por couve, resíduos da fermentação de figos e farelo de arroz; FF: dieta composta por resíduos da fermentação de figos e farelo de arroz; CFA: dieta composta por couve, farelo de arroz e cascas/raízes de alho. As barras verticais representam o desvio padrão das médias calculadas para cada dia de avaliação.

### 3. Conversão de subprodutos

Através de uma observação direta foi possível realizar uma avaliação subjetiva da conversão dos subprodutos pelas larvas. A dieta CTR e CF foram as que obtiveram melhores resultados, uma vez que as larvas conseguiram digerir os subprodutos, tal como observado na figura 8A e 8B, respetivamente. Quanto às restantes dietas, pode verificar-se que existe uma grande percentagem de subprodutos que não foram digeridos, como observado na dieta CFF, FF e CFA, estando estes ordenados do melhor resultado para o pior no que diz respeito à conversão dos subprodutos, na figura 8C, 8D e 8E, respetivamente.



**Figura 8** - Dietas convertidas pelas larvas da BSF no final da experiência CTR (8A), CF (8B), CFF (8C), FF (8D) e CFA (8E) (fotografias originais da autora).

## 4. Composição Nutricional das larvas

### 4.1. Matéria Seca

Os valores da MS nas larvas variaram entre 25,3% e 31,9%. Larvas alimentadas com a dieta CTR e FF obtiveram a maior percentagem de MS e o menor valor foi obtido nas larvas alimentadas com a dieta CFA (Tabela 5).

**Tabela 5-** Composição nutricional das larvas alimentadas com as dietas experimentais.

Dieta	MS	Proteína	Gordura	Fibras	Hidratos C	Cinzas
	--- % ---	----- % MS -----				
CTR	31,9	48,3	14,7	17,6	7,2	12,3
CF	31,2	47,4	20,5	15,7	7,7	8,8
CFF	29,6	51,4	23,2	14,9	2,0	8,4
FF	31,9	45,4	19,8	18,5	6,9	9,2
CFA	25,3	46,6	11,1	19,0	10,3	13,3

CTR: dieta controlo com uma mistura de cereais e água; CF: dieta composta por couve e farelo de arroz; CFF: dieta composta por couve, resíduos da fermentação de figos e farelo de arroz; FF: dieta composta por resíduos da fermentação de figos e farelo de arroz; CFA: dieta composta por couve, farelo de arroz e cascas/raízes de alho; MS: matéria seca; C: carbono.

### 4.2. Proteína

O teor de proteína nas larvas variou entre 45,4% e 51,4% com base na MS, verificou-se o menor valor em larvas alimentadas com FF, de 45,4% (em MS) e, o maior, quando alimentadas com CFF, 51,4% (em MS). Para as dietas de CFA, CF e CTR os valores foram de 46,6%, 47,4% e 48,3% (em MS), respetivamente (Tabela 5).

### 4.3. Gordura

A gordura presente nas larvas variou entre 11,1% e 23,2% (com base na MS). As larvas com menos teor de gordura corresponderam às alimentadas com a dieta de CFA, com valores de 11,1% e com maior teor de gordura referente à dieta CFF (23,2%). Quando alimentadas com a dieta CF o valor foi de 20,5%, já na dieta FF o valor foi de 19,8%. Quando alimentadas com a dieta CTR o valor foi de 14,7% (Tabela 5).

#### 4.3.1. Perfil de ácidos gordos

O perfil de ácidos gordos foi avaliado quanto à concentração de ácidos saturados, monoinsaturados e polinsaturados. Os valores obtidos estão apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6-** Composição em ácidos gordos presentes nas larvas alimentadas com as dietas experimentais.

<b>Dieta</b>	<b>AG. Saturados</b>	<b>AG. Monoinsaturados</b>	<b>AG. Polinsaturados</b>
	-----% -----	-----%-----	-----%-----
CTR	22,4	5,0	4,6
CF	17,3	6,8	7,1
CFF	14,1	7,4	8,0
FF	16,0	7,9	8,0
CFA	11,6	6,8	6,8

CTR: dieta controlo com uma mistura de cereais e água; CF: dieta composta por couve e farelo de arroz; CFF: dieta composta por couve, resíduos da fermentação de figos e farelo de arroz; FF: dieta composta por resíduos da fermentação de figos e farelo de arroz; CFA: dieta composta por couve, farelo de arroz e cascas/raízes de alho; AG: ácidos gordos; G: gordura. Valor de ácidos gordos calculados com base na % de gordura total.

#### 4.4. Fibras

O valor do teor das fibras presente nas larvas variou entre 14,9% e 19,0% (com base na MS). As larvas com o valor menor corresponderam às alimentadas com a dieta CFF e com o valor maior quando alimentadas com a dieta CFA. Quando alimentadas com a dieta CF, CTR, FF os valores foram de 15,7%, 17,6% e 18,5%, respetivamente (Tabela 5).

#### 4.5. Hidratos de carbono

O conteúdo de hidratos de carbono presente nas larvas compreenderam valores entre 2,0% e 10,3% (com base na MS). O valor mais baixo correspondeu às larvas alimentadas com a dieta CFF e o valor mais elevado à dieta CFA. Valores intermédios corresponderam às larvas alimentadas com as dietas FF (6,9%), CTR (7,2%) e CF (7,7%) (Tabela 5).

#### 4.6. Cinzas

O teor de cinzas compreendeu valores entre 8,4 % e 13,3 % (com base na MS). Os valores mais baixos corresponderam às larvas alimentadas com a dieta CFF (8,4%) e com maior percentagem de cinzas correspondeu à dieta CFA. Valores intermédios corresponderam às larvas alimentadas com as dietas CF (8,8%), FF (9,2%) e CTR (12,3%) (Tabela 5).

## **5. Gestão de subprodutos na unidade piloto**

Como referido anteriormente, a empresa Mendes Gonçalves gera cerca de 81.000 kg de subprodutos anuais. Entre os quais, o resíduo da fermentação de figos e casca/raízes de alho que perfazem 60.000 kg e 16.000 kg, respetivamente. Os subprodutos gerados diariamente representam uma quantidade de 222 kg, para tratar estes resíduos seriam necessárias 16,5 caixas para realizar a bioconversão pelas larvas da BSF. Nesta experiência foram utilizadas 25 caixas de bioconversão em simultâneo, o que representa 337,5 kg de subprodutos bioconvertidos. Tendo em conta que o processo tem uma duração de 15 dias, podem assim ser tratados 675 kg mensalmente numa unidade de 8m<sup>2</sup>. Para tratar a totalidade dos subprodutos seriam necessárias 247,5 caixas anualmente, ou seja, estas caixas seriam utilizadas de 15 em 15 dias, desta forma, seriam necessárias 10 unidades de 8m<sup>2</sup> para o tratamento de todos os subprodutos gerados pela empresa.

## V. Discussão

O presente estudo pretendeu valorizar os subprodutos da indústria alimentar através da utilização de larvas de BSF e posterior obtenção de um ingrediente para a alimentação animal. Foi também avaliado a influência do substrato de alimentação no peso, comprimento e composição nutricional das larvas.

A temperatura do ar e a humidade relativa são dois fatores chave que influenciam a alimentação, o desenvolvimento e o ciclo de vida da BSF, desta forma é fundamental que estes parâmetros sejam monitorizados (Dortmans *et al.*, 2017). Apesar das condições climáticas da sala da unidade piloto terem sido uma limitação, não sendo possível obter uma temperatura e humidade relativa constantes, estas foram monitorizadas ao longo do estudo. A temperatura ambiente no interior da sala oscilou entre 15-25°C e 65-95% de humidade relativa, com valores médios de  $19,9 \pm 2,7^\circ\text{C}$  e  $78,6 \pm 10,7\%$ , respetivamente. Segundo Harnden & Tomberlin (2016), larvas criadas a temperaturas entre 27°C e 32°C, têm um peso final 30% maior do que as criadas a temperaturas mais altas ou mais baixas, embora necessitem de um pouco mais de tempo para se desenvolverem. Verificaram que uma temperatura ambiente de 27,6°C deu origem a larvas com maior peso ( $178,4 \text{ mg} \pm 25,9 \text{ mg}$ ) em comparação com uma temperatura ambiente de 24,9°C ( $109,1 \text{ mg} \pm 7,8 \text{ mg}$ ) quando alimentadas com a mesma dieta (mistura de cereais) e humidade relativa de 55%. O mesmo se observou no comprimento, com valores de  $18,78 \text{ mm} \pm 1,24 \text{ mm}$  e  $16,79 \text{ mm} \pm 0,60 \text{ mm}$  para temperaturas ambientes de 27,6°C e 24,9°C, respetivamente. Outros autores, como Chia *et al.* (2018) também relatam um peso médio larvar mais elevado (216 mg) a 37° C e mais baixo (159 mg) a 15°C, demonstrando assim que a temperatura é um dos fatores chave para o desenvolvimento larvar. No estudo de Harnden & Tomberlin (2016) foi utilizado uma humidade relativa inferior à do presente estudo, e embora as dietas utilizadas não tenham sido as mesmas, o controlo pode ser uma mais-valia para a verificação de alguns fatores. Desta forma, a humidade relativa mais elevada pode ter influenciado os resultados positivos em relação ao peso e ao comprimento no presente estudo, tal como se pode verificar pelas condições ambientais presentes na sala da unidade piloto (Gráfico 1). Estas proporcionaram assim, um peso larvar superior aos valores encontrados na literatura.

O desenvolvimento larvar é acompanhado por um aumento regular da temperatura da dieta de alimentação. De acordo com as fases descritas por Ushakova *et al.* (2018) no que diz respeito às alterações da temperatura no substrato alimentar durante o desenvolvimento larvar,

verificou-se no presente estudo que não existiu um atraso na mudança da temperatura em nenhuma das dietas, desta forma não ocorreu a fase de atraso, possivelmente, devido ao facto das dietas terem sido colocadas na sala da unidade piloto, no dia anterior ao início da experiência de modo a promover uma temperatura de aproximadamente 20°C (temperatura ambiente), passando imediatamente à fase do aumento da temperatura. No 3º dia, a dieta CF obteve um resultado significativamente inferior em relação à dieta CFF e CFA, mas este resultado foi desvalorizado, pois a caixa experimental estava junto ao chão onde as temperaturas eram inferiores (24,6°C) em relação às outras caixas experimentais. No 6º dia, a dieta FF apresentou resultados significativamente superiores em relação às outras dietas. Esta situação pode ser explicada pelo facto de nesse período de tempo o termoventilador ter incidido mais sobre essa dieta. A fase de conversão estacionária na dieta CTR teve a duração de seis dias, com um pico máximo de temperatura ao nono dia (45,2°C) e a partir daí começou a baixar, chegando à temperatura ambiente no 14º dia (18,5°). Nas restantes dietas, a fase de conversão estacionária não foi bem definida, assim como a fase de arrefecimento e nenhuma das dietas atingiu a temperatura ambiente, à exceção da dieta CTR. O facto da temperatura da dieta ter começado a baixar ao 9º dia, pode indicar que as larvas estão a terminar a conversão dos subprodutos, entrando no último instar larvar, a pré-pupa, deixando assim de se alimentar. As restantes dietas, que não chegaram à temperatura ambiente, ainda tinham subprodutos para digerir, embora em diferentes quantidades.

Foi relatado na literatura que a temperatura ótima para as enzimas do intestino das larvas BSF era de 40°C para a amilase e lipase e 45°C para a protease (Supriyatna *et al.*, 2015). Assim, as temperaturas de aquecimento observadas na maioria dos substratos estudados são ótimas para a atividade das enzimas digestivas das larvas. Contudo, a temperatura mais elevada na dieta CFA (46,5°C) resultou num peso larvar mais baixo (118,5 ± 17,8 mg). Possivelmente, devido ao facto desta dieta conter um teor de fibra de 35% MS. Na dieta CF, com um teor de fibra mais baixo (20%), foi possível obter o peso larvar mais elevado. Este valor é bastante superior ao observado por Ushakova *et al.* (2018) que relatou que um teor de fibras no substrato superior a 7% (valor observado em substratos com resíduos de cozinha) como um fator limitante para o desenvolvimento larvar.

Para além das condições ambientais, as dietas tiveram um impacto significativo no peso larvar final. O peso larvar mais elevado foi observado na dieta CF (247,7 ± 42,2 mg) e mais baixo na dieta CFA (118,5 ± 17,8 mg). O peso das larvas alimentadas com a dieta CF, FF

e CTR foi superior ao peso observado por Jucker *et al.* (2017) que obteve um peso larvar de 184 mg com uma dieta de vegetais (alface, feijão verde e couve) e por Nguyen *et al.* (2013) que observou um peso de 123,3 mg quando alimentadas com frutas e vegetais.

Segundo Scala *et al.* (2020), a criação em massa pode influenciar positivamente o desempenho do desenvolvimento larvar, em contraste com uma escala de bancada ou de laboratório, em que o número de larvas e a quantidade de substrato são inferiores. Desta forma, este é um dos fatores que pode ter influenciado os resultados superiores do presente estudo em comparação com os da literatura, uma vez que as quantidades de larvas e substrato foram superiores. No estudo de Scala *et al.* (2020) verificaram um peso máximo de 175 mg quando alimentadas com subprodutos de cervejarias, e, embora este tenha sido um estudo de larga escala, foi utilizado menos quantidade de substrato em comparação com a do presente estudo.

No que diz respeito à TCE, a dieta CTR foi a que teve maior crescimento nos primeiros dias, uma vez que todas as dietas estavam à mesma temperatura ambiente. Este resultado pode ter sido influenciado pelo teor de proteína na dieta CTR, apresentando este o teor mais elevado de todas as dietas (Gráfico 5). Substratos ricos em proteínas proporcionam uma redução do tempo de desenvolvimento larvar (Nguyen *et al.*, 2013; Oonincx *et al.*, 2015). A TCE da dieta CTR corrobora com o aumento da temperatura das dietas, uma vez que, a partir do 9º dia, a temperatura começou a baixar de forma mais acentuada e a TCE também diminuiu, suportando a teoria mencionada anteriormente, que neste período as larvas estão a terminar a conversão dos subprodutos, entrando no último instar larvar, a pré-pupa, deixando assim de se alimentar. Como seria de esperar a TCE foi superior na dieta com maior peso larvar (CF).

Embora a taxa de bioconversão dos subprodutos não tenha sido calculada, devido à impossibilidade da separação do substrato das larvas, por inexistência de uma peneira foi, no entanto, possível verificar através de uma avaliação de carácter subjetivo, o grau de conversão de resíduos realizado pelas larvas. Verificou-se que tanto na dieta CTR como na dieta CF os resultados foram positivos, sendo estas dietas mais fáceis de digerir. As restantes dietas obtiveram resultados mais baixos, possivelmente devido ao facto destas últimas não terem sido trituradas, e, desta forma as larvas não conseguiram digerir os substratos (subprodutos). Sendo esta outra limitação do estudo, uma vez que não foi possível triturar alguns dos ingredientes das dietas (resíduo da fermentação de figo e casca/raíz de alho) de modo a obter granulometrias de pequenas dimensões (1-2 mm). Adicionalmente, a dieta CFA apresentava uma camada de resíduos superior a 5cm, o que pode também ter influenciado os resultados inferiores nesta

dieta. Segundo Dortmans *et al.* (2017), as larvas têm dificuldade para digerir os resíduos quando as camadas de resíduos são superiores a 5cm.

Na dieta CF e CTR o teor de fibras não foi um fator limitante para o bom resultado das dietas, uma vez que os seus constituintes estavam bem triturados, tal como no estudo de Scala *et al.* (2020) que demonstraram que as larvas podem digerir dietas com alto teor de fibra, devido às bactérias intestinais fibrolíticas. Apesar das restantes dietas terem um teor de fibras semelhante à dieta CF (à exceção da CFA, que possui um teor mais elevado), o facto de não terem sido trituradas de modo a obter granulometrias de pequenas dimensões, foi um fator limitante na conversão das dietas.

Os resultados confirmaram que o substrato de alimentação afeta a composição nutricional das larvas. Os substratos utilizados foram resíduos agroindustriais normalmente disponíveis e uma mistura de cereais como controlo. A proteína obteve valores entre 45,4% e 51,4% e a gordura obteve uma variação maior entre 11,1% e 23,2%. Estas variações são consistentes com os resultados encontrados na literatura, nomeadamente na revisão realizada por Barragan-Fonseca *et al.* (2017). Estes autores relatam um teor proteico de 37% a 63% (em %MS), enquanto a gordura apresenta uma variação superior entre 7% e 39%.

Spranghers *et al.* (2017) e Barragán-Fonseca *et al.* (2018) observaram que o teor de proteína larvar oscila pouco, independentemente da dieta, em comparação com o conteúdo de gordura larvar que é fortemente afetado pela concentração de nutrientes na dieta de alimentação. Estes dados verificaram-se em larvas alimentadas com subprodutos da indústria alimentar. Esta conclusão pode ser uma explicação para que no presente estudo, o conteúdo de proteína das larvas tenha variado pouco, mesmo com diferentes teores de proteína na dieta, em comparação com o teor de gordura das larvas que variou em função da dieta, tal como observado na Tabela 5. A única exceção foi na dieta CTR, que continha menos teor de gordura que as restantes, sendo este parâmetro nas larvas influenciado pela quantidade de proteína da dieta. Segundo Spranghers *et al.* (2017) o teor de gordura das larvas aumenta quando as % de hidratos de carbono e de proteína são altos.

As larvas alimentadas com a dieta CFF obtiveram um teor de proteína superior às restantes (51,4 %). Este valor foi superior à dieta CTR tanto neste estudo, como os pesquisados na literatura (Nguyen *et al.*, 2015; Oonincx *et al.*, 2015). Este valor foi observado na dieta que possuía vários ingredientes presentes no estudo, além de possuir a mesma composição nutricional que a dieta CF, também incluía resíduo da fermentação do figo. Noutro estudo

realizado por Ewald *et al.* (2020), o conteúdo de proteína bruta foi semelhante ao observado neste estudo quando as larvas foram alimentadas num substrato de truta e farelo de trigo (52,6%).

O facto do teor de proteína ter sido superior aos valores relatados na literatura, poderá ser explicado pela dificuldade em calcular exclusivamente o teor proteico do inseto e desconsiderar a porção de azoto presente na quitina (Spranghers *et al.*, 2017).

A percentagem de ácidos gordos foi dividida entre saturados, monoinsaturados e polinsaturados, sendo que a maior porção e também a maior variação, correspondeu aos saturados com valores entre 11,6% e 22,4%. Tal como relatado na literatura, o conteúdo de ácidos gordos observado no estudo foi superior em saturados e em menor quantidade em insaturados (Lawal *et al.*, 2021). Ácidos gordos monoinsaturados e polinsaturados tiveram variações semelhantes com valores entre 5,0%-7,9% e 4,6%-8,0%, respetivamente. Os valores de ácidos gordos obtidos neste estudo são inferiores aos relatados por Ewald *et al.* (2020) que descreveu variações de ácidos gordos saturados entre 45% e 76 % para larvas alimentadas com mexilhões ensilados e pão, respetivamente. Relativamente aos ácidos gordos polinsaturados os resultados são semelhantes aos mencionados por estes autores, quando as larvas eram alimentadas com mexilhões frescos.

O teor de hidratos de carbono das larvas variou entre 2,0% e 10,3%, porém os valores da dieta eram bastante mais elevados, esses podem ser explicados pelo facto das larvas converterem principalmente os hidratos de carbono em lípidos quando as dietas são baixas em teor de proteína e altas em hidratos de carbono (Pimentel *et al.*, 2017). O teor de cinzas das larvas variou entre 8,4% e 13,3%, estes valores estão de acordo com Makkar *et al.* (2014) que relata valores entre 9,0% e 28%. Os resultados obtidos no presente estudo estão de acordo com outros autores, que verificaram que o conteúdo de cinzas na dieta influencia o teor de cinzas nas larvas (Spranghers *et al.*, 2017).

O teor de fibras presente nas larvas variou entre 14,9% e 19,0%, não se tendo alterado em função da dieta. Embora a maior parte da fibra presente nas larvas representem a quitina, os valores observados no presente estudo foram bastantes superiores aos relatados na literatura por Soetemans *et al.* (2020) que obteve valores de 9,5%. Esta variação pode ser explicada pelos diferentes métodos de análise utilizados.

Embora neste estudo se tenha verificado que a composição nutricional das dietas influenciou a composição nutricional das larvas, não foi possível concluir que estes resultados tenham sido significativos, pois não se realizou uma análise estatística, uma vez que apenas se possuía caracterização nutricional de cada dieta, não existindo amostras suficientes para análise, tendo sido esta outra das limitações do estudo. Também o facto de alguns métodos de análises terem sido diferentes de outros estudos possa ter sido um fator limitante, desta forma é necessário que exista uma padronização dos métodos para avaliar a composição nutricional das larvas, e assim, conseguir fazer comparações mais fidedignas.

Fatores abióticos, tais como a temperatura, também podem afetar o perfil nutricional das larvas. Palma *et al.* (2019) relata que um aumento da temperatura de 28°C para 34°C diminui o teor de proteína de 48,2% para 46,3%, aumenta o teor de cinzas de 10,3% para 11,6% e diminui o teor de gordura de 7,1% para 4,0%. No presente estudo foi possível obter valores superiores aos encontrados na literatura com temperaturas inferiores, porém estes resultados positivos podem ser explicados pelo facto deste estudo ter sido realizado em larga escala, como mencionado anteriormente.

O método de abate também pode influenciar a composição nutricional das larvas. Neste caso o método utilizado foi a congelação (-20°C), sendo este o método mais utilizado pelas empresas de criação de insetos (Caligiani *et al.*, 2019). Os valores de humidade das larvas avaliadas no presente estudo variaram entre 68% e 75%, sendo inferiores aos relatados por Larouche *et al.* (2019) que apresentaram valores de 82%. As larvas do estudo referido foram alimentadas com dietas de 70% de humidade, enquanto as larvas presentes neste estudo foram alimentadas com dietas com teor de 60% de humidade. Em relação ao teor de gordura, este foi superior no presente estudo (14,7%) quando comparado com Larouche *et al.* (2019) que relataram valores de 12,8%. Estes autores, ainda verificaram que, quando utilizavam outros métodos, tais como o branqueamento, obtinham valores superiores em gordura. Desta forma, verifica-se que a composição lipídica das larvas também pode ser influenciada pelo método de abate.

Globalmente, os resultados mostram que o peso, comprimento e composição nutricional das larvas BSF são afetados pela composição nutricional da dieta fornecida. A avaliação das necessidades nutricionais das larvas BSF e a avaliação de resíduos orgânicos para obter um desempenho ótimo das larvas em termos de desenvolvimento, eficiência na redução de resíduos e composição nutricional são fundamentais para obter um sistema de criação em

massa mais sustentável (Spranghers *et al.*, 2017; Meneguz *et al.*, 2018; Chia *et al.*, 2020). Os resíduos utilizados ou combinações dos mesmos devem ser selecionadas de modo a produzir larvas com o perfil nutricional pretendido, caso seja para indústria animal ou produção de biodiesel.

O interesse em utilizar subprodutos das indústrias agro-alimentares como substrato de criação de insetos está a aumentar rapidamente (Galassi *et al.*, 2021). Os resíduos orgânicos normalmente disponíveis no sector agroalimentar, tais como resíduos vegetais (couve portuguesa) e farelo de arroz podem ser utilizados com sucesso à escala industrial para produzir larvas de BSF de alta qualidade que têm o potencial de substituir outras fontes de proteínas e lípidos. A grande disponibilidade de resíduos vegetais e frutas (principalmente de mercados e supermercados) pode permitir o desenvolvimento de uma produção em massa de larvas de BSF, permitindo uma gestão mais sustentável de resíduos orgânicos (Barragan-Fonseca *et al.*, 2017).

Aquando da finalização do estudo foi obtido um ingrediente (larvas de BSF) que serviu para alimentação animal. Apesar do estudo não contemplar a monitorização e avaliação de parâmetros aquando do fornecimento de larvas BSF às galinhas foi possível observar que os animais consumiam menos ração biológica aquando do fornecimento de larvas. Segundo Ipema *et al.* (2020) o consumo de ração diminuiu proporcionalmente à quantidade de larvas de BSF vivas ingeridas, sendo que o peso final dos frangos não foi influenciado pelo fornecimento de larvas.

Embora as larvas da BSF tenham sido utilizadas apenas para alimentação animal, como observado no presente estudo, poderiam ter um grande potencial para introdução na alimentação humana, devido ao seu teor nutritivo. Para serem introduzidas como um produto comercial na alimentação humana, as larvas poderiam ser moídas e convertidas numa proteína texturizada de sabor forte (Wang & Shelomi, 2017). Existem dados que comprovam que os consumidores ocidentais estão mais propensos ao consumo de insetos em produtos conhecidos, por oposição à introdução de insetos no mercado em produtos completamente novos ou desconhecidos (Tan *et al.*, 2015). Por exemplo, grilos e larvas da farinha foram processados com sucesso em hambúrgueres, e atualmente são vendidos em nichos de mercado na Europa (Schouteten *et al.*, 2016). Segundo Yeomans *et al.* (2008), reduzir a visibilidade do inseto e incorporá-lo num produto familiar e apreciado, geralmente melhora a intenção de experimentar uma espécie desconhecida, pois a familiaridade com certos ingredientes, e o apelo visual podem oferecer expectativas sensoriais positivas.

Uma vez que um dos motivos de preocupação na integração dos insetos na alimentação humana é a acumulação de potenciais contaminantes ao converter resíduos orgânicos (Wang & Shelomi, 2017), sugere-se que as larvas sejam criadas em dietas de resíduos “limpos” para mitigar riscos (EFSA, 2015). No entanto, são necessários mais estudos para garantir a segurança alimentar do consumo de larvas destinadas ao consumo humano (Bessa *et al.*, 2020).

O método de abate de larvas por branqueamento poderá ser uma opção eficaz para garantir a segurança, pois não só reduz a carga microbiana na biomassa de BSF, como também é um método rápido e menos dispendioso, que atenua a oxidação lipídica, aumenta a estabilidade da cor e melhora o sabor (Larouche *et al.*, 2019).

A desidratação é considerada uma opção promissora para a conservação e tem mostrado resultados favoráveis tanto em condições refrigeradas como não refrigeradas (Klunder *et al.*, 2012).

Para tornar as larvas de BSF ou quaisquer outros insetos num alimento humano seguro para mercados regulamentados, é fundamental que os métodos de criação, preparação, desinfecção, processamento, embalagem e armazenamento sejam adequados (Bessa *et al.*, 2020).

## **VI. Conclusões**

Este estudo foi essencial para demonstrar que é possível valorizar os subprodutos existentes na própria indústria, demonstrando assim, que as empresas do setor agroalimentar podem ter um papel fundamental na gestão dos próprios subprodutos, procurando agir de forma mais sustentável. Este projeto enquadrou-se na perspetiva de uma economia circular, uma vez que as larvas alimentaram-se dos subprodutos tendo sido obtido uma biomassa valiosa, que serviu de alimento para os animais existentes.

No geral, todos os objetivos do estudo foram cumpridos. Em relação à valorização dos subprodutos, as dietas que obtiveram melhores resultados foram a dieta CTR e CF, em oposição à dieta CFA, na qual a conversão dos subprodutos foi praticamente nula, devido ao facto da dieta não estar em condições ideais para o consumo das larvas. Observou-se também que a dieta CF seria a dieta mais indicada para adotar como dieta padrão na própria empresa, pela praticidade da elaboração da mesma, uma vez que poderia ser triturada em granulometrias de menores dimensões. Adicionalmente, esta também foi a dieta que obteve os melhores resultados em ganho de peso, tendo um crescimento de 55 vezes em relação ao peso inicial. Em relação à composição nutricional das larvas, o teor de proteína não foi alterado pela dieta fornecida, no entanto o teor de gordura e cinzas da dieta influenciou diretamente a composição das larvas.

## VII. Perspetivas futuras

A produção das larvas BSF é uma opção a valorizar na sustentabilidade ambiental, e, como se verificou neste estudo, existem imensas possibilidades de utilização das mesmas.

No seguimento do estudo foram efetuados testes de produtos que poderiam potencialmente ser utilizados na alimentação humana, apresentados no apêndice III e IV, como “húmus” e “creme de frutos secos e mel” respetivamente, com diferentes inclusões de farinha de larva BSF. No entanto, torna-se imperativo a realização de mais estudos para testar a sua segurança, nomeadamente análises microbiológicas e de contaminantes químicos, para verificar se os produtos estão dentro dos limites regulamentados.

Outro aspeto fundamental seria informar a população, através de ações de divulgação, em meios de comunicação social e cartazes, para que a sua aceitação seja possível. Também a formação em escolas sobre esta matéria seria fundamental para que futuramente este ingrediente seja aceite naturalmente.

Posteriormente, também seria importante a realização de questionários à população para verificar a aceitação do consumidor nos possíveis produtos.

Em relação aos subprodutos da empresa em estudo, no futuro, de modo a dar continuidade a este trabalho seria interessante estudá-los conforme a sua sazonalidade na empresa Mendes Gonçalves e, desta forma, determinar a dieta mais adequada às necessidades nutricionais das larvas conforme a época do ano.

Outra das sugestões seria alimentar as galinhas existentes com vários níveis de inclusão de larvas e verificar a sua influência na postura de ovos. Adicionalmente, também se poderia realizar estudos sobre o fertilizante nas suas terras.

De mencionar a importância da realização de mais estudos sobre a bioconversão em larga escala, para que a valorização dos subprodutos seja uma realidade cada vez mais presente nas indústrias, procurando assim agir de forma mais sustentável.

## VIII. Referências Bibliográficas

Agazzi, A., Invernizzi, G. & Savoini, G. (2016). New Perspectives for a Sustainable Nutrition of Poultry and Pigs. *Journal of Dairy, Veterinary & Animal Research*, 3(3), 97-99.

Alexandratos, N. & Bruinsma, J. (2012). World Agriculture towards 2030/2050: The 2012 revision. ESA Working Paper No. 12-03. FAO, Rome.

Arru, B., Furesi, R., Gasco, L., Madau, F. A. & Pulina, P. (2019). The Introduction of Insect Meal into Fish Diet: The First Economic Analysis on European Sea Bass Farming. *Sustainability*, 11(6), 1-16.

Barbi, S., Macavei, L. I., Fuso, A., Luparelli, A. V., Caligiani, A., Ferrari, A. M., ... Montorsi, M. (2020). Valorization of seasonal agri-food leftovers through insects. *Science of the Total Environment*, 709.

Barragan-Fonseca, K. B., Dicke, M. & van Loon, J. J. A. (2017). Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed - a review. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(2), 105–120.

Barragan-Fonseca, K., Pineda-Mejia, J., Dicke, M. & van Loon, J. J. A. (2018). Performance of the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) on Vegetable Residue-Based Diets Formulated Based on Protein and Carbohydrate Contents. *Journal of Economic Entomology*, 111(6), 2676–2683.

Bessa, L. W., Pieterse, E., Marais, J. & Hoffman, L. C. (2020). Why for feed and not for human consumption? The black soldier fly larvae. *Comprehensive Reviews Food Science and Food Safety*, 19(5), 2747–2763.

Bühler AG. (2021). Insects to feed the world, Bühler Insect Technology Solutions AG. Acedido em 10 de outubro de 2021 em <https://www.buhlergroup.com/content/buhlergroup/global/en/industries/insect-technology.html>

Caligiani, A., Marseglia, A., Sorci, A., Bonzanini, F., Lolli, V., Maistrello, L. & Sforza, S. (2019). Influence of the killing method of the black soldier fly on its lipid composition. *Food Research International*, 116, 276–282.

Cappelozza, S., Leonardi, M. G., Savoldelli, S., Carminati, D., Rizzolo, A., Cortellino, G., ... Tettamanti, G. (2019). A first attempt to produce proteins from insects by means of a circular economy. *Animals*, 9(5).

Chia, S. Y., Tanga, C. M., Khamis, F. M., Mohamed, S. A., Salifu, D., Sevgan, S., ... Ekesi, S. (2018). Threshold temperatures and thermal requirements of black soldier fly *Hermetia illucens*: Implications for mass production. *PLOS ONE*, 13(11), 1-26.

Chia, S. Y., Tanga, C. M., Osuga, I. M., Cheseto, X., Ekesi, S., Dicke, M. & van Loon, J. J. A. (2020). Nutritional composition of black soldier fly larvae feeding on agro-industrial by-products. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 168(6-7), 472-481.

Čičková, H., Newton, G. L., Lacy, R. C. & Kozánek, M. (2015). The use of fly larvae for organic waste treatment. *Waste Management*, 35, 68-80.

Comissão Europeia (2016). *Enabling the Exploitation of Insects as a Sustainable Source of Protein for Animal Feed and Human Nutrition*. Final report summary – PROTEINSECT. Disponível em <https://cordis.europa.eu/project/id/312084/reporting>.

Conselho da União Europeia e do Conselho Europeu (2021). Reduzir as perdas e o desperdício alimentares. Acedido em 15 de dezembro de 2021 em <https://www.consilium.europa.eu/pt/policies/food-losses-waste/>

Danieli, P. P., Lussiana, C., Gasco, L., Amici, A. & Ronchi, B. (2019). The effects of diet formulation on the yield, proximate composition, and fatty acid profile of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) prepupae intended for animal feed. *Animals*, 9(4).

Derler, H., Lienhard, A., Berner, S., Grasser, M., Posch, A., Rehorska, R. (2021). Use Them for What They Are Good at: Mealworms in Circular Food Systems. *Insects*, 12(1), 1-14.

Diener, S., Zurbrügg, C., Gutiérrez, F. R., Nguyen, D. H., Morel, A., Koottatep, T. & Tockner, K. (2011). Black soldier fly larvae for organic waste treatment – prospects and constraints. In *Proceedings of the WasteSafe 2011: 2nd International Conference on Solid Waste Management in Developing Countries*. Khulna, Bangladesh, February 13-15. (pp. 1-8).

Dierenfeld, E. S. & King, J. (2008). Digestibility and Mineral Availability of Phoenix Worms, *Hermetia illucens*, Ingested by Mountain Chicken Frogs, *Leptodactylus fallax*. *Journal of Herpetological Medicine and Surgery*, 18(3/4), 100-105.

Dortmans, B., Diener, S., Verstappen, B. & Zurbrugg, C. (2017). *Black Soldier Fly Biowaste Processing: A Step-by-Step Guide*. Dübendorf, Switzerland: Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology.

Ellis, C. (2018). World Bank: Global Waste Generation Could Increase 70% by 2050. Acedido em 20 de maio de 2021 em <https://www.wastedive.com/news/world-bank-global-waste-generation-2050/533031/>.

Entogreen. (2021). Bioindústria e os Desafios Actuais da Indústria Agroalimentar. Acedido em 20 de maio de 2021 em <https://www.entogreen.com/bioindustria/>

European Food Safety Authority Scientific Committee. (2015). Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA Journal*, 13(10), 1-60.

Ewald, N., Vidakovic, A., Langeland, M., Kiessling, A., Sampels, S. & Lalander, C. (2020). Fatty acid composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) – Possibilities and limitations for modification through diet. *Waste Management*, 102, 40–47.

Finke, M. D. (2007). Estimate of chitin in raw whole insects. *Zoo Biology*, 26, 105–115.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (2011). *Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention*. Rome.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2017a). *Strategic work of FAO for sustainable food and agriculture*. Rome

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2017b). *The future of food and agriculture – Trends and challenges*. Rome

Food and Agriculture Organization of the United Nations (2019). *The State of Food and Agriculture. Moving forward on food loss and waste reduction*. Rome.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). *Looking at edible insects from a food safety perspective. Challenges and opportunities for the sector*. Rome.

Food and Agriculture Organization of the United Nations & World Health Organization. (2019). *Hazards associated with animal feed*. Report of the Joint FAO/ WHO Expert Meeting 12 – 15 May 2015. Rome, Italy. FAO Animal Production and Health Report, No. 13.

Galassi, G., Jucker, C., Parma, P., Lupi, D., Crovetto, G. M., Savoldelli, S. & Colombini, S. (2021). Impact of Agro-industrial Byproducts on Bioconversion, Chemical Composition, in vitro Digestibility, and Microbiota of the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae. *Journal of Insect Science*, 21(1), 1-10.

Gasco, L., Biancarosa, I. & Liland, N. S. (2020). From waste to feed: A review of recent knowledge on insects as producers of protein and fat for animal feeds. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 23, 67–79.

Globe Newswire (2019). \$7.95 Billion Edible Insects Market: Global Forecast to 2030. Acedido em 10 de outubro de 2021 em <https://www.globenewswire.com/news-release/2019/04/01/1790970/0/en/7-95-Billion-Edible-Insects-Market-Global-Forecast-to-2030.html>

Gold, M., Tomberlin, J. K., Diener, S., Zurbrügg, C. & Mathys, A. (2018). Decomposition of biowaste macronutrients, microbes, and chemicals in black soldier fly larval treatment: A review. *Waste Management*, 82, 302–318.

Gold, M., von Allmen, F., Zurbrügg, C., Zhang, J. & Mathys, A. (2020). Identification of Bacteria in Two Food Waste Black Soldier Fly Larvae Rearing Residues. *Frontiers in Microbiology*, 11.

Hălmăciu, A. I., Ionel, I. & Wächter, M. R. (2021). The circular economy in the agro-zootechnical industry. *Journal of Research and Innovation for Sustainable Society*, 3(1), 58–63.

Harnden, L. M. & Tomberlin, J. K. (2016). Effects of temperature and diet on black soldier fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae), development. *Forensic Science International*, 266, 109–116.

Hem, S., Toure, S., Sagbla, C. & Legendre, M. (2008). Bioconversion of palm kernel meal for aquaculture: Experiences from the forest region (Republic of Guinea). *African Journal of Biotechnology*, 7(8), 1192–1198.

Holmes, L. A., Vanlaerhoven, S. L. & Tomberlin, J. K. (2012). Relative humidity effects on the life history of *hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Environmental Entomology*, 41(4), 971–978.

Houghton, R. A., House, J. I., Pongratz, J., van der Werf, G. R., Defries, R. S., Hansen, M. C., le Quéré, C. & Ramankutty, N. (2012). Carbon emissions from land use and land-cover change. *Biogeosciences*, 9, 5125–5142.

Ipema, A. F., Bokkers, E. A. M., Gerrits, W. J. J., Kemp, B. & Bolhuis, J. E. (2020). Long-term access to live black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) stimulates activity and reduces fearfulness of broilers, without affecting health. *Scientific Reports*, 10(1), 1-13.

Jongema, Y. (2017). List of Edible Insect Species of the World. Laboratory of Entomology, Wageningen University, The Netherlands. Disponível em: <https://www.wur.nl/en/Research-Results/Chair-groups/Plant-Sciences/Laboratory-of-Entomology/Edible-insects/Worldwide-species-list.htm>

Jucker, C., Erba, D., Leonardi, M. G., Lupi, D. & Savoldelli, S. (2017). Assessment of Vegetable and Fruit Substrates as Potential Rearing Media for *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) Larvae. *Environmental Entomology*, 46(6), 1415–1423.

Jurgilevich, A., Birge, T., Kentala-Lehtonen, J., Korhonen-Kurki, K., Pietikäinen, J., Saikku, L. & Schösler, H. (2016). Transition towards circular economy in the food system. *Sustainability*, 8(1), 1–14.

Katileviciute, A., Plakys, G., Budreviciute, A., Onder, K., Damiati, S. & Kodzius, R. (2019). A Sight to Wheat Bran: High Value-Added Products. *Biomolecules*, 9(12), 1-17.

Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., Woerden, F. V. (2018). *What a Waste 2.0 A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Urban development series. World Bank Group, Washington, DC. Disponível em <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>

Kennard, N. J. J. (2019). Food Waste Management. *Zero Hunger*, 1–17.

Klunder, H. C., Wolkers-Rooijackers, J., Korpela, J. M. & Nout, M. J. R. (2012). Microbiological aspects of processing and storage of edible insects. *Food Control*, 26(2), 628–631.

Kuttiyatveetil, J. R. A., Mitra, P., Goldin, D., Nickerson, M. T. & Tanaka, T. (2019). Recovery of residual nutrients from agri-food byproducts using a combination of solid-state fermentation and insect rearing. *International Journal of Food Science and Technology*, 54(4), 1130–1140.

Lalander, C., Diener, S., Zurbrügg, C. & Vinnerås, B. (2019). Effects of feedstock on larval development and process efficiency in waste treatment with black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Journal of Cleaner Production*, 208, 211–219.

Larouche, J., Deschamps, M. H., Saucier, L., Lebeuf, Y., Doyen, A. & Vandenberg, G. W. (2019). Effects of killing methods on lipid oxidation, colour and microbial load of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Animals*, 9(4).

Laurentiis, V., Corrado, S. & Sala, S. (2018). Quantifying household waste of fresh fruit and vegetables in the EU. *Waste Management*, 77, 238–251.

Lawal, K. G., Kavle, R. R., Akanbi, T. O., Miroso, M. & Agyei, D. (2021). Enrichment in specific fatty acids profile of *Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens* larvae through feeding. *Future Foods*, 3, 1-7.

Leni, G., Caligiani, A. & Sforza, S. (2019). Killing method affects the browning and the quality of the protein fraction of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) prepupae: a metabolomics and proteomic insight. *Food Research International*, 115, 116-125.

Li, W., Yu, K., Yuan, X., Zhu, J., Liu, B. & Shao, Y. (2015). An anisotropic Reynolds mass flux model for the simulation of chemical reaction in gas-particle CFB risers. *Chemical Engineering Science*, 135, 117–127.

Lohri, C. R., Diener, S., Zabaleta, I., Mertenat, A. & Zurbrügg, C. (2017). Treatment technologies for urban solid biowaste to create value products: a review with focus on low- and middle-income settings. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* 16(1), 81-130.

Lopes, I. G., Lalander, C., Vidotti, R. M. & Vinnerås, B. (2020). Reduction of Bacteria in Relation to Feeding Regimes When Treating Aquaculture Waste in Fly Larvae Composting. *Frontiers in Microbiology*, 11.

Love, D. C., Fry, J. P., Milli, M. C. & Neff, R. A. (2015). Wasted seafood in the United States: Quantifying loss from production to consumption and moving toward solutions. *Global Environmental Change*, 35, 116–124.

Maina, S., Kachrimanidou, V. & Koutinas, A. (2017). A roadmap towards a circular and sustainable bioeconomy through waste valorization. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 8, 18–23.

Makkar, H. P. S., Tran, G., Heuzé, V. & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1–33.

Marco, M., Martínez, S., Hernandez, F., Madrid, J., Gai, F., Rotolo, L., ... Schiavone, A. (2015). Nutritional value of two insect larval meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy. *Animal Feed Science and Technology*, 209, 211–218.

Meneguz, M., Schiavone, A., Gai, F., Dama, A., Lussiana, C., Renna, M. & Gasco, L. (2018). Effect of rearing substrate on growth performance, waste reduction efficiency and chemical composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(15), 5776–5784.

Miglietta, P. P., De Leo, F., Ruberti, M. & Massari, S. (2015). Mealworms for food: A water footprint perspective. *Water*, 7, 6190–6203.

Milios, L. (2018). Advancing to a Circular Economy: three essential ingredients for a comprehensive policy mix. *Sustainability Science*, 13, 861–878.

Nações Unidas (2015). Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Recuperado de [https://unric.org/pt/wp-content/uploads/sites/9/2019/01/SDG\\_brochure\\_PT-web.pdf](https://unric.org/pt/wp-content/uploads/sites/9/2019/01/SDG_brochure_PT-web.pdf)

Nações Unidas (2019). Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Population Prospects 2019: Highlights. New York, USA.

Newton, R. (2015). Process manual for the establishment of a Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) production system. Disponível em: <https://betuco-wp.be/BSF/BSF%20-%20Process%20manual%20for%20the%20establishment%20of%20a%20Black%20Soldier%20Fly.pdf>

Nguyen, T. T. X., Tomberlin, J. K. & Vanlaerhoven, S. (2013). Influence of resources on *hermetia illucens* (diptera: Stratiomyidae) larval development. *Journal of Medical Entomology*, 50(4), 898–906.

Nguyen, T. T. X., Tomberlin, J. K. & Vanlaerhoven, S. (2015). Ability of Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae to Recycle Food Waste. *Environmental Entomology*, 44(2), 406–410.

Ojha, S., Bußler, S. & Schlüter, O. K. (2020). Food waste valorisation and circular economy concepts in insect production and processing. *Waste Management*, 118, 600–609.

Oliveira, F., Doelle, K., List, R. & O'reilly, J. R. (2015). Assessment of Diptera: Stratiomyidae, genus *Hermetia illucens* (L., 1758) using electron microscopy. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 3(5), 147–152.

Oonincx, D. G. A. B. & De Boer, I. J. M. (2012). Environmental impact of the production of mealworms as a Protein Source for Humans – A Life Cycle Assessment. *PLOS ONE*, 7(12).

Oonincx, D. G. A. B., van Broekhoven, S., van Huis, A. & van Loon, J. J. A. (2015). Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. *PLoS ONE*, 10(12).

Palma, L., Fernandez-Bayo, J., Niemeier, D., Pitesky, M. & VanderGheynst, J. S. (2019). Managing high fiber food waste for the cultivation of black soldier fly larvae. *Npj Science of Food*, 3(1).

Park, H. H. (2016.). *Black Soldier Fly Larvae Manual*. (Student Showcase). University of Massachusetts Amherst. Retirado de [https://scholarworks.umass.edu/sustainableumass\\_studentshowcase/14](https://scholarworks.umass.edu/sustainableumass_studentshowcase/14)

Parodi, A., Leip, A., de Boer, I. J. M., Slegers, P. M., Ziegler, F., Temme, E. H. M. & van Zanten, H. H. E. (2018). The potential of future foods for sustainable and healthy diets. *Nature Sustainability*, 1(12), 782–789.

Paz, A. S. P., Carrejo, N. S. & Rodríguez, C. H. G. (2015). Effects of Larval Density and Feeding Rates on the Bioconversion of Vegetable Waste Using Black Soldier Fly Larvae *Hermetia illucens* (L.), (Diptera: Stratiomyidae). *Waste and Biomass Valorization*, 6(6), 1059–1065.

Pham, T. P. T., Kaushik, R., Parshetti, G. K., Mahmood, R. & Balasubramanian, R. (2015). Food waste-to-energy conversion technologies: Current status and future directions. *Waste Management* 38, 399–408.

Pimentel, A. C., Montali, A., Bruno, D. & Tettamanti, G. (2017). Metabolic adjustment of the larval fat body in *Hermetia illucens* to dietary conditions. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 20(4), 1307–1313.

Pinotti, L., Giromini, C., Ottoboni, M., Tretola, M. & Marchis, D. (2019). Review: Insects and former foodstuffs for upgrading food waste biomasses/streams to feed ingredients for farm animals. *Animal*, 13(7), 1365–1375.

Plazzotta, S., Manzocco, L. & Nicoli, M. C. (2017). Fruit and vegetable waste management and the challenge of fresh-cut salad. *Trends in Food Science and Technology*, 63, 51-59.

Porter, S. D., Reay, D. S., Higgins, P. & Bomberg, E. (2016). A half-century of production-phase greenhouse gas emissions from food loss & waste in the global food supply chain. *Science of the Total Environment*, 571, 721–729.

Purschke, B., Scheibelberger, R., Axmann, S., Adler, A. & Jäger, H. (2017). Impact of substrate contamination with mycotoxins, heavy metals and pesticides on the growth performance and composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) for use in the feed and food value chain. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 34(8), 1410–1420.

Rachmawati, R., Buchori, D., Hidayat, P., Hem, S. & Fahmi, D. M. R. (2010). Perkembangan dan kandungan nutrisi larva hermetia illucens (Linnaeus) (Diptera: stratiomyidae) pada bungkil kelapa sawit. *Jurnal entomologi indonesia*, 7(1), 28-41.

Raksasat, R., Lim, J. W., Kiatkittipong, W., Kiatkittipong, K., Ho, Y. C., Lam, M. K., ... Cheng, C. K. (2020). A review of organic waste enrichment for inducing palatability of black soldier fly larvae: Wastes to valuable resources. *Environmental Pollution*, 267.

Ramos-Bueno, R. P., González-Fernández, M. J., Sánchez-Muros-Lozano, M. J., García-Barroso, F. & Guil-Guerrero, J. L. (2016). Fatty acid profiles and cholesterol content of seven insect species assessed by several extraction systems. *European Food Research and Technology*, 242(9), 1471–1477.

REGULAMENTO DE EXECUÇÃO (UE) 2021/882 DA COMISSÃO de 1 de junho de 2021 que autoriza a colocação no mercado de larvas de *Tenebrio molitor* desidratadas como novo alimento ao abrigo do Regulamento (UE) 2015/2283 do Parlamento Europeu e do Conselho e que altera o Regulamento de Execução (UE) 2017/2470 da Comissão.

REGULAMENTO (UE) 2021/1372 DA COMISSÃO de 17 de agosto de 2021 que altera o anexo IV do Regulamento (CE) n° 999/2001 do Parlamento Europeu e do Conselho no

que diz respeito à proibição de alimentar animais de criação não ruminantes, com exceção de animais destinados à produção de peles com pelo, com proteínas provenientes de animais.

REGULAMENTO (UE) 2017/893 DA COMISSÃO de 24 de maio de 2017 que altera os anexos I e IV do Regulamento (CE) n° 999/2001 do Parlamento Europeu e do Conselho e os anexos X, XIV e XV do Regulamento (UE) n° 142/2011 da Comissão no que respeita às disposições em matéria de proteínas animais transformadas.

REGULAMENTO (UE) 2015/2283 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 25 de novembro de 2015 relativo a novos alimentos, que altera o Regulamento (UE) n° 1169/2011 do Parlamento Europeu e do Conselho e que revoga o Regulamento (CE) n.º 258/97 do Parlamento Europeu e do Conselho e o Regulamento (CE) n° 1852/2001 da Comissão.

Rumpold, B. A. & Schlüter, O. K. (2013). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition and Food Research*, 57(5), 802–823.

Salomone, R., Saija, G., Mondello, G., Giannetto, A., Fasulo, S. & Savastano, D. (2017). Environmental impact of food waste bioconversion by insects: Application of Life Cycle Assessment to process using *Hermetia illucens*. *Journal of Cleaner Production*, 140, 890–905.

Samayoa, A. C., Chen, W. T. & Hwang, S. Y. (2016). Survival and development of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): A biodegradation agent of organic waste. *Journal of Economic Entomology*, 109(6), 2580–2585.

Scala, A., Cammack, J. A., Salvia, R., Scieuzo, C., Franco, A., Bufo, S. A., ... Falabella, P. (2020). Rearing substrate impacts growth and macronutrient composition of *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) larvae produced at an industrial scale. *Scientific Reports*, 10(1), 1-8.

Schouteten, J. J., De Steur, H., De Pelsmaeker, S., Lagast, S., Juvinal, J. G., De Bourdeaudhuij, I. ... Gellynck, X. (2016). Emotional and sensory profiling of insect-, plant- and meat-based burgers under blind, expected and informed conditions. *Food Quality and Preference*, 52, 27–31.

Schrögel, P., & Wätjen, W. (2019). Insects for food and feed-safety aspects related to mycotoxins and metals. *Foods*, 8(8), 288.

Silva, G. D. P. & Hesselberg, T. (2019). A Review of the Use of Black Soldier Fly Larvae, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), to Compost Organic Waste in Tropical Regions. *Neotropical Entomology*, 49(2), 151–162.

Singh, A. & Kumari, K. (2019). An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black Soldier Fly larvae: A review. *Journal of Environmental Management*, 251.

Smets, R., Verbinnen, B., van de Voorde, I., Aerts, G., Claes, J. & van der Borght, M. (2020). Sequential Extraction and Characterisation of Lipids, Proteins, and Chitin from Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae, Prepupae, and Pupae. *Waste and Biomass Valorization*, 11(12), 6455–6466.

Soetemans, L., Uyttebroek, M. & Bastiaens, L. (2020). Characteristics of chitin extracted from black soldier fly in different life stages. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 3206-3214.

Spinelli, R., Neri, P., Pini, M., Barbi, S., Montorsi, M. & Ferrari, A. M. (2019). Using black soldier flies (*Hermetia illucens*) to bioconvert waste from the livestock production chain: A life cycle assessment case study. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 231, 47–58.

Sprangers, T., Ottoboni, M., Klootwijk, C., Obyn, A., Deboosere, S., de Meulenaer, B., ... de Smet, S. (2017). Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(8), 2594–2600.

Stenmarck, A., Jensen, C., Quedsted, T. & Moates, G. (2016). Estimates of European food waste levels. European Commission.

Supriyatna, A., Amalia, D., Jauhari, A. A. & Holydaziah, D. (2015). Aktivitas enzim amilase, lipase, dan protease dari larva hermetia illucens yang diberi pakan jerami padi. Edisi Juli, 9(2).

Surendra, K. C., Olivier, R., Tomberlin, J. K., Jha, R. & Khanal, S. K. (2016). Bioconversion of organic wastes into biodiesel and animal feed via insect farming. *Renewable Energy*, 98, 197–202.

Surendra, K. C. & Kuehnle, A. (2019). Embracing AgTech for Food Security and beyond. *Industrial Biotechnology*, 15(6), 323–324.

Surendra, K. C., Tomberlin, J. K., van Huis, A., Cammack, J. A., Heckmann, L. H. L. & Khanal, S. K. (2020). Rethinking organic wastes bioconversion: Evaluating the potential of the black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.)) (Diptera: Stratiomyidae) (BSF). *Waste Management*, 117, 58–80

Tan, H. S. G., Fischer, A. R. H., Tinchin, P., Stieger, M., Steenbekkers, L. P. A. & van Trijp, H. C. M. (2015). Insects as food: Exploring cultural exposure and individual experience as determinants of acceptance. *Food Quality and Preference*, 42, 78–89.

Tan, J. (2019). *Hermetia illucens*- Black Soldier Fly. Acedido em 3 de dezembro de 2021 em <https://wiki.nus.edu.sg/display/TAX/Hermetia+illucens+-+Black+Soldier+Fly>

Tonini, D., Albizzati, P. F. & Astrup, T. F. (2018). Environmental impacts of food waste: Learnings and challenges from a case study on UK. *Waste Management*, 76, 744–766.

Ushakova, N. A., Bastrakov, A. I., Karagodin, V. P. & Pavlov, D. S. (2018). Specific Features of Organic Waste Bioconversion by *Hermetia illucens* Fly Larvae (Diptera: Stratiomyidae, Linnaeus, 1758). *Biology Bulletin Reviews*, 8(6), 533–541.

Valoppi, F., Wang, YJ., Alt, G., Peltonen, L. J. & Mikkonene, K. S. (2021). Valorization of Native Soluble and Insoluble Oat Side Streams for Stable Suspensions and Emulsions. *Food Bioprocess Technology*, 14, 751-764.

van Huis, A., Itterbeeck, J. V., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G. & Vantomme, P. (2013). Edible insects: future prospects for food and feed security. Food and agriculture organization of the united nations. Rome,

van Huis, A., Dicke, M. & van Loon, J. J. A. (2015). Insects to feed the world. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(1), 3–5.

van Huis, A. (2016). Edible insects are the future?. In *Proceedings of the Nutrition Society*, 5(3), 294-305.

Veldkamp, T., van Duinkerken, G., van Huis, A., lakemond, C., Ottevanger, E., Bosch, G. & van Boekel, M. (2012). Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets-a feasibility study. *Wageningen UR Livestock Research*. Report 638.

Veldkamp, T. & Bosch, G. (2015). Insects: A protein-rich feed ingredient in pig and poultry diets. *Animal Frontiers*, 5(2), 45–50.

Wang, Y. S. & Shelomi, M. (2017). Review of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as Animal Feed and Human Food. *Foods*, 6(10), 1-23.

Wang, S. Y., Wu, L., Li, B. & Zhang, D. (2020). Reproductive Potential and Nutritional Composition of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) Prepupae Reared on Different Organic Wastes. *Journal of Economic Entomology*. 113(1), 527-537.

Woodley, N. E. (2001). A world catalog of the Stratiomyidae (Insecta: Diptera). The International Journal of the North American Dipterists' Society, 11, Leiden, The Netherlands: Backhuys Publishers.

Wynants, E., Frooninckx, L., Crauwels, S., Verreth, C., De Smet, J., Sandrock, C., ... Van Campenhout, L. (2019). Assessing the microbiota of black soldierflylarvae (*Hermetia illucens*) rearedon organic waste streams on four different locations at laboratory and large scale. *Microbial Ecology*. 77, 913–930.

Yeomans, M. R., Chambers, L., Blumenthal, H. & Blake, A. (2008). The role of expectancy in sensory and hedonic evaluation: The case of smoked salmon ice-cream. *Food Quality and Preference*, 19(6), 565–573.

## **APÊNDICES**

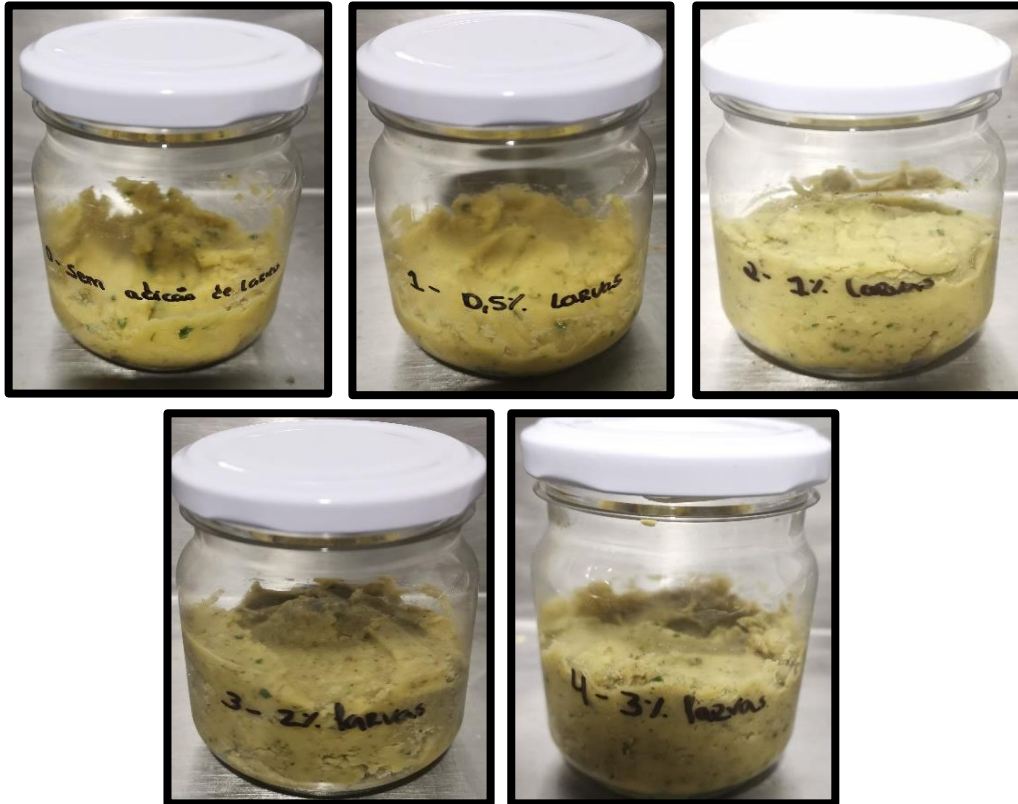
## Apêndice I- Larvas alimentadas com a dieta CF



## Apêndice II- Larvas alimentadas com a dieta CFA



### Apêndice III – Produto de teste “Húmus com vários níveis de inclusão de farinha de BSF”



## Apêndice IV- Produto de teste” Creme de frutos secos e mel com vários níveis de inclusão de farinha de BSF”

