

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS**

GABRIEL SIQUEIRA GALVÃO NOVO

**PRODUÇÃO DE PÃES DE FORMA ENRIQUECIDOS COM FARINHA DOS
INSETOS MOSCA SOLDADO NEGRA E GRILO PRETO**

PORTO ALEGRE

2023

GABRIEL SIQUEIRA GALVÃO NOVO

**PRODUÇÃO DE PÃES DE FORMA ENRIQUECIDOS COM FARINHA DOS
INSETOS MOSCA SOLDADO NEGRA E GRILO PRETO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de mestre.

Orientadoras: Florencia Cladera Olivera e Roberta Cruz
Silveira Thys

PORTO ALEGRE

2023

CIP - Catalogação na Publicação

Novo, Gabriel Siqueira Galvão
PRODUÇÃO DE PÃES DE FORMA ENRIQUECIDOS COM FARINHA
DOS INSETOS MOSCA SOLDADO NEGRA E GRILO PRETO /
Gabriel Siqueira Galvão Novo. -- 2023.
135 f.
Orientadora: Florencia Cladera Olivera.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Instituto de Ciência e Tecnologia
de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Ciência e
Tecnologia de Alimentos, Porto Alegre, BR-RS, 2023.

1. Panificação. 2. Inseto. 3. Proteína. 4. Análise
componentes principais. 5. Superfície de resposta. I.
Cladera Olivera, Florencia, orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

GABRIEL SIQUEIRA GALVÃO NOVO
PRODUÇÃO DE PÃES DE FORMA ENRIQUECIDOS COM FARINHA DOS INSETOS
MOSCA SOLDADO NEGRA E GRILO PRETO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação
em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à
obtenção do grau de mestre.

Aprovado em: Porto Alegre, 09 de novembro de 2023.

Prof^a. Dr^a Florencia Cladera Olivera – PPGCTA/UFRGS
Orientadora

Prof^a. Dr^a Roberta Cruz Silveira Thys – PPGCTA/UFRGS
Orientadora

Prof^a. Dr^a Simone Hickmann Flôres – PPGCTA/UFRGS
Examinador

Prof^a. Dr^a Vilásia Guimarães Martins – FURG
Examinador

Prof^a. Dr^a Caroline Joy Steel – UNICAMP
Examinador

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Jorge e Maria, pelo apoio e amor incondicional, sem vocês eu nunca seria o profissional e nem a pessoa que sou.

Ao meu marido, Mateus, por ser meu porto seguro e por sonhar esse sonho comigo. Obrigado por ser tão compreensivo e suportar os meus dias difíceis, você nunca deixa de me apoiar.

À minha família do coração, Arthur, Filipi, Marco, Camila, Pablo e Luísa, por me amarem tanto e por tornar essa caminhada muito mais tranquila.

À Prof^a Florencia Cladera, por aceitar me orientar, me guiar e ensinar durante os últimos dois anos.

À Prof^a Roberta Thys, pela orientação e por me fazer amar a panificação, me mostrando uma paixão que eu nem sabia que tinha.

À Prof^a Simone Flores, por ter se disponibilizado para me dar suporte e sanar minhas dúvidas na parte estatística.

Ao Prof. Eduardo Tondo, por me ensinar a microbiologia e sempre se disponibilizar em me auxiliar.

Aos meus colegas que se tornaram amigos, Victória, Raísa, Tainan, Justine, Carol, Débora, Daiane, Raquel e Lilian, por tornarem os dias mais leves e terem me ajudado e ensinado.

À Michele, Tiago, Rodrigo, Ana, Andressa, Luana e Priscila, membros do Núcleo Técnico Científico do ICTA, pelos quais tenho grande respeito e carinho, por fornecerem todo o apoio técnico necessário para a pesquisa.

Aos meus colegas Dionatha Nunes e Mariane Dorneles, pela disponibilidade em auxiliar com a farinografia e a moagem das amostras.

Aos bolsistas Augusto Sastre, Giulia Eich e João Pedro, por terem contribuído diretamente no desenvolvimento da pesquisa.

À toda a equipe de apoio do ICTA, indispensável para o funcionamento do instituto a continuidade da pesquisa, em especial à Lucimara.

À CAPES, por financiar a minha bolsa de pesquisa.

RESUMO

A Organização das Nações Unidas estima que a população mundial atingirá 9,7 bilhões até 2050. Isso irá aumentar a demanda por alimentos e proteínas, o que representa um desafio para o setor de alimentos, visto que a atual produção já é responsável por diversos impactos no meio ambiente, como o elevado uso de recursos naturais, altas emissões de gases de efeito estufa e a destruição de ecossistemas. Por esse motivo, são pesquisadas fontes alternativas de alimentos, como os insetos, cuja criação requer uma baixa quantidade de recursos hídricos, pouco espaço e tem menores emissões de gases de efeito estufa quando comparados a fontes tradicionais, além de um bom perfil nutricional. Dentre as espécies estudadas, duas se destacam: o grilo preto (*Gryllus assimilis*) e a mosca soldado negra (*Hermetia illucens*). No entanto, como a aceitação de insetos na alimentação humana é baixa em países com cultura ocidental, foi proposta a abordagem de inclui-los em produtos processados, como pães, que são amplamente consumidos e são acessíveis para grande parte da população. Nesse contexto, esse trabalho teve como objetivo produzir e caracterizar pães de forma enriquecidos com a farinha de grilo preto adulto (*Gryllus assimilis*) e de larvas da mosca soldado negra (*Hermetia illucens*). Para isso, foram desenvolvidas 11 formulações de pães com 11 % de farinha de *G. assimilis* e 11 formulações com 15 % de farinha de *H. illucens*, contendo quantidades fixas de farinha de trigo (100 %), sal (2 %) e levedura (3 %), e quantidades variáveis de monodiglicerídeos (0 – 0,8 %), ácido ascórbico (0 – 200 ppm) e água (50 – 70 %), conforme um planejamento fatorial 2^3 com 3 repetições no ponto central. As farinhas foram analisadas quanto à composição centesimal, capacidade de retenção de água e óleo e segurança microbiológica. Os parâmetros volume específico, perda de massa, estrutura de miolo, textura e cor foram avaliados nos pães, além da composição centesimal. As farinhas de *G. assimilis* e de *H. illucens* apresentaram, respectivamente, 63,82 % (base seca, BS) e 42,46 % (BS) de proteínas e 20,17 % (BS) e 28,74 % (BS) de teor de lipídios. Os pães elaborados com o grilo e a mosca obtiveram um aumento no teor de proteínas, de 76 % e 48 % em relação ao controle, respectivamente, além de serem nitidamente mais escuros. Em ambos os insetos, as amostras dos pontos centrais (0,4 % de monodiglicerídeos, 100 ppm ácido ascórbico e 60 % de água) apresentaram os melhores resultados em relação às propriedades técnico-funcionais. Nos pães com *G. assimilis*, o volume e a maciez foram superiores às amostras dos controles, enquanto para os pães de *H. illucens*, esses parâmetros obtiveram valores muito próximos aos do controle, embora em ambos os casos a estrutura do miolo tenha se apresentado menos uniforme. Conclui-se que as duas espécies são apropriadas para a incorporação em pães de trigo, mas que o *G. assimilis* tem um potencial

maior de melhorar a quantidade de proteínas e propriedades técnico-funcionais, como volume e textura, nesses produtos.

Palavras-chave: *Gryllus assimilis*; *Hermetia illucens*; Análise de componentes principais; Superfícies de resposta.

ABSTRACT

The United Nations estimates that the world population will reach 9.7 billion by 2050. This will increase the demand for food and proteins, which represents a challenge for the food sector as current production is already responsible for several environmental impacts, such as high consumption of natural resources, high greenhouse gas emissions and destruction of ecosystems. For that reason, alternative food sources, such as edible insects, have been researched, which showed lower requirements of environmental resources and greenhouse gas emissions in comparison with traditional sources, besides a good nutritional composition. Among the species researched, two stand out: the Jamaican field cricket (*Gryllus assimilis*) and the black soldier fly (*Hermetia illucens*). However, the acceptance of insect products is low in western countries. In order to increase acceptance, their inclusion in processed foods, such as bread, a widely consumed and affordable food, has been proposed. In this sense, this study aimed to produce and analyze protein enriched bread with powder from the adult Jamaican field cricket (*G. assimilis*) and the larvae from the black soldier fly (*H. illucens*). To achieve that were developed 11 bread formulations containing 11 % of *G. assimilis* powder and 11 bread formulations containing 15 % of *H. illucens* powder, with fixed amounts of wheat flour (100 %), salt (2 %), and yeast (3 %), and varying amounts of mono- and diglycerides (0 – 0,8 %), ascorbic acid (0 – 200 ppm) and water (50 – 70 %), according to a 2³ factorial design with 3 repetitions in the center point. Chemical composition, water and oil holding capacities and microbiological analyses were carried out in the insect powders. Specific volume, baking loss, crumb structure, texture, color and chemical composition were analyzed in the breads. *G. assimilis* and *H. illucens* powder showed protein content of 63.82 % (dry weight, dw) and 42.46 % (dw), respectively, and lipid content of 20.17 % (dw) and 28.74 % (dw), respectively. Breads enriched with the Jamaican field cricket and the black soldier fly exhibited 76 % and 48 % increase in the protein content compared with the wheat control, respectively, and were notably darker. Regardless of the species in all enriched breads samples from the center points (0.4 % of mono- and diglycerides, 100 ppm of ascorbic acid and 60 % of water) showed better results. For breads made with *G. assimilis* specific volume and texture parameters were better than in the controls, while for samples made with *H. illucens* the results were very close with those of the controls. It can be concluded that both species are suitable for enrichment of wheat breads. Besides *G. assimilis* has a higher potential of improving protein content and technological properties.

Keywords: *Gryllus assimilis*; *Hermetia illucens*; protein; Principal Component Analysis; Response Surface.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO I

Figura 1 – Grupos de insetos mais consumidos do mundo	20
Figura 2 – Larvas desidratadas da mosca soldado negra (<i>H. illucens</i>).....	27
Figura 3 – Grilo preto (<i>G. assimilis</i>) no estágio adulto	31
Figura 4 – Fluxograma de elaboração dos pães.....	43

CAPÍTULO II

Figure 1 - Response surfaces of (A) baking loss (%) for mono- and diglycerides x water; (B) specific volume (cm ³ .g ⁻¹) for mono- and diglycerides x water; (C) pores > 5 mm ² for ascorbic acid x water.....	57
Figure 2 - Response surfaces of hardness in (A) day 0 for ascorbic acid x water; (B) day 7 for mono- and diglycerides x water; (C) day 14 for mono- and diglycerides x water; (D) day 21 for mono- and diglycerides x water.....	62
Figure 3 - Principal component analysis. (A) PC1 x PC2 variables projection. (B) PC1 x PC2 samples projection. (C) PC1 x PC3 variables projection. (D) PC1 x PC3 samples projection.	69
Figure 4 - Response surfaces of specific volume (cm ³ .g ⁻¹) for (A) mono- and diglycerides x ascorbic acid, (B) mono- and diglycerides x water, (C) ascorbic acid x water; of baking loss (%) for (D) mono- and diglycerides x ascorbic acid, (E) mono- and diglycerides x water, (F) ascorbic acid x water.	92
Figure 5 – Response surfaces of hardness in (A) day 0 for ascorbic acid x water; (B) day 7 for mono- and diglycerides x water; (C) day 14 for mono- and diglycerides x water; (D) day 21 for mono- and diglycerides x water.....	96
Figure 6 - Principal component analysis. (A) PC1 x PC2 variables projection. (B) PC1 x PC2 samples projection.	103

CAPÍTULO III

Figura 1 - Análise de componentes principais (APC): (A) PC1 x PC2: projeção das variáveis; (B) PC1 x PC2: Projeção das amostras; (C) PC1 x PC3: Projeção das variáveis; (D): PC1 x PC3: Projeção das amostras.....	113
--	-----

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1 – Composição centesimal de alguns insetos e fontes proteicas convencionais (base seca).....	21
Tabela 2 – Aminoácidos essenciais identificados em insetos	21
Tabela 3 – Composição de ácidos graxos de alguns insetos	22
Tabela 4 – Quantidade de minerais encontrados em alguns insetos e fontes convencionais de proteínas (base seca).....	23
Tabela 5 – Impacto ambiental da criação de <i>T. molitor</i> em comparação com alimentos convencionais	25
Tabela 6 - Composição centesimal (base seca) das larvas da mosca soldado negra (<i>H. illucens</i>)	28
Tabela 7 - Perfil de minerais (base seca) das larvas da mosca soldado negra (<i>H. illucens</i>).....	28
Tabela 8 – Composição de aminoácidos essenciais das larvas da mosca soldado negra (<i>H. illucens</i>)	29
Tabela 9 – Perfil de ácidos graxos das larvas da mosca soldado negra (<i>H. illucens</i>) (% de matéria seca).....	30
Tabela 10 – Composição centesimal (base seca) do grilo preto (<i>G. assimilis</i>)	31
Tabela 11 – Perfil de minerais (base seca) do grilo preto (<i>G. assimilis</i>).....	32
Tabela 12 – Composição de aminoácidos essenciais do grilo preto (<i>G. assimilis</i>).....	32
Tabela 13 – Perfil de ácidos graxos do grilo preto (<i>G. assimilis</i>) (% do total de ácidos graxos)	33
Tabela 14 - Planejamento fatorial das formulações dos pães	39
Tabela 15 – Formulações dos pães enriquecidos e dos controles (% sobre o peso da farinha de trigo) (continua).....	41

CAPÍTULO II

Table 1 – Control and insect bread formulations (% of wheat flour weight).....	51
Table 2 - BSFL powder chemical composition (g/100g)	53
Table 3 - BSFL powder microbiological analysis results and the parameters established by the European regulation for the insect's species authorized for human consumption.	54
Table 4 – Nutritional composition of wheat, whole wheat and insect breads (in dry and wet basis).....	55
Table 5 - Baking loss, specific volume and image analysis of the wheat, whole wheat and insect breads.....	56

Table 6 - Hardness of the samples over time and the increase in hardness after 14 and 21 days of the fabrication.....	60
Table 7 – Cohesiveness of the samples over time and the cohesiveness reduction in 14 and 21 days.....	63
Table 8 – Crumb color and loaf image of wheat, whole wheat and BSFL breads (continua)..	65
Table 9 - Control, whole and insect bread formulations (% of wheat flour weight).....	82
Table 10 – Cricket powder chemical composition (g/100g)	85
Table 11 – Results of microbiological analysis for the cricket powder and the limits established by the European Commission for insects intended for human consumption	86
Table 12 – Breads chemical composition.....	88
Table 13 – Farinograph analysis results of the flours.....	88
Table 14 – Baking loss, specific volume and image analysis of the cricket and control breads.	90
Table 15 – Hardness (g) of the samples over time and its increase 14 and 21 days after baking	94
Table 16 – Cohesiveness of the samples over time and its reduction 14 and 21 days after baking	97
Table 17 – Crumb color and loaf image of wheat, whole wheat and Jamaican field cricket breads (continua).....	100

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AACC: Associação Americana de Química dos Cereais (do inglês *American Association of Cereal Chemists*)

AOAC: Associação de Químicos Analíticos Oficiais (do inglês *Association of Official Analytical Chemists*)

BSF: Mosca soldado negra (do inglês *black Soldier fly*)

CRA: Capacidade de retenção de água

CRO: Capacidade de retenção de óleo

FAO: Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (do inglês *Food and Agriculture Organization of the United Nations*)

ISO: Organização Internacional para Padronização (do inglês *International Association for Standardization*)

NPN: Nitrogênio não-proveniente das proteínas (do inglês *non-protein nitrogen*)

PC's: Componentes principais (do inglês *principal component*)

APC: Análise de componentes principais

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	17
2.1. OBJETIVO GERAL	17
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
CAPÍTULO I	18
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
1.1. ENTOMOFAGIA	18
1.2. COMPOSIÇÃO DOS INSETOS COMESTÍVEIS	20
1.3. ASPECTOS DE CRIAÇÃO DE INSETOS	23
1.4. RISCOS ASSOCIADOS AO CONSUMO DE INSETOS	25
1.5. MOSCA SOLDADO NEGRA	27
1.6. GRILO PRETO	30
1.7. PRODUTOS DE PANIFICAÇÃO ENRIQUECIDOS COM INSETOS	34
2. MATERIAIS E MÉTODOS	36
2.1. MATERIAIS	36
2.2. ANÁLISES DAS FARINHAS DE INSETO	36
2.3. FARINOGRAFIA	39
2.4. PLANEJAMENTO FATORIAL E FORMULAÇÃO DOS PÃES	39
2.5. PROCEDIMENTO DE ELABORAÇÃO DOS PÃES	43
2.6. AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS PÃES	44
2.7. ANÁLISES ESTATÍSTICAS	46
CAPÍTULO II: ARTIGOS	47
ARTIGO 1: Production of protein-enriched bread through the incorporation of the black soldier fly (<i>Hermetia illucens</i>) larvae	47
1. INTRODUCTION	48
2. MATERIALS AND METHODS	49
2.1. MATERIALS	49

2.2. METHODS.....	49
3. RESULTS AND DISCUSSION.....	53
3.1. BSFL POWDER CHARACTERIZATION.....	53
3.2. MICROBIOLOGICAL ANALYSIS.....	53
3.3. BREAD QUALITY PARAMETERS.....	54
3.4. PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS.....	67
4. CONCLUSIONS.....	70
REFERENCES.....	71
ARTIGO 2: Jamaican field cricket (<i>Gryllus assimilis</i>) powder for wheat bread enrichment: techno-functional and physicochemical properties.....	77
1. INTRODUCTION.....	78
2. MATERIALS AND METHODS.....	80
2.1. MATERIALS.....	80
2.2. METHODS.....	80
3. RESULTS AND DISCUSSION.....	85
3.1. JAMAICAN FIELD CRICKET POWDER CHARACTERIZATION.....	85
3.2. MICROBIOLOGICAL SAFETY.....	86
3.3. BREAD QUALITY PARAMETERS.....	87
3.4. PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS.....	102
4. CONCLUSIONS.....	104
REFERENCES.....	105
CAPÍTULO III: DISCUSSÃO GERAL.....	110
CONCLUSÕES.....	115
PERSPECTIVAS FUTURAS.....	116
APÊNDICE A – MOSCA SOLDADO NEGRA: R² E OS VALORES DE REGRESSÃO DE F DAS VARIÁVEIS.....	117
APÊNDICE B - ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (MOSCA SOLDADO NEGRA): CORRELAÇÕES COMPONENTES PRINCIPAIS – VARIÁVEIS.....	118

APÊNDICE C - GRILO PRETO: R² E OS VALORES DE REGRESSÃO DE F DAS VARIÁVEIS	119
APÊNDICE D - GRILO PRETO: GRÁFICOS DE PARETO DOS PARÂMETROS DE IMAGEM: (A) ÁREA MÉDIA DAS CÉLULAS; (B) POROS > 5 MM²; (C) POROSIDADE; (D) DENSIDADE CELULAR	120
APÊNDICE E – GRILO PRETO: GRÁFICOS DE PARETO DA COESIVIDADE NOS DIAS (A) 0; (B) 7; (C) 14; (D) 21	121
APÊNDICE F - ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (GRILO PRETO): CORRELAÇÕES COMPONENTES PRINCIPAIS – VARIÁVEIS	122
APÊNDICE G – ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (MOSCA SOLDADO NEGRA E GRILO PRETO): CORRELAÇÕES COMPONENTES PRINCIPAIS – VARIÁVEIS (CONTINUA)	123
REFERÊNCIAS	125

1. INTRODUÇÃO

O aumento populacional é um dos fatores que contribuem para o aumento da demanda por alimentos e proteínas. A população mundial passou de 2,5 bilhões de pessoas em 1950 para 8 bilhões em 2022, e estima-se que número aumente para 9,7 bilhões em 2050 (*United Nations Department of Economic and Social Affairs. Population Division, 2022*). Esse aumento representa um desafio para a produção global de alimentos, pois sabe-se que o setor agropecuário é responsável por diversos impactos no meio ambiente, como o aumento nas emissões de gases de efeito estufa, o elevado consumo de recursos hídricos, o uso extensivo de solo, a alteração e destruição de ecossistemas e o emprego de agrotóxicos (Englund *et al.*, 2020).

Além disso, é preciso diversificar a oferta de alimentos: a nível mundial, a dieta da população é pouco diversificada, visto que somente trigo (20 %), arroz (16 %), milho (13 %) e soja (8 %) representam aproximadamente 57 % do consumo total de calorias (D'odorico *et al.*, 2014), resultando em uma alimentação que pode apresentar quantidades insuficientes de aminoácidos essenciais, vitaminas e minerais.

Por essa razão é necessário pesquisar novas fontes de alimentos, que apresentem boa qualidade nutricional e baixo impacto ambiental. Nesse cenário, diversas fontes alternativas de proteínas têm sido propostas, como pseudocereais, *pulses* (leguminosas com alto teor proteico), microalgas, fungos e insetos. Dentre essas alternativas, os insetos comestíveis têm se mostrado promissores. Esses organismos apresentaram uma excelente qualidade nutricional: são constituídos principalmente por proteínas, lipídios e fibras, contém diversos minerais, vitaminas e peptídeos bioativos, e seus lipídios geralmente apresentam maior proporção de ácidos graxos insaturados e poliinsaturados em relação à ácidos graxos saturados (Baiano, 2020; Jantzen Da Silva Lucas *et al.*, 2020). Além disso, as proteínas de insetos e produtos com insetos apresentam digestibilidade em uma ampla faixa, podendo atingir valores elevados, de até 98 % (Churchward-Venne *et al.*, 2017), superiores à digestibilidade de proteínas vegetais (75 – 80 %) (Shaghaghian *et al.*, 2022).

Em relação ao impacto ambiental, avaliações de ciclo de vida mostraram que a criação de insetos comestíveis utiliza pouco espaço no solo, apresenta baixas emissões de gases de efeito estufa e baixa pegada hídrica, além de, dependendo da espécie, necessitar de uma quantidade pequena de energia (Ros-Baró *et al.*, 2022).

Por essas razões, diversos pesquisadores do setor de alimentos têm estudado formas de incluir insetos na alimentação humana. Uma abordagem que tem sido utilizada é sua inclusão como ingredientes em produtos processados. Diversos produtos com insetos podem ser encontrados no mercado, como barras de proteína, cerveja, hambúrgueres, chocolates, doces, *snacks*, entre outros (Engström, 2020). Enquanto outros estão sendo pesquisados, como macarrão (Biró *et al.*, 2019), carnes (Scholliers; Steen; Fraeye, 2020), pães (González; Garzón; Rosell, 2019) e pães sem glúten (Da Rosa Machado; Thys, 2019).

A regulamentação e a escala da produção de insetos e produtos contendo insetos varia muito conforme o país. No Brasil, não existe instrumento que regule a produção e distribuição desse tipo de produto tendo como finalidade a alimentação humana, mas determinadas espécies podem ser utilizadas para alimentação de animais não ruminantes (Ministério da Agricultura e Pecuária, 2023), por isso são encontrados produtores de insetos no país. Já a União Europeia considera os insetos como uma *novel food* – um alimento novo - (European Union, 2015) e exige que cada espécie obtenha uma aprovação específica, sendo que atualmente 4 espécies de insetos são aprovadas para consumo humano no bloco: tenébrio comum (*Tenebrio molitor*), o gafanhoto migratório (*Locusta migratória*), o grilo doméstico (*Acheta domesticus*) e o besouro cascudinho (*Alphitobius diaperinus*) (European Union, 2021, 2022a, 2022b, 2023). Nos Estados Unidos, Nova Zelândia e Canadá esses produtos não são considerados uma *novel food* e tem a distribuição permitida, desde que sigam os devidos parâmetros de higiene e rotulagem (Wade; Hoelle, 2020).

Dentre as espécies estudadas, duas se destacam para a incorporação em produtos processados: A mosca soldado negra (*Hermetia illucens*), conhecida como *Black Soldier fly* na literatura e o grilo preto (*Gryllus assimilis*), denominado *Jamaican field cricket* em inglês. Como outros insetos comestíveis, essas espécies apresentaram alto teor de proteínas e lipídios, sendo que a mosca soldado negra é caracterizada por apresentar um teor mais elevado de lipídios que o grilo preto, enquanto este costuma apresentar uma quantidade de proteínas maior que a mosca soldado negra (Adámková *et al.*, 2017; Barroso *et al.*, 2014; González; Garzón; Rosell, 2019).

No entanto, a inclusão de insetos em produtos destinados ao consumo humano é um desafio tecnológico e cultural, e sendo assim, são necessários estudos que visem a superação desses desafios.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho foi produzir e caracterizar pães de forma enriquecidos com farinha de larvas da mosca soldado negra (*H. illucens*) e de grilos pretos adultos (*G. assimilis*).

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Avaliar a granulometria, composição centesimal e capacidade de retenção de água e óleo das farinhas de inseto.
- Verificar a segurança microbiológica das farinhas através da contagem total de colônias aeróbias mesófilas, *Enterobacteriaceae* (presuntivo), *Escherichia coli*, *Salmonella* spp, *Staphylococci* coagulase positiva e bolores e leveduras.
- Produzir pães ricos em proteína utilizando as farinhas dos insetos.
- Avaliar o impacto de teores variados de monodiglicerídeos, ácido ascórbico e água na perda de massa, volume, textura, cor e estrutura de miolo dos pães, e comparar os resultados com pães controle.
- Determinar a composição centesimal dos pães obtidos.

CAPÍTULO I

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O consumo de insetos por humanos, ou entomofagia, é uma prática que data desde o surgimento da espécie humana, e atualmente no contexto de aumento da demanda por alimentos e proteínas representa uma alternativa alimentar com diversas vantagens. Dentre os insetos estudados por pesquisadores, duas espécies podem ser destacadas por seu potencial uso em alimentos: a mosca soldado negra e o grilo preto. Uma das abordagens para incluir os insetos na alimentação humana é a sua incorporação em produtos processados, principalmente produtos de panificação, por serem amplamente consumidos. No entanto, a inclusão de insetos nesses produtos tem impactos nas suas propriedades e, portanto, essas propriedades devem ser avaliadas para que se possa obter produtos com qualidade e aceitação do consumidor.

1.1. ENTOMOFAGIA

O ato de se alimentar de insetos é denominado entomofagia, hábito que provavelmente é praticado por humanos desde o surgimento do *Homo sapiens*. Existem evidências dessa prática por hominídeos primitivos, como o *Australopithecus robustus* que utilizava ferramentas feitas de ossos para coletar cupins (Backwell; d’Errico, 2001). Também foram encontrados coprólitos de humanos que sugerem o consumo de gafanhotos da espécie *Melanoplus sanguinipes* há cerca de 4500 anos (Madsen; Kirkman, 1988). Além disso, referências ao consumo de gafanhotos podem ser encontradas na bíblia (Van Huis, 2017).

A publicação “*Edible insects: future prospects for food and feed security*” da FAO, Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, apresentou a estimativa de que aproximadamente 2 bilhões de pessoas consomem insetos regularmente no mundo (Van Huis, 2013). No entanto, atualmente os autores relatam que não existem formas de estimar de maneira confiável o consumo regular de insetos, que essa estimativa de 2013 está superestimada, e que esse número provavelmente é de centenas de milhões de pessoas (Van Huis *et al.*, 2022).

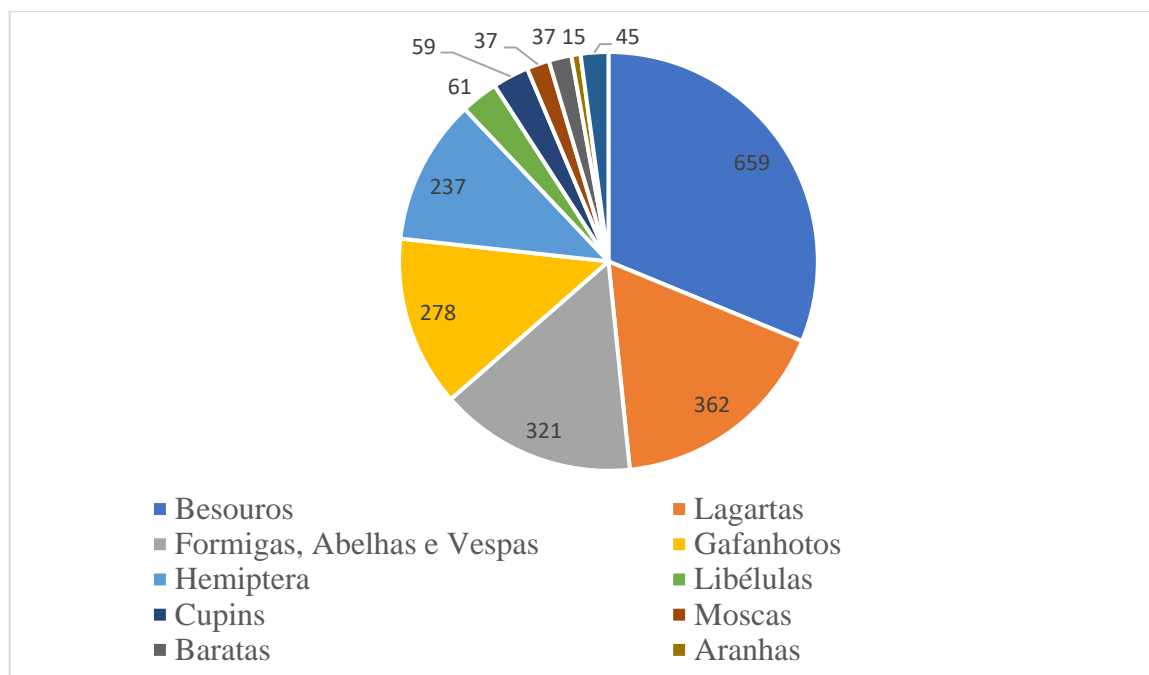
O consumo varia muito conforme a região, sendo mais comum na África, Ásia e na América Latina, onde geralmente são coletados na natureza e consumidos crus ou com algum processamento mínimo. No continente africano, é relatado que existem cerca de 1000 espécies de insetos comestíveis, que contribuem para diversificar a dieta e providenciar alimento em tempos de seca e guerra, além de fornecer renda extra para as famílias que coletam e comercializam esses organismos (Kipkoech *et al.*, 2023). Na China, os insetos são consumidos

há pelo menos 3 mil anos. Atualmente existem mais de 300 espécies identificadas no país, que são consumidas geralmente na forma do inseto inteiro, embora existam no mercado preparações de insetos congelados, secos e enlatados, enquanto que produtos derivados como proteínas e óleos estão em estágio de desenvolvimento (Feng *et al.*, 2020). Na América Latina, o consumo de insetos contribui para a dieta de grande parte das comunidades indígenas no continente, que somam cerca de 50 milhões de pessoas, chegando a representar de 12 a 26 % da ingestão de proteínas no noroeste da Amazonia nos meses de maior disponibilidade de insetos (Costa-Neto, 2016). Já no Brasil, existem pratos que utilizam a formiga cortadeira para produzir uma farofa feita com mandioca nas regiões Norte e Nordeste (Lucchese-Cheung *et al.*, 2020) e até restaurantes que servem preparações como siri com formigas e drinks alcóolicos com grilo (Storch, 2023), mas para a maior parte da população urbana essa prática está associada à pobreza e é vista com desprezo (Costa-Neto, 2016).

Os insetos podem ser consumidos em estágio de ovos, larvas, pupa ou adultos, no entanto é mais comum que sejam consumidos na forma de larvas ou pupa (Jantzen Da Silva Lucas *et al.*, 2020). Podem ser preparados para serem consumidos crus, desidratados, cozidos, assados, fritos ou aplicados em produtos processados como pães, carnes, snacks e massas.

Já foram identificadas 2111 espécies comestíveis no mundo. Besouros, lagartas, formigas, abelhas, vespas, gafanhotos e insetos da ordem Hemíptera representam a maioria das espécies comestíveis identificadas e as mais consumidas, conforme mostra a Figura 1 (Jongema, 2017).

Figura 1 – Grupos de insetos mais consumidos do mundo



Fonte: Jongema (2017)

1.2. COMPOSIÇÃO DOS INSETOS COMESTÍVEIS

Os insetos são considerados fontes de proteínas, lipídios, minerais e vitaminas. No entanto, como são extremamente diversos, sua composição é bem variada, sendo influenciada por fatores como espécie, sexo, estágio de desenvolvimento, dieta e fatores ambientais como umidade, temperatura e fotoperíodo. A quantidade de proteína nos insetos varia de 7,5 % a 91 %, em base seca, sendo que muitas das espécies apresentam teores na faixa de 60% (Finke; Oonincx, 2014). Portanto, dependendo das condições, esses animais podem conter teores de proteínas comparáveis, e em alguns casos superiores, a aqueles encontrados em fontes convencionais, como carne bovina, suína e avícola, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Composição centesimal de alguns insetos e fontes proteicas convencionais (base seca)

Composição	<i>Tenebrio</i>	<i>Ruspolia</i>	<i>Bombyx</i>	Carne	Carne	Carne
	<i>molitor</i>	<i>differens</i>	<i>mori</i>	bovina	suína	avícola
g/100g						
Proteínas	65,6	44,3	48,7 – 58,0	60,8	54,4	79,8
Lipídios	28,2	46,2	30,1 – 35,0	34,1	44,1	20,5
Carboidratos	3,0	4,9	2,0	1,5	0	0
Cinzas	2,5	2,6	4,0 – 8,6	2,6	2,7	2,8

Fonte: Ghosh *et al.* (2017); Jantzen Da Silva Lucas *et al.* (2020); U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service (2019)

Além de serem encontradas em teores elevados, as proteínas de insetos apresentam todos os aminoácidos essenciais, conforme mostra a Tabela 2. No entanto, é válido ressaltar que as quantidades dependem dos fatores mencionados anteriormente (espécie, sexo, estágio de desenvolvimento, dieta e fatores ambientais).

Tabela 2 – Aminoácidos essenciais identificados em insetos

Aminoácido	Quantidade	Faixa	Quantidade
	média	(mg/g _{proteína})	recomendada pela
	(mg/g _{proteína})		FAO em adultos
			(mg/g _{proteína})
Histidina	27,8	22,1 – 37,9	15
Isoleucina	42,6	32,3 – 50,3	30
Leucina	76,2	48,9 – 106,4	59
Lisina	56,9	44,3 – 68,0	45
Metionina + cistina	26,1	16,3 – 50,9	22
Fenilalanina + tirosina	91,2	57,4 – 123,6	38
Treonina	36,6	28,4 – 41,8	15
Triptofano	9,0	5,2 – 17,3	6
Valina	56,1	39,8 – 73,7	26

Fonte: Finke; Oonincx (2014); Food and Agriculture Organization of the United Nations; World Health Organization; United Nations University (2007)

Estudos indicam que as proteínas de insetos apresentam boa digestibilidade. Bosch *et al.* (2014) avaliaram as proteínas do tenébrio (*T. molitor*), besouro cascudinho (*A. diaperinus*), tenébrio gigante (*Zophobas morio*), grilo-doméstico (*A. domesticus*) e das larvas da mosca

soldado negra (*H. illucens*) e obtiveram valores para digestibilidade *in vitro* de 91,3 %, 91,5 %, 92,0 %, 91,7 % e 89,7 %, respectivamente. De maneira similar, Oibiokpa *et al.* (2018) investigaram a digestibilidade das proteínas de grilo preto (*G. assimilis*), gafanhotos (*Melanoplus foedus*) e mariposas (*Cirina forda*): esses insetos foram utilizados como alimento para ratos e obtiveram valores de digestibilidade verdadeira de 80,82 %, 84,98 %, e 81,71 %, respectivamente. Hwangbo *et al.* (2009) alimentaram frangos de corte com uma dieta composta com 30 % de mosca-doméstica (*Musca domestica*) e obtiveram digestibilidade aparente de 98,5 %.

Após as proteínas, o constituinte em maior proporção nos insetos são os lipídios. De acordo com Finke; Oonincx (2014), mais da metade dos ácidos graxos encontrados na maioria das espécies de insetos são insaturados, com prevalência dos ácidos palmítico (C16:1), oleico (C18:1), linoleico (C18:2) e linolênico (C18:3). Além disso, o teor de lipídios varia de 4,6 % a 64 %, em base seca. A Tabela 3 apresenta a composição de ácidos graxos de algumas espécies.

Tabela 3 – Composição de ácidos graxos de alguns insetos

Ácido graxo (% do total de ácidos graxos)	<i>Tenebrio molitor</i>	<i>Alphitobius diaperinus</i>	<i>Acheta domesticus</i>	<i>Eucommia ulmodie</i>
C12:0	0,23	0	0,30	N.D.
C14:0	3,11	0,65	1,80	N.D.
C16:0	18,52	25,18	25,99	6,21
C16:1	2,09	0,22	2,09	0,11
C18:0	2,43	8,55	6,09	2,46
C18:1	49,50	38,49	29,14	16
C18:2	21,82	23,28	29,11	11,68
C18:3	0,84	1,14	1,56	61,85
C20:0	0	0,38	0	N.D.

N.D: Não detectado

Fonte: Jantzen Da Silva Lucas *et al.* (2020)

Além disso, foi demonstrado que os insetos podem ser fontes de diversos minerais em quantidades comparáveis e, em alguns casos, até superiores a aquelas encontradas em fontes convencionais, conforme mostra a Tabela 4.

Tabela 4 – Quantidade de minerais encontrados em alguns insetos e fontes convencionais de proteínas (base seca)

Mineral (mg/100g)	<i>Tenebrio molitor</i>	<i>Ruspolia differens</i>	<i>Bombyx mori</i>	Carne bovina	Carne suína	Carne avícola
Cálcio	47,2	24,5	158	25	22	15
Potássio	761,5	259,7	-	353	362	243
Magnésio	221,5	33,1	207	22	24	25
Fósforo	697,4	-	474	213	226	195
Sódio	125,4	121	-	85	73	86
Ferro	5,5	229,7	26	2,7	1,3	1,2

Fonte: Ghosh *et al.* (2017); Jantzen Da Silva Lucas *et al.* (2020); U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service (2019)

1.3. ASPECTOS DE CRIAÇÃO DE INSETOS

No que se refere à criação, são utilizados três métodos: coleta, que consiste em coletar os insetos selvagens em seu habitat natural, semi-domesticação, que envolve a modificação do habitat para melhorar aspectos de produtividade e, criação, que é a domesticação total em ambientes fechados e controlados. Segundo Lange; Nakamura (2021), a maioria dos insetos comestíveis são coletados na natureza, no entanto isso pode ocasionar diversos problemas como o desequilíbrio do ecossistema onde é feita a coleta, a impossibilidade de controlar a criação para otimizar os custos e a composição final, bem como a possibilidade de contaminação por agentes químicos, físicos ou por microrganismos.

Apesar disso, existe produção em grande escala. Atualmente a maior fazenda de criação de insetos está situada na França, possui capacidade para produzir 200 mil toneladas por ano de ingredientes derivados de *T. molitor*. A empresa responsável é a Ÿnsect, que tem outras fazendas na França e nos Países Baixos (d’Estries, 2022). Outras empresas ao redor do mundo possuem grandes fazendas de criação de insetos, como a AgriProtein na África do Sul, a Protix nos Países Baixos, a Aspire no Canadá, a Innovafeed na França e diversas startups menores nos Estados Unidos. Além disso, as empresas Innovafeed e Protix estão construindo fábricas na França e nos Estados Unidos, respetivamente, que podem superar a capacidade produtiva da Ÿnsect (Rivero, 2023). Na Ásia, a Tailândia é um grande produtor: registra mais de 20 mil empreendimentos de criação de insetos, que, são em sua maioria negócios em pequena escala. Os insetos mais produzidos no país são grilos da espécie *Gryllus bimacutalus*, *A. domesticus*, e *Teleogryllus mitratus* (Krongdang *et al.*, 2023).

No Brasil, não existe regulamentação para o consumo humano de insetos ou produtos contendo insetos, no entanto existem produtores que os criam visando a alimentação animal. Crisálidas (estágio de pupa de insetos da ordem Lepidoptera), larvas vermelhas (insetos aquáticos da família Chironomidae) e as espécies *T. molitor*, *H. illucens*, *G. assimilis*, *A. domesticus*, *Nauphoeta cinerea* e *Z. morio* podem ser alimentadas a animais não ruminantes e tem produção no país. A empresa Hakkuna produz *G. assimilis* em um sistema semiautomático na região de Piracicaba (São Paulo); a empresa Ecological Food também produz essa espécie de grilo, além de baratas cinéreas, e a empresa Agrin Criação e Comércio de Insetos produz *G. assimilis* e *T. molitor* na cidade de Avaré (São Paulo). No total, a Associação Brasileira de Criadores de Insetos Alimentícios relata que existem 56 criadores e 22 fábricas de insetos no país (Chaves, 2020; Taguchi, 2021).

Além disso, os insetos apresentam uma alta taxa de reprodução, alta eficiência alimentar (Van Huis, 2013) e sua produção causa um impacto ambiental menor que as fontes convencionais de alimentos, como carne bovina, suína, avícola e leite. Conforme mostra a Tabela 5, para produzir 1 kg de proteína de *T. molitor* são necessários menos recursos hídricos e terra do que para a produção de 1 kg de proteína animal de fontes convencionais, além de emitir uma quantidade menor de gases de efeito estufa. Ainda, o aporte energético requerido pode variar bastante conforme a espécie e as condições de criação.

Tabela 5 – Impacto ambiental da criação de *T. molitor* em comparação com alimentos convencionais

Variável	<i>Tenebrio molitor</i>	<i>Hermetia illucens</i>	Carne bovina	Carne suína	Carne avícola	Leite
PAG (kg _{eq} -CO ₂ /kg _{proteína})	14	2,1	75 - 170	21 - 53	18 - 36	24 - 38
Energia (MJ/kg _{proteína})	173	15,1	177 - 273	95 - 236	80 - 152	37 - 144
Terra (m ² /kg _{proteína})	18	0,05 – 0,19	144 – 258	47 - 64	42 - 52	33 - 59
PH (m ³ /kg _{proteína})	23	-	112	57	34	-

PAG: Potencial de aquecimento global

PH: Pegada hídrica

Fonte: De Vries; De Boer (2010); Miglietta *et al.* (2015); Oonincx; De Boer (2012); Ros-Baró *et al.* (2022)

1.4. RISCOS ASSOCIADOS AO CONSUMO DE INSETOS

Assim como outras fontes de alimentos, os insetos estão sujeitos a perigos físicos, químicos e biológicos. A ESFA - *European Food Safety Authority*, publicou uma avaliação dos riscos associados à produção e ao consumo de insetos e concluiu que o método de produção (coleta ou domesticação), os substratos usados, a espécie, o estágio de desenvolvimento e o processamento são os principais fatores que impactam no nível de contaminação química e microbiológica (*European Food Safety Authority*, 2015).

Pesticidas são uma das fontes de riscos químicos, pois os insetos, quando coletados na natureza, podem se alimentar de plantas contaminadas e carregar a contaminação até o consumo. Houbraken *et al.* (2016) alimentaram larvas de *T. molitor* com cenouras artificialmente contaminadas com pesticidas e encontraram valores acima do limite máximo de resíduos para os herbicidas diflufenican e isoproturon, e para os fungicidas fenpropimorfe, linuron, pendimetalina, pirimetanil e tebuconazole nas larvas do inseto, mesmo após 24 h de jejum, sendo que alguns apresentaram tendência a se acumular.

Metais pesados como mercúrio, arsênio e chumbo são outro tipo de perigo químico, pois mesmo em baixas concentrações podem causar efeitos tóxicos na saúde humana (Jan *et al.*, 2015). Entretanto, Poma *et al.* (2017) avaliaram 4 espécies de insetos (*Galleria mellonella*, *L. migratoria*, *T. molitor* e *A. diaperinus*) e 4 produtos contendo insetos disponíveis para venda

na Europa em relação a presença de resíduos de pesticidas organoclorados e metais pesados como arsênio, níquel, chumbo e cádmio e encontraram níveis semelhantes ou menores aos níveis desses contaminantes em produtos usualmente consumidos como carne, peixe e ovos. Esses resultados indicam que se criados em cativeiro com a manutenção adequada de boas práticas, os insetos não apresentam riscos maiores que alimentos tradicionalmente consumidos.

Além de perigos químicos, essa matriz está sujeita a contaminação por microrganismos deteriorantes e patogênicos. Garofalo *et al.* (2019) publicaram uma extensa revisão sobre a microbiota de insetos destinados ao consumo humano, onde mostram que diversos microrganismos pertencentes aos gêneros *Cronobacter*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Pseudomonas*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Vibrio*, *Escherichia*, *Campylobacter* e *Listeria*, que contém cepas potencialmente patogênicas, já foram identificados em insetos frescos e processados. Entretanto, os autores concluem que, embora as contagens de microrganismos em insetos frescos geralmente sejam altas, diversos métodos de processamento (principalmente tratamento térmico) combinados com práticas higiênicas e sistemas como Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle, podem reduzir essas contagens para valores aceitáveis.

Alergias também podem representar riscos relacionados ao consumo de produtos contendo insetos. Foram registrados 239 compostos alergênicos encontrados em artrópodes no sistema de nomenclatura do Subcomitê de Nomenclatura de Alérgenos da Organização Mundial da Saúde e da *International Union of Immunological Societies* (IUIS), que basicamente são proteínas amplamente encontradas na natureza. Essas proteínas podem ser classificadas como: proteínas musculares (tropomiosina, miosina, actina, troponina C), proteínas celulares (tubulina), proteínas circulantes (hemocianina, defensina) e enzimas (arginina quinase, triose-fosfato isomerase, α -amilase, tripsina, fosfolipase A, hialuronidase) (Schlüter *et al.*, 2017). Casos de alergia já foram relatados, inclusive envolvendo reações mais severas: No Laos 7,6 % das pessoas que consumiram insetos apresentaram reações alérgicas (Barenes; Phimmasane; Rajaonarivo, 2015), enquanto que na China dos 358 casos de choque anafilático causados pelo consumo de alimentos entre 1980 e 2007 reportados na literatura, 63 (17,6%) foram causados pelo consumo de insetos, principalmente gafanhotos (Ji *et al.*, 2009). Além disso, devido a sua similaridade (ambos pertencem ao filo dos artrópodes) as proteínas de crustáceos e insetos apresentam reatividade cruzada, havendo a possibilidade de que pessoas que apresentam alergia a crustáceos, como o camarão, também possam apresentar reações alérgicas a insetos (Jantzen Da Silva Lucas *et al.*, 2020). Portanto, ao comercializar esses produtos é necessário identificar quais as proteínas mais abundantes em insetos conhecidas por causarem reações alérgicas e em

quais espécies essas proteínas geralmente são encontradas, bem como rotular os produtos de maneira adequada.

Dentre as espécies de insetos comestíveis sendo pesquisadas atualmente, duas se destacam por conta de sua composição nutricional, além de serem encontradas no Brasil: mosca soldado negra (*H. illucens*) e o grilo preto (*G. assimilis*).

1.5. MOSCA SOLDADO NEGRA

A Figura 2 mostra larvas da mosca soldado negra (*H. illucens*), um inseto da ordem Díptera, com origem na América do Norte, mas que atualmente pode ser encontrado em várias regiões do planeta, principalmente em zonas tropicais ou temperadas com temperaturas mais elevadas. As larvas possuem cerca de 20 mm de comprimento e atingem maturidade em 14 dias (Gerhardt; Hribar, 2019).

Figura 2 – Larvas desidratadas da mosca soldado negra (*H. illucens*)



Fonte: Autor.

As larvas da mosca soldado negra são fontes de lipídios, proteínas e minerais, conforme mostram a Tabela 6 e Tabela 7.

Tabela 6 - Composição centesimal (base seca) das larvas da mosca soldado negra (*H. illucens*)

Nutriente	Média	Faixa
(g/100g)		
Proteínas	35,8	24,3 – 56,1
Lipídios	25,0	8,1 – 57,8
Carboidratos	17,5	14,8 – 20,1
Minerais	16,3	3,9 – 30,9

Fonte: Barroso *et al.* (2014); Bosch *et al.* (2014); Bußler *et al.* (2016); Ewald *et al.* (2020); González; Garzón; Rosell (2019); Janssen *et al.* (2017); Liland *et al.* (2017)

Tabela 7 - Perfil de minerais (base seca) das larvas da mosca soldado negra (*H. illucens*)

Mineral	Média	Faixa
(mg/100g)		
Cálcio	2058,2	840 – 3000
Ferro	32,9	31 – 39
Potássio	1772,7	1020 - 2130
Magnésio	384,5	210 - 620
Manganês	16,9	14 - 20
Sódio	610,0	100 - 2130
Fósforo	872,7	680 - 1130
Cobre	0,8	0,72 – 1,00
Iodo	11,4	1,7 – 26,0
Selênio	0,01	0,01 – 0,02
Zinco	10,6	6,8 – 15,0

Fonte: Liland *et al.* (2017)

As proteínas contêm os aminoácidos essenciais histidina, isoleucina, lisina, treonina e valina em grande quantidade (Tabela 8) e, portanto, poderiam ser utilizadas como uma proteína complementar em combinação com matrizes deficientes nesses aminoácidos. Por exemplo, cereais, que geralmente apresentam quantidades insuficientes de lisina (Price; Welch, 2013) e, portanto, poderiam ser utilizados em conjunto com as proteínas da mosca soldado negra, que compensam a deficiência em lisina.

Tabela 8 – Composição de aminoácidos essenciais das larvas da mosca soldado negra (*H. illucens*)

Aminoácidos	Média	Faixa
(mg/g _{proteína})		
Histidina	29	23 – 47
Isoleucina	40	37 – 46
Leucina	65	61 – 74
Lisina	58	54 – 69
Metionina	16	13 – 26
Fenilalanina	33	14 – 45
Treonina	39	36 – 43
Triptofano	19	-
Valina	57	54 – 61

Fonte: Bosch *et al.* (2014); Janssen *et al.* (2017); Liland *et al.* (2017)

A fração lipídica é o segundo maior componente das larvas da mosca soldado negra, e tem uma proporção maior de lipídios saturados do que lipídios insaturados, sendo que o ácido graxo em maior quantidade é o ácido láurico (Tabela 9). No entanto, a composição pode ser, até certo ponto, modulada através da alimentação: as larvas alimentadas com a alga marinha *Ascophyllum nodosum* apresentaram potencial de acumular diversos minerais, vitamina E, o ácido graxo ômega-3 ácido eicosapentanoico (EPA), além de seu perfil lipídico imitar, em parte, o perfil lipídico da alimentação fornecida ao inseto (Liland *et al.*, 2017). Posteriormente, outros trabalhos mostraram a capacidade das larvas de acumular cálcio, ferro, manganês, fósforo e zinco e precursores de vitamina A como α - e β -caroteno e β -criptoxantina (Borel *et al.*, 2021; Proc *et al.*, 2020).

Tabela 9 – Perfil de ácidos graxos das larvas da mosca soldado negra (*H. illucens*) (% de matéria seca)

Ácido graxo	Média	Faixa
C12:0	34,7	13,4 – 52,1
C14:0	7,7	5,8 – 10,1
C14:1 (n-5)	0,3	0,1 – 0,6
C16:0	16,3	11,9 – 19,8
C16:1 (n-7)	3,9	1,6 – 14,1
C18:0	3,1	1,5 – 4,4
C18:1 (n-9)	13,4	8,8 – 25
C18:1 (n-7)	1,1	0,1 – 2,2
C18:2 (n-6)	13,3	2,6 – 24,3
C18:3 (n-3)	2	1,6 – 3,6
C20:4 (n-6)	0,6	0 – 2,1
C20:5 (n-3)	1,6	0 – 8,2
C22:6 (n-6)	1,0	0 – 4,5

Fonte: Ewald *et al.* (2020); Liland *et al.* (2017)

A mosca soldado negra pode se alimentar de um amplo espectro de matéria vegetal e animal, inclusive subprodutos como restos de comida, lixo municipal e matéria vegetal em decomposição (Čičková *et al.*, 2015), sendo capaz de transformar esses resíduos em proteínas e lipídios de qualidade (Ebenezar *et al.*, 2021; St-Hilaire *et al.*, 2007) e até de reduzir a carga microbiana de *Escherichia coli*, *Salmonella* spp e *Enterococcus* spp (Erickson *et al.*, 2004; Lalander *et al.*, 2013; Lopes *et al.*, 2020).

Por essas e outras razões a mosca soldado negra é considerada uma das espécies mais promissoras para criação em escala industrial. Existem diversas empresas que produzem essa espécie em grande escala na África do Sul, Estados Unidos, Países Baixos, e França (Rivero, 2023). No Brasil, o setor ainda não está tão desenvolvido, sendo composto principalmente por pequenos produtores, por isso é difícil estimar a produção e rastrear os produtores, no entanto, podem ser encontradas pelo menos duas empresas que produzem a mosca soldado negra: A Agrin Criação e Comércio de Insetos (Avaré, SP) e a startup *Lets fly* (Cachoeiras de Macacu, RJ) (FINEP, 2023).

1.6. GRILO PRETO

O grilo preto (*G. assimilis*) é um inseto da ordem Orthoptera, foi descrito originalmente na Jamaica, mas pode ser encontrado também no sul dos Estados Unidos, México, América

Central e em partes da América do Sul. Os insetos medem, em sua fase adulta, entre 18 e 26 mm. (Otte *et al.*, 2023; Weissman; Walker; Gray, 2009).

Figura 3 – Grilo preto (*G. assimilis*) no estágio adulto



Fonte: Weissman; Gray (2019)

Esses insetos apresentam altos teores de proteínas e lipídios, além de serem fontes de minerais como cálcio, magnésio e zinco (Tabela 10 e Tabela 11).

Tabela 10 – Composição centesimal (base seca) do grilo preto (*G. assimilis*)

Nutriente	Média	Faixa
	(g/100g)	
Proteínas	57,8	45,8 – 65,6
Lipídios	25,0	11,9 – 35,6
Carboidratos	12,4	7,8 – 20,8
Cinzas	4,5	4,1 – 4,9

Fonte: Adámková *et al.* (2017); Barroso *et al.* (2014); Bednářová *et al.* (2013); Da Rosa Machado; Thys (2019); Fernandez Sergio E. *et al.* (2022); Mlček *et al.* (2018); Quinteros *et al.* (2022); Soares Araújo *et al.* (2019)

Tabela 11 – Perfil de minerais (base seca) do grilo preto (*G. assimilis*)

Mineral	Média	Faixa
		(mg/100g)
Cálcio	216,6	45,3 – 388
Ferro	6,2	2,8 – 9,7
Potássio	1130,0	-
Magnésio	54,6	27,2 – 82,0
Manganês	1,9	1,4 – 2,4
Sódio	110,0	-
Fósforo	830,0	-
Cobre	1,4	0,7 – 2,2
Zinco	3,5	1,8 – 5,2

Fonte: Fialho *et al.* (2021); Soares Araújo *et al.* (2019)

As proteínas do *G. assimilis* contém altos teores de leucina, lisina, treonina e triptofano, além de que, com exceção da metionina e fenilalanina, todos os aminoácidos essenciais são encontrados em quantidades suficientes (Tabela 12). Por apresentar altos teores de lisina, as proteínas do *G. assimilis*, assim como as da BSF, podem ser utilizadas no desenvolvimento de produtos feitos de cereais para compensar essa deficiência.

Tabela 12 – Composição de aminoácidos essenciais do grilo preto (*G. assimilis*)

Aminoácido	Média	Faixa
		(mg/g_{proteína})
Histidina	26	22 – 30
Isoleucina	43	36 – 51
Leucina	82	81 – 84
Lisina	99	65 – 134
Metionina	11	11 – 11
Fenilalanina	27	12 – 41
Treonina	51	41 – 60
Triptofano	17	-
Valina	39	12 – 66

Fonte: (Barroso *et al.* (2014); Bednářová *et al.* (2013)

O *G. assimilis* apresenta um perfil lipídico com prevalência de ácidos graxos insaturados, principalmente ácido oleico (C18:1) e linoleico (C18:2) (Tabela 13). A relação n-

6/n-3 entre os ácidos graxos poliinsaturados, costuma ser muito acima da recomendada, no entanto, a composição dos lipídios desse inseto também pode ser, pelo menos em parte, modulada através da alimentação. Por exemplo, Starčević *et al.* (2017) descobriram que a inclusão de óleo de linhaça na alimentação do *G. assimilis* diminui a relação n-6/n-3 para valores mais aceitáveis. Kulma *et al.* (2022) também alteraram o perfil lipídico ao incluir cenouras na alimentação do grilo preto, obtendo uma proporção menor de ácidos graxos saturados, além de aumentar significativamente a quantidade de α - e β -caroteno.

Tabela 13 – Perfil de ácidos graxos do grilo preto (*G. assimilis*) (% do total de ácidos graxos)

Ácido graxo	Média	Faixa
C12:0	0,6	0 – 2,4
C14:0	1,8	0,4 – 5,5
C15:0	0,3	0 – 0,4
C16:0	33,9	24,5 – 59,8
C16:1 (n-7)	1,4	1,1 – 1,7
C18:0	7,8	1,2 – 14,1
C18:1 (n-9)	23,2	9,5 – 30,3
C18:1 (n-7)	0,3	0 – 0,7
C18:2 (n-6)	24,7	14,3 – 35,3
C18:3 (n-3)	1,6	1,4 – 1,8
C20:0	0,9	0,3 – 2,4
C20:5	0,5	0,3 – 0,7

Fonte: Barroso *et al.* (2014); Bednářová *et al.* (2013); Mlček *et al.* (2018); Soares Araújo *et al.* (2019); Tzompasosa *et al.* (2021)

O grilo preto também apresenta propriedades técnico-funcionais. Aplicação de tratamento térmico nas proteínas do *G. assimilis* melhoraram sua capacidade de formação de espuma e de géis, sendo comparáveis as da proteína isolada do soro do leite, comumente empregada em alimentos para desempenhar essas funções (Santiago; Fadel; Tavares, 2021). Além disso, as proteínas isoladas do inseto apresentaram boa capacidade emulsificante e estabilidade das emulsões (Zielińska, 2022).

Existe produção comercial do *G. assimilis* (Morales-Ramos *et al.*, 2023), mas não foram encontradas empresas em escala e nível de produção grandes como as empresas produtoras da mosca soldado negra. Existe, no entanto a empresa de médio porte JR Unique Foods na Tailândia, que produz e comercializa internacionalmente essa espécie (JR Unique Foods, 2023).

No Brasil existem empresas como a Hakkuna (Piracicaba, SP), a Ecological Food (Limeira, SP) e a Agrin Criação e Comércio de Insetos (Avaré, SP) que produzem essa espécie (Taguchi, 2021), mas a maior parte são pequenos produtores.

1.7. PRODUTOS DE PANIFICAÇÃO ENRIQUECIDOS COM INSETOS

Embora a entomofagia seja praticada por seres humanos desde o seu surgimento até os dias de hoje, nas sociedades ocidentais essa prática geralmente provoca nojo e é associada a doenças e sujeira (Deroy; Reade; Spence, 2015). Mesmo em países como o Brasil, no qual alguns povos originários ainda têm esse hábito, a ideia de um alimento feito com insetos provoca respostas como “nojo”, “bizarro”, “estranho” e “não comestível” (Bisconsin-Júnior *et al.*, 2020).

Uma das formas de aumentar a aceitação de insetos na alimentação humana é sua incorporação em produtos processados de maneira que os produtos finais não sejam associados aos insetos a partir dos quais foram produzidos. Diversos pesquisadores propuseram a inclusão de insetos em produtos de panificação, pois podem ser transformados em farinha e facilmente incorporados nesse tipo de produto, além disso, muito produtos de panificação, sobretudo pães, são considerados *staple foods* e fazem parte da dieta da maioria das pessoas.

De Oliveira *et al.* (2017), produziram pães enriquecidos com 10 % de farinha de barata cinérea (*Nauphoeta cinerea*) e obtiveram um aumento de aproximadamente 49 % no teor de proteínas em relação a um pão controle (sem farinha de inseto), além de melhorar o perfil de aminoácidos, pois a barata cinérea mostrou conter todos os aminoácidos essenciais em quantidades suficientes para adultos, conforme a FAO. Pães produzidos com 10 % e 30 % de farinha de grilo (*A. domesticus*) apresentaram aumento no teor de proteínas, lipídios e fibras em relação a um pão de trigo (Osimani *et al.*, 2018). Seguindo essa mesma tendência, Haber *et al.* (2019) observaram um aumento de mais de 50 % no teor proteico de pães produzidos com farinha de gafanhoto (*Schistocerca gregaria*) em relação a um pão de trigo.

Além de pães, outros tipos de produtos de panificação contendo insetos foram propostos, como *cookies* (Sriprabhom; Kitthawee; Suphantharika, 2022), muffins (Çabuk, 2021), bolos (Indriani *et al.*, 2020), biscoitos de alta energia (Akande *et al.*, 2020) e *snacks* (Roncolini *et al.*, 2020), obtendo resultados similares aos descritos anteriormente.

A incorporação de insetos nesses produtos se mostrou uma estratégia eficiente para melhorar a aceitação de alimentos contendo insetos. Os pães produzidos com 10 % de farinha de barata cinérea (*N. cinerea*), quando submetidos à análise sensorial obtiveram um índice de

aceitação superior a 75 % nos parâmetros aroma, sabor, cor, textura e impressão geral (De Oliveira *et al.*, 2017). Delicato *et al.* (2020) avaliaram a aceitação de *cookies*, bolos e *waffles* nos quais parte da manteiga foi substituída pelo óleo da mosca soldado negra e concluíram que a substituição de até 25 % da manteiga por óleo de inseto não altera a aceitação e preferência por esse tipo de produto em relação a produtos sem o óleo da mosca. No entanto, mesmo que esses produtos sejam considerados aceitáveis pelos consumidores é necessário avaliar suas propriedades técnico-funcionais, que podem sofrer efeitos deletérios devido a incorporação de ingredientes sem glúten.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. MATERIAIS

As larvas desidratadas da mosca soldado negra (*H. illucens*) foram obtidas da empresa Agrin Criação e Comércio de Insetos (Avaré, SP) e moídas em moinho de facas Wiley (Modelo 02, Thomas Scientific). A farinha de grilos pretos adultos (*G. assimilis*) foi obtida da empresa Ecological Food (Limeira, SP). Ambas as farinhas foram armazenadas sob refrigeração por um período máximo de 8 meses.

A farinha de trigo tipo 1 (Panfácil) e integral (Panfácil), o fermento biológico seco (Fleischmann) e o sal (Cisne) foram adquiridos em mercados locais de Porto Alegre (RS). O ácido ascórbico e os monodiglicerídeos foram doados pela empresa Vallens (Farroupilha, RS). O propionato de cálcio foi obtido da empresa Adicel (Belo Horizonte, MG).

Os reagentes químicos foram obtidos das empresas Dinâmica Química (Indaiatuba, SP), Êxodo Científica (Sumaré, SP), Labsynth (Diadema, SP) e Neon Reagentes Analíticos (Suzano, SP).

2.2. ANÁLISES DAS FARINHAS DE INSETO

2.2.1. Composição centesimal

As farinhas dos insetos foram analisadas, em triplicata, quanto ao teor de umidade, nitrogênio não proveniente das proteínas (NPN), proteínas, lipídios e cinzas, através dos métodos certificados da AOAC - *Association of Official Analytical Chemists* (Latimer; AOAC *International*, 2016). O teor de carboidratos foi calculado por diferença em todos os casos.

2.2.1.1. Umidade

O teor de umidade foi determinado pelo método 925.10 (Latimer; AOAC *International*, 2016). As amostras foram pesadas e secas em estufa à 105 °C até massa constante. A umidade foi definida como a perda de massa da amostra devido ao aquecimento.

2.2.1.2. Nitrogênio não proveniente das proteínas (NPN)

O teor de NPN foi determinado segundo DeVries *et al.* (2017) e de acordo com o método 991.20 (método de Kjeldahl) (Latimer; AOAC *International*, 2016). As proteínas presentes nas amostras foram precipitadas com ácido tricloroacético e o sobrenadante foi digerido, destilado e titulado para determinar a quantidade de nitrogênio.

2.2.1.3. Proteínas

A quantidade de proteínas foi determinada de acordo com o método 991.20 (método de Kjeldahl) (Latimer; AOAC *International*, 2016). Através da digestão, destilação e titulação das amostras foi determinada a quantidade total de nitrogênio (%N). Após isso foi subtraído o NPN e esse resultado foi multiplicado pelo fator de conversão de 6,25 e expresso como teor real de proteínas, conforme a equação (1):

$$\text{Teor real de proteínas (\%)} = (\%N - \%NPN) \times 6,25 \quad (1)$$

2.2.1.4. Lipídios

O teor de lipídios foi analisado conforme o método 920.39 (Latimer; AOAC *International*, 2016). Os lipídios foram extraídos em um extrator de Soxhlet (modelo 2055, FossSoxtec, Dinamarca) com éter de petróleo. Após, o solvente foi evaporado, os copos foram pesados e o teor de lipídios determinado pela diferença entre os pesos dos recipientes antes e após a extração.

2.2.1.5. Cinzas

A quantidade de cinzas foi determinada pelo método 900.02 (Latimer; AOAC *International*, 2016). As amostras foram incineradas em uma mufla à temperatura de 550 °C durante 6 horas. O teor foi definido através da diferença entre o peso do cadinho vazio e o peso final após a incineração.

2.2.2. Capacidade de retenção de água e óleo

A capacidade de retenção de água e de óleo das farinhas dos insetos foi analisada, em triplicata, conforme Kabirullah; Wills (1982). As farinhas (1 g) foram dispersas em 10 mL de água destilada e 10 mL de óleo, agitadas por 1 min em vórtex (AP56, Phoenix Lufenco), deixadas em repouso por 30 min e centrifugadas a 3000g durante 20 min (Modelo 4K15, Sigma, Alemanha). A diferença de peso das amostras antes e após o procedimento representa a quantidade de água ou óleo absorvidos. Os resultados foram expressos em gramas de água ou óleo por grama de farinha.

2.2.3. Análise microbiológica

Considerando que não existe legislação brasileira para farinha de inseto, foi levada em conta a legislação da União Europeia para insetos destinados à alimentação humana (European Union, 2022b). As farinhas foram submetidas às seguintes análises microbiológicas: contagem total de colônias aeróbias mesófilas, Enterobacteriaceae (presuntivo), *Escherichia coli*, *Salmonella* spp, Staphylococci coagulase positiva e bolores e leveduras. Todas as análises foram realizadas em duplicata.

2.2.3.1. Contagem total de colônias aeróbias mesófilas

A contagem total de colônias aeróbias foi determinada por plaqueamento, conforme o método 08:2015 da APHA – *American Public Health Association* (Salfinger; Tortorello, 2015), que consiste na contagem das colônias após 24 h de crescimento em placas de ágar padrão para contagem a 35 °C.

2.2.3.2. *Enterobacteriaceae* (presuntivo)

A contagem de *Enterobacteriaceae* foi realizada em placas 3M™ Petrifilm™ para contagem de enterobactérias, de acordo com o método 2003.1:2016 (Latimer; AOAC *International*, 2016). O tempo de incubação foi de 24 h e a temperatura de 35 °C.

2.2.3.3. *Escherichia coli*

Para a contagem de *Escherichia coli* foram utilizadas placas 3M™ Petrifilm™ para contagem de *E. coli* e coliformes, incubadas a 35 °C durante 48 h. Todos os procedimentos foram realizados de acordo com o método 991.14:2016 (Latimer; AOAC *International*, 2016).

2.2.3.4. *Salmonella spp*

O teste de presença/ausência de *Salmonella* foi realizado de acordo com o método 6579-1:2017 (*International Organization for Standardization*, 2017). A amostra foi pré-enriquecida em água peptonada tamponada e incubada a 35 °C por 18 h, após esse período, alíquotas de 0,1 e 1,0 mL foram transferidas para tubos com caldo Rappaport-Vassilidis soja (RVS) e caldo tetracionato de Muller Kauffmann Novobiocina (MKTTn), que foram incubados durante 24 h a 35 °C. Após a incubação, uma alçada de cada tubo foi estriada em placas de ágar xilose lisina desoxicolato (XLD) que foram incubadas invertidas a 35 °C durante 24 h. Então, as placas de XLD foram avaliadas para verificar a presença de colônias típicas de *Salmonella*.

2.2.3.5. *Staphylococci coagulase positiva*

O método 6888-1:1999/Amd 1:2003 (*International Organization for Standardization*, 2003) foi utilizado para determinar a contagem de *Staphylococci coagulase positiva*, que consiste no plaqueamento em superfície em placas de ágar Baird-Parker (BP), incubadas invertidas a 35 °C por 48 h.

2.2.3.6. *Bolores e leveduras*

A contagem de bolores e leveduras foi realizada por plaqueamento em superfície em placas de ágar batata dextrose acidificado (PDA acidificado), não invertidas, incubadas durante cinco dias a 25 °C (Salfinger; Tortorello, 2015).

2.3. FARINOGRAFIA

A análise de farinografia foi realizada na farinha de trigo, na mistura utilizada para os controles integrais (60 % farinha de trigo branca, 40 % farinha de trigo integral) e na mistura utilizada para os pães de grilo (89 % farinha de trigo branca, 11 % farinha de grilo) em um farinógrafo (Brabender) conforme o método ICC 115/1 (*International Association for Cereal Science and Technology*, 1992). Além disso, a análise foi feita na mistura de farinha de grilo utilizando 50 %, 60 % e 70 % de absorção de água, com o objetivo de avaliar as propriedades da massa quando essas quantidades de água foram usadas. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

2.4. PLANEJAMENTO FATORIAL E FORMULAÇÃO DOS PÃES

Para avaliar o efeito de monodiglicerídeos, ácido ascórbico e água nos parâmetros de qualidade dos pães, foi realizado um planejamento fatorial 2^3 (2 níveis e 3 fatores), com 3 repetições no ponto central (Tabela 14).

Tabela 14 - Planejamento fatorial das formulações dos pães

Ensaio	Valores codificados			Valores reais*		
	X1	X2	X3	X1 (%)	X2 (ppm)	X3 (%)
1	-1	-1	-1	0	0	50
2	+1	-1	-1	0,8	0	50
3	-1	+1	-1	0	200	50
4	+1	+1	-1	0,8	200	50
5	-1	-1	+1	0	0	70
6	+1	-1	+1	0,8	0	70
7	-1	+1	+1	0	200	70
8	+1	+1	+1	0,8	200	70
9	0	0	0	0,4	100	60
10	0	0	0	0,4	100	60
11	0	0	0	0,4	100	60

X1: monodiglicerídeos. X2: ácido ascórbico. X3: água. *: Valores reais expressos como porcentagem ou partes por milhão sobre o peso da farinha de trigo.

Foram produzidos 11 pães diferentes para cada espécie de inseto, variando as quantidades de monodiglicerídeos, ácido ascórbico e água conforme os ensaios gerados no planejamento fatorial, totalizando 22 amostras.

A quantidade de farinha de inseto utilizada nos pães enriquecidos com a mosca soldado negra foi de 15 % sobre o peso total da farinha de trigo, enquanto a quantidade utilizada nos pães com farinha de grilo preto foi de 11 %. Nesse estágio do trabalho as composições das farinhas já eram conhecidas, então foram utilizadas essas quantidades tendo como objetivo que

os pães apresentassem no mínimo 10 gramas de proteína por grama de pão (base úmida), um dos requisitos da legislação brasileira para que esse tipo de produto possa utilizar a alegação nutricional “fonte de proteínas” (Brasil, 2020).

Além das 22 amostras de pães enriquecidos foram elaborados 4 controles (sem adição de farinha de insetos): 2 pães com farinha de trigo, um deles com adição de aditivos (WA) e o outro não (W), e 2 pães com farinha de trigo integral, um deles com adição de aditivos (WWA) e o outro não (WA). Os teores de aditivos utilizados nos controles WA e WWA foram os iguais aos utilizados nos pontos centrais, conforme mostra a Tabela 15.

Os demais ingredientes (sal e fermento biológico) tiveram suas quantidades mantidas constantes em todas as amostras. Além disso, foi adicionado propionato de cálcio para evitar a ocorrência de fungos.

A concentração de todos os ingredientes é dada em porcentagem sobre o peso total farinha de trigo, com exceção do ácido ascórbico, cuja concentração é dada em partes por milhão (ppm) sobre o peso da farinha (Tabela 15).

Tabela 15 – Formulações dos pães enriquecidos e dos controles (% sobre o peso da farinha de trigo) (continua)

Amostra	Farinha de trigo	Farinha de trigo integral	Farinha de larvas de BSF	Farinha de grilo preto	Sal	Fermento biológico	Água	Monodiglicerídeos	Ácido ascórbico*	Propionato de cálcio
W	100	0	0	0	2	3	60	0	0	0,1
WA	100	0	0	0	2	3	60	0,4	100	0,2
WW	60	40	0	0	2	3	56,41	0	0	0,1
WWA	60	40	0	0	2	3	56,41	0,4	100	0,2
B1	100	0	15	0	2	3	50	0	0	0,2
B2	100	0	15	0	2	3	50	0,8	0	0,2
B3	100	0	15	0	2	3	50	0	200	0,2
B4	100	0	15	0	2	3	50	0,8	200	0,2
B5	100	0	15	0	2	3	70	0	0	0,2
B6	100	0	15	0	2	3	70	0,8	0	0,2
B7	100	0	15	0	2	3	70	0	200	0,2
B8	100	0	15	0	2	3	70	0,8	200	0,2
B9	100	0	15	0	2	3	60	0,4	100	0,2
B10	100	0	15	0	2	3	60	0,4	100	0,2
B11	100	0	15	0	2	3	60	0,4	100	0,2
G1	100	0	0	11	2	3	50	0	0	0,2
G2	100	0	0	11	2	3	50	0,8	0	0,2

Tabela 15 - Formulações dos pães enriquecidos e dos controles (% sobre o peso da farinha de trigo) (conclusão)

Amostra	Farinha de trigo	Farinha de trigo integral	Farinha de larvas de BSF	Farinha de grilo preto	Sal	Fermento biológico	Água	Monodiglicerídeos	Ácido ascórbico*	Propionato de cálcio
G3	100	0	0	11	2	3	50	0	200	0,2
G4	100	0	0	11	2	3	50	0,8	200	0,2
G5	100	0	0	11	2	3	70	0	0	0,2
G6	100	0	0	11	2	3	70	0,8	0	0,2
G7	100	0	0	11	2	3	70	0	200	0,2
G8	100	0	0	11	2	3	70	0,8	200	0,2
G9	100	0	0	11	2	3	60	0,4	100	0,2
G10	100	0	0	11	2	3	60	0,4	100	0,2
G11	100	0	0	11	2	3	60	0,4	100	0,2

BSF: Mosca soldado negra. W: Controle com farinha de trigo. WA: Controle com farinha de trigo com aditivos. WW: Controle com farinha integral. WWA: Controle com farinha integral com aditivos. B1 – B11: Pães com adição de farinha de larvas de BSF. G1 – G11: Pães com adição de farinha de grilo preto.

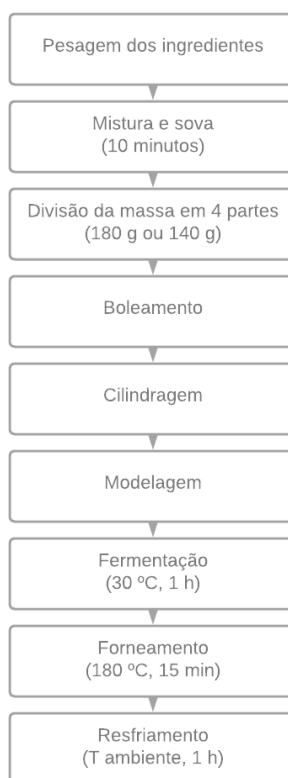
*: Porcentagem definida em ppm

2.5. PROCEDIMENTO DE ELABORAÇÃO DOS PÃES

Os ingredientes foram pesados em balança semi-analítica, com exceção dos monodiglicerídeos, do ácido ascórbico e do propionato de cálcio que foram pesados em balança analítica. Após isso, os ingredientes foram misturados durante 10 min em uma panificadora (Multiplane, Britânia), a massa foi dividida em 4 partes, cada uma pesando 180 g no caso dos pães com farinha de mosca soldado negra e dos 4 controles e 140 g no caso dos pães com farinha de grilo preto.

Cada uma das 4 partes foi boleada manualmente em formato esférico, passada por um cilindro (LEV-30, Arke), modelada manualmente enrolando as massas cilindradas em formato de pão, colocada em formas metálicas e então em uma câmara de fermentação (Crescepão, Venâncio) a 30 °C por 1 h. Após isso, as massas foram assadas em forno elétrico de convecção (FTT 150E, Tedesco) a 180 °C durante 15 min. Então, os pães foram removidos das formas e deixados sobre uma grade metálica para resfriar durante 1 h em temperatura ambiente (aproximadamente 20 °C). O procedimento resultou em 4 amostras de pães para cada uma das formulações apresentadas na Tabela 15, que após resfriados foram submetidas as análises detalhadas na seção 2.6. A Figura 4 mostra as etapas do processo descrito.

Figura 4 – Fluxograma de elaboração dos pães



Fonte: Autor.

2.6. AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS PÃES

Para cada um dos ensaios, as 4 amostras foram pesadas e submetidas à determinação de volume, após resfriadas. Então, uma das 4 foi selecionada ao acaso e submetida a análise de textura, cor e estrutura de miolo, enquanto as demais foram seladas à vácuo em sacos plásticos e armazenadas à temperatura ambiente para análise de textura 7, 14 e 21 dias após o forneamento. Além disso, os pães controle sem aditivos (integral e branco) e três amostras selecionadas dos pães enriquecidos (um pão com farinha de mosca soldado negra e dois com farinha de grilo preto) foram submetidos a análise de composição, quanto à umidade, NPN, proteínas, lipídios e cinzas, conforme os mesmos métodos descritos no item 2.2.1, com exceção da umidade que foi determinada através de uma balança determinadora de umidade (BEL Engineering, Itália).

2.6.1. Perda de massa

A perda de massa representa a quantidade de água e matéria orgânica perdidas durante o forneamento e está associada à capacidade de retenção de água do produto (CRA).

As 4 amostras de pães foram pesadas e a perda de massa foi determinada através da diferença entre o peso das massas cruas (p_{massa}) e dos pães assados ($p_{\text{pão}}$), conforme a equação (2):

$$\text{Perda de massa (\%)} = \frac{p_{\text{massa}} - p_{\text{pão}}}{p_{\text{pão}}} \quad (2)$$

2.6.2. Volume específico

O volume de um pão é um indicador das propriedades de retenção de gás da massa e da qualidade das proteínas da farinha utilizada (Zhou; Hui, 2014). O volume das 4 amostras produzidas foi determinado através do método 10-05.91 (deslocamento de sementes de painço) (AACC *International*, 2009), e expresso como volume específico (cm^3/g), determinado conforme a equação (3):

$$\text{Volume específico (cm}^3/\text{g)} = \frac{\text{Volume}}{\text{peso do pão assado}} \quad (3)$$

2.6.3. Estrutura de miolo

A qualidade da estrutura interna do miolo está associada à quantidade, tamanho, distribuição e a espessura da parede das células de gás formadas. As células são formadas na etapa de mistura dos ingredientes e sofrem alterações nas etapas subsequentes de processamento (Zhou; Hui, 2014).

A amostra utilizada para determinar a textura no dia 0 foi submetida à análise da estrutura do miolo. O pão foi cortado em 4 fatias (2 centrais e 2 extremidades) e foram tiradas fotografias nos dois lados das fatias centrais e no lado onde o miolo estava aparente nas fatias das extremidades, totalizando 6 fotografias. Então, as fotografias foram analisadas através do software ImageJ versão 1,53 (NIH – *National Institutes of Health*, Estados Unidos) utilizando o algoritmo de Otsu. A partir dos resultados do software foram determinados o tamanho médio das células (mm²), a quantidade de poros maiores que 5 mm² (%), a porosidade (%) e a densidade celular (células/cm²).

2.6.4. Textura

A textura pode ser definida como a dureza ou maciez de um produto, e é um dos fatores mais importantes considerados pelos consumidores ao adquirir um pão. Está associada com o grão do cereal utilizado e com os demais ingredientes e suas proporções (Zhou; Hui, 2014).

A textura foi analisada no dia de forneamento (dia 0) e após 7, 14 e 21 dias, utilizando uma das 4 amostras em cada dia. Cada pão foi cortado em 4 fatias, formando duas fatias centrais medindo 30 mm e as duas fatias das extremidades. As duas fatias centrais foram submetidas ao teste de compressão dupla no texturômetro (TA-TX Plus, Stable Micro Systems) utilizando uma carga de 50 kg e probe cilíndrico de 36 mm. Os parâmetros do teste foram: velocidade de pré-teste: 3,0 mm/s; velocidade de teste: 2,0 mm/s; velocidade de pós-teste: 2,0 mm/s e compressão de 50 %. A partir dos resultados foram determinados os parâmetros de dureza (g), definida como a força aplicada pelos molares para comprimir a comida, mastigabilidade, o número de mastigações necessárias para engolir o alimento (Paula; Conti-Silva, 2014), coesividade, que expressa o quanto o alimento pode deformado até se romper (Onyango *et al.*, 2011), e elasticidade, que é associada com a capacidade do alimento de retornar à forma original após uma perturbação (Marc, 2015), conforme as equações (4), (5), (6) e (7):

$$\text{Dureza (g)} = \text{Força máxima da primeira compressão} \quad (4)$$

$$\text{Coesividade} = \frac{\text{Área da segunda compressão (cm}^2\text{)}}{\text{Área da primeira compressão (cm}^2\text{)}} \quad (5)$$

$$\text{Elasticidade} = \frac{\text{Distância da segunda compressão (cm)}}{\text{Distância da primeira compressão (cm)}} \quad (6)$$

$$\text{Mastigabilidade} = \text{Dureza} \times \text{Coesividade} \times \text{Elasticidade} \quad (7)$$

2.6.5. Cor

Assim como a textura, a cor da casca é uma das características que os consumidores dão mais importância no momento de adquirir um pão. A cor da casca e do miolo é influenciada

principalmente pela temperatura e tempo de forneamento, pois esses parâmetros influenciam fortemente as reações de Maillard que ocorrem durante essa etapa. Além disso, os ingredientes também desempenham um papel importante na cor do produto final, visto que a quantidade de açúcar e proteínas disponível também é um fator importante no desenvolvimento dessas reações (Zhou; Hui, 2014).

A cor foi determinada na amostra utilizada para a análise de textura no dia de forneamento (dia 0). As medidas foram realizadas em 4 pontos no miolo e em 4 pontos na casca, através de um colorímetro (CR400, Minolta), utilizando a escala de cores CIELAB. Foi determinada a diferença de cor (ΔE) da casca e do miolo entre o controle com farinha de trigo (W) e as demais amostras, entre o controle com farinha de trigo com aditivos (WA) e as demais amostras, entre o controle com farinha de trigo integral (WW) e as demais amostras e entre o controle com farinha de trigo integral com aditivos (WWA) e as demais amostras. Os ΔE são calculados conforme a equação (8):

$$\Delta E = \sqrt{(L_{amostra}^* - L_c^*)^2 + (a_{amostra}^* - a_c^*)^2 + (b_{amostra}^* - b_c^*)^2} \quad (8)$$

ΔE : Diferença de cor entre cada amostra e os controles.

$L_{amostra}^*$: Luminosidade da amostra em questão.

L_c^* : Luminosidade do controle em questão.

$a_{amostra}^*$: Coordenada cromática no eixo do verde (-) ao vermelho (+) da amostra em questão.

a_c^* : Coordenada cromática no eixo do verde (-) ao vermelho (+) do controle em questão.

$b_{amostra}^*$: Coordenada cromática no eixo do azul (-) ao amarelo (+) da amostra em questão.

b_c^* : Coordenada cromática no eixo do azul (-) ao amarelo (+) do controle em questão.

2.7. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Todas as análises foram realizadas em triplicata, e os resultados foram expressos como média \pm desvio padrão. As análises estatísticas foram feitas utilizando o software Statistica v. 12.0 (Statsoft Europe), utilizando análise de variância (ANOVA) unidirecional e teste de Tukey (com nível de significância de $p < 0,05$) para comparação das médias. Foi realizada análise de componentes principais (ACP), para comparar e diferenciar as amostras considerando todas as respostas obtidas. Além disso, o modelo do planejamento fatorial e metodologia de superfície de resposta foram utilizados para análise dos efeitos das variáveis (monodiglicerídeos, ácido ascórbico e água) nos parâmetros de qualidade dos pães.

CAPÍTULO III: DISCUSSÃO GERAL

Os resultados dos pães enriquecidos com farinha de BSF e grilo preto foram escritos em artigos separados, portanto, será feita uma discussão geral a seguir abordando os resultados de ambos os artigos, com o objetivo de comparar os insetos utilizados.

As duas farinhas produzidas com insetos apresentaram contagens acima do permitido para bolores e leveduras, segundo a legislação europeia, assim como outros insetos criados no país e utilizados em estudos anteriores. A criação e comercialização de produtos contendo esses insetos é regulamentada no Brasil somente se a finalidade for a alimentação animal, por isso os produtores não estão sujeitos as normas que regulamentam a comercialização de produtos destinados a humanos. Portanto, esses resultados explicitam a necessidade de uma legislação para que a produção brasileira de insetos se adeque aos padrões necessários para a devida segurança microbiológica de insetos destinados ao consumo humano.

Em relação à composição centesimal, ambas as espécies apresentaram uma quantidade elevada de proteínas e lipídios, embora com diferenças significativas entre cada inseto. O *G. assimilis* apresentou teor de proteínas aproximadamente 50 % maior que a BSF, com uma quantidade de lipídios e cinzas 30 e 43 % menores, respectivamente. Essas diferenças na composição explicam parte das diferenças nos resultados da CRA e CRO das farinhas: a farinha de grilo preto apresentou valores maiores que a BSF para os dois parâmetros, o que era esperado, por conta do maior teor de proteínas nessa farinha.

As diferenças entre a composição das duas espécies se refletiram de forma similar nos pães enriquecidos, ou seja, os pães com a farinha de *G. assimilis* apresentaram um teor de proteínas maior que os enriquecidos com farinha de BSF, enquanto estes apresentaram maior teor de cinzas, embora a farinha de grilo preto tenha sido utilizada em menor quantidade (11 %) em comparação com a farinha de BSF (15 %). Já a quantidade de lipídios, no entanto, não apresentou diferenças significativas, embora o teor de lipídios da BSF seja superior e uma quantidade maior de farinha tenha sido utilizada.

A Figura 1 apresenta o resultado da APC realizada com todas as amostras e respostas obtidas. As quatro primeiras componentes principais (PC1, PC2, PC3 e PC4) explicaram 73,75 % das diferenças entre as amostras (dados não mostrados). O apêndice G mostra as correlações entre as variáveis e as componentes principais.

Volume específico, perda de massa, dureza dia 0, dureza dia 7, dureza dia 14, dureza dia 21, elasticidade dia 0, mastigabilidade dia 0, mastigabilidade dia 7, mastigabilidade dia 14

e mastigabilidade dia 21 apresentaram alta correlação com PC1, enquanto a porcentagem de poros $> 5 \text{ mm}^2$, L^*_{miolo} e L^*_{casca} , apresentaram respectivamente -0,64; 0,51 e 0,40.

PC1 diferenciou os pães enriquecidos com 50 % de água (B1 – B4 e G1 – G4) e os controles integrais dos demais. Essas amostras do 2º e 4º quadrante apresentaram maior dureza e mastigabilidade em todos os períodos e menor volume específico e porcentagem de poros $> 5 \text{ mm}^2$. Conforme discutido anteriormente, a quantidade de água presente nessas amostras não foi suficiente para permitir o desenvolvimento completo da rede de glúten, por isso é tão nítida a distinção que PC1 faz entre elas e as demais, já que os parâmetros altamente correlacionados com essa componente (volume específico, dureza e mastigabilidade) justamente estão extremamente ligados à qualidade da rede de glúten formada.

Considerando esses parâmetros associados à PC1, todos os pães enriquecidos com 60 % de água ou mais apresentaram resultados melhores ou iguais aos controles, no entanto pode-se notar que os pães enriquecidos com farinha de *G. assimilis* estão mais à esquerda em relação aos pães de BSF que receberam o mesmo tratamento, ou seja, G9 – G11 estão mais à esquerda que B9 – B11; G5 está mais à esquerda que B5; G6 está mais à esquerda que B6; G7 está mais à esquerda que B7 e somente G8 e B8 estão muito próximos. Isso significa que a farinha de grilo preto produziu pães com melhores resultados, ou seja, maior volume e maciez, e indica que essa espécie causa menos impactos negativos à qualidade de produtos panificados que a *H. illucens*. Algumas hipóteses podem ser levantadas em relação a esses resultados: a porcentagem de substituição nos pães de BSF é maior, portanto, o glúten está mais diluído, formando uma rede mais fraca com menor capacidade de reter gás, o que produz pães com menor volume e maciez; proteínas são ingredientes com propriedades funcionais, portanto pode ser que as proteínas do *G. assimilis* não atrapalham a formação do glúten na mesma intensidade que as proteínas da *H. illucens* ou até que promovam em alguma medida a formação da rede, no entanto, a funcionalidade das proteínas depende da composição de aminoácidos. Nesse contexto específico, sabe-se que resíduos de cisteína desempenham um papel importante, pois a cisteína é um aminoácido que contém enxofre, o que é importante para a formação das pontes dissulfeto, que são as ligações intra e intermoleculares que formam a rede de glúten. No entanto, como a composição de aminoácidos dos insetos é desconhecida, não há como estabelecer relações entre os resultados e a funcionalidade das proteínas dos dois insetos.

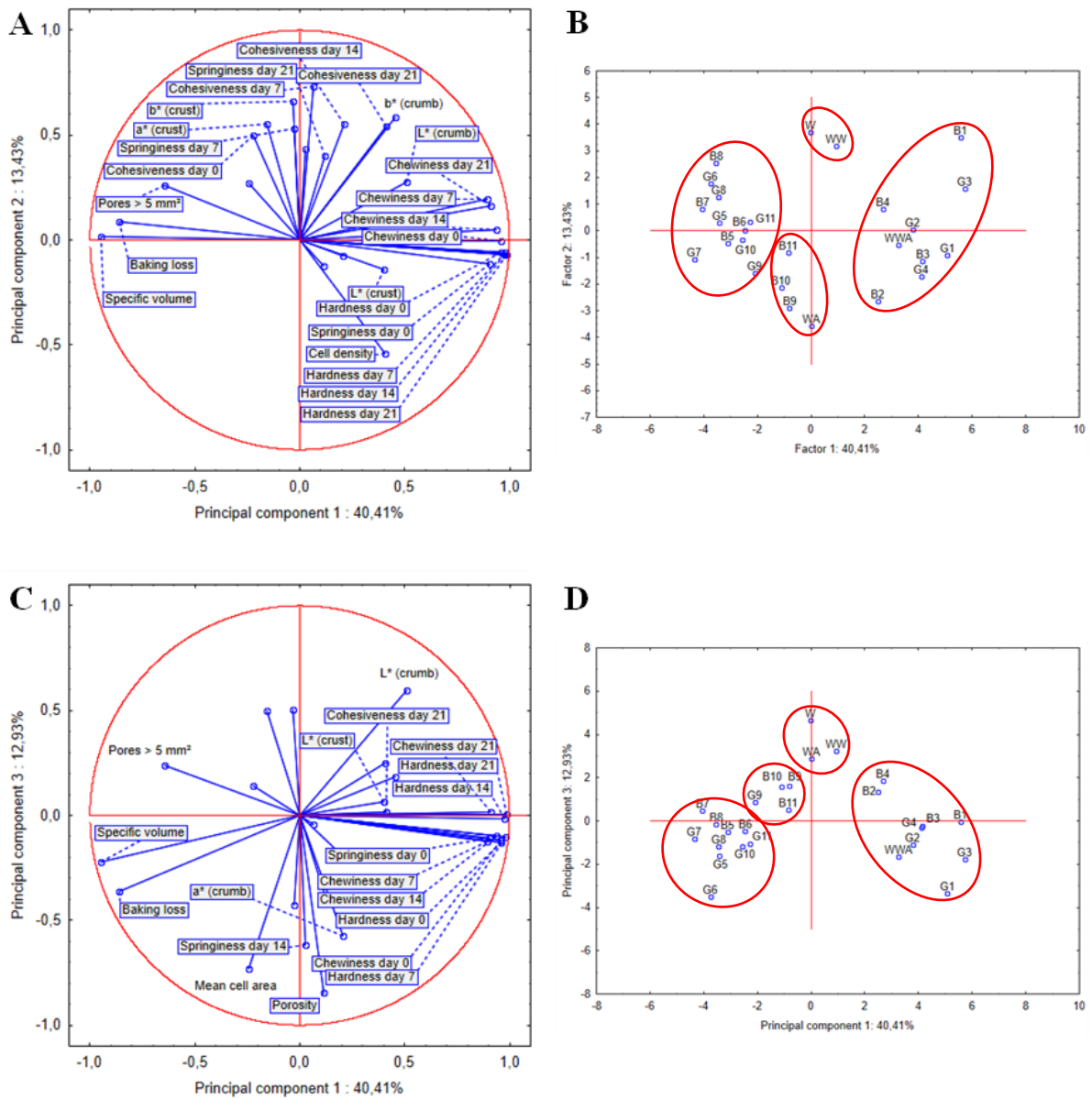
Em relação à PC2, as variáveis com maior correlação foram coesividade dia 0, coesividade dia 7, elasticidade dia 7, coesividade dia 14, coesividade dia 21, elasticidade dia 21, densidade celular, b^*_{miolo} , a^*_{crosta} e b^*_{crosta} .

Os controles W e WW se distinguem das demais amostras por possuírem valores intermediários de volume específico, dureza e mastigabilidade e alta coesividade, a^*_{crosta} , b^*_{crosta} e b^*_{miolo} . B9 – B11 e WA também apresentaram valores intermediários para as variáveis correlacionadas com PC1, mas mostraram coesividade significativamente menor, além da diferença nos parâmetros de cor em relação aos controles W e WW.

G5 – G11 e B5 – B8 formaram um grupo contendo os pães de maior volume e maciez, porém com maior porcentagem de poros $> 5 \text{ mm}^2$, principalmente as amostras do 1º quadrante. G5, B5 G6, G10 e G11 se encontram mais próximas umas das outras, enquanto G6, G8 e B8 se distinguem por apresentarem maior coesividade, principalmente nos dias 14 e 21, do que as outras amostras do grupo, além de maior a^*_{crosta} b^*_{crosta} . G6, G8 e B8 continham monodiglicerídeos, o que pode explicar a melhor coesividade em relação às outras, embora B6 que também continha monodiglicerídeos, mostrou coesividade menor. Por fim, G9 e G7 se distanciaram no grupo por possuírem menor coesividade.

Os parâmetros elasticidade dia 14, área média das células, porosidade, L^*_{miolo} e a^*_{miolo} apresentaram maior correlação com PC3. Todos os pães enriquecidos apresentaram maior porosidade, área média das células e a^*_{miolo} , além de menor L^*_{miolo} . Nota-se que os pães de *G. assimilis* estão posicionados mais abaixo que os pães de BSF, o que significa que apresentaram maior porosidade no geral, indo de acordo com os resultados de volume.

Figura 1 - Análise de componentes principais (APC): (A) PC1 x PC2: projeção das variáveis; (B) PC1 x PC2: Projeção das amostras; (C) PC1 x PC3: Projeção das variáveis; (D): PC1 x PC3: Projeção das amostras.



Fonte: Autor.

É interessante ressaltar que os pontos centrais (B9, B10, B11, G9, G10 e G11) apesar de terem a mesma formulação se encontram mais distantes entre si que o esperado, por exemplo, B9 está mais próximo de WA que de B11, e G11 e G10 estão mais próximos de G5 e B6 do que de G9, evidenciando a variação presente nos dados. Essa variação pode estar relacionada à metodologia utilizada, como o método de deslocamento de sementes de painço, que está sujeito a erros do analista, como erro de paralaxe, no entanto, grande variação também foi notada nos resultados obtidos por métodos instrumentais, como os de textura. Tanto os aditivos utilizados, quanto as farinhas de insetos pertenciam a um mesmo lote, portanto é improvável que

representem uma fonte de erro. Já a farinha de trigo foi comprada de diferentes lotes, e embora os moinhos controlem ativamente a qualidade na expedição de seus produtos, nenhum teste foi realizado durante a pesquisa para confirmar a uniformidade na qualidade das farinhas compradas de lotes diferentes. Além disso, cabe dizer que os ensaios foram realizados em dias diferentes ao longo de vários meses, portanto diferenças climáticas podem ter afetado o processo, além dos erros humanos associados ao pesquisador.

CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que as espécies de insetos *G. assimilis* e *H. illucens* criados no Brasil são alimentos com alto conteúdo de proteínas e lipídios. No entanto, ambos apresentaram contagens acima do permitido para bolores e leveduras, segundo a legislação europeia.

A duas espécies se mostraram apropriadas, em graus diferentes, para a incorporação em pães de trigo. Os pães obtidos apresentaram um perfil nutricional melhorado, sendo que algumas amostras apresentaram parâmetros de qualidade muito próximos ou até superiores aos controles. Particularmente as amostras dos pontos centrais (0,4 % monodiglicerídeos; 100 ppm ácido ascórbico; 60 % água), mostraram volume, textura e estrutura de miolo adequados ao esperado para esse tipo de produto, embora a aparência (cor) seja nitidamente diferente. Foi mostrado que a inclusão do ácido ascórbico e dos monodiglicerídeos foi benéfica para os pães enriquecidos, principalmente no que diz respeito ao efeito antienvhecimento proporcionado pelos monodiglicerídeos. Em relação à quantidade de água, foi possível ver que aumentar a sua quantidade melhorou significativamente parâmetros como volume e textura, no entanto recomenda-se utilizar teores menores, mais próximos da quantidade ideal, para garantir o desenvolvimento completo da rede de glúten e uma estrutura de miolo adequada.

Ainda, cabe ressaltar que o *G. assimilis* produziu resultados melhores que a *H. illucens* em praticamente todos os parâmetros avaliados, seja por ter sido utilizado em menor quantidade seja pela natureza de suas proteínas, portanto, sua utilização em produtos de panificação é altamente recomendada.

PERSPECTIVAS FUTURAS

As duas espécies utilizadas, a *H. illucens* e o *G. assimilis* podem ser comercializadas no Brasil se a finalidade for a alimentação animal. No entanto, não existe dispositivo legal que regulamente essa prática visando o consumo humano, o que impossibilitou a análise sensorial dos pães enriquecidos. A análise sensorial é uma etapa fundamental para avaliar a aceitação de novos produtos, ainda mais importante para produtos contendo insetos, que além de serem pouco consumidos no Brasil e em países com cultura ocidental também são frequentemente associados a reações negativas, por isso, recomenda-se a sua aplicação em trabalhos futuros.

Além disso, como perspectivas futuras recomenda-se avaliar: o teor de fibras, já que há relatos na literatura de que os insetos contêm esse nutriente, o que é importante por conta do valor nutricional e do impacto na formação da estrutura dos pães; e a composição de aminoácidos, para avaliar a qualidade da proteína dos insetos e explicar suas funcionalidades.

**APÊNDICE G – ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (MOSCA SOLDADO NEGRA E GRILO PRETO): CORRELAÇÕES
COMPONENTES PRINCIPAIS – VARIÁVEIS (CONTINUA)**

Variável	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5	PC 6	PC 7	PC 8	PC 9	PC 10	PC 11	PC 12	PC 13	PC 14	PC 15	PC 16	PC 17	PC 18	PC 19	PC 20	PC 21	PC 22	PC 23	PC 24	PC 25
Volume específico	-0,9457	0,0165	-0,2227	0,0059	-0,0811	0,0299	0,0470	-0,1251	0,0724	0,0172	-0,0636	-0,0377	-0,0079	0,1031	0,0357	0,0353	-0,0304	-0,0495	-0,0405	-0,0165	0,0012	0,0260	-0,0063	-0,0140	0,0030
Perda de massa	-0,8618	0,0882	-0,3647	0,1274	0,0000	-0,0713	-0,0749	-0,1180	0,0014	0,1450	-0,0922	0,1400	-0,1032	-0,0237	0,0977	0,0217	-0,0248	0,0543	0,0060	0,0374	-0,0094	0,0108	0,0066	0,0031	0,0023
Dureza dia 0	0,9573	-0,0609	-0,1277	0,0316	-0,0220	0,0174	-0,1679	-0,0047	-0,1192	0,0726	0,0008	0,0745	0,0436	0,0428	-0,0209	0,0235	-0,0217	-0,0113	-0,0426	0,0241	-0,0085	-0,0249	0,0008	-0,0064	-0,0072
Coelasticidade dia 0	-0,2212	0,4987	0,1436	0,4750	0,0753	-0,0415	0,0599	0,3998	0,4933	0,1355	-0,0330	0,1014	0,1081	-0,0074	0,0064	0,0073	0,0021	-0,0051	0,0089	-0,0038	0,0148	-0,0029	-0,0016	-0,0014	-0,0022
Elasticidade dia 0	0,9056	-0,1117	-0,1079	-0,0675	0,0679	0,0145	-0,0682	0,1071	0,0604	0,1637	0,2443	-0,1631	0,0035	0,0264	0,1009	-0,0356	-0,0278	-0,0102	0,0224	0,0067	0,0052	0,0015	0,0058	0,0001	0,0048
Mastigabilidade dia 0	0,9611	-0,0039	-0,1198	0,0747	-0,0286	0,0139	-0,1629	0,0561	-0,0677	0,0910	0,0047	0,0784	0,0383	0,0325	-0,0058	0,0179	-0,0232	-0,0054	-0,0456	0,0193	-0,0197	-0,0140	-0,0048	0,0043	0,0074
Dureza dia 7	0,9784	-0,0619	-0,1046	0,0004	0,0200	-0,0246	-0,0804	0,0344	-0,0451	0,0292	-0,0805	0,0187	0,0015	-0,0118	-0,0062	-0,0817	0,0039	0,0161	0,0307	0,0294	-0,0032	0,0183	-0,0022	-0,0178	-0,0065
Coelasticidade dia 7	0,0630	0,7294	-0,0427	0,2119	-0,4175	-0,3371	-0,2201	0,0419	0,0744	-0,2355	-0,0004	-0,1117	-0,0036	-0,0450	0,0211	0,0293	-0,0343	0,0058	0,0185	0,0143	-0,0150	-0,0150	-0,0088	-0,0060	0,0052
Elasticidade dia 7	-0,0270	0,5339	-0,4265	0,2419	-0,4644	-0,2736	-0,3669	-0,1646	-0,0252	0,0114	0,0740	0,0166	-0,0317	0,0964	0,0237	-0,0342	0,0497	-0,0037	-0,0060	-0,0161	0,0127	0,0010	0,0052	0,0066	-0,0081
Mastigabilidade dia 7	0,8937	0,1938	-0,1251	0,0537	-0,2121	-0,2015	-0,1774	0,0647	-0,0195	-0,0582	-0,0858	0,0224	0,0109	-0,0376	-0,0891	-0,0293	-0,0168	0,0009	-0,0148	-0,0042	0,0041	0,0348	0,0089	0,0054	0,0067
Dureza dia 14	0,9749	-0,0685	-0,0188	0,0654	0,1092	0,0579	-0,1094	0,0215	-0,0202	-0,0128	-0,0067	0,0824	-0,0113	0,0207	0,0261	0,0153	0,0417	0,0022	-0,0100	-0,0044	0,0416	0,0041	0,0038	-0,0039	0,0105
Coelasticidade dia 14	0,2113	0,5548	-0,1994	0,0569	0,7358	0,0343	0,0021	-0,0313	0,1762	-0,0719	-0,0599	-0,0971	-0,0127	0,0779	-0,0148	-0,0440	-0,0233	0,0344	-0,0250	-0,0104	-0,0270	0,0018	0,0077	0,0029	0,0004
Elasticidade dia 14	0,0291	0,4335	-0,6179	-0,0320	0,4350	-0,1839	-0,1424	-0,3439	0,0562	0,1934	0,0114	-0,0886	-0,0306	-0,1019	-0,0604	0,0427	0,0127	-0,0269	0,0017	0,0100	0,0200	-0,0049	-0,0045	-0,0023	-0,0007
Mastigabilidade dia 14	0,9350	0,0468	-0,0955	0,0718	0,2532	0,0748	-0,0987	-0,0315	0,0480	-0,0293	-0,0644	0,0595	-0,0561	0,0195	0,0339	0,0297	0,0932	-0,0302	0,0363	-0,0196	-0,0307	0,0038	-0,0114	0,0024	0,0006
Dureza dia 21	0,9843	-0,0689	0,0036	0,0181	0,0162	-0,0085	-0,0385	0,0773	-0,0512	0,0412	-0,0212	0,0139	-0,0569	-0,0036	0,0266	0,0292	-0,0732	0,0287	0,0070	-0,0338	0,0081	0,0121	-0,0280	0,0043	-0,0044
Coelasticidade dia 21	0,4116	0,5417	0,0164	-0,3644	0,0543	-0,2445	0,5231	0,1777	-0,0540	-0,1061	-0,0970	-0,0253	-0,0607	0,0119	0,0567	-0,0181	0,0401	-0,0186	-0,0294	0,0359	0,0189	-0,0049	-0,0070	0,0029	-0,0008
Elasticidade dia 21	0,1210	0,4032	-0,3817	-0,3091	-0,1831	-0,3797	0,5706	-0,1135	-0,0486	0,1335	0,1586	0,1049	0,0750	0,0224	-0,0395	-0,0028	0,0028	0,0204	0,0144	-0,0153	-0,0195	0,0066	-0,0043	-0,0020	0,0029
Mastigabilidade dia 21	0,9118	0,1614	0,0169	-0,1881	-0,0582	-0,1691	0,1825	0,1231	-0,0118	0,0226	-0,0979	0,0009	-0,0798	0,0029	0,0093	0,0659	-0,0553	-0,0226	0,0203	-0,0266	0,0039	-0,0046	0,0262	-0,0007	-0,0052
Área média das células	-0,2423	0,2733	-0,7326	0,2319	-0,0001	0,3846	0,1426	0,2181	-0,2291	-0,0214	0,0079	-0,0441	-0,0248	-0,0084	-0,0175	-0,0125	0,0059	0,0517	-0,0185	-0,0244	0,0227	-0,0113	-0,0036	-0,0029	-0,0004
Poros > 5 mm ²	-0,6430	0,2597	0,2369	-0,1758	0,4238	-0,3367	-0,2446	-0,0011	-0,1664	-0,0779	0,0529	0,1736	-0,0173	-0,0333	0,0320	-0,0748	-0,0484	-0,0357	0,0005	-0,0260	0,0095	-0,0126	-0,0026	-0,0019	0,0014

**APÊNDICE G – ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (MOSCA SOLDADO NEGRA E GRILO PRETO): CORRELAÇÕES
COMPONENTES PRINCIPAIS – VARIÁVEIS (CONCLUSÃO)**

Variável	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5	PC 6	PC 7	PC 8	PC 9	PC 10	PC 11	PC 12	PC 13	PC 14	PC 15	PC 16	PC 17	PC 18	PC 19	PC 20	PC 21	PC 22	PC 23	PC 24	PC 25
Porosidade	0,1127	-0,1230	-0,8447	0,0639	-0,2966	0,3223	0,1479	-0,0082	0,0300	0,0416	-0,1448	0,0041	0,0322	-0,0792	0,0485	-0,0645	-0,0128	-0,0494	-0,0010	-0,0209	-0,0165	-0,0115	0,0024	0,0022	0,0022
Densidade celular	0,4079	-0,5433	0,2481	-0,2413	-0,2225	-0,3073	0,0335	-0,3267	0,3745	0,0608	-0,1261	-0,0405	-0,0200	-0,0008	0,0090	-0,0435	0,0036	0,0377	-0,0250	-0,0202	0,0116	-0,0190	-0,0043	-0,0003	0,0010
L* (miolo)	0,5111	0,2779	0,5958	0,4351	-0,0084	0,0706	0,1910	-0,2054	-0,0473	-0,0019	0,1001	-0,0141	0,0194	-0,1127	0,0615	-0,0029	0,0105	-0,0050	-0,0594	-0,0084	-0,0086	0,0190	0,0028	0,0009	-0,0051
a* (miolo)	0,2071	-0,0744	-0,5720	-0,5061	-0,0427	0,3522	-0,0866	-0,0137	0,3839	-0,2152	0,1683	0,0973	-0,0341	-0,0242	-0,0085	0,0086	-0,0229	-0,0087	-0,0142	0,0182	0,0053	0,0103	-0,0016	0,0030	-0,0042
b* (miolo)	0,4580	0,5851	0,1841	-0,2418	0,0074	0,4067	-0,0246	-0,3855	-0,0352	-0,1095	-0,0426	0,0532	0,1332	0,0048	0,0513	0,0273	-0,0008	0,0317	0,0225	-0,0130	0,0084	-0,0058	0,0063	-0,0045	0,0014
L* (crosta)	0,4022	-0,1390	0,0670	0,7211	-0,0041	0,1172	0,3900	-0,2655	0,0956	-0,1013	0,0951	0,0752	-0,1375	0,0347	-0,0465	-0,0191	-0,0262	-0,0130	0,0191	0,0073	0,0040	-0,0124	0,0016	-0,0034	0,0029
a* (crosta)	-0,1555	0,5541	0,4965	-0,3729	-0,2498	0,3180	-0,1635	0,1740	0,0820	0,1504	0,0629	0,0205	-0,1559	-0,0328	-0,0314	-0,0108	0,0319	0,0123	-0,0206	-0,0196	-0,0167	-0,0067	0,0022	-0,0083	0,0029
b* (crosta)	-0,0314	0,6610	0,5033	-0,0934	-0,1758	0,4475	0,0245	-0,1714	-0,0353	0,1452	-0,0832	-0,0217	-0,0066	0,0507	-0,0345	-0,0351	-0,0425	-0,0303	0,0235	0,0237	0,0120	0,0027	-0,0079	0,0087	0,0001

PC 1 – PC 25: Componente principal 1 à componente principal 25.

REFERÊNCIAS

- ADÁMKOVÁ, Anna *et al.* Nutritional Potential of Selected Insect Species Reared on the Island of Sumatra. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 14, n. 5, p. 521, 2017. Disponível em: <http://www.mdpi.com/1660-4601/14/5/521>. Acesso em: 29 nov. 2023.
- AKANDE, Abigael Olamide *et al.* Silkworm pupae (*Bombyx mori*) and locusts as alternative protein sources for high-energy biscuits. **Journal of Asia-Pacific Entomology**, [s. l.], v. 23, n. 1, p. 234–241, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1226861519306545>. Acesso em: 1 dez. 2023.
- BACKWELL, Lucinda R.; D'ERRICO, Francesco. Evidence of termite foraging by Swartkrans early hominids. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [s. l.], v. 98, n. 4, p. 1358–1363, 2001. Disponível em: <https://pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.98.4.1358>. Acesso em: 29 nov. 2023.
- BAIANO, Antonietta. Edible insects: An overview on nutritional characteristics, safety, farming, production technologies, regulatory framework, and socio-economic and ethical implications. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 100, p. 35–50, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924224419302511>. Acesso em: 29 nov. 2023.
- BARENNE, Hubert; PHIMMASANE, Manipheth; RAJAONARIVO, Christian. Insect Consumption to Address Undernutrition, a National Survey on the Prevalence of Insect Consumption among Adults and Vendors in Laos. **PLOS ONE**, [s. l.], v. 10, n. 8, p. e0136458, 2015. Disponível em: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0136458>. Acesso em: 29 nov. 2023.
- BARROSO, Fernando G. *et al.* The potential of various insect species for use as food for fish. **Aquaculture**, [s. l.], v. 422–423, p. 193–201, 2014. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0044848613006790>. Acesso em: 29 nov. 2023.
- BEDNÁŘOVÁ, Martina *et al.* Edible insects - species suitable for entomophagy under condition of Czech Republic. **Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis**, [s. l.], v. 61, n. 3, p. 587–593, 2013. Disponível em: <http://acta.mendelu.cz/doi/10.11118/actaun201361030587.html>. Acesso em: 29 nov. 2023.
- BIRÓ, Barbara *et al.* Buckwheat-pasta enriched with silkworm powder: Technological analysis and sensory evaluation. **LWT**, [s. l.], v. 116, p. 108542, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643819308849>. Acesso em: 29 nov. 2023.
- BISCONSIN-JÚNIOR, Antônio *et al.* Examining the role of regional culture and geographical distances on the representation of unfamiliar foods in a continental-size country. **Food Quality and Preference**, [s. l.], v. 79, p. 103779, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950329319302915>. Acesso em: 1 dez. 2023.
- BOREL, Patrick *et al.* Using black soldier fly larvae reared on fruits and vegetables waste as a sustainable dietary source of provitamin a carotenoids. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 359, p. 129911, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814621009171>. Acesso em: 29 nov. 2023.

BOSCH, Guido *et al.* Protein quality of insects as potential ingredients for dog and cat foods. **Journal of Nutritional Science**, [s. l.], v. 3, p. e29, 2014. Disponível em: https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S2048679014000238/type/journal_article. Acesso em: 29 nov. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde/Agência Nacional de Vigilância Sanitária/Diretoria Colegiada. **INSTRUÇÃO NORMATIVA-IN Nº 75, DE 8 DE OUTUBRO DE 2020**. Estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados. 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-75-de-8-de-outubro-de-2020-282071143>. Acesso em: 5 dez. 2023.

BUSSLER, Sara *et al.* Recovery and techno-functionality of flours and proteins from two edible insect species: Meal worm (*Tenebrio molitor*) and black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. **Heliyon**, [s. l.], v. 2, n. 12, p. e00218, 2016. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405844016317467>. Acesso em: 29 nov. 2023.

ÇABUK, Burcu. Influence of grasshopper (*Locusta Migratoria*) and mealworm (*Tenebrio Molitor*) powders on the quality characteristics of protein rich muffins: nutritional, physicochemical, textural and sensory aspects. **Journal of Food Measurement and Characterization**, [s. l.], v. 15, n. 4, p. 3862–3872, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s11694-021-00967-x>. Acesso em: 4 dez. 2023.

CHAVES, Léo Ramos. **Edible insects: High in protein, crickets, mealworms, and ants are growing in popularity as an alternative food source, with Brazil taking its first steps into the market**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/en/edible-insects/>. Acesso em: 4 dez. 2023.

CHURCHWARD-VENNE, Tyler A *et al.* Consideration of insects as a source of dietary protein for human consumption. **Nutrition Reviews**, [s. l.], v. 75, n. 12, p. 1035–1045, 2017. Disponível em: <http://academic.oup.com/nutritionreviews/article/75/12/1035/4675267>. Acesso em: 29 nov. 2023.

ČIČKOVÁ, Helena *et al.* The use of fly larvae for organic waste treatment. **Waste Management**, [s. l.], v. 35, p. 68–80, 2015. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956053X14004486>. Acesso em: 29 nov. 2023.

COSTA-NETO, E.M. Edible insects in Latin America: old challenges, new opportunities. **Journal of Insects as Food and Feed**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 1–2, 2016. Disponível em: https://brill.com/view/journals/jiff/2/1/article-p1_1.xml. Acesso em: 2 dez. 2023.

D'ESTRIES, Michael. **World's Largest Insect Farm to Open in France**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.treehugger.com/world-largest-insect-farm-france-6751326>. Acesso em: 4 dez. 2023.

DA ROSA MACHADO, Carolina; THYS, Roberta Cruz Silveira. Cricket powder (*Gryllus assimilis*) as a new alternative protein source for gluten-free breads. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [s. l.], v. 56, p. 102180, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1466856419303522>. Acesso em: 29 nov. 2023.

DE OLIVEIRA, Lauren Menegon *et al.* Bread enriched with flour from cinereous cockroach (*Nauphoeta cinerea*). **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [s. l.], v. 44, p. 30–

35, 2017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1466856416308682>. Acesso em: 1 dez. 2023.

DE VRIES, M.; DE BOER, I.J.M. Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. **Livestock Science**, [s. l.], v. 128, n. 1–3, p. 1–11, 2010. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1871141309003692>. Acesso em: 29 nov. 2023.

DELICATO, Claudia *et al.* Consumers' perception of bakery products with insect fat as partial butter replacement. **Food Quality and Preference**, [s. l.], v. 79, p. 103755, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950329319302022>. Acesso em: 1 dez. 2023.

DEROY, Ophelia; READE, Ben; SPENCE, Charles. The insectivore's dilemma, and how to take the West out of it. **Food Quality and Preference**, [s. l.], v. 44, p. 44–55, 2015. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950329315000385>. Acesso em: 1 dez. 2023.

DEVRIES, Jonathan W. *et al.* Non-protein nitrogen determination: A screening tool for nitrogenous compound adulteration of milk powder. **International Dairy Journal**, [s. l.], v. 68, p. 46–51, 2017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0958694616303582>. Acesso em: 5 dez. 2023.

EBENEEZAR, Sanal *et al.* Nutritional evaluation, bioconversion performance and phylogenetic assessment of black soldier fly (*Hermetia illucens*, Linn. 1758) larvae valorized from food waste. **Environmental Technology & Innovation**, [s. l.], v. 23, p. 101783, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352186421004314>. Acesso em: 29 nov. 2023.

ENGLUND, Oskar *et al.* Beneficial land use change: Strategic expansion of new biomass plantations can reduce environmental impacts from EU agriculture. **Global Environmental Change**, [s. l.], v. 60, p. 101990, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959378018313682>. Acesso em: 1 dez. 2023.

ENGSTRÖM, Anders. **The big list of edible insect products!**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.bugburger.se/guide/the-big-list-of-edible-insect-products/>. Acesso em: 6 ago. 2023.

ERICKSON, Marilyn C. *et al.* Reduction of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* Serovar Enteritidis in Chicken Manure by Larvae of the Black Soldier Fly. **Journal of Food Protection**, [s. l.], v. 67, n. 4, p. 685–690, 2004. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0362028X22034755>. Acesso em: 29 nov. 2023.

EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY. Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. **EFSA Journal**, [s. l.], n. 2015;13(10):4257, 2015. Disponível em: <https://data.europa.eu/doi/10.2903/j.efsa.2015.4257>. Acesso em: 29 nov. 2023.

EUROPEAN UNION. EUROPEAN COMMISSION. **COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2021/1975 of 12 November 2021 authorising the placing on the market of frozen, dried and powder forms of *Locusta migratoria* as a novel food under Regulation (EU) 2015/2283 of the European Parliament and of the Council and amending Commission Implementing Regulation (EU) 2017/2470**. 2021. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1975>. Acesso em: 3 dez. 2023.

EUROPEAN UNION. EUROPEAN COMMISSION. **COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2022/169 of 8 February 2022 authorising the placing on the market of frozen, dried and powder forms of yellow mealworm (*Tenebrio molitor* larva) as a novel food under Regulation (EU) 2015/2283 of the European Parliament and of the Council, and amending Commission Implementing Regulation (EU) 2017/2470.** 2022a. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022R0169>. Acesso em: 3 dez. 2023.

EUROPEAN UNION. EUROPEAN COMMISSION. **COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2022/188 of 10 February 2022 authorising the placing on the market of frozen, dried and powder forms of *Acheta domestica* as a novel food under Regulation (EU) 2015/2283 of the European Parliament and of the Council, and amending Commission Implementing Regulation (EU) 2017/2470.** 2022b. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022R0188>. Acesso em: 13 mar. 2023.

EUROPEAN UNION. EUROPEAN COMMISSION. **COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2023/58 of 5 January 2023 authorising the placing on the market of the frozen, paste, dried and powder forms of *Alphitobius diaperinus* larvae (lesser mealworm) as a novel food and amending Implementing Regulation (EU) 2017/2470.** 2023. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R0058>. Acesso em: 3 dez. 2023.

EUROPEAN UNION. EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. **REGULATION (EU) 2015/2283 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 25 November 2015 on novel foods, amending Regulation (EU) No 1169/2011 of the European Parliament and of the Council and repealing Regulation (EC) No 258/97 of the European Parliament and of the Council and Commission Regulation (EC) No 1852/2001.** 2015. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015R2283>. Acesso em: 3 dez. 2023.

EWALD, Nils *et al.* Fatty acid composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) – Possibilities and limitations for modification through diet. **Waste Management**, [s. l.], v. 102, p. 40–47, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956053X19306440>. Acesso em: 29 nov. 2023.

FENG, Y. *et al.* Overview of edible insect resources and common species utilisation in China. **Journal of Insects as Food and Feed**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 13–25, 2020. Disponível em: https://brill.com/view/journals/jiff/6/1/article-p13_13.xml. Acesso em: 4 dez. 2023.

FERNANDEZ SERGIO E. *et al.* Physico-Chemical and Sensory Characteristics of Barbecue Sauce as Influenced by Cricket Flour (*Gryllus Assimilis*). **Chemical Engineering Transactions**, [s. l.], v. 93, p. 205–210, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3303/CET2293035>. Acesso em: 29 nov. 2023.

FIALHO, A.T.S. *et al.* Nutritional composition of larvae of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) and crickets (*Gryllus assimilis*) with potential usage in feed. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, [s. l.], v. 73, n. 2, p. 539–542, 2021. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-09352021000200539&tlng=en. Acesso em: 29 nov. 2023.

FINEP. **Startup Lets Fly apoiada pelo Finep Inovacred vai produzir alimento sustentável para pets a partir de larvas de inseto.** [S. l.], 2023. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/noticias/todas-noticias/6582-startup-lets-fly-apoiada-pelo-finep-inovacred-vai-produzir-alimento-sustentavel-para-pets-e-peixes-a-partir-de-larvas-de-inseto>. Acesso em: 4 dez. 2023.

FINKE, Mark D.; OONINCX, Dennis. Insects as Food for Insectivores. *In: MASS PRODUCTION OF BENEFICIAL ORGANISMS.* [S. l.]: Elsevier, 2014. p. 583–616. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780123914538000170>. Acesso em: 29 nov. 2023.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS; WORLD HEALTH ORGANIZATION; UNITED NATIONS UNIVERSITY (org.). **Protein and amino acid requirements in human nutrition: report of a joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation ; [Geneva, 9 - 16 April 2002].** Geneva: WHO, 2007. (WHO technical report series, v. 935).

GAROFALO, Cristiana *et al.* Current knowledge on the microbiota of edible insects intended for human consumption: A state-of-the-art review. **Food Research International**, [s. l.], v. 125, p. 108527, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996919303989>. Acesso em: 29 nov. 2023.

GERHARDT, Reid R.; HRIBAR, Lawrence J. Flies (Diptera). *In: MEDICAL AND VETERINARY ENTOMOLOGY.* [S. l.]: Elsevier, 2019. p. 171–190. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B978012814043700011X>. Acesso em: 29 nov. 2023.

GHOSH, Sampat *et al.* Nutritional composition of five commercial edible insects in South Korea. **Journal of Asia-Pacific Entomology**, [s. l.], v. 20, n. 2, p. 686–694, 2017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1226861517300924>. Acesso em: 29 nov. 2023.

GONZÁLEZ, Cristina M.; GARZÓN, Raquel; ROSELL, Cristina M. Insects as ingredients for bakery goods. A comparison study of *H. illucens*, *A. domestica* and *T. molitor* flours. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [s. l.], v. 51, p. 205–210, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S146685641830016X>. Acesso em: 29 nov. 2023.

HABER, M. *et al.* The influence of grasshopper (*Schistocerca gregaria*) powder enrichment on bread nutritional and sensorial properties. **LWT**, [s. l.], v. 115, p. 108395, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643819307376>. Acesso em: 1 dez. 2023.

HOUBRAKEN, Michael *et al.* Pesticide contamination of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) for human consumption. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 201, p. 264–269, 2016. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814616300978>. Acesso em: 29 nov. 2023.

HWANGBO, J *et al.* Utilization of house fly-maggots, a feed supplement in the production of broiler chickens. **Journal of Environmental Biology**, [s. l.], v. 30, n. 4, p. 609–614, 2009.

INDRIANI, Sylvia *et al.* Quality characteristics of protein-enriched brown rice flour and cake affected by Bombay locust (*Patanga succincta* L.) powder fortification. **LWT**, [s. l.], v. 119, p.

108876, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643819312186>. Acesso em: 1 dez. 2023.

INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL SCIENCE AND TECHNOLOGY. ICC. **115/1 Method for using the Brabender Farinograph.** , 1992. Disponível em: <https://icc.or.at/publications/icc-standards/standards-overview/115-1-standard-method>.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO. **ISO 6579-1:2017 - Microbiology of the food chain. Horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of Salmonella.** , 2017. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/56712.html>.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO. **ISO 6888-1:1999/Amd 1:2003. Microbiology of food and animal feeding stuffs. Horizontal method for the enumeration of coagulase-positive staphylococci (Staphylococcus aureus and other species).** , 2003. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/36145.html>.

JAN, Arif *et al.* Heavy Metals and Human Health: Mechanistic Insight into Toxicity and Counter Defense System of Antioxidants. **International Journal of Molecular Sciences**, [s. l.], v. 16, n. 12, p. 29592–29630, 2015. Disponível em: <http://www.mdpi.com/1422-0067/16/12/26183>. Acesso em: 29 nov. 2023.

JANSSEN, Renske H. *et al.* Nitrogen-to-Protein Conversion Factors for Three Edible Insects: *Tenebrio molitor* , *Alphitobius diaperinus* , and *Hermetia illucens*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 65, n. 11, p. 2275–2278, 2017. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jafc.7b00471>. Acesso em: 29 nov. 2023.

JANTZEN DA SILVA LUCAS, Andressa *et al.* Edible insects: An alternative of nutritional, functional and bioactive compounds. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 311, p. 126022, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030881461932165X>. Acesso em: 29 nov. 2023.

Jl, Kunmei *et al.* Anaphylactic shock and lethal anaphylaxis caused by food consumption in China. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 20, n. 5, p. 227–231, 2009. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924224409001150>. Acesso em: 29 nov. 2023.

JONGEMA, Yde. **List of edible insects of the world.** [S. l.], 2017. Disponível em: <https://www.wur.nl/en/research-results/chair-groups/plant-sciences/laboratory-of-entomology/edible-insects/worldwide-species-list.htm>. Acesso em: 6 ago. 2023.

JR UNIQUE FOODS. **JAMAICAN CRICKETS (GRYLLUS ASSIMILIS SP).** [S. l.], 2023. Disponível em: <https://jrunique.com/product/whole-gryllus-assimilis-cricket/>. Acesso em: 5 ago. 2023.

KABIRULLAH, M.; WILLS, R. B. H. Functional properties of acetylated and succinylated sunflower protein isolate. **International Journal of Food Science & Technology**, [s. l.], v. 17, n. 2, p. 235–249, 1982. Disponível em: <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2621.1982.tb00179.x>. Acesso em: 5 dez. 2023.

KIPKOECH, C. *et al.* African traditional use of edible insects and challenges towards the future trends of food and feed. **Journal of Insects as Food and Feed**, [s. l.], v. 9, n. 8, p. 965–988,

2023. Disponível em: <https://www.wageningenacademic.com/doi/10.3920/JIFF2022.0076>. Acesso em: 1 dez. 2023.

KRONGDANG, Sasiprapa *et al.* Edible Insects in Thailand: An Overview of Status, Properties, Processing, and Utilization in the Food Industry. **Foods**, [s. l.], v. 12, n. 11, p. 2162, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/11/2162>. Acesso em: 4 dez. 2023.

KULMA, M. *et al.* Effect of carrot supplementation on nutritional value of insects: a case study with Jamaican field cricket (*Gryllus assimilis*). **Journal of Insects as Food and Feed**, [s. l.], v. 8, n. 6, p. 621–629, 2022. Disponível em: https://brill.com/view/journals/jiff/8/6/article-p621_621.xml. Acesso em: 29 nov. 2023.

LALANDER, Cecilia *et al.* Faecal sludge management with the larvae of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) — From a hygiene aspect. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 458–460, p. 312–318, 2013. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969713004555>. Acesso em: 29 nov. 2023.

LANGE, Klaus W.; NAKAMURA, Yukiko. Edible insects as future food: chances and challenges. **Journal of Future Foods**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 38–46, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2772566921000033>. Acesso em: 4 dez. 2023.

LATIMER, George W.; AOAC INTERNATIONAL (org.). **Official methods of analysis of AOAC International**. 20th Editioned. Gaithersburg, Md: AOAC International, 2016.

LILAND, Nina S. *et al.* Modulation of nutrient composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae by feeding seaweed-enriched media. **PLOS ONE**, [s. l.], v. 12, n. 8, 2017. Disponível em: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0183188>. Acesso em: 29 nov. 2023.

LOPES, Ivã Guidini *et al.* Reduction of Bacteria in Relation to Feeding Regimes When Treating Aquaculture Waste in Fly Larvae Composting. **Frontiers in Microbiology**, [s. l.], v. 11, p. 1616, 2020. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fmicb.2020.01616/full>. Acesso em: 29 nov. 2023.

LUCCHESI-CHEUNG, Thelma *et al.* Determinants of the Intention to Consume Edible Insects in Brazil. **Journal of Food Products Marketing**, [s. l.], v. 26, n. 4, p. 297–316, 2020. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10454446.2020.1766626>. Acesso em: 2 dez. 2023.

MADSEN, David B.; KIRKMAN, James E. Hunting Hoppers. **American Antiquity**, [s. l.], v. 53, n. 3, p. 593–604, 1988. Disponível em: https://www.cambridge.org/core/product/identifider/S0002731600071225/type/journal_article. Acesso em: 29 nov. 2023.

MARC, Johnson. **Overview of Texture Profile Analysis**. [s. l.], 2015. Disponível em: <https://texturetechnologies.com/resources/texture-profile-analysis>. Acesso em: 5 ago. 2023.

MIGLIETTA, Pier *et al.* Mealworms for Food: A Water Footprint Perspective. **Water**, [s. l.], v. 7, n. 11, p. 6190–6203, 2015. Disponível em: <http://www.mdpi.com/2073-4441/7/11/6190>. Acesso em: 29 nov. 2023.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. **LISTA DE MATÉRIAS-PRIMAS - INGREDIENTES E ADITIVOS - APROVADAS PELO MAPA PARA USO NA**

ALIMENTAÇÃO ANIMAL. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-pecuarios/alimentacao-animal/listageral130920232.pdf>. Acesso em: 1 dez. 2023.

MLČEK, J. *et al.* Selected nutritional values of field cricket (*Gryllus assimilis*) and its possible use as a human food. **Indian Journal of Traditional Knowledge**, [s. l.], v. 17, n. 3, p. 518–524, 2018.

MORALES-RAMOS, Juan A. *et al.* Artificial diet development for entomophagous arthropods. *In*: MASS PRODUCTION OF BENEFICIAL ORGANISMS. [S. l.]: Elsevier, 2023. p. 233–260. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128221068000117>. Acesso em: 5 dez. 2023.

OIBIOKPA, Florence Inje *et al.* Protein quality of four indigenous edible insect species in Nigeria. **Food Science and Human Wellness**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 175–183, 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2213453017301015>. Acesso em: 29 nov. 2023.

ONYANGO, Calvin *et al.* Modification of gluten-free sorghum batter and bread using maize, potato, cassava or rice starch. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], v. 44, n. 3, p. 681–686, 2011. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643810003087>. Acesso em: 5 dez. 2023.

OONINCX, Dennis G. A. B.; DE BOER, Imke J. M. Environmental Impact of the Production of Mealworms as a Protein Source for Humans – A Life Cycle Assessment. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 7, n. 12, p. e51145, 2012. Disponível em: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0051145>. Acesso em: 29 nov. 2023.

OSIMANI, Andrea *et al.* Bread enriched with cricket powder (*Acheta domesticus*): A technological, microbiological and nutritional evaluation. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [s. l.], v. 48, p. 150–163, 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1466856417313760>. Acesso em: 4 dez. 2023.

OTTE, Daniel *et al.* **Orthoptera Species File (Version 5.0/5.0)**. [S. l.], 2023. Disponível em: <http://orthoptera.archive.speciesfile.org/common/basic/Taxa.aspx?TaxonNameID=1122453>. Acesso em: 6 ago. 2023.

PAULA, Amanda Maldo; CONTI-SILVA, Ana Carolina. Texture profile and correlation between sensory and instrumental analyses on extruded snacks. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 121, p. 9–14, 2014. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0260877413004111>. Acesso em: 5 dez. 2023.

POMA, Giulia *et al.* Evaluation of hazardous chemicals in edible insects and insect-based food intended for human consumption. **Food and Chemical Toxicology**, [s. l.], v. 100, p. 70–79, 2017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0278691516304598>. Acesso em: 29 nov. 2023.

PRICE, R.K.; WELCH, R.W. Cereal Grains. *In*: ENCYCLOPEDIA OF HUMAN NUTRITION. [S. l.]: Elsevier, 2013. p. 307–316. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780123750839000477>. Acesso em: 29 nov. 2023.

PROC, Kinga *et al.* Hermetia illucens exhibits bioaccumulative potential for 15 different elements – Implications for feed and food production. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 723, p. 138125, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969720316387>. Acesso em: 29 nov. 2023.

QUINTEROS, María Fernanda *et al.* Functional, Antioxidant, and Anti-Inflammatory Properties of Cricket Protein Concentrate (*Gryllus assimilis*). **Biology**, [s. l.], v. 11, n. 5, p. 776, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-7737/11/5/776>. Acesso em: 29 nov. 2023.

RIVERO, Nicolás. Why companies are racing to build the world's biggest bug farm. **The Washington Post**, [s. l.], 2023. Disponível em: <https://www.washingtonpost.com/climate-solutions/2023/11/12/biggest-insect-farm-record/>. Acesso em: 4 dez. 2023.

RONCOLINI, Andrea *et al.* Lesser mealworm (*Alphitobius diaperinus*) powder as a novel baking ingredient for manufacturing high-protein, mineral-dense snacks. **Food Research International**, [s. l.], v. 131, p. 109031, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996920300569>. Acesso em: 1 dez. 2023.

ROS-BARÓ, Marta *et al.* Edible Insect Consumption for Human and Planetary Health: A Systematic Review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 19, n. 18, p. 11653, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/18/11653>. Acesso em: 1 dez. 2023.

SALFINGER, Yvonne; TORTORELLO, Mary Lou (org.). **Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods**. [S. l.]: American Public Health Association, 2015. Disponível em: <http://ajph.aphapublications.org/doi/book/10.2105/MBEF.0222>. Acesso em: 5 dez. 2023.

SANTIAGO, Livia A.; FADEL, Orlando M.; TAVARES, Guilherme M. How does the thermal-aggregation behavior of black cricket protein isolate affect its foaming and gelling properties?. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 110, p. 106169, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268005X2030802X>. Acesso em: 29 nov. 2023.

SCHLÜTER, Oliver *et al.* Safety aspects of the production of foods and food ingredients from insects. **Molecular Nutrition & Food Research**, [s. l.], v. 61, n. 6, p. 1600520, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mnfr.201600520>. Acesso em: 29 nov. 2023.

SCHOLLIERS, Jana; STEEN, Liselot; FRAEYE, Ilse. Structure and physical stability of hybrid model systems containing pork meat and superworm (*Zophobas morio* larvae): The influence of heating regime and insect: meat ratio. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [s. l.], v. 65, p. 102452, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1466856420303982>. Acesso em: 29 nov. 2023.

SHAGHAGHIAN, Samaneh *et al.* Digestibility and bioavailability of plant-based proteins intended for use in meat analogues: A review. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 129, p. 646–656, 2022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924224422004526>. Acesso em: 29 nov. 2023.

SOARES ARAÚJO, Rafael Ribeiro *et al.* Nutritional composition of insects *Gryllus assimilis* and *Zophobas morio*: Potential foods harvested in Brazil. **Journal of Food Composition and**

Analysis, [s. l.], v. 76, p. 22–26, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0889157518312195>. Acesso em: 29 nov. 2023.

SRIPRABLOM, Jiratthitikan; KITTHAWEE, Sangvorn; SUPHANTHARIKA, Manop. Functional and physicochemical properties of cookies enriched with edible insect (*Tenebrio molitor* and *Zophobas atratus*) powders. **Journal of Food Measurement and Characterization**, [s. l.], v. 16, n. 3, p. 2181–2190, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s11694-022-01324-2>. Acesso em: 4 dez. 2023.

STARČEVIĆ, Kristina *et al.* Influence of substitution of sunflower oil by different oils on the growth, survival rate and fatty acid composition of Jamaican field cricket (*Gryllus assimilis*). **Animal Feed Science and Technology**, [s. l.], v. 228, p. 66–71, 2017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377840117300810>. Acesso em: 29 nov. 2023.

ST-HILAIRE, Sophie *et al.* Fish Offal Recycling by the Black Soldier Fly Produces a Foodstuff High in Omega-3 Fatty Acids. **Journal of the World Aquaculture Society**, [s. l.], v. 38, n. 2, p. 309–313, 2007. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1749-7345.2007.00101.x>. Acesso em: 29 nov. 2023.

STORCH, Júlia. **Formiga no drinque: conheça restaurantes que usam insetos no cardápio**. [S. l.], 2023. Disponível em: Acesso em: 2 dez. 2023.

TAGUCHI, Viviane. **Insetos no cardápio**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://economia.uol.com.br/reportagens-especiais/agronegocio-criacao-de-insetos-alimentacao/#cover>. Acesso em: 4 dez. 2023.

TECHNICAL, Aacc. Guidelines for Measurement of Volume by Rapeseed Displacement. *In*: AACC INTERNATIONAL APPROVED METHODS. 11. ed. [S. l.]: AACC International, 2009. Disponível em: <http://methods.aaccnet.org/summaries/10-05-01.aspx>. Acesso em: 5 dez. 2023.

TZOMPA-SOSA, Daylan A. *et al.* Lipidome of cricket species used as food. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 349, p. 129077, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814621000790>. Acesso em: 29 nov. 2023.

UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS. POPULATION DIVISION. **World Population Prospects 2022: Summary of Results**. New York: UN DESA/POP/2022/TR/NO, 2022.

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE. **FoodData Central**. [S. l.], 2019. Disponível em: fdc.nal.usda.gov. Acesso em: 6 ago. 2023.

VAN HUIS, A. Did early humans consume insects?. **Journal of Insects as Food and Feed**, [s. l.], v. 3, n. 3, p. 161–163, 2017. Disponível em: https://brill.com/view/journals/jiff/3/3/article-p161_161.xml. Acesso em: 29 nov. 2023.

VAN HUIS, Arnold. **Edible insects: future prospects for food and feed security**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013. (FAO forestry paper, v. 171).

VAN HUIS, A. *et al.* How many people on our planet eat insects: 2 billion?. **Journal of Insects as Food and Feed**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 1–4, 2022. Disponível em: https://brill.com/view/journals/jiff/8/1/article-p1_1.xml. Acesso em: 1 dez. 2023.

WADE, MacKenzie; HOELLE, Jeffrey. A review of edible insect industrialization: scales of production and implications for sustainability. **Environmental Research Letters**, [s. l.], v. 15, n. 12, p. 123013, 2020. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aba1c1>. Acesso em: 1 dez. 2023.

WEISSMAN, David B.; GRAY, David A. Crickets of the genus *Gryllus* in the United States (Orthoptera: Gryllidae: Gryllinae). **Zootaxa**, [s. l.], v. 4705, n. 1, 2019. Disponível em: <https://www.mapress.com/zt/article/view/zootaxa.4705.1.1>. Acesso em: 29 nov. 2023.

WEISSMAN, David B; WALKER, Thomas J; GRAY, David A. The Field Cricket *Gryllus assimilis* and Two New Sister Species (Orthoptera: Gryllidae). **Annals of the Entomological Society of America**, [s. l.], v. 102, n. 3, p. 367–380, 2009. Disponível em: <https://academic.oup.com/aesa/article/102/3/367/8551>. Acesso em: 29 nov. 2023.

ZHOU, Weibiao; HUI, Y. H. (org.). **Bakery products science and technology**. Second edition. Chichester, West Sussex, UK: John Wiley & Sons Inc, 2014.

ZIELIŃSKA, Ewelina. Evaluating the Functional Characteristics of Certain Insect Flours (Non-Defatted/Defatted Flour) and Their Protein Preparations. **Molecules**, [s. l.], v. 27, n. 19, p. 6339, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/19/6339>. Acesso em: 29 nov. 2023.