



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ – UESC**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA**

**SÊMELE SILVA SANTOS**

**Produção e caracterização físico-química do óleo da larva da mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) alimentada com diferentes resíduos agroindustriais**

**Ilhéus**

**2018**

**SÊMELE SILVA SANTOS**

**Produção e caracterização físico-química do óleo da larva da  
mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) alimentada com  
diferentes resíduos agroindustriais**

Trabalho de dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Química.

Orientador: Dr. Ivon Pinheiro Lôbo

Co-orientador: Dr. Ailton Pinheiro Lôbo

**Ilhéus**

**2018**

S237

Santos, Sêmele Silva.

Produção e caracterização físico-química do óleo da larva da mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) alimentada com diferentes resíduos agroindustriais / Sêmele Silva Santos. – Ilhéus, BA: UESC, 2018. 63 f. : il. ; anexo.

Orientador: Ivon Pinheiro Lôbo.

Co-orientador: Ailton Pinheiro Lôbo.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Santa Cruz. Programa de Pós-Graduação em Química.

Referências: f. 55-62.

1. Moscas. 2. Moscas – Larva. 3. Biomassa. 4. Produção integrada. 5. Resíduos agroindustriais. I. Título.

CDD 595.77

SÊMELE SILVA SANTOS

PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO ÓLEO DA LARVA DA  
MOSCA SOLDADO NEGRO (*HERMETIA ILLUCENS*) ALIMENTADA COM  
DIFERENTES RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

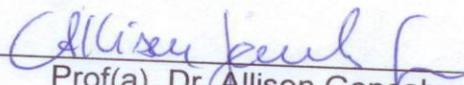
Ilhéus 25 de maio de 2018.

COMISSÃO EXAMINADORA:



---

Prof(a). Dr. Ivon Pinheiro Lôbo  
Doutor em Química (UFBA)  
Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC  
Orientador(a)



---

Prof(a). Dr. Allison Gonçalves Silva  
Doutor em Química (UFBA)  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA



---

Prof(a). Dr. Fábio Alan Carquija Amorim  
Doutor em Química - (UFBA)  
Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC

## **AGRADECIMENTO**

Aos meus pais, por serem alicerce e maiores incentivadores do meu crescimento pessoal e profissional desde sempre.

Ao professor doutor Ivon Pinheiro Lôbo pela orientação, apoio e por todo o incentivo educacional durante minha formação. Ao professor co-orientador Ailton Lôbo, pela disponibilidade e contribuição.

Aos colegas e amigos do BIOMA pelo companheirismo e leveza nas horas de almoço, em especial ao Alan Oliveira, por compartilhar as adversidades e vitórias, servindo de apoio nesses anos de formação, e pela troca de experiências.

Aos amigos de perto e de longe, por compreenderem minhas ausências e serem sempre presentes, tornando esses dias mais doces. Em especial a Bruna e Diego, pela lealdade, conversas e principalmente, pelo apoio incondicional.

A todos os colegas do PPGQuim por compartilhar os mesmos momentos sempre se apoiando e ajudando uns aos outros; aos professores pelo encaminhamento acadêmico.

À FAPESB pela concessão da bolsa, a UESC e ao BIOMA pela estrutura necessária para a realização desse trabalho.

## EPÍGRAFE

“O mundo não terá, para ti, outros sentidos diferentes daqueles que lhes atribuirás... como não saíras da ilusão que terás sobre o universo, escolhe a mais divina.”

(Villiers de L'Isle-Adam apud Jean Préposiet,  
em História do Anarquismo,)

## RESUMO

Cerca de 30% da produção mundial de alimentos é desperdiçada, tornando o gerenciamento e aproveitamento de resíduos agroindustriais uma questão urgente nas discussões atuais<sup>1</sup>. As larvas da mosca *Hermetia illucens* é uma alternativa promissora para o aproveitamento de biomassa residual, pois, ao consumirem resíduos orgânicos, acumulam óleo e proteína, cujas as aplicações são diversas. Neste trabalho, foi avaliada a influência de diferentes alimentações, a base de resíduos agroindustriais, na produção e características do óleo das larvas da *Hermetia illucens*. As dietas das larvas consistiram de uma mistura de 1 kg de casca de cacau, 150 g de semente de maracujá e 1,5 litros de soro de leite ou água, sendo ainda avaliadas quanto a pré-fermentação aeróbia ou anaeróbia. Os maiores valores de massa larval foram observados para alimentações com soro e fermentação anaeróbia (0,22 g por larva). O teor de proteína nas larvas variou de 35,13 a 46,39%, tendo os menores valores quando as larvas foram alimentadas com casca de cacau e água e, o maior, quando alimentadas com casca de cacau, água e semente de maracujá, fermentada aerobiamente. Quando a água foi substituída pelo soro, observou-se que o teor de proteína bruta nas larvas foram  $37,78 \pm 0,01$  e  $40,14 \pm 0,43$ , para a fermentação anaeróbia e aeróbia, respectivamente. O percentual de gordura nas larvas compreendeu os valores de 26,62 a 44,93%. O maior percentual de gordura se deu para a alimentação completa sem o soro, sugerindo que haja simbiose com microrganismos capazes de tornar disponível os carboidratos presentes nos demais componentes da alimentação<sup>2</sup>. Para as dietas com o soro de leite, com fermentação aeróbia e anaeróbia, os teores de gordura foi cerca de 33%. As gorduras obtidas das larvas apresentaram uma maior proporção em ácidos graxos saturados (65-73%). Os principais ácidos graxos determinados foram o ácido láurico - C12:0 (38,7 a 47,3%), mirístico - C14:0 (6,8 a 8,2%), palmítico - C16:0 (15,0 a 18,4%), palmitoléico - C16:1 (0,9 a 1,6%), esteárico - C18:0 (1,6 a 2,4%), oleico - C18:1 (7,7 a 12,5%) e linoleico - C18:2 (16,3 a 22,5%). A adição de soro às alimentações resultou nos maiores teores do ácido láurico, cujo valor máximo de 47,3% foi obtido para a alimentação completa e fermentação anaeróbia. Os óleos foram caracterizados ainda quanto ao Índice de acidez - mg NaOH g<sup>-1</sup> ( $0,23 \pm 0,05$  a  $3,38 \pm 0,12$ ), Índice de iodo - g I<sub>2</sub>100 g<sup>-1</sup> ( $36,33 \pm 0,05$  a  $11,26 \pm 0,09$ ) e Índice de saponificação - mg KOH g<sup>-1</sup> ( $112,39 \pm 0,24$  a  $195,63 \pm 0,13$ ). Em se tratando de um óleo láurico, o óleo das larvas tem larga aplicação na indústria oleoquímica. Além do elevado teor de proteínas, o percentual de ácidos láuricos contribui na nutrição animal, pois é facilmente absorvido pelo organismo, além de apresentar atividade bacteriana e fungicida. Diante do exposto, as larvas da mosca *Hermetia illucens* possui potencial para aplicação no aproveitamento de resíduos agroindustriais, gerando de produtos de valor agregado, condizente com os novos pensamentos de uma produção integrada e limpa.

**Palavras- chave:** Mosca soldado negro; aproveitamento biomassa; produção integrada; co-produto

**Abstract**

About 30% of the world's food production is wasted, making management and use of agro-industrial waste an urgent issue in the current discussions<sup>1</sup>. The larvae of the fly *Hermetia illucens* is a promising alternative for the use of residual biomass, because, when consuming organic residues, they accumulate oil and protein, whose applications are diverse. In this work, the influence of different diets, was evaluated, based on agroindustrial residues, on the production and oil characteristics of *Hermetia illucens* larvae. The diets of the larvae consisted of a mixture of 1 kg of cocoa shell, 150 g of passion fruit seed and 1.5 liters of whey or water, and were evaluated for aerobic or anaerobic pre-fermentation. The highest values of larval mass were observed for feeds with serum and anaerobic fermentation (0.22 g per larva). The protein content in the larvae varied from 35.13 to 46.39%, with the lowest values when the larvae were fed with cocoa shell and water, and the highest, when fed with cocoa shell, water and passion fruit seed, fermented aerobically. When the water was replaced by the serum, it was observed that the crude protein content in the larvae were  $37.78 \pm 0.01$  and  $40.14 \pm 0.43$ , for anaerobic and aerobic fermentation, respectively. The percentage of fat in the larvae comprised the values of 26.62 to 44.93%. The highest percentage of fat was given to complete food without the serum, suggesting that there is a symbiosis with microorganisms capable of making available the carbohydrates present in the other components of the diet<sup>2</sup>. For diets with whey, with aerobic and anaerobic fermentation, the fat contents were about 33%. The fats obtained from the larvae had a higher proportion of saturated fatty acids (65-73%). The major fatty acids determined were lauric acid - C12: 0 (38.7 to 47.3%), myristic - C14: 0 (6.8 to 8.2%), palmitic acid - 16: 0 (15.0 to 18.4%), C16: 1 (0.9 to 1.6%), C18: 0 (1.6 to 2.4%), C18: 1 oleic (7.7 to 12, 5%) and C18: 2 linoleic acid (16.3 to 22.5%). The addition of serum to the feeds resulted in higher levels of lauric acid, whose maximum value of 47.3% was obtained for complete feed and anaerobic fermentation. The oils were further characterized for acidity index - mg NaOH g<sup>-1</sup> ( $0.23 \pm 0.05$  to  $3.38 \pm 0.12$ ), iodine g -2121 g<sup>-1</sup> ( $36.33 \pm 0.1$ , 05 to  $11.26 \pm 0.09$ ) and saponification index - mg KOH g<sup>-1</sup> ( $112.39 \pm 0.24$  to  $195.63 \pm 0.13$ ). In the case of a lauric oil, larval oil has a wide application in the oleochemical industry. Besides the high protein content, the percentage of lauric acids contributes to animal nutrition, since it is easily absorbed by the organism, besides showing bacterial and fungicidal activity. In view of the above, the larvae of the fly *Hermetia illucens* has potential for application in the use of agroindustrial waste, generating value-added products, which is consistent with the new thoughts of an integrated and clean production.

**Keywords:** Black soldier fly; biomass utilization; integrated production; co-product

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ilustração tipo desenho linear da (A) mosca Soldado Negra na fase adulta, (B) larva e (C) pupa.....	21
Figura 2 - Estrutura do ácido láurico (A), ácido palmítico (B), ácido oleico (C), ácido linoleico (E). .....	24
Figura 3 - Fluxograma do preparo da alimentação .....	27
Figura 4 - Processo de digestão, destilação com formação de borato de amônio e titulação, com formação de cloreto de amônio. ....	29
Figura 5 - Gráfico de representação da massa média das larvas oriundas das diferentes alimentações empregadas neste estudo.....	36
Figura 6 - Representação gráfica do teor de gordura e proteína.....	42
Figura 7 - Gráfico de representação da massa média das larvas oriundas das diferentes alimentações empregadas neste estudo.....	47

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Listagem de principais reagentes utilizados nas análises.....	26
--	----

## LISTA DE TABELA

Tabela 1- Oferta mássica de biomassa por resíduo agrícola e agroindustriais no Brasil (10 <sup>6</sup> t/ano).....	16
Tabela 2 - Composição dos tratamentos oferecidos às larvas MSN. ....	26
Tabela 3 - Composição dos tratamentos oferecidos às larvas MSN.....	32
Tabela 4 - Teor de proteína bruta (FN 6,25) e gordura extraídos das LMSN de acordo com cada tratamento proposto. ....	37
Tabela 5 - Teor de proteína bruta presente em cada alimentação fornecida as LMSN. ....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Tabela 6 - Teor de proteína bruta utilizando 4,76 no fator de conversão N-proteína. ....	41
Tabela 7 - Percentual de ácidos graxos presente na composição lipídica das LMSN oriundas de oito diferentes tratamentos. ....	45
Tabela 8 - Teor de proteína bruta e açúcar na alimentação fornecida as larvas, e proteína bruta, gordura e umidade das LMSN. ....	49
Tabela 9 - Percentual de ácidos graxos presente na composição lipídica das LMSN oriundas de 3 diferentes tratamentos. ....	51

Tabela 10 - Características físico-químicas do óleo da LMSN.....	52
--	----

## SUMÁRIO

<b>1. APRESENTAÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>1.1 Introdução</b> .....	<b>11</b>
<b>1.2 Revisão da literatura</b> .....	<b>14</b>
1.2.1 Geração e aproveitamento de resíduos .....	14
1.2.2 A mosca soldado negro (MSN) .....	20
1.2.3 A larva da mosca soldado negro (LMSN).....	22
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>25</b>
<b>2.1. Objetivo geral</b> .....	<b>25</b>
<b>2.2. Objetivos específicos</b> .....	<b>25</b>
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>26</b>
<b>3.1. Obtenção e caracterização da larva da mosca <i>Hermetia illucens</i> em oito tratamentos</b> .....	<b>26</b>
3.3.1Preparo da alimentação oferecida às larvas de MSN .....	26
3.3.2 Produção das larvas da <i>H.illucens</i> .....	28
3.3.3 Acúmulo de biomassa larval .....	29
3.3.4 Determinação de proteína bruta por Kjeldahl .....	29
3.3.5 Extração do óleo da larva <i>H. illucens</i> .....	31
3.3.6 Caracterização do perfil de ácidos graxos do conteúdo lipídico da <i>H. illucens</i>	32
<b>3.4. Otimização da obtenção, e caracterização da larva da mosca <i>H. illucens</i>..</b>	<b>32</b>
3.4.1 Preparo de alimentação e criação das LMSN .....	32
3.4.2 Extração do óleo, determinação de proteína bruta e açúcar .....	33
3.4.3 Caracterização do perfil de ácidos graxos nas larvas da <i>H. illucens</i> .....	33
3.4.4 Análises físico-química do óleo .....	34
3.4.4.1 Índice de acidez .....	34

3.4.4.2 Índice de iodo .....	34
3.4.4.3 Índice de saponificação .....	35
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>37</b>
<b>4.1. Obtenção e caracterização da larva da mosca <i>Hermetia illucens</i> em oito tratamentos.....</b>	<b>37</b>
4.1.1 Acumulo de biomassa larval.....	37
4.1.2 Teor de proteína nas larvas da mosca <i>H. illucens</i> .....	38
4.1.3 Teor lipídico e perfil de ácidos graxos da <i>H. illucens</i> .....	43
<b>4.2. Ampliação da escala de produção das LMSN e característica físico-químicas de seus óleos .....</b>	<b>48</b>
4.2.1 Acumulo de biomassa larval.....	48
4.2.2 Teor lipídico, determinação de proteína e açúcar total.....	49
4.2.3 Caracterização do perfil de ácidos graxos do conteúdo lipídico das larvas <i>H. illucens</i> .....	51
4.2.4 Análise físico-química do óleo .....	52
4.2.4.1 Índice de acidez, iodo e saponificação .....	52
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>55</b>
<b>6. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>64</b>

## 1. APRESENTAÇÃO

### 1.1. Introdução

A taxa de crescimento populacional mundial encontra-se com um acréscimo de 2,4 bilhões de pessoas previsto para até 2040 (ONU, 2014), necessitando de ajuste na produção alimentícia e energética, para suprir a demanda.". Na busca para assegurar a qualidade de vida, alimentos e energia por meio do consumo dos recursos naturais, são gerados impactos ambientais como desmatamentos, poluição da atmosfera e em corpos d'água, entre outros que comprometem o uso desses recursos essenciais para a manutenção da vida.

Os setores de produção alimentícia, um dos pilares econômicos de diversos países, como o Brasil, são também um dos maiores geradores de resíduos. Juntamente com o consumo de alimentos, as perdas e desperdícios no setor agroindustrial crescem. Além dos problemas ambientais, o mal aproveitamento da produção alimentar representa outro grande problema; pois uma de cada nove pessoas das 7,3 bilhões mundiais ainda viverem a realidade da fome (FAO, 2016). Dentro desse contexto, o Brasil, com sua economia fortemente baseada no agronegócio, contribui para a geração de grande quantidade de resíduos agroindustriais resultantes das atividades de processamento.

Esses resíduos, em muitas situações, representam um grave problema, pois aparentemente sem aplicação viável, são descartados diretamente no meio ambiente. Segundo a EMBRAPA (2007), em países em desenvolvimento, mais de 40% das perdas de alimentos ocorrem nas etapas de pós-colheita e processamento. Já em países industrializados, mais de 40% das perdas ocorrem nas etapas do varejo e consumo e as soluções direcionadas ao produtor passam a ter importância apenas marginal, uma vez que os consumidores perdem grandes quantidades de alimentos. Na região sul da Bahia, umas das principais geradoras de resíduos é a cultura cacaueteira; cerca de 6 t de cascas frescas são produzidas anualmente por hectare, e essas cascas normalmente permanecem no campo, tornando-se fonte de pragas como a podridão parda e a vassoura de bruxa (FERREIRA, et al., 2013, PINHEIRO & SILVA, 2017).

A adoção de soluções eficientes ao longo da cadeia produtiva vem sendo tomadas a fim de reduzir as perdas no setor agroindustrial. O planejamento e alguns

cuidados essenciais na produção agrícola podem reduzir drasticamente as perdas. Várias medidas vêm sendo desenvolvidas com o objetivo de aproveitamento da biomassa residual de sistemas agroindustriais, no entanto, nem sempre são adequadas para implantação em empreendimentos de pequeno e médio porte devido aos elevados custos operacionais e de investimentos.

Na busca por métodos de aproveitamento desses resíduos agroindustriais, alternativas como a utilização de insetos como detritívoros vem ganhando notoriedade por ser uma alternativa viável e de baixo custo. A capacidade de transformação de resíduos orgânicos pelos insetos é conhecida desde muito tempo sem que fosse dada a devida atenção. O já fundamentado conhecimento da capacidade biotransformadora dos insetos amplia esse debate, apresentando uma série de vantagens no uso, pois, além de conseguir transformar tais resíduos, a cultura de insetos não compete com recursos alimentares ou utilização do solo e ainda maximiza os benefícios da gestão dos resíduos usando os nutrientes de resíduos para o crescimento do inseto, o que contribui para a reciclagem natural dos nutrientes.

Várias espécies de insetos têm sido estudadas para esse fim e uma variedade de fatores, bióticos e abióticos podem influenciar os processos de digestão de muitos insetos na natureza e conhecer esses fatores é de grande importância, principalmente para espécies com valor ambiental e econômico. As larvas da mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) destacam-se para esse fim, pois possuem capacidade de degradar resíduos sólidos, reduzindo o volume e gerando um aproveitamento da biomassa residual. Provocam ainda a redução do potencial de contaminação em 50-60%, com uma redução de nitrogênio e outros minerais de concentração no intervalo de 40-62% (LEONG et al., 2015).

A *Hermetia illucens*, também chamado de mosca soldado negro despertou o interesse científico para a decomposição eficiente de dejetos de aves e de suínos (NEWTON et al., 2005; SHEPPARD et al., 1994). Mais recentemente, a mosca também surgiu como uma alternativa para o tratamento da fração orgânica dos resíduos orgânicos urbanos (DIENER et al., 2011a; DIENER et al., 2011b; KALOVA; BORKOVCOVA, 2013; NEWTON et al., 2005b;). Além de decompor tais resíduos, as larvas da mosca ainda podem ter diversas aplicações tecnológicas devido ao seu alto teor de proteína (40%) que a torna útil para o desenvolvimento de ração animal,

por exemplo; e mais especialmente pelo teor de gordura (30%) que se destaca pela alta concentração dos chamados óleos láuricos.

Essa nova destinação de resíduos considerados problemas apresenta-se como uma solução ambientalmente eficiente, além de gerar um produto com valor agregado que pode representar para o produtor, um aumento da receita. Essa visão de um processo produtivo integrado onde os resíduos, considerados agora co-produtos, ao receberem um tratamento adequado retornam a cadeia produtiva, contribuindo para o desenvolvimento de processos mais limpos e ambientalmente responsáveis.

## 1.2. Revisão da Literatura

### 1.2.1. Geração e aproveitamento de resíduos

O expressivo crescimento do setor agroindustrial nacional o situa como um dos pilares no processo de desenvolvimento do país. Os incentivos ocorridos no setor a partir de 1980, que abrangem, desde a geração e adaptação de diferentes culturas, até a adoção de inovações tecnológicas, proporcionaram ganhos de produtividades significativos (ROSA, et al., 2011). Esses avanços notáveis no agronegócio brasileiro decorrente também do aumento nos últimos anos das taxas de crescimento da economia nacional, contribuíram para um aumento de consumo; sendo o aumento de consumo acompanhado por uma maior demanda em todos os processos produtivos até o produto final e geração de resíduos.

Paralelo a esse crescimento agroindustrial e o incentivo ao consumo, houve uma crescente preocupação global com o agravamento dos impactos ambientais, como o efeito estufa, destruição da camada de ozônio e a ameaça a manutenção dos recursos naturais, além dos impactos locais oriundos da geração de resíduos (GODECKE, et al., 2012, FAO, 2013b). Diante desse perfil, a geração e destinação dos resíduos sólidos transformaram-se em um dos maiores desafios da gestão pública no país, tendo em vista os graves impactos ambientais e sociais causados pela sua gestão inadequada (GARCIA, et al., 2016).

Historicamente, os resíduos industriais no Brasil vêm sendo depositados de maneira inadequada, acarretando em problemas ambientais e sanitários (IPEA, 2012a). No entanto, esses problemas oriundos da produção de resíduos contribuíram para uma maior preocupação em desenvolver e implantar modelos mais eficazes de gerenciamento de resíduos sólidos, que contribuíssem de forma efetiva com a visão de sustentabilidade mundial. Em 2010, o Brasil aprovou depois de 20 anos de tramitação legislativa, a lei 12.305/2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Esta lei que visa orientar as ações estratégicas na área ambiental para obter resultados significativos no desenvolvimento ambientalmente sustentável (IPEA, 2012b).

Referindo-se ao setor agroindustrial, a geração de resíduos está relacionada ao desperdício na utilização de insumos, às perdas entre produção e consumo e, também, aos materiais gerados nos processos produtivos que não apresentam valor

econômico palpável. Segundo dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO, 2013a), no Brasil as perdas representam cerca de 10% ainda na colheita. O maior percentual de perda, cerca de 50%, se dá nas etapas de manuseio, transporte e armazenamento; aproximadamente 30% é perdido na comercialização e abastecimento desses alimentos e o consumidor final é responsável por 10% das perdas. Esses dados sobre resíduos referem-se apenas a produção alimentícia destinada para o consumo, sem levar em consideração aqueles sem valor agregado.

Na tabela 1 é possível acompanhar a partir de 2005, além de projeções para os anos de 2020 e 2030, a produção e oferta de resíduos agroindustriais em quantidade física com potencial uso como fonte de energia. É aguardado um crescimento substancial nos anos que virão, sendo assim, espera-se que na década entre 2020 e 2030 essa quantidade chegue a triplicar. Dentre os diferentes resíduos apresentados, os lignocelulósicos gerados no início dos processos produtivos dos diferentes cultivares apresentados na tabela, possuem alta significância pela junção do grande volume gerado com o passar dos anos e o baixo aproveitamento desses resíduos. Segundo o Plano Nacional de Energia publicada em 2007, com previsões para até 2030, o Brasil produzirá cerca de 1200 t de resíduos por ano que podem ser utilizados na geração de energia (MME, 2007). Existem ainda diversas culturas, que fazem parte do setor agroindustrial brasileiro e de pequenos produtores, que oferecem exemplos de grandes volumes de produção de resíduos. No cultivo de caju para a produção de castanha, onde 90% do peso é constituído pelo pedúnculo, aproveita-se apenas 10 a 20%, sendo a maior parte desperdiçada (SILVA NETO, 2000). Na região sul da Bahia, marcada pela cacauicultura, a casca do fruto representa cerca de 80% da massa total, o que representa aproximadamente 6 toneladas de cascas frescas produzidas anualmente por hectare (CHEPOTE, 2003; MORORÓ, 2012). Um outro exemplo de grandes volumes de resíduos gerados é a produção de palmito, onde 70% em material residual são formados por haste beneficiada, gerando até 130 toneladas de resíduos por mês (FARINA et al., 2012).

Tabela 1- Oferta mássica de biomassa por resíduo agrícola e agroindustriais no Brasil (10<sup>6</sup> t/ano).

Biomassa	2005	2010	2015	2020	2030
Resíduos agrícolas	478	633	768	904	1196
Soja	185	251	302	359	482
Milho	176	251	304	361	483
Arroz (palha)	57	59	62	66	69
Cana-de-açúcar	60	73	100	119	160
Resíduos agroindustriais	60	72	100	118	157
Cana-de-açúcar (bagaço)	58	70	97	115	154
Arroz (casca)	2	2	3	3	3

Fonte: Ministério de Minas e Energia, 2007 (modificado)

Na pecuária, grandes quantidades de resíduos sólidos são gerados. Segundo dados do último Plano Nacional de Resíduos Sólidos do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), publicado em 2012, a pecuária de gado bovino gerou em torno 1,6 bilhões de toneladas de resíduos sólidos por ano, a cultura de aves 28 milhões e a de suínos, 20 milhões de toneladas por ano (IPEA, 2012b). A criação de bovinos de corte em confinamento, maior gerador de resíduos, tem despertado interesse de pesquisas devido à alta concentração de nutrientes nos efluentes e resíduos sólidos. Estes poderiam ser reaproveitados para gerar novos produtos, capazes de contribuir para minimizar o esgotamento de resíduos naturais e a degradação do meio ambiente. A transformação biológica desses resíduos pode fazer parte da reciclagem natural, juntamente com a geração de energia, que possibilitam o uso do produto final como biofertilizante (MARTINS et al., 2015).

Sendo a Bahia a segunda maior produtora de frutas do país, destaca-se como maior produtor nacional de maracujá (EMBRAPA, 2017). Os resíduos gerados na produção de maracujá podem chegar a 70%. A semente da fruta se apresenta como uma fonte de gordura de excelente composição de ácidos graxos essenciais, como ácido oléico e ácido palmítico, com concentração de 20 e 14%

respectivamente (FERRARE, COLUSSI, & AYUB, 2004; PEREIRA, 2017). Apesar do grande potencial os resíduos de sua produção, como as sementes, são pouco utilizados pelas indústrias em geral. Destaca-se ainda a produção de abacaxi; a Bahia ocupa a quarta posição na produção nacional da fruta, com produtividade entre 25.000 a 26.000 kg/ha na safra 2016-2017. Dessa quantidade, cerca de 40% resultará em resíduos (FERREIRA et al., 2009).

A casca de cacau é o resíduo mais abundante na região sul da Bahia. O valor nutritivo da casca do cacau sofre uma variação de acordo com a procedência do fruto, estágio de maturação e até a forma de conservação das cascas. No entanto, de formas gerais, as cascas do cacau apresentam uma potencial fonte energética com 1538 kcal/kg de energia digestível; 35,5% de nutrientes digestíveis totais; 16,0% de proteína bruta; 4,9% de gorduras; 14,89% de fibra bruta e 7,2% de resíduos minerais. A mesma ainda contém um alto teor de vitamina D2 (29.000 U.I./kg), o qual é superior ao de qualquer outro alimento de origem vegetal (BLAKEMORE, 1966). Sua composição principal baseia-se em fibras insolúveis, lignina, polissacarídeos não amiláceos como hemicelulose, celulose, goma, pectina (fibra solúvel) além de gordura (LECUMBERRI, 2007; HAMZAT & ADEOLA, 2011). O percentual de proteína bruta varia em torno de 6,2-17,6 e açúcares totais entre 1,33-3,0 (AREGHEORE, 2002; BONVEHÍ & BENERÍA, 1998; PINHEIRO & SILVA, 2017; RAKHMANI & PURWADARIA, 2018), apresentando uma composição mineral rica em uma grande quantidade de potássio, seguido de cálcio, magnésio, ferro e manganês, entre outros elementos em menor quantidade (DONKOH, 1991, DE SOUZA, et al., 2018).

Os sistemas de produção de leite, importante setor econômico do país, contribuem para a geração de resíduos quando ocorre o descarte incorreto no solo e corpos hídricos. Grande parte da indústria do leite lança efluentes líquidos sem qualquer tratamento nos cursos d'água. O soro de leite apresenta-se como um sério problema ambiental devido a seu alto potencial poluidor, pois, na maioria das vezes, recebe a mesma destinação dos demais efluentes líquidos. Por possuir um alto teor nutritivo, aproximadamente 20% das proteínas solúveis do leite, lactose e uma parte significativa de nutrientes do próprio leite (VANDUGA, et al., 2006; SANTOS et al., 2008) e elevada carga orgânica, deve receber destinação diferente e até gerar novos produtos (FEAM, FIEMG, 2015).

Tanto na agricultura como na pecuária, a ineficiência dos processos produtivos nas indústrias está relacionada com a preocupação exclusiva no produto final, desconsiderando os rejeitos gerados nesse processo (AIRES et al., 2013). Os riscos ambientais gerados pela disposição inadequada dos resíduos conflitam com uma visão moderna de um processo produtivo integrado, onde os resíduos gerados são considerados co-produtos; o aproveitamento desses co-produtos contribui para o desenvolvimento sustentável da agricultura, além de representar uma oportunidade de fonte de renda para o produtor.

Métodos biológicos de digestão podem ser usados para beneficiar esses resíduos transformando-os em co-produto. Dentre eles, a compostagem surge como uma alternativa interessante por produzir emissões de gases reduzidas, e hoje é difundida no mundo inteiro como uma opção na redução de resíduos sólidos tanto urbanos quanto agroindustriais. Entende-se como compostagem o processo biológico e aeróbio, onde a biomassa complexa é degradada biologicamente por microrganismos e transformada em substâncias húmicas, biologicamente estáveis, acompanhado pela redução mássica e mineralização de nutrientes (ZUCCONI & BERTOLDI, 1987). Ao final do processo obtêm-se um adubo orgânico de caráter homogêneo, inodoro, de aparência escura que pode ser utilizado em qualquer cultura sem acarretar danos. O composto orgânico assim produzido hoje é vendido e amplamente aceito e procurado pelos agricultores, como adubo orgânico e para o melhoramento dos solos, devolvendo parte dos minerais retirados com as colheitas ao ciclo de nutrientes do ecossistema local.

A compostagem é um processo que ocorre naturalmente na decomposição dos resíduos orgânicos no ambiente, porém, o termo compostagem se refere a esse processo por meio de interferências humanas. Apesar da compostagem ser um processo viável de tratamento de resíduos, quando ocorre naturalmente, processa-se de forma lenta pela ação de bactérias. Uma forma de aumentar a rapidez desse processo é a utilização de agentes detritívoros como minhocas, chamado de vermicompostagem, que promove um aceleração no processo de estabilização dos resíduos decompostos além de melhorar a aparência do adubo (AQUINO et al., 2005)

A larva da mosca soldado negra (*Hermetia illucens* L.) ganhou interesse científico para a decomposição eficiente de dejetos de aves e de suínos (SHEPPARD et al., 1994; NEWTON et al., 2005a). Mais recentemente, a mosca

também surgiu como uma alternativa para o tratamento da fração orgânica dos resíduos orgânicos urbanos (NEWTON et al., 2005b; DIENER et al., 2011a; DIENER et al., 2011b; KALOVA; BORKOVCOVA, 2013).

A participação de insetos na degradação de resíduos orgânicos faz parte de um processo de reciclagem natural pois, esses insetos que consomem a matéria orgânica servem de alimento para outros animais como, pássaros, aves, répteis, peixes, entre outros. As larvas da mosca soldado negro, *Hermetia illucens*, possuem a capacidade de degradar resíduos sólidos, reduzindo o volume e gerando um aproveitamento da biomassa residual (PAZ et al., 2015). Essa espécie é capaz de converter os componentes de resíduos orgânicos como proteínas e açúcares, gerando diversos produtos com valor agregado, por exemplo, alimentação animal (ARANGO; VERGARA, 2004), condicionador do solo (CHOI et al., 2009) e biocombustíveis (LI et al., 2011).

A eficiência da conversão de material orgânico foi estudada por Diener e colaboradores (2009), indicando em média, 29,6% do substrato experimental (matéria seca) em biomassa larval. As larvas que receberam a maior quantidade de substrato obtiveram o maior peso em menor tempo, porém, em detrimento da eficiência de conversão. As larvas que receberam a menor quantidade de substrato necessitaram do maior tempo de desenvolvimento.

Em estudo sobre sistemas avançados de produção direcionada de larvas de *Hermetia illucens* em granjas de galinhas de postura e de suínos, foi possível concluir que a larva da mosca em questão apresenta-se como uma solução promissora para a conversão de dejetos e resíduos orgânicos de baixo valor em matérias-primas com alto valor agregado (NEWTON et al., 2005). A aplicação das larvas em dejetos de vacas de leite foi estudada por Myers e colaboradores (2008). O uso da larva proporcionou uma redução de matéria seca de 33 a 58% (conversão), com redução de P e N, indicando sua eficiência para a redução de resíduos.

De acordo com uma avaliação preliminar da viabilidade tecnológica e econômica da implantação de uma usina de tratamento de resíduos sólidos através da larva da mosca soldado negro na Costa Rica, uma área de aproximadamente 100 m<sup>2</sup> é necessária para o tratamento de 3 t/dia de resíduos orgânicos urbanos. Além da redução da quantidade em até 40% da matéria seca e transformação em composto orgânico, podem ser coletadas até 150 kg/dia (matéria seca) de larvas em

fase pré-pupa, com potencial para alimentação de peixes e frango (DIENER et al., 2009; STAMER et al., 2014; RENNA et al., 2017, SCHIAVONE, et al., 2017).

Além de resíduos orgânicos, chorume ou esgotos podem ser degradados pelo uso da mosca soldado negro. O uso das larvas no tratamento de chorumes encontrados em usinas de compostagem de resíduos orgânicos urbanos, pode reduzir a demanda química de oxigênio (DQO), neutralizar a acidez, e reciclar do chorume os ácidos graxos voláteis, aminas e álcoois. Portanto, o emprego das larvas da *Hermetia illucens* ajuda na redução dos custos associados ao tratamento de efluentes, enquanto reaproveita os nutrientes em matéria-prima rica em proteína e gordura, com valor comercial agregado (POPA et al., 2012). O tratamento de lodos compostos por fezes humanas através de larvas da mosca soldado negro foi avaliado, com resultados que indicam a redução acelerada de *Salmonella spp.*, reduzindo assim o risco de desenvolvimento de doenças para animais e humanos, pela transmissão de enterobactérias quando os resíduos são utilizados como fertilizantes em cultivos agrícolas e hortícolas (LALANDER et al., 2013).

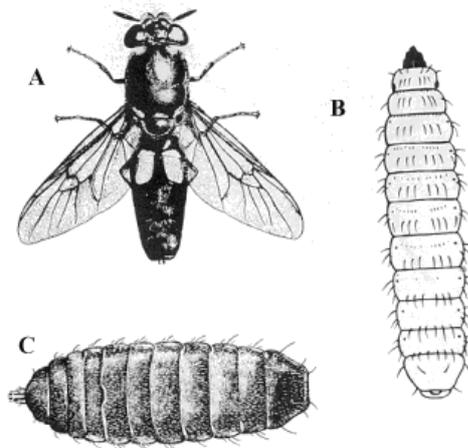
#### 1.2.2. A mosca soldado negro (MSN)

Pertencente à família das *Stratiomyidae*, a mosca *Hermetia illucens* L. popularmente chamada de mosca soldado negro (MSN) é nativa das zonas tropicais e sub-tropicais das Américas, mas se distribuiu pelo mundo através do comércio e transporte internacional, especialmente durante a segunda guerra mundial (LECLERQ, 1969). Nas localidades de clima tropical e temperado, é encontrada principalmente em ambientes que contenham materiais em decomposição (ZHANG et al., 2010; KIM et al., 2011) que podem ser desde resíduos orgânicos, dejetos suínos, esterco, resíduos agrícolas como torta de oleaginosa, lodo de esgoto, resíduos de origem animal, entre outros (AXTELL & EDWARDS, 1970; DIENER et al., 2009; TOMBERLIN, 2001; ZHANG et al., 2010).

As moscas adultas têm duas asas e são de aparência parecida com as vespas, de cor preta ou azul escura, mas sem apresentar ferrão, Figura 1A (DICLARO & KAUFMAN, 2009). Possuem uma parte "transparente" no primeiro segmento abdominal (Anexo 1). As antenas são prolongadas com três segmentos, e as pernas têm marcas brancas perto do fim de cada perna. O tamanho das moscas varia entre 15 a 20 mm, os machos sendo menores. As moscas adultas que não

possuem mandíbulas e, portanto, não ingerem comida, vivem entre 4 a 10 dias, sobrevivendo de depósitos de gordura adquiridos na fase larval. Ainda assim, necessitam de água para procriar (TOMBERLIN; SHEPPARD; JOYCE, 2002). Apesar de não se alimentarem, os insetos adultos são atraídos pelos odores que representam uma fonte nutritiva essencial para os ovos depositados (DICLARO & KAUFMAN, 2009). Seu ciclo de vida possui cinco fases, sendo eles, ovo, larva, pré-pupa, pupa e adulto (Anexo 2). As larvas dessa espécie possuem seis fases de desenvolvimento e nesse período se alimentam de maneira contínua; apresentam aparência achatada, com cabeça em forma de triângulo, Figura 1B. A cutícula contém cristais de carbonato de cálcio hexagonal, o que confere uma proteção maior e uma textura diferente de larvas de outros insetos (NEWTON et al., 1977; HALL & GERHARDT, 2002).

Figura 1 - Ilustração tipo desenho linear da (A) mosca Soldado Negra na fase adulta, (B) larva e (C) pupa.



Fonte: [http://ipm.ncsu.edu/AG369/notes/black\\_soldier\\_fly.html](http://ipm.ncsu.edu/AG369/notes/black_soldier_fly.html)

A fêmea, após acasalamento, pode chegar a depositar até 1200 ovos nas proximidades de materiais orgânicos em decomposição, como, por exemplo, frutas, animais mortos e dejetos de animais. Os ovos têm cor de creme de leite amarelado e medem 1 mm e eclodem depois de aproximadamente 4 dias. Durante aproximadamente 14 dias, elas passam por seis fases ou instars. As larvas do primeiro ao quinto instar têm aparência branca amarelada e se destacam por

comerem sem interrupção. Possuem eficientes enzimas digestivas e peças bucais bastante ativas, podendo ser chamadas de larvas comedoras (TOMBERLIN; SHEPPARD; JOYCE, 2002; KIM et al., 2011).

Ao chegarem ao sexto instar, as larvas atingem a maturidade com peças bucais imóveis e não ingerem mais comida. Nessa fase, as larvas se destacam pela forte tendência para migração, na tentativa de sair do local úmido onde comiam, para um lugar protegido, escuro e seco, sendo denominadas de larvas migratórias (SCHREMMER, 1986). As larvas nessa fase, têm habilidade de subirem paredes íngremes e superam até inclinações negativas. Também mudam de cor para um cinza-escuro. No quinto e sexto instar, as larvas chegam a ter 27 mm de comprimento e uma largura de 6 mm. No fim da peregrinação, que pode ser até de 10 cm e mais, as larvas ficam imobilizadas, enquanto o esqueleto externo calcificado se transforma em uma pupa rígida, Figura 1C, dentro dela a mosca se desenvolve (HALL & GERHARDT, 2002; DIENER et al., 2011).

### 1.2.3. A larva da mosca soldado negro (LMSN)

A composição bromatológica das larvas no último instar da mosca *Hermetia illucens* foi estudada por Finke (2012) e comparada com outras três espécies de insetos utilizados como alimento de animais. As análises compreenderam a determinação do peso médio dos indivíduos e a determinação dos parâmetros de umidade, proteína, gordura, cinzas, extrato livre de nitrogênio, energia metabolizável, fibras detergentes ácida, fibras detergentes neutra, sais minerais, aminoácidos, ácidos graxos, vitaminas e carotenóides selecionados e os valores comparados com as necessidades nutricionais de ratos de laboratório. Os resultados indicaram um alto teor de matéria orgânica (relativo à matéria seca), e teores de 49,6% e 39,7% de proteína bruta e de gordura bruta, respectivamente. O teor de carboidratos é pequeno, com 2,3%. O teor de ácido láurico nas larvas da *Hermetia illucens* foi determinada em 45% dos ácidos graxos totais, enquanto os resultados para as outras espécies foi entre 0,2 e 0,01. A recuperação da gordura foi a maior de todas as espécies estudadas, com 96,1%. Cabe ressaltar que os perfis de ácidos graxos dependem amplamente da composição de ácidos graxos no alimento dos insetos.

O óleo da larva da *Hermetia illucens* apresenta caráter predominantemente insaturado e abundância de ácidos graxos de cadeia carbônica média a curta. Esse tipo de óleo possui quantidades significativas de ácidos graxos saturados, sendo os ácidos caprílico, cáprico, láurico e mirístico. Dentre esses, o ácido láurico é predominante, o que atribui a esses óleos a classificação de óleos láuricos (GUSTONE, 2013).

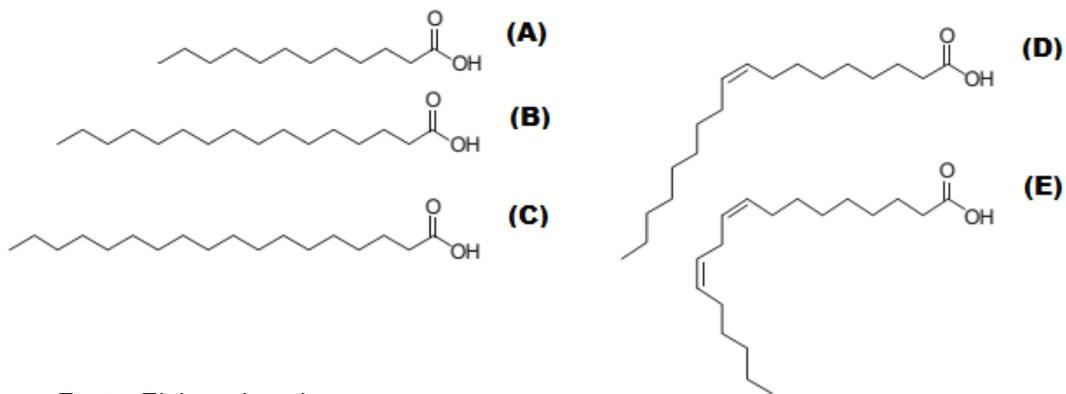
Kroeckel e colaboradores (2012) estudaram a utilização de uma farinha obtida das larvas da mosca *Hermetia illucens*, rica em proteína, em substituição à proteína da farinha de peixe para a alimentação da espécie de peixe *Psetta máxima*, avaliando o desempenho de crescimento. Verificou-se que o desempenho de crescimento dos peixes foi alto, no entanto, altos percentuais de inclusão da *Hermetia illucens* diminuíram a aceitação por parte dos peixes devido à baixa palatabilidade. Em geral, o estudo mostra que a incorporação de proteína *Hermetia illucens* em dietas de peixe é possível e pode ser uma fonte de proteína alternativa viável para a substituição parcial da farinha de peixe.

Hem e colaboradores (2008), estudaram a utilização de uma ração combinada para a produção de Tilápia. Inicialmente, usou-se para a alimentação dos peixes uma mistura dos componentes disponíveis na região, de farelo de arroz (70%) e de larvas de MSN (30%), em termos de matéria seca, o que promoveu um crescimento 3,5 vezes mais rápido comparado à dieta constituída apenas de farelo de arroz. O autor concluiu que mais estudos são necessários, principalmente para a produção de larvas da *Hermetia illucens* em larga escala e baixo custo, com nível de tecnologia adequada às condições rurais tropicais, para a substituição de farinha de peixe na piscicultura em áreas rurais tropicais.

Além das aplicações relatadas acima, o óleo da mosca pode ser bem empregado na indústria devido a sua composição rica em ácidos láuricos. Os óleos láuricos podem ter diferentes aplicações conforme sua fração utilizada. Frações com cadeias carbônicas de C6 a C10 podem ser destinadas a fabricação de álcool plastificante e ésteres de poliálcool. Estes últimos são usados em óleo de alto desempenho para motores a jato e para a nova geração de lubrificantes. Triglicéridos de cadeia média são obtidos pela esterificação dos ácidos graxos C8 a C10 com glicerol e são produtos de fácil digestão geralmente empregados na indústria alimentícia. As frações com C12 a C18 (Figura 2) são matéria-prima para a

produção de álcoois graxos de grau detergente, e ainda podem ser empregados como solventes para tintas e vernizes (PANTZARIS & BASIRON, 2005).

Figura 2 - Estrutura do ácido láurico (A), ácido palmítico (B), ácido oleico (C), ácido linoleico (E).



Fonte: Elaborado pelo autor

Uma aplicação mais recente para o óleo da mosca *Hermetia illucens* é a fabricação de biodiesel. Li e colaboradores (2011) estudaram o efeito da alimentação as larvas sobre o rendimento e caracterização do biodiesel. Foram acompanhados três grupos, contendo 1000 unidades de larvas cada. A alimentação provisionada aos grupos foi diferenciada, sendo esterco de boi, de porco e de galinha. Os autores relataram que o grupo alimentado com esterco de galinha apresentou maior rendimento em biodiesel (91,4 g). Zeng et al., (2011) avaliaram a produção de biodiesel a partir do óleo das larvas de *Hermetia illucens*, alimentadas com resíduos de restaurantes. Foi relatado que 23,6 g de biodiesel foi produzido a partir de aproximadamente 1000 larvas cultivadas em 1 kg de resíduo.

Leong e colaboradores (2016) estudaram o potencial de produção de biodiesel usando óleo das larvas de *Hermetia illucens*. Três tipos de resíduos orgânicos (lodo de esgoto, resíduos de frutas e borra do óleo de palma) foram selecionados com base na abundância e preocupação com a gestão dos mesmos na área de estudo. As larvas alimentadas com lodo de esgoto geraram pupas menores em comparação para aqueles alimentados com resíduos de frutas e borra de palma. Ácidos graxos C12 é o mais abundante dentre os demais ácidos graxos

encontrada nas larvas alimentadas com os três tipos de resíduos. Maior quantidade de C12 (76,13%) foi alcançada com as larvas alimentadas com resíduos de frutas, mostrando que o tipo de resíduo e a quantidade tem influência na composição do crescimento das larvas e ácidos graxos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Produzir e caracterizar físico-quimicamente óleo das larvas da mosca *Hermetia illucens*, alimentadas com biomassas residuais oriundas de atividades agroindustriais da região sul do estado da Bahia.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Estudar o efeito da dieta alimentar das larvas sobre o ganho de massa e produção de óleo.
- Caracterizar as larvas da mosca *H.illucens* quanto ao teor de proteína, acumulo de massa, teor lipídico.
- Extrair o óleo das larvas da mosca *H.illucens* e caracterizá-los físico-quimicamente.
- Avaliar possíveis aplicações na indústria oleoquímica.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Obtenção e caracterização da larva da mosca *Hermetia illucens* em oito tratamentos

##### 3.1.1. Preparo da alimentação oferecida às larvas da MSN

A fim de avaliar a influência das diferentes composições alimentares nos teores de proteína e na composição do óleo da larva, foram elaboradas oito formulações diferentes que fornecessem, em cada uma delas, os principais grupos alimentares necessários para o desenvolvimento do inseto (carboidratos, lipídios e proteínas). Variações nas etapas prévias de fermentação das alimentações também foram avaliadas, para observar se os mesmos influenciam na disponibilidade e assimilação dos nutrientes pelas larvas. Todas as formulações de substratos alimentares oferecidas aos grupos larvais estão ilustradas na tabela 2.

Tabela 2 - Composição dos tratamentos oferecidos às larvas MSN.

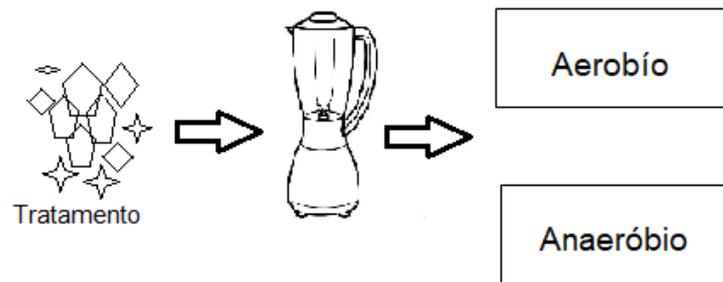
Tratamentos	Composição	Tipo de Fermentação
T1	C + A	Fermentação anaeróbia
T2	C + A	Fermentação aeróbia
T3	C + A + FSM	Fermentação anaeróbia
T4	C + A + FSM	Fermentação aeróbia
T5	C + S	Fermentação anaeróbia
T6	C + S	Fermentação aeróbia
T7	C + S + FSM	Fermentação anaeróbia
T8	C + S + FSM	Fermentação aeróbia

Fonte: Elaborado pelo autor

C - casca de cacau; A - água; S - soro de leite; FSM - farinha de semente de maracujá

As quantidades utilizadas foram cerca de 1 Kg de casca de cacau, 150 g de semente de maracujá triturada e 1,5 L de soro ou água para cada composição descrita na tabela 2. Esses componentes foram triturados em liquidificador e homogeneizados de acordo com cada tratamento determinado, em seguida separados em dois blocos (Figura 3).

Figura 3 - Fluxograma do preparo da alimentação



Fonte: Elaborado pelo autor

Um bloco foi disposto em bandeja de plástico formando uma camada de 6 cm, recobertas com um tecido poroso para evitar o acesso de insetos e favorecer a presença de oxigênio na fermentação aeróbia. O segundo bloco foi depositado em sacos plásticos resistentes e fechados para o favorecimento da fermentação anaeróbia. Todos os tratamentos permaneceram em processo fermentativo por sete dias. Findada a fermentação, cada tratamentos foi dividido em triplicata e acondicionado em potes plásticos (25x15x5) com tampa recortada e telada com tecido poroso.

### 3.1.2. Produção das larvas da *H. illucens*

As larvas utilizadas para o desenvolvimento desse trabalho foram cultivadas no Campus Soane Nazaré de Andrade da Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC, localizada na cidade de Ilhéus – Bahia.

Para obter os ovos de larvas da MSN, estratégias foram adotadas para capturar algumas moscas ou obter os ovos por meio de armadilhas. Essas armadilhas consistiam na utilização de recipientes telados contendo resíduos orgânicos, que ao fermentarem, atuam como um atrativo para as moscas (DICLARO & KAUFMAN, 2009). Na parte de cima da tela foram colocados cartuchos feitos com papelão, unidos por borrachas de látex. Esses cartuchos tem o objetivo de atuar como um local seguro para as moscas, ao serem atraídas pelo cheiro do alimento, depositem seus ovos. Uma segunda alternativa utilizada para obter esses ovos foi a captura manual dessas moscas, realizadas em locais com resíduos atrativos para tais insetos dentro do campus.

Obtidos os ovos, os mesmos permaneceram em um recipiente levemente úmido por um período de três a quatro dias para eclosão. Após passarem para a fase de larva, foram transferidas para uma ração chamada de “berçário” (ração de frango pré-fermentada), onde permaneceram por sete dias até que atingissem condição suficiente para serem transferidas para os tratamentos utilizados nesse experimento. As larvas permaneceram nos diferentes tratamentos até o início da fase de pré-pupa, totalizando cerca de 21 dias. O período escolhido para retirar as larvas se deve ao fato de que, antes de entrar na fase de pré-pupa, as larvas consomem os resíduos ininterruptamente, formando reserva energética para os processos seguintes que darão origem ao inseto. A partir dessa fase, a larva começa a consumir esses nutrientes para enfim transformar-se em mosca, com sua estrutura bem desenvolvida.

As larvas foram retiradas da alimentação, lavadas em água corrente para retirada de resíduos grosseiros e secas em papel toalha. Dividido em grupos, foram armazenadas em recipiente adequado e etiquetado.

### 3.1.3. Acumulo de biomassa larval

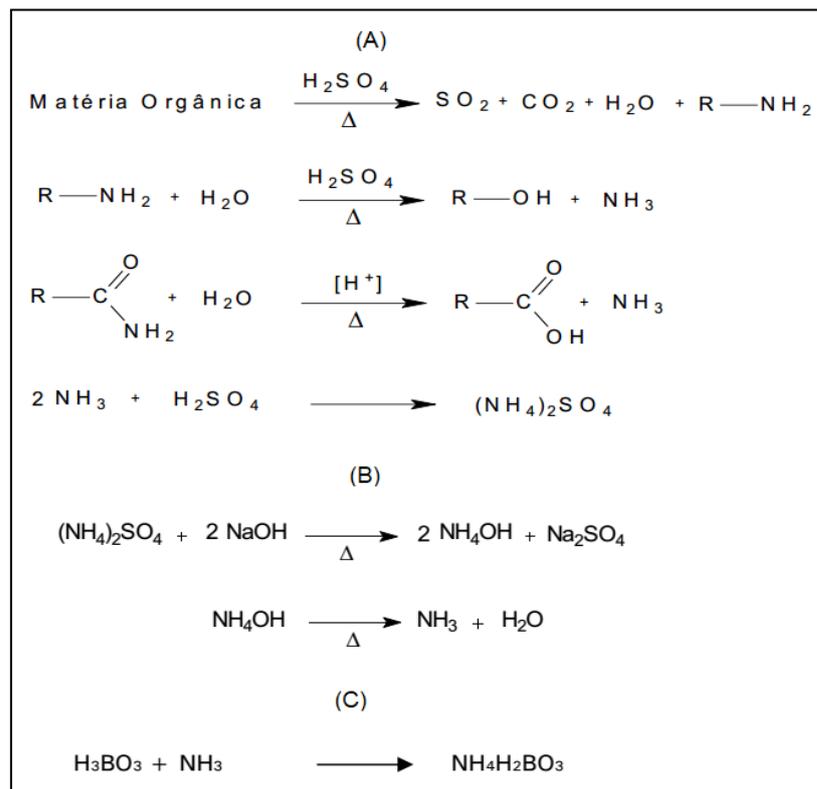
Ao final do período de 21 dias, onde as larvas foram mantidas nas suas respectivas formulações, estas foram lavadas e secas em papel toalha por alguns minutos. Em seguida, pesou-se individualmente cada larva oriunda dos tratamentos utilizados. Esses dados foram registrados e utilizados para informar se houve diferença significativa no peso total dos grupos proveniente de cada alimentação.

### 3.1.4. Determinação de proteína bruta

Amplamente aplicado para determinação de proteína, o método proposto por Kjeldahl em 1883 é uma técnica confiável, com rotinas bem estabelecidas e com poucas alterações ao longo do tempo (VOGEL, 1992). Essa técnica baseia-se na decomposição da matéria orgânica da amostra por decomposição na presença de ácido sulfúrico concentrado e catalisador. Ao final da digestão, o nitrogênio a ser determinado é destilado por arraste de vapor para ser titulado com ácido diluído (NOGUEIRA & SOUZA, 2005).

Na primeira etapa foram pesadas 0,70 g de amostra em triplicata no tubo de digestão, cerca de 2,5 g da mistura catalítica (sulfato de sódio e sulfato de cobre, 10:1), seguida da adição de 7 mL de ácido sulfúrico. Os tubos seguiram para o bloco digestor onde foram aquecidos primeiro 50°C/1h, aumentado gradativamente 50°C a cada 30 min até atingir 400°C e assim permanecendo por 1h, ou até o surgimento de uma coloração esverdeada em um líquido viscoso. Durante esse processo todo o carbono presente é oxidado e se desprende na forma de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). A solução passa então de uma coloração escura para esverdeada onde todo o nitrogênio presente é transformado em sulfato de amônio ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), conforme mostrado nas reações da figura 4A.

Figura 4 - Processo de digestão, destilação com formação de borato de amônio e titulação, com formação de cloreto de amônio.



Fonte: GALVANI; GAERTNER, 2006.

Completada a digestão, as amostras seguiram para a etapa de destilação por arraste de vapor realizada no destilador keljdaahl. O sulfato de amônio resultante é tratado com uma solução concentrada de hidróxido de sódio (NaOH) em excesso

para a liberação da amônia, que ao ser volatilizada é condensada e recolhida em uma solução de ácido bórico e a mistura indicadora (vermelho de metila, verde de bromocresol). Conforme figura 4B, a amônia reage com o ácido bórico originando o borato de amônio ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{BO}_3$ ).

No processo seguinte, a solução contendo o destilado em ácido bórico e indicador segue para determinação por titulação do borato de amônio com uma solução padrão de ácido clorídrico diluído com concentração de  $0,9982 \text{ molL}^{-1}$  (Figura 3C).

O teor de nitrogênio total foi avaliado pela equação 1:

$$NT = \frac{(Va - Vb) * F * 0,1 * 0,014 * 100}{P1} \quad (1)$$

Onde:

NT – teor de nitrogênio total na amostra, em percentagem;

Va – volume da solução de ácido clorídrico gasto na titulação da amostra, em mililitros;

Vb – volume da solução de ácido clorídrico gasto na titulação do branco, em mililitros;

F – fator de correção para o ácido clorídrico  $0,01 \text{ molL}^{-1}$ ;

P1 – massa da amostra (em gramas).

Para determinar a proteína bruta, usualmente multiplica-se o valor do nitrogênio total encontrado pelo método Kjeldahl por um fator de conversão do valor de nitrogênio total em proteína. Comumente utiliza-se o fator de 6,25 (FN) de proteína bruta, considerando que a maioria das proteínas possui em suas moléculas cerca de 16% de nitrogênio, conforme equação 2.

$$PB = NT * FN \quad (2)$$

Onde,

PB – Proteína bruta na amostra

FN – Fator de correção 6,25

### 3.1.5. Extração do óleo da larva *H. illucens*

Inicialmente, as larvas foram secas em estufa de ventilação forçada a 60°C por 24 horas e moídas manualmente em almofariz. Foram pesadas ~2,0 gramas de cada amostra homogeneizada em tubos de vidro com tampa rosqueável, seguida da adição de 10 mL de solvente hexano. As amostras permaneceram por 1 hora em agitação na incubadora a uma temperatura de 40°C. Após esse período, o solvente foi retirado e adicionou-se mais 10 mL que permaneceu em contato com o solvente, sob agitação, por 30 min. Esse processo de extração exaustiva foi repetido por mais quatro vezes, totalizando 4 horas de extração. Cada volume de 10 mL de solvente extraído foi encaminhado para centrifuga com o objetivo de retirar quaisquer resíduos provenientes da amostra. Ao final, o solvente foi evaporado em evaporador rotativo a 50°C resultado apenas no óleo da MSN para se conhecer a massa do óleo extraída.

### 3.1.6. Caracterização do perfil de ácidos graxos do conteúdo lipídico das larvas da *Hermetia illucens*

Os triacilgliceróis, presentes nas amostras dos óleos das larvas, foram previamente derivatizados, através da reação de transesterificação, afim de determinar os ácidos graxos na forma de ésteres metílicos. Para a reação de transesterificação, 200 mg da gordura obtida pela extração relatada anteriormente foi pesada para cada replicata e dispersa em 4,0 mL de metanol contendo uma gota de ácido sulfúrico concentrado como catalisador. A mistura permaneceu em agitação por 24 h numa temperatura de 50°C.

Utilizou-se um cromatógrafo à gás CG Varian (modelo CP-3800), acoplado ao detector de ionização de chama (FID) e equipado com coluna capilar (30m, 0,32 mm/D, 0,25 um; fase estacionária de polietileno glicol) para a quantificação dos ésteres metílicos dos ácidos graxos. As condições de operação foram: temperatura do forno foi ajustada para 140°C por 1 minuto, subindo para 170°C com taxa de aquecimento de 2°C/min. O aquecimento continuou até 190° com taxa de 5°C/minuto; após essa temperatura houve uma taxa de aquecimento de 15°C/minuto até atingir a temperatura de 230°C; utilizou-se um injetor split com razão de 130 e temperatura de injeção de 250°C, usando nitrogênio como o gás de arraste a uma taxa de 1,4 mL min<sup>-1</sup>. A temperatura do detector FID foi trabalhada a 270°C. A injeção foi realizada com auxílio de um injetor automático.

A quantificação dos ácidos graxos por cromatografia em fase gasosa, foi realizada com adição de padrão interno C12:0-Et (laurato de etila). Para determinar o tempo de retenção dos ésteres metílicos de ácidos graxos, foram injetados uma mistura de padrões do C:12 ao C:20. Os ácidos graxos foram identificados pela comparação dos tempos de retenção de padrões de ésteres metílicos de ácidos graxos, e a quantificação foi feita por normalização de área (%). A análise foi realizada em triplicata.

### **3.2. Ampliação da escala de produção das LMSN e característica físico-químicas de seus óleos**

#### **3.2.1. Preparo de alimentação e criação das LMSN**

Baseado nos resultados do experimento anterior, foi oferecido às larvas uma alimentação conforme o tratamento 7 (tabela 3); dividido em dois blocos, sendo um acrescido de 30% de casca de abacaxi, sendo esse o resíduo disponível para o trabalho.

Tabela 3 - Composição dos tratamentos oferecidos às larvas MSN

Tratamentos	Composição	Tipo de Fermentação
CA	C + S + FSM + A	Fermentação anaeróbia
SA	C + S + FSM	Fermentação anaeróbia

Fonte: Elaborado pelo autor

C - casca de cacau; A – casca de abacaxi; S - soro de leite; FSM - farinha de semente de maracujá

Cerca de 500 larvas saídas do berçário foram adicionadas a recipientes contendo 2 kg de ração, em triplicata. Os mesmos seguiram para incubadora BOD, onde permaneceram por 21 dias.

#### **3.2.2. Extração do óleo, determinação de proteína bruta e açúcar**

A extração do óleo foi realizada por meio do extrator Soxhlet, em consecutivas lavagens com solvente hexano por 7 horas. As larvas secas foram trituradas e depositadas em cartuchos de papel filtro, que seguiram para o extrator.

O conteúdo extraído foi recolhido em um balão previamente tarado, e após o período de extração, o solvente foi retirado com o auxílio de um evaporador rotativo.

Determinou-se o teor de proteína nos tratamentos e nas larvas, conforme método já descrito neste trabalho. A determinação do teor de açúcar foi realizada segundo o método fenol-sulfúrico de DUBOIS (1956), já pré-estabelecido.

### 3.2.3. Análises físico-química do óleo

A determinação físico-químicas foram realizada adaptando os procedimentos descritos pelo Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists Society (AOCS, 2009), sendo descritos a seguir.

#### 3.2.3.1. Índice de acidez

Alíquotas de 1,0g de óleo foram pesadas em um Elermeyer, seguida da adição de 50mL de uma mistura de solventes 2:1 álcool etílico e éter, 2mL de fenolftaleína 1%. Titulou-se com hidróxido de sódio  $0,1027 \text{ mol.L}^{-1}$  (NaOH), previamente padronizado com biftalato de potássio ( $\text{C}_8\text{H}_5\text{KO}_4$ ), até o aparecimento da cor rósea(AOCS Cd 3d-63). Cada ensaio foi realizado em triplicata, assim como o branco. O índice de acidez foi determinado conforme equação 3, e expressa a quantidade em miligramas de hidróxido de sódio necessário para neutralizar os ácidos graxos livres em 1g de óleo.

$$\text{Índice de acidez} = \frac{(A - B) \times N \times 56,10}{M} \quad (3)$$

Onde:

B – volume da solução padrão da base usada na titulação do branco, em mL;

A – volume da solução padrão da base usada na titulação da amostra, em mL;

N – normalidade da solução padrão da base;

M – massa da amostra, em gramas.

#### 3.2.3.2. Índice de iodo

Alíquotas de 0,300g da amostra foram pesadas em um Erlenmeyer, seguida da adição de 15mL da mistura de solventes 1:1 de heptano e ácido acético glacial na amostra, agitando para garantir total dissolução. 25mL do reagente de Wijs foi adicionado, agitando novamente. Aguardou de 1 ou 2 horas, dependendo do índice de iodo esperado da amostra (índice de iodo < 150, 1 horas; índice de iodo ≥150, 2 horas), em ambiente com ausência de luz a uma temperatura de (25 ± 5°C).

Decorrido o tempo, adicionou-se 20mL de solução de iodeto de potássio 10% (KI) e de 150mL de água deionizada, procedendo a titulação com solução de tiosulfato de sódio pentahidratado 0,1 molL<sup>-1</sup> (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.5H<sub>2</sub>O) previamente padronizado com dicromato de potássio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>), sob agitação constante até o surgimento de um amarelo claro. Adicionou-se 2mL da solução indicadora de amido, continuando a titulação até a coloração azul desaparecer (AOCS Cd 1d-92). Cada ensaio foi realizado em triplicata, assim como o branco. O índice de iodo foi determinado conforme equação 4, e expressa a quantidade em gramas de iodo absorvido por 100g de amostra.

$$\text{Índice de iodo} = \frac{(A - B) \times N \times 12,69}{M} \quad (4)$$

Onde:

B – volume da solução padrão usada na titulação do branco, em mL;

A – volume da solução padrão usada na titulação da amostra, em mL;

N – normalidade da solução padrão;

M – massa da amostra, em gramas.

### 3.2.3.3. Índice de saponificação

Alíquotas de 2,0g de óleo foram pesadas em um erlenmeyer, seguida da adição de 25mL do hidróxido de potássio alcoólico 0,5mol L<sup>-1</sup> (KOH). Em seguida, conectou-se ao erlenmeyer condensadores, iniciando o aquecimento cuidadosamente sob refluxo por 30 minutos. Após esse período, aguardou-se o resfriamento do sistema, lavando o interior do condensador com cerca de 15 mL de água deionizada. Adicionou-se cerca de 1mL de fenolftaleína e titulou-se com HCl 0,5mol L<sup>-1</sup> previamente padronizado até a coloração rósea desaparecer (AOCS Cd

3b-76). Cada ensaio foi realizado em triplicata, assim como o branco. O índice de saponificação foi determinado conforme equação 4, expresso em número de miligramas de hidróxido de potássio necessário para saponificar 1,0 g da amostra.

$$\text{Índice de saponificação} = \frac{(A - B) \times N \times 12,69}{M} \quad (5)$$

Onde:

B – volume da solução padrão de HCl usada na titulação do branco, em mL;

A – volume da solução padrão de HCl usada na titulação da amostra, em mL;

N – normalidade da solução padrão;

M – massa da amostra, em gramas.

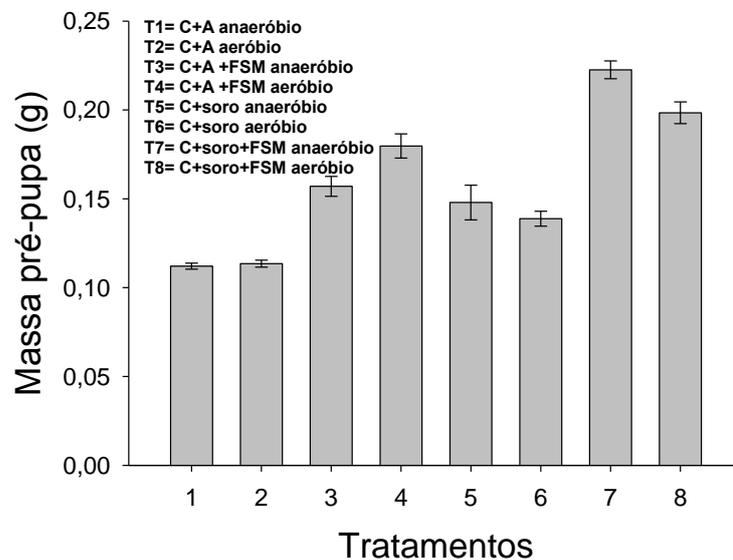
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Obtenção e caracterização da larva da mosca *Hermetia illucens* em oito tratamentos

#### 4.1.1. Acumulo de biomassa larval

De acordo com os dados apresentados na figura 5, o acumulo de biomassa total foi maior nas larvas alimentadas a partir da dieta composta por casca de cacau + soro de leite + farinha de semente de maracujá com fermentação anaeróbica, e a menor foi o tratamento 1 (casca de cacau + água/anaeróbica). As quarenta larvas inoculadas resultaram em  $8,9056 \pm 0,0097$  g de biomassa pré-pupal, oriundas de T7. Esse resultado apresenta um valor de ganho de massa maior que os obtidos por Spranghersef, et. al. (2017) para 1000 larvas inoculadas em estrume de vacas de leite, para as quais foi possível obter 90,8 g de biomassa larval. Os resultados foram ainda superiores aos apresentados por Mohd-Noor et al. (2017), que obteve 60,0 g para 1000 larvas e Li et al. (2011), que obteve 70,8 g a partir de 1200 larvas.

Figura 5 - Gráfico de representação da massa média das larvas oriundas das diferentes alimentações empregadas neste estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor

C=casca de cacá; A=água; FSM=farinha de semente de maracujá; S=soro de leite

Em termos de biomassa larval, o tratamento 7 apresenta-se como o substrato mais favorável para o desenvolvimento das larvas. Segundo esses autores acima citados, alimentações com alto valor calórico vão favorecer o acúmulo de massa corpórea das larvas, que está de acordo com o que foi aqui observado.

As LMSN selvagens apresentam um desenvolvimento e acúmulo de biomassa larval maiores que as cultivadas em laboratório. Esse fenômeno também é relatado no trabalho desenvolvido por Holmes, Vanlaerhoven e Tomberlin (2013), com larvas alimentadas com resíduos de frango e estrume de vacas de leite. Os autores sugerem que essa diferença de acúmulo de massa nas larvas selvagens se deve ao fato de que na natureza, na medida em que vão consumindo os resíduos, as larvas têm uma possibilidade maior de migração. Porém, na criação em laboratório por permanecerem confinadas, as larvas estarão em constante contato com seus excrementos, o que provavelmente não é favorável para seu acúmulo de biomassa. A atuação concomitante de microrganismos diferentes encontrados no ambiente selvagem, podem atuar em simbiose, disponibilizando diferentes nutrientes que contribuem para o aumento da massa corpórea das larvas.

#### 4.1.2. Teor de proteína nas larvas da mosca *H. illucens*

Sabe-se que as larvas apresentam robustez, isto é, desenvolvem em condições adversas retirando os nutrientes necessários para sua sobrevivência de lugares atípicos como, em alimentação a base de lodo de esgoto (LEONG et al., 2015), resíduos orgânicos urbanos (DIENER et al., 2011), estrume de vacas (REHMAN et al., 2017), entre outros. Entretanto, uma composição alimentar com alto valor nutricional aumenta a taxa de sobrevivência e desenvolvimento das larvas, melhorando também sua própria composição nutricional. Assim, foi investigada a influência das diferentes dietas sobre o ganho de massa protéica nas larvas.

Tabela 4 - Teor de proteína bruta (FN 6,25) e gordura extraídos das LMSN de acordo com cada tratamento proposto.

Tratamento	%PB	% Óleo
T1	35,33 ± 0,31	26,62 ± 0,16
T2	37,68 ± 1,71	29,02 ± 9,07
T3	40,56 ± 0,22	44,93 ± 8,58
T4	46,39 ± 3,22	33,50 ± 7,45
T5	35,13 ± 0,49	28,42 ± 7,27
T6	35,49 ± 0,72	35,99 ± 4,12
T7	37,78 ± 0,01	33,89 ± 0,07
T8	40,14 ± 0,43	33,19 ± 4,39

Fonte: Elaborado pelo autor

Com relação aos tratamentos avaliados, o teor de proteína nas larvas variou de 35,13 a 46,39% (tabela 4). O maior teor proteína na LMSN refere-se ao tratamento composto por casca de cacau + água + farinha de semente de maracujá (1 kg, 1,5 L e 150 g, respectivamente) num processo de fermentação aeróbio (T4); seguida pelo tratamento 3 com teor de proteína de 40,56% com mesma composição alimentícia que o T4, diferindo apenas no tipo de fermentação (anaeróbia). Ainda com resultados próximos, o tratamento 8 apresentou um teor de proteína de 40,14%. Os teores de proteína bruta mais baixos foram os obtidos a partir do tratamento 5 e

1, com 35,13 e 35,33% onde temos composições baseadas apenas em casca de cacau e água ou soro.

Os processos bioquímicos e microbiológicos que envolvem a assimilação e conversão dos nutrientes do substrato pelas larvas em sua própria biomassa são complexos e pouco discutidos na literatura. Sabe-se que as larvas ingerem esses resíduos orgânicos num processo mecânico, sendo os mesmos digeridos por microrganismos no interior de seus corpos, que são excretados na forma de substâncias húmicas, chamado de bioproduto (Yaday & Garg, 2011). Um estudo publicado por Zheng e colaboradores (2013) foram verificadas quais bactérias poderiam ser encontradas no decorrer do ciclo de vida da mosca soldado negro, sendo encontrados 16 gêneros diferentes de bactérias ao longo dos estágios de desenvolvimento do inseto e que as espécies pertencentes a cada gênero podem variar conforme o meio e a alimentação ao qual os insetos são submetidos. Os autores ressaltam no estudo a dificuldade em diferenciar cada uma dessas bactérias envolvidas nos processos biológicos de digestão de resíduos e de destruição de patógenos, pois muitas dessas bactérias ainda são incapazes de serem cultivadas em laboratório. Entretanto, esse objetivo se apresenta como perspectiva futura.

Nos processos de vermicompostagem ocorre uma atuação simbiótica de microrganismos juntamente com as larvas na degradação dos resíduos facilitando a assimilação dos nutrientes. Um exemplo disso é a presença de bactérias chamadas nitrificadoras (BELSER, 1979; STARK & FIRESTONE, 1995; HEIL & VEREECKEN, 2016; LI et al., 2018; SÁNCHEZ-MONEDERO, et al., 2001) que vão atuar fixando N da atmosfera no resíduo em um processo de redução do N<sub>2</sub> do ar a NH<sub>3</sub>, numa reação denominada nitrogenase realizada por bactérias como *Azotobacter* ou *Rhizobium* em sistema aberto. A equação que descreve esse processo pode ser descrita de uma forma geral como:



A reação se processa devido a catálise realizada por enzimas, formando um complexo enzimático denominado nitrogenase, que pode ser dividido em dois componentes: a Fe-proteína e a MoFe-proteína, sendo que nenhuma das duas possuem atividade catalítica isoladamente. De maneira breve podemos dizer que na reação geral de redução do nitrogênio (Figura A2 – Apêndice A), a Fe-proteína é

reduzida por elétrons doados da ferredoxina, que promove a quebra da molécula de ATP, assim reduzindo a MoFe-proteína. A partir daí a MoFe-proteína pode então reduzir o  $N_2$  gasoso atmosférico, produzindo  $HN=NH$ . Por mais duas vezes o ciclo se repete para então produzir duas moléculas de amônia (CAPONE; KNAPP, 2008; KRONECK & TORRES, 2014; TAIZ et al., 2017;).

Em 1983, um estudo de Sheppard verificou que as larvas permanecem em sua maioria na superfície ou na camada menos profunda dos resíduos utilizados. Um estudo realizado em 2002 por Tomberlin, Sheppard e Joyce verificou que as larvas alimentadas com estrume fresco tiveram um maior crescimento larval; esse fato pode estar relacionado com a absorção de nutrientes por organismos anaeróbicos que atuam na digestão do estrume a medida que envelhecem, reduzindo os nutrientes disponíveis para a alimentação das larvas, ou seja, esses organismos diversos entram em uma espécie de competição por nutrientes que interfere no desenvolvimento bioquímico da larva.

As informações corroboram com os resultados obtidos neste trabalho no que diz respeito ao maior teor de proteína nas larvas advindas do tratamento 4. Os resultados dos tratamentos contendo soro de leite, um resíduo rico em lactose e proteínas de alto valor biológico, onde se esperaria uma maior contribuição de proteínas nas LMSN, trabalhos sobre compostagem e verme compostagem levantam a questão da importância da relação C/N para a eficiência do processo de decomposição. Numa explicação mais ampla, podemos dizer que a relação ideal de C/N encontra-se entre 25-35 (LAMPKIN, 1992). Isso se deve ao fato de dois terços do carbono ser liberado como  $CO_2$  ao serem utilizados pelos microrganismos na obtenção de energia, e o outro terço restante fazer parte da constituição das células microbianas juntamente com o nitrogênio. Quando há um desequilíbrio e a relação C/N é muito baixa, ou seja, uma maior quantidade de N vai ocorrer uma perda significativa de N pela liberação de amônia, dificultando os processos biológicos que levam a digestão dos resíduos aumentando o tempo de compostagem. A falta de nitrogênio vai interferir no crescimento microbiano e fazer com que nem todo o carbono seja degradado, retardando também o processo (AMORIM, 2005; CRUZ, 2017; MATOS, 1998; VALENTE, et al., 2009).

Tabela 5 - Teor de proteína bruta presente em cada alimentação fornecida as LMSN.

Tratamento	%PBA	%PBL
T1	1,60±0,12	35,33 ± 0,31
T2	1,95±0,03	37,68 ± 1,71
T3	3,24±0,10	40,56 ± 0,22
T4	2,23±0,16	46,39 ± 3,22
T5	1,18±0,05	35,13 ± 0,49
T6	2,13±0,04	35,49 ± 0,72
T7	2,73±0,04	37,78 ± 0,01
T8	3,03±0,40	40,14 ± 0,43

Fonte: Elaborado pelo autor

PBA= Proteína bruta na alimentação, PBL=Proteína bruta nas larvas

O teor de proteína bruta na alimentação foi determinado, a fim de verificar a relação do mesmo no teor de proteína dos insetos. Conforme podemos observar na tabela 5, o tratamento 3 apresenta o maior teor de proteína,  $3,24 \pm 0,10$ , seguidos pelo tratamento 8 e 7 ( $3,03 \pm 0,40$  e  $2,73 \pm 0,04$ ). Pode-se perceber que os teores encontrados na alimentação estão bem aquém daqueles obtidos na larva do inseto, reforçando a ideia de que há outras atuações biológicas e químicas responsáveis por essa assimilação de nitrogênio pelo inseto, durante seu desenvolvimento. Para se compreender de que forma cada macrocomponente influencia na constituição do inseto, é necessário compreender os meios utilizados pelo organismo na formação dos mesmos, sendo esse um estudo que extrapola as áreas deste trabalho.

O fato dos insetos serem considerados uma fonte alternativa de proteína com alto valor nutricional levou ao trabalho de Janssen e colaboradores (2017, que propôs um novo fator de correção no cálculo utilizado para estimar proteína bruta nas larvas de alguns insetos. Segundo o autor, o teor de proteína calculado a partir do nitrogênio total é comumente calculado utilizando o fator de correção de 6,25 e isso superestimaria o teor de proteína devido à presença de nitrogênio não protéico em insetos. Após extração, purificação e mapeamento dos aminoácidos nas proteínas o artigo propõe um fator de correção de 4,76 para o teor de proteína nas larvas de insetos. A tabela 6 informa os valores de proteína obtidos nestes

experimentos calculados a partir do proposto no artigo, no entanto, para fins de comparação levamos em consideração o fator comumente utilizado no meio acadêmico de 6,25.

Tabela 6 - Teor de proteína bruta utilizando 4,76 no fator de conversão N-proteína.

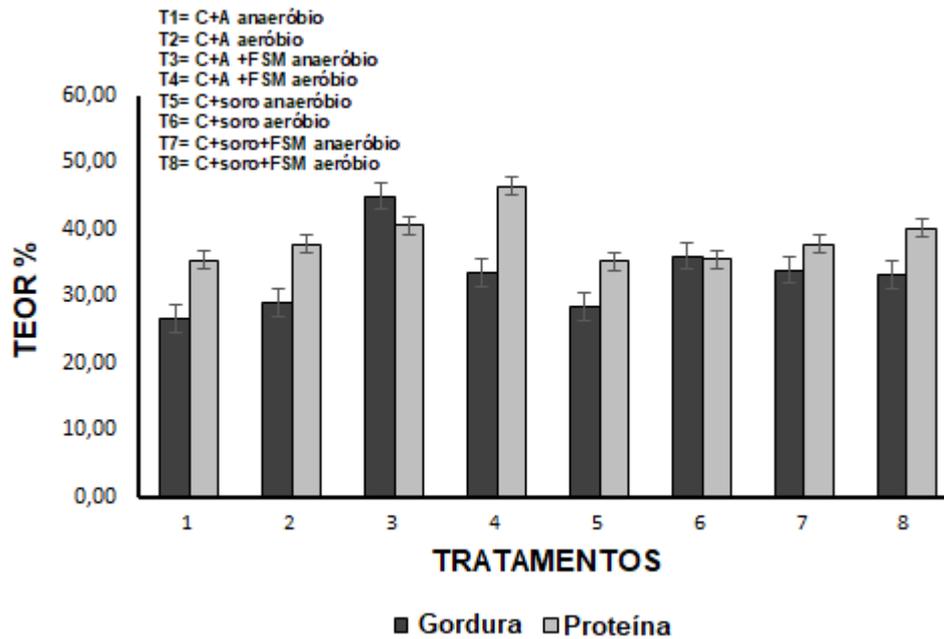
Tratamento	%PB	Intervalo de confiança
T1	26,91	0,23
T2	28,69	1,31
T3	30,89	0,17
T4	36,94	2,45
T5	26,76	0,37
T6	27,03	0,55
T7	25,18	0,01
T8	30,57	0,33

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.1.3. Teor lipídico e perfil de ácidos graxos da *H. illucens*

Após extração e quantificação, o teor de gordura extraído das larvas de cada tratamento variou entre 26,62 e 44,93%. Diferente do esperado, o tratamento composto por casca de cacau + água + farinha de soro de maracujá resultou num maior percentual de óleo extraído, conforme figura 6.

Figura 6 - Representação gráfica do teor de gordura e proteína.



Fonte: Elaborado pelo autor

C= Casca de cacau; A=água; FSM= farinha semente de maracujá

Sabe-se que os carboidratos presentes na alimentação são metabolizados pelas larvas no processo alimentar, sendo uma parte consumida nos processos biológicos energéticos do desenvolvimento do inseto, e o restante é armazenado em forma de gordura (LEONG, et al., 2015). Era esperado que a alimentações compostas por soro de leite contribuíssem para um maior teor de óleo nas larvas devido às altas concentrações de lactose, porém o maior percentual se deu na T4. Esse dado sugere que haja uma atuação combinada de microrganismos atuando juntamente com a larva nos processos de digestão dos resíduos, fornecendo de forma eficiente esses carboidratos.

Segundo Li et al. (2011), em um estudo utilizando resíduos de esterco de gado leiteiro, foi possível verificar que as LMSN são capazes de provocar alterações morfológicas da celulose e hemicelulose abundante nesses resíduos, facilitando a ação de microrganismos fermentadores para produção de açúcar, além de conseguir digerir essas moléculas em 50 e 29%, nesta ordem. O artigo sugere ainda que o nitrogênio absorvido pelas larvas se origina principalmente de proteínas ligadas à parede das forragens além de proteínas associadas à lignina (LIAO et al., 2004). Trabalho realizado por Rehman e colaboradores (2017) afirma que as larvas alteram

a estrutura da celulose, hemicelulose e lignina, favorecendo bactérias que digerem esses resíduos, em concordância com os resultados alcançados.

A composição dos ácidos graxos presentes no conteúdo lipídico de cada tratamento derivado das larvas da mosca soldado negro encontra-se descritas na tabela 7. Foram quantificados os 7 principais ácidos graxos, dentre os quais os ácidos graxos mais abundantes foram o ácido láurico (C12:0), linoleico (C18:2), palmítico (C:16) e oleico (C18:1). Pode-se perceber também uma variação no percentual desses ácidos graxos no conteúdo lipídico de cada tratamento, confirmando o fato já bastante discutido de que a alimentação influencia nas características químicas do óleo; e que essa gordura, de uma forma geral, é composta em sua maior parte por ácidos graxos saturados (65-73%) do que ácidos graxos insaturados (31-35%).

Os altos teores de ácido láurico na gordura derivada das larvas da mosca soldado negro tornam essa matéria-prima ainda mais interessante tecnologicamente pela sua aplicação diversa e por apresentar baixo custo. O óleo da LMSN é único, quando se compara com óleos derivados de outras culturas utilizadas na produção de biodiesel como soja, girassol ou palma (SURENDRA et al., 2016). Conforme pode verificar na tabela 7, o tratamento 1 resultou no menor teor de C:12 na composição de óleo em relação aos demais tratamentos.

É possível afirmar que o tratamento 7 resultou no maior teor de ácido láurico (47,33%). Esse resultado encontra-se em conformidade com outros relatados na literatura, apresentando até valores mais altos do que alguns trabalhos. Siti-Nuraini e colaboradores relata o percentual de 18% de C:12 no óleo de larvas alimentadas com endosperma do coco. Outros trabalhos relatam ainda quantidades de ácidos graxos variando entre 23% (WANG, et al., 2017), 35,6 % (LI, et al., 2017), 38,43% (USHAKOVA, et al., 2016), 44,9% (SURENDRA et al., 2016).

Pode-se concluir que os maiores teores de ácido láurico foram oriundos das alimentações onde o soro de leite está presente. Leong e colaboradores (2009) relatam que foi possível obter 76,13% de ácido láurico nas larvas alimentadas com resíduos de fruta rico em carboidratos, e apesar de a composição química do complexo lipídico está relacionada com as peculiaridades dos processos biológicos da mosca *Hermetia illucens*, os autores sugerem que maiores teores de açúcar vão influenciar no maior percentual desse componente majoritário.

A alta concentração de C:12 nas larvas a torna interessante para o uso como ração animal, por exemplo, pois em animais e humanos o triacilglicerol rico em ácido láurico é convertido em monolaurina, um composto glicerídeo com atividade antiviral, antibacteriano e antiprotzoário comprovado (SPRANGHERS et al., 2018; USHAKOVA et al., 2016). Glicerídeos do ácido láurico e de outros ácidos graxos de cadeia curta possuem ainda propriedades emulsificantes e estabilizadores em sistemas dispersivos.

Ácidos graxos	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
<b>Ácidos graxos saturados</b>								
Ácido láurico (C12:0)	38,68±0,19	38,73±1,17	43,71±0,48	40,90±0,39	44,02±1,00	45,46±1,15	47,33±0,11	47,01±0,14
Ácido Mirístico (C14:0)	7,32±0,06	7,70±0,48	6,80±0,18	6,81±0,07	7,79±0,64	8,20±0,31	7,48±0,15	7,32±0,04
Ácido Palmítico (C16:0)	17,01±0,86	17,80±0,03	15,94±0,14	18,38±0,45	15,78±1,86	17,02±0,23	15,37±0,10	14,96±0,01
Ácido Esteárico (C18:0)	2,38±0,42	2,28±0,12	1,76±0,06	1,97±0,15	1,79±0,14	1,86±0,07	1,59±0,04	1,64±0,02

Tabela 7 - Percentual de ácidos graxos presente na composição lipídica das LMSN oriundas de oito diferentes tratamentos.

<b>Ácidos graxos insaturados</b>								
Ácido Palmitoleico (C16:1)	1,64±0,04	1,52±0,19	0,88±0,02	0,94±0,04	2,00±0,41	1,67±0,22	0,92±0,01	0,85±0,02
Ácido Oleico (C18:1)	12,47±1,44	11,53±1,29	8,46±0,21	8,67±0,45	11,50±1,99	9,53±0,18	7,81±0,05	7,67±0,08
Ácido Linoleico (C18:2)	20,50±0,19	20,43±1,17	22,46±0,48	22,33±0,39	17,13±1,00	16,26±1,15	19,51±0,11	20,46±0,14

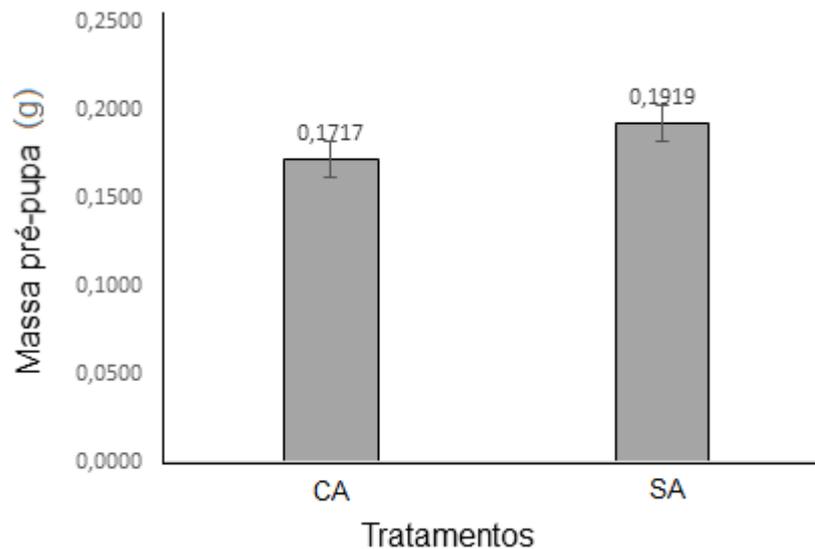
Fonte: Elaborado pelo autor

## 4.2. Ampliação da escala de produção das LMSN e característica físico-químicas de seus óleos

### 4.2.1. Acumulo de biomassa larval

De acordo com a figura 7, o maior crescimento médio se deu nas larvas alimentadas com casca de cacau + soro + farinha de semente de maracujá sem a adição de casca de abacaxi (SA). Em relação aos dados de acúmulo de biomassa apresentados por outros autores (Li et al., 2011; Mohd-Noor et al., 2017; Spranghers et al., 2017), o presente experimento apresentou um maior rendimento. As 1500 larvas introduzidas na alimentação resultaram em cerca de 210 g de massa fresca para o tratamento SA, e 201 g para o tratamento CA (com casca de abacaxi).

Figura 7 - Gráfico de representação da massa média das larvas oriundas das diferentes alimentações empregadas neste estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor  
CA=C+S+FSM+Casca de abacaxi, SA=C+S+FSM.

Sabe-se que uma alimentação com alto valor calórico atua favorecendo o crescimento das larvas, conforme já observado. Apesar de as larvas alimentadas com SA apresentarem uma massa média maior, esta não diferiu significativamente dos valores obtidos pelo tratamento CA, considerando ainda se tratar de um experimento com organismos vivos, que apresentam características diferenciadas, e

que pode sofrer variação de acordo com os fatores externos. Pode-se atribuir também a esses fatores, a diferença observada entre o experimento atual e o anterior, T7, que resultou em uma massa média maior. A maior quantidade de larvas utilizadas no experimento atual, também pode ter influenciado no resultado, contribuindo para uma massa média abaixo da anterior, pois como já discutido anteriormente, as larvas tendem a desenvolver-se mais lentamente quando confinadas, devido ao aumento dos seus próprios dejetos (Holmes, Vanlaerhoven e Tomberlim, 2013).

#### 4.2.2. Teor lipídico, determinação de proteína bruta e açúcar

O teor de proteína determinado nas larvas e na alimentação encontra-se descritas na tabela 8. Tratando-se da alimentação, os percentuais de proteína bruta determinados nos dois tratamentos não ultrapassaram 3,5%, sendo SA o tratamento com o maior teor ( $3,48 \pm 0,01$ ). Em comparação com os valores obtidos no experimento anterior, o presente experimento (SA, CA) apresentaram valores maiores de percentual de proteína. Pode-se atribuir essa diferença ao fato de que, a composição da matéria-prima que baseia tais alimentações pode variar conforme condições climáticas, solo e outros fatores externos. Os processos de fermentação que biodisponibilizam esses nutrientes também apresentam variações que podem interferir no resultado final.

Determinou-se ainda o percentual de açúcar total na alimentação, onde foi possível constatar um aumento no teor de açúcar,  $7,2391 \pm 0,0038$ , no tratamento que recebeu a adição de casca de abacaxi. Assim como no experimento anterior, a fonte de gordura que compõe os tratamentos utilizados se deu pela utilização da semente de maracujá. A determinação do teor de óleo na alimentação se deu determinando o teor de óleo na própria semente, obtendo um resultado de  $10,56 \pm 0,07\%$  em todos os experimentos realizados durante este trabalho.

Tratando-se dos resultados obtidos referente a composição da LMSN, podemos observar na tabela 8 que grande parte da massa fresca das larvas trata-se de água. O teor de umidade foi de aproximadamente 57% para as larvas alimentadas com CA, e 60% para as larvas alimentadas com SA. Os teores de açúcar na LMSN não foram determinados pois, concordando com Leong (2015), os

mesmos são baixos e pouco interessantes para as possíveis aplicações das larvas na indústria.

Tabela 8 - Teor de proteína bruta e açúcar na alimentação fornecida as larvas, proteína bruta, gordura e umidade das LMSN.

Tratamentos	SA	CA
<b>Alimentação</b>		
%PB	3,48 ± 0,01	3,37 ± 0,01
%Açúcar total	4,0275 ± 0,0028	7,2391 ± 0,0038
<b>Larvas</b>		
%PB	39,71 ± 0,73	38,46 ± 0,45
%Gordura	40,97 ± 1,03	39,71 ± 1,08
%Umidade	60,02 ± 0,97	57,01 ± 1,01

Fonte: Elaborado pelo autor

C - casca de cacau; A – casca de abacaxi; S - soro de leite; FSM - farinha de semente de maracujá

Após extração e quantificação, o teor de gordura extraído das larvas oriundas dos tratamentos SA e CA foram de 40,97 e 39,71%, respectivamente. Esse resultado apresenta-se acima do obtido no experimento anterior (T7), onde o rendimento se deu em torno de 33,98%. Os diferentes métodos de extração aplicados nos dois experimentos podem ter contribuído para essa diferença de rendimento, pois no primeiro experimento, devido à baixa disponibilidade de material, a extração foi realizada em quatro etapas por contato direto com solvente, num período de aproximadamente quatro horas. Já no segundo método de extração, possível apenas quanto tem-se uma quantidade maior de massa larval, com refluxo de solvente em um processo por 7 horas.

Podemos observar (tabela 8) que o teor de proteína bruta nas larvas dos tratamentos SA (40,97%) e CA (38,46%) apresentaram valores próximos entre si. Em relação ao experimento T7, os valores obtidos aqui foram ligeiramente maiores, mas considerados concordantes, principalmente levando-se em consideração se tratar de um experimento com organismos vivos, que sofrem variações conforme influências externas, como diferentes épocas do ano, clima, umidade, entre outros.

#### 4.2.3. Caracterização do perfil de ácidos graxos do conteúdo lipídico das larvas da *Hermetia illucens*

A tabela 9 traz informações quanto a composição dos ácidos graxos presente no conteúdo lipídico das LMSN, referente aos tratamentos sem e com adição de abacaxi. Neste experimento, é possível observar a presença de 9 diferentes ácidos graxos (C10:0, C12:0, C14:0, C16:0, C16:1, C18:0, C18:1, C18:2 e C20:4), sendo o ácido decanóico, palmitoleico e araquidônico presente em menor proporção em todos os experimentos. O ácido graxo mais abundante nas amostras é o ácido láurico (C12:0), seguido pelo ácido linolênico (C18:2) e o palmítico (C14:0).

Segundo Leong (2015) o teor de açúcar presente na alimentação influencia diretamente no aumento do teor de ácido láurico no óleo da LMSN. Essa tendência também é observada na tabela 9 pois, o tratamento sem adição de casca de abacaxi (SA) resultou em 41,21% de ácido láurico, enquanto que o tratamento com casca de abacaxi (CA) apresentou um percentual de ácido láurico em torno de 48,42%. O maior teor de açúcar total em CA reforça ainda mais os dados observados.

Outra tendência que podemos verificar nesse estudo, é a diminuição do teor de ácido linolênico quando se aumenta o teor de ácido láurico no óleo. Em SA, o ácido linolênico encontra-se em torno de 24,34%, já em CA o C18:2 representa 16,73%. A presença de ácidos graxos insaturados está diretamente relacionada a estabilidade dos óleos e gorduras. Num processo de decomposição oxidativa, o oxigênio atmosférico reage com as duplas ligações dos ácidos graxos insaturados, resultando na formação de peróxidos.

Tabela 9 - Percentual de ácidos graxos presente na composição lipídica das LMSN

Ácidos graxos	SA	CA	CBA
<b>Ácidos graxos saturados</b>			
Ácido decanóico (C10:0)	1,01±0,01	1,18±0,01	0,81±0,04
Ácido láurico (C12:0)	41,2±0,32	48,42±0,15	42,97±1,53
Ácido Mirístico (C14:0)	7,66±0,06	8,09±0,02	9,19±0,09
Ácido Palmítico (C16:0)	14,82±0,04	14,67±0,02	15,13±0,40
Ácido Esteárico (C18:0)	1,96±0,08	2,04±0,01	2,09±0,12
<b>Ácidos graxos insaturados</b>			
Ácido Palmitoleico (C16:1)	0,35±0,01	0,31±0,01	0,28±0,01
Ácido Oleico (C18:1)	9,64±0,34	9,75±0,05	9,48±0,34
Ácido Linoleico (C18:2)	24,35±0,11	16,73±0,08	20,83±0,75
Ácido Araquidônico (C20:4)	0,06±0,01	0,06±0,01	0,07±0,01

oriundas de 3 diferentes tratamentos.

Fonte: Elaborado pelo autor

O tratamento CBA trata-se de um experimento composto pela adição de 30% do material resultante do despulpamento do abacaxi. Esse bagaço foi nos oferecido, e utilizado como um experimento único para determinar se haviam diferenças significativas nos percentuais de ácidos graxos do óleo proveniente casca de abacaxi. O conteúdo de polpa na casca de abacaxi é baixo (tabela 8), mas foi suficiente para aumentar a oferta de açúcar na dieta e contribuir significativamente para o aumento de C12:0 no óleo. O experimento com o bagaço CBA resultou num teor de C12:0 menor que em CA, além de uma quantidade maior de C18:2, sugerindo que há uma quantidade menor de açúcar presente na alimentação.

#### 4.2.4. Análises físico-química do óleo

##### 4.2.4.1. Índice de acidez, iodo e saponificação

Buscando caracterizar o óleo obtido pelas rotas seguidas neste trabalho, empregou-se alguns métodos analíticos capazes de fornecer uma maior

compreensão quanto a estabilidade do óleo. Os resultados para análise de índice de acidez, índice de iodo e índice de saponificação são descritos na tabela 10.

Tabela 10 - Características físico-químicas do óleo da LMSN.

Tratamentos	AS	CA
Índice de acidez (mg NaOHg <sup>-1</sup> )	0,23±0,05	3,38±0,12
Índice de iodo (g I <sub>2</sub> 100g <sup>-1</sup> )	36,33±0,05	11,26±0,09
Índice de saponificação (mg KOHg <sup>-1</sup> )	112,39±0,24	195,63±0,13

Fonte: Elaborado pelo autor

O índice de acidez é um parâmetro que avalia a estado de conservação dos óleos e gorduras, visto que pode haver um aumento dos ácidos graxos livres proveniente da hidrólise dos triacilgliceróis, acelerado por aquecimento ou pela luz, (PIKE & O'KEEFE, 2017). Pode-se observar que o óleo de SA apresenta uma acidez menor que CA (0,23 e 3,38 mg NaOHg<sup>-1</sup> respectivamente); porém essa acidez não inviabiliza a utilização para produção de biodiesel.

Para medir o grau de insaturação de um óleo, pode-se utilizar parâmetros como o índice de iodo; que está relacionado com o número de ligações duplas presente no óleo. Portanto, quanto maior a insaturação do ácido graxo, maior sua capacidade de absorção de iodo, o que implica diretamente na possibilidade de rancidez (REDONDO-CUEVAS; et al., 2018). O óleo SA apresentou um índice de iodo maior (36,33 g I<sub>2</sub>.100g<sup>-1</sup>), o que está de acordo com os resultados apresentados na tabela 9 sobre o maior percentual de ácido linolênico C18:2 presente na composição dos ácidos graxos. No entanto, os resultados apresentam-se com valores muito menores em relação a outros óleos, como o óleo de soja, girassol, milho, canola, 121,6, 127,5, 124,0, 125,0 respectivamente, devido ao maior teor de ácido linoleico e linolênico nesses óleos (LIMA FILHO et al., 2017).

Em CA, tem-se o maior resultado de índice de saponificação, 195,63 mg KOHg<sup>-1</sup>, em conformidade com os dados obtidos pela análise cromatográfica. A medida da matéria saponificável indica a quantidade relativa de ácidos graxos de cadeia curta presente no óleo; esses ésteres de baixo peso molecular necessitam de uma quantidade maior de base para a saponificação, por esse motivo, quanto maior o índice de saponificação, menor é o peso molecular dos ácidos graxos presente no óleo. O alto índice do óleo da LMSN aproxima-o do grupo de óleos com

características nobres, como o óleo de babaçu ( $281,8 \pm 6,2 \text{ mgKOHg}^{-1}$ ), coco ( $272,6 \pm 19,0 \text{ mgKOHg}^{-1}$ ) e palmiste ( $252,80 \text{ mgKOHg}^{-1}$ ) devido ao alto teor de ácido láurico (ALBUQUERQUE, 2017; LUCARINI et al., 2017).

No estudo publicado por Li et al (2011) que traz informações quanto as características físico-químicas do óleo da LMSN, o índice de acidez de  $8,7 \text{ mg NaOH.g}^{-1}$  é maior em comparação aos dados da tabela 10, assim como o índice de iodo e saponificação. O teor máximo de ácido láurico relatado nesse estudo foi de 35%, sendo que os resultados obtidos classificam o óleo da LMSN como adequado para possível aplicação em biodiesel.

## 5. CONCLUSÃO

A alimentação composta por casca de cacau, soro de leite e semente de maracujá (fermentação anaeróbica) resultou em larvas com maior percentual de massa média, sugerindo que alimentação rica em caloria contribui para o crescimento da larva.

O tratamento composto por casca de cacau, semente de maracujá e água resultou no maior teor de proteína obtido no trabalho, mostrando que a presença de soro de leite não exerce uma influência significativa nesse quesito. O que torna essa susceptibilidade das larvas à composição da alimentação uma característica interessante pois, conforme o objetivo final da utilização, podemos maximizar características dos macronutrientes nas larvas. O maior teor de óleo pode ser obtido por meio do tratamento 3, no entanto, houve um aumento de ácido linolênico no óleo e menores teores de ácido láurico, além de que não foi o que apresentou o maior ganho de massa larval. Pode-se observar que alimentações ricas em açúcar maximizam o teor de C:12 e diminui o teor de C18:2 no óleo, tornando-o menos susceptível a degradação oxidativa.

Diante desse cenário, pode-se afirmar que a mosca *Hermetia illucens* é uma alternativa viável e eficiente no aproveitamento de biomassa pois, ao consumir esses resíduos sólidos, pode ser utilizada como matéria-prima para a produção de lipídios e proteína. Sua atuação reinsere na cadeia produtiva essa matéria-prima vista muitas vezes sem valor econômico, gerando um co-produto de valor agregado, condizente com os novos pensamentos de uma produção integrada e limpa.

## 6. REFERÊNCIAS

- AIRES, A.M.; LUCAR JÚNIOR, J. PRAES, M.F.M; NASCIMENTO, J.; CARDOSO, P. Quantificação e caracterização de biogás gerado na biodigestão anaeróbia de cama de frangos de corte com ou sem separação de frações sólida e líquida. **III Symposium on Agricultural and Agroindustrial Waste Management**. São Pedro, Brasil. 2013.
- ALBUQUERQUE, MONICA CASTELO GUIMARÃES. Avaliação físico-química dos óleos de babaçu (*Orbignya speciosa*) e coco (*Cocos nucifera*) com elevado índice de acidez e dos ácidos graxos (C6 a C16). **Scientia Plena**, v. 13, n. 8, 2017.
- AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society. 7th ed. Champaign, USA,. A.O.C.S. 2009.
- AMORIM, Ana C.; LUCAS JÚNIOR, Jorge de; RESENDE, Kleber Tomás de. Compostagem e vermicompostagem de dejetos de caprinos: efeito das estações do ano. **Engenharia Agrícola**, p. 57-66, 2005.
- AQUINO, A. M. Integrando Compostagem e Vermicompostagem na Reciclagem de Resíduos Orgânicos Domésticos. **Circular Técnica**, EMBRAPA: Rio de Janeiro, n. 12, 2005
- AREGHEORE, E. M. Chemical evaluation and digestibility of cocoa (*Theobroma cacao*) byproducts fed to goats. **Tropical Animal Health and Production**, v. 34, n. 4, p. 339-348, 2002.
- AXTELL, R. C.; EDWARDS, T. D. *Hermetia illucen* / Control Manure by Larviciding. **Journal of Economic Entomology**, v. 63, n. December, p. 1786–1787, 1970.
- BELSER, Lawrence W. Population ecology of nitrifying bacteria. **Annual reviews in microbiology**, v. 33, n. 1, p. 309-333, 1979.
- BONVEHÍ, J. Serra; BENERÍA, M. Aragay. Composition of dietary fibre in cocoa husk. **Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und-Forschung A**, v. 207, n. 2, p. 105-109, 1998.
- BRASIL - Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de Energia 2030. Brasília: MME/EPE, 2007
- CAPONE, D. G.; KNAPP, A. N. The marine nitrogen cycle. **Microbe-American Society for Microbiology**, v. 3, n. 4, p. 186, 2008.
- CHEPOTE, R. E. Efeito do composto da casca do fruto de cacau no crescimento e produção do cacauzeiro. **Agrotrópica**, v.15, n.1, p.1- 8, 2003.
- CHOI, Y.C., CHOI, J.Y., KIM, J.G., KIM, M.S., KIM, W.T., PARK, K.H., BAE, S.W., JEONG, G.S.: Potential usage of food waste as a natural fertilizer after digestion by *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). **International Journal of Industrial Entomology**, v. 19, n. 1, p. 171-174, 2009.
- CRUZ, C. V., MOURA, C. D., BÔAS, R. L. V., GABIRA, M. M., FERNANDES, D. M., SILVA, M. R. Características físicas e químicas na compostagem do lodo de esgoto

com três tipos de materiais estruturantes. In: **Forum Internacional de Resíduos Sólidos-Anais**. 2017.

DE SOUZA, P. A., MOREIRA, L. F., SARMENTO, D. H., & DA COSTA, F. B. Cacao—Theobroma cacao. In: **Exotic Fruits**. 2018. p. 69-76. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00010-1>

DICLARO, J. W.; KAUFMAN, Phillip E. Black soldier fly *Hermetia illucens* Linnaeus (Insecta: Diptera: Stratiomyidae). **EENY**, v. 461, p. 1-3, 2009.

DIENER, S., GUTIÉRREZ, F. R., ZURBRÜGG, C., TOCKNER, K. Are larvae of the black soldier fly—*hermetia illucens*—a financially viable option for organic waste management in Costa Rica. In: **Proc. 12th int. waste manag. landfill symp.** 2009. p. 5-9.

DIENER, S.; SOLANO, N. M. S.; GUTIÉRREZ, F. R.; ZURBRÜGG, C.; TOCKNER, K. Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae. **Waste and Biomass Valorization**, v. 2, n. 4, p. 357-363, 2011.

DIENER, S; ZURBRÜGG, C; TOCKNER, K. Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. **Waste Management & Research**, v. 27, n. 6, p. 603-610, 2009.

DONKOH, A., ATUAHENE, C. C., WILSON, B. N., ADOMAKO, D. Chemical composition of cocoa pod husk and its effect on growth and food efficiency in broiler chicks. **Animal Feed Science and Technology**, v. 35, n. 1-2, p. 161-169, 1991.

DUBOIS, M., GILLES, K. A., HAMILTON, J. K., REBERS, P. T., & SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical chemistry**, v. 28, n. 3, p. 350-356, 1956.

FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura. Food wastage footprint: Impacts on natural resources. **Summary Report**. FAO:2013. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/018/i3347e/i3347e.pdf>, acessado em 06/04/2018.

FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura. Pérdidas y desperdicios de alimentos en América Latina y el Caribe. **Boletim**. FAO:2013. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i5504s.pdf>, acessado em 06/04/2018.

FARINA, M. Z.; SOARES, T. E.; CHILOMER, S. K.; PEZZIN, A. P. T.; SILVA, D. A. K. Análise da aplicação de resíduos do corte de palmito pupunha (*Bactris gasipaes* H.B.K.) em compósitos de matriz poliéster com diferentes proporções. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**. v.7, n. 2, 2012

FEAM – Fundação Estadual de Meio Ambiente; FIEMG – Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais. Guia técnico ambiental da indústria de laticínios. **Guia Técnico**, Minas Gerais: FEAM; FIEMG, 2015.

FERRARI, Roseli Aparecida; COLUSSI, Francieli; AYUB, Ricardo Antonio. Caracterização de subprodutos da industrialização do maracujá-aproveitamento das sementes. **Revista Brasileira de fruticultura**, v. 26, n. 1, p. 101-102, 2004.

FERREIRA, A. C. R.; AHNERT, D.; NETO, B. A. de M.; MELLO, D. L. N. Guia de beneficiamento de cacau de qualidade. Ficha técnica, 2013

- FERREIRA, A.C.H; NEIVA, J.N.M; RODRIGUEZ, N.M; CAMPOS, W.E; BORGES, I. Avaliação nutricional do subproduto da agroindústria de abacaxi como aditivo de silagem de capim elefante, **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.223-229, 2009.
- FINKE, M. D. Complete nutrient content of four species of feeder insects. **Zoo biology**, v. 32, n. 1, p. 27-36, 2012.
- GALVANI, F.; GAERTNER, E. Adequação da Metodologia Kjeldahl para determinação de Nitrogênio Total e Proteína Bruta. **Circular Técnica**. v. 4, p. 1–10, maio 2006
- GARCIA, D. S.; M. B., NETO, J. L., MENDES, J. G., DE FREITAS XERFAN, F. M., DE VASCONCELLOS, C. A. B., & FRIEDE, R. R. Resíduos Sólidos: Responsabilidade compartilhada. **Semioses**, v. 9, n. 2, p. 77-91, 2016.
- GODECKE, M. V.; ROBERTO HARB NAIME, R. H.; FIGUEIREDO, J. A. S. O consumismo e a geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v 8, n. 8, p. 1700-1712, 2012.
- HALL, D. C.; GERHARDT, R. R. Flies (Diptera). **Medical and Veterinary Entomology**. pp 127-161, 2002.
- HAMZAT, R. A.; ADEOLA, O. Chemical evaluation of co-products of cocoa and kola as livestock feeding stuffs. **Journal of animal science advances**, v. 1, n. 1, p. 61-68, 2011.
- HEIL, J.; VERECKEN, H.; BRÜGGEMANN, N. A review of chemical reactions of nitrification intermediates and their role in nitrogen cycling and nitrogen trace gas formation in soil. **European journal of soil science**, v. 67, n. 1, p. 23-39, 2016.
- HEM, S.; TOURE, S.; SAGBLA, C.; LEGENDRE, M. Bioconversion of palm kernel meal for aquaculture: Experiences from the forest region (Republic of Guinea). **African Journal of Biotechnology**, v. 7, n. 8, p. 1192-1198, 2008.
- HOLMES, L. A.; VANLAERHOVEN, S. L.; TOMBERLIN, J. K. Substrate effects on pupation and adult emergence of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). **Environmental entomology**, v. 42, n. 2, p. 370-374, 2013.
- IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Industriais. **Relatório de Pesquisa**, Brasília: Ipea, 2012.a
- IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Plano Nacional de Resíduos Sólidos: diagnóstico dos resíduos urbanos, agrosilvopastoris e a questão dos catadores. **Comunicados do Ipea**, n. 145, 2012.b
- JANSSEN, R. H., VINCKEN, J. P., VAN DEN BROEK, L. A., FOGLIANO, V., LAKEMON, C. M. Nitrogen-to-Protein Conversion Factors for Three Edible Insects: *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, and *Hermetia illucens*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, n. 11, p. 2275-2278, 2017.
- KIM, W.; BAE, S.; PARK, K.; LEE, S.; CHOI, Y.; HAN, S.; KOH, Y. Biochemical characterization of digestive enzymes in the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 14, n. 1, p. 11-14, 2011.

KROECKEL, S.; HARJES, A. E.; ROTH, I.; KATZ, H., WUERTZ, S., SUSENBETH, A., & SCHULZ, C. When a turbot catches a fly: Evaluation of a pre-pupae meal of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as fish meal substitute Growth performance and chitin degradation in juvenile turbot (*Psetta maxima*). **Aquaculture**, v. 364-365, p. 345-352, 2012.

KRONECK, P. MH; TORRES, M. E. S. (Ed.). **The metal-driven biogeochemistry of gaseous compounds in the environment**. Springer Netherlands, 2014.

LALANDER, C.; DIENER, S.; MAGRI, M. E.; ZURBRUGG, C., LINDSTROM, A., & VINNERAS, B. Faecal sludge management with the larvae of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) - From a hygiene aspect. **The Science of the total environment**, v. 458-460C, p. 312-318, 2013.

LAMPKIN, N. **Organic Farming**. Farming Press, UK, 1992.

LEONG S. Y., KUTTY S. R. M., MALAKAHMAD A., TAN C. K. Feasibility study of biodiesel production using lipids of *Hermetia illucens* larva fed with organic waste. **Waste Management** 47 84–90 2016.

LEONG, S. Y., KUTTY, S. R. M., TAN, C. K., TEY, L. H. Comparative study on the effect of organic waste on lauric acid produced by *Hermetia illucens* larvae via bioconversion. **J Eng Sci Technol**, v. 10, n. Spec. Issue on Advances in Civil and Environmental Engineering ACEE 2015, p. 52-63, 2015.

LI, Q., ZHENG, L., CAI, H., GARZA, E., YU, Z., ZHOU, S. From organic waste to biodiesel: black soldier fly, *Hermetia illucens*, makes it feasible. **Fuel** 90, 1545–1548 2011.

LI, Q., ZHENG, L., QIU, N., CAI, H., TOMBERLIN, J. K., YU, Z. Bioconversion of dairy manure by black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) for biodiesel and sugar production. **Waste Management**, v. 31, n. 6, p. 1316-1320, 2011.

LI, Y., CHAPMAN, S. J., NICOL, G. W., YAO, H. Nitrification and nitrifiers in acidic soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 116, p. 290-301 2018.

LIAO, W., LIU, Y., LIU, C., CHEN, S. Optimizing dilute acid hydrolysis of hemicellulose in a nitrogen-rich cellulosic material—dairy manure. **Bioresource Technology**, v. 94, n. 1, p. 33-41, 2004.

LIMA FILHO, L. R., GOUVEIA, L. G. T., RUZENE, D. S., & SILVA, D. P. Revisão: biodiesel–gases emitidos, produção e sua influência na matriz energética brasileira. **Anais do IX SIMPROD**, 2017.

LUCARINI, A. C., FERREIRA, N. L., NATSUMEDA, A. M., DE AGUIAR, C. B., SOUZA, C. C., & LARELIO, F. PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DO ÓLEO DE PALMISTE. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 3, n. 2, p. 158-173, 2017.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Cadeia Produtiva de Frutas (Coord) Antônio Márcio Buainain; Mário Otávio Batalha. Brasília: IICA, MAPA/SPA, 2007.

- MARTINS, P. C.; PICCININI, G. A.; KRUG, E. E. B.; MARTINS, C. E., LOPES, F. C. F. **Sustentabilidade ambiental, social e econômica da cadeia produtiva do leite** **Desafios e perspectiva**. Brasília: Embrapa Gado de Leite, 2015.
- MATOS, A. D., VIDIGAL, S. M., SEDIYAMA, M. A. N., GARCIA, N. C., RIBEIRO, M. F. Compostagem de alguns resíduos orgânicos, utilizando-se águas residuárias da suinocultura como fonte de nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 2, p. 199-203, 1998.
- MOHD-NOOR, S. N., WONG, C. Y., LIM, J. W., UEMURA, Y., LAM, M. K., RAMLI, A., ... & THAM, L. Optimization of self-fermented period of waste coconut endosperm destined to feed black soldier fly larvae in enhancing the lipid and protein yields. **Renewable Energy**, v. 111, p. 646-654, 2017.
- MORORÓ, RAIMUNDO CAMELO. Aproveitamento dos subprodutos, derivados e resíduos do cacau. III Congresso Brasileiro do Cacau. **Palestra**. Bahia, Brasil, 2012. Disponível em: [http://nbcgib.uesc.br/cicacau/arquivos/producao\\_tecnico\\_cientifica/p7-3.pdf](http://nbcgib.uesc.br/cicacau/arquivos/producao_tecnico_cientifica/p7-3.pdf), acessado em 09/09/2016.
- MYERS, H. M.; TOMBERLIN, J. K.; LAMBERT, B. D.; KATTES, D. . Development of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae fed dairy manure. **Environmental entomology**, v. 37, n. 1, p. 11-5, 2008.
- NEWTON, G. L.; BOORAM, C. V.; BARKER, R. W.; HALE, O. M. Dried *Hermetia Illucens* Larvae Meal as a Supplement for Swine. **Journal of Animal Science**, p. 395–400, 1977
- NEWTON, G. L.; SHEPPARD, D. C.; WATSON, D. W.; BURTLE, G. J., DOVE, C. R., TOMBERLIN, J. K., & THELEN, E. E.. The Black Soldier Fly, *Hermetia Illucens*, as a Manure Management / Resource Recovery Tool. In: **SYMPOSIUM ON THE STATE OF THE SCIENCE OF ANIMAL MANURE AND WASTE MANAGEMENT**, 2005.
- NOGUEIRA, A. R. A.; SOUZA, G. B. **Manual de Laboratórios: Solo, Água, Nutrição Vegetal, Nutrição Animal e Alimentos**. São Carlos:2005.
- PAZ, A. S. P., CARREJO, N. S., RODRIGUEZ C. H. G.: Effects of Larval Density and Feeding Rates on the Bioconversion of Vegetable Waste Using Black Soldier Fly Larvae *Hermetia illucens* (L.), (Diptera: Stratiomyidae). **Waste Biomass Valor**, n 6:1059–1065, 2015.
- PEREIRA, Marlene Gomes. **Caracterização do óleo de sementes de maracujá doce (*Passiflora alata* Curtis) e de maracujá azedo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) obtido por diferentes métodos de extração**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- PIKE, OSCAR A.; O'KEEFE, SEAN. Fat characterization. In: **Food analysis**. Springer, Cham, 2017. p. 407-429.
- PINHEIRO, I. R.; SILVA, R. O. Reaproveitamento dos Resíduos Sólidos da Indústria Cacaueira. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 4, n. 1, p. 95-99, 2017
- POPA, R.; GREEN, T. R. Using Black Soldier Fly Larvae for Processing Organic Leachates. **JOURNAL OF ECONOMIC ENTOMOLOGY**, v. 105, n. 2, p. 374-378, 2012.

- RAKHMANI, SUSANA IW; PURWADARIA, T. Improvement of nutritional value of cocoa pod husk fermented with *Aspergillus* Spp. and two levels of urea and ammonium sulphate. **Indonesian Journal of Animal and Veterinary Sciences**, v. 22, n. 3, p. 101-113, 2018.
- REDONDO-CUEVAS, L., CASTELLANO, G., TORRENS, F., & RAIKOS, V. Revealing the relationship between vegetable oil composition and oxidative stability: A multifactorial approach. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 66, p. 221-229, 2018.
- REHMAN, K., REHMAN, A., CAI, M., ZHENG, L., XIAO, X., SOMROO, A. A., WANG, H., LI, W., Y, Z., ZHANG, J. Conversion of mixtures of dairy manure and soybean curd residue by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.). **Journal of Cleaner Production**, v. 154, p. 366-373, 2017.
- RENNA, M.; SCHIAVONE, A.; GAI, F.; DABBOU, S.; LUSSIANA, C.; MALFATTO, V.; PREARO, M.; CAPUCCHIO M. T.; BIASATO I.; BIASIBETTI E.; DE MARCO M.; BRUGIAPAGLIA A.; ZOCCARATO I.; GASCO L. Evaluation of the suitability of a partially defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) diets. **Journal of animal science and biotechnology**, v. 8, n. 1, p. 57, 2017.
- ROSA, M. F.; SOUZA FILHO, M S. M.; FIGUEIREDO, M. C. B.; MORAIS, J. P. S.; SANTAELLA, S.T., LEITÃO, R.C. Valorização de resíduos da agroindústria. **II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais – II SIGERA**, v. 1, Paraná, Brasil, 2011.
- SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A., ROIG, A., PAREDES, C., & BERNAL, M. P. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. **Bioresource technology**, v. 78, n. 3, p. 301-308, 2001.
- SCHIAVONE, A.; DE MARCO M.; MARTINEZ, S.; DABBOU, S.; RENNA, M.; MADRID, J.; HERNANDEZ, F.; ROTOLO, L.; COSTA, P.; GAI, F.; GASCO, L. Nutritional value of a partially defatted and a highly defatted black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) meal for broiler chickens: apparent nutrient digestibility, apparent metabolizable energy and apparent ileal amino acid digestibility. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 8, n. 1, p. 51, 2017.
- SCHREMMER, F. Die Polymetabole Larval-Entwicklung der Waffenfliiegenart *Hermetia illucens* - The polymetabol development of the soldier fly larva *Hermetia illucens*. **Annalen des Naturhistorischen Museums Wien**, v. 88/89, n. B, p. 405-429, 1986.
- SILVA NETO, R. M. da. **Inspeção em indústria de beneficiamento da castanha de caju visando a implantação das boas práticas de fabricação**. 2000. 128 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- SPRANGHERS, T., MICHIELS, J., VRANCX, J., OVYN, A., EECKHOUT, M., DE CLERCQ, P., & DE SMET, S. Gut antimicrobial effects and nutritional value of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) prepupae for weaned piglets. **Animal Feed Science and Technology**, v. 235, p. 33-42, 2018.

SPRANGHERS, T., OTTOBONI, M., KLOOTWIJK, C., OVYN, A., DEBOOSERE, S., DE MEULENAER, B., ... & DE SMET, S. Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 8, p. 2594-2600, 2017.

STAMER, A.; WESSELS, S.; NEIDIGK, R.; HOERSTGEN-SCHWARK, G. Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) larvae-meal as an example for a new feed ingredients' class in aquaculture diets. **4th ISOFAR Scientific Conference**, ID 24223, 2014.

STARK, J. M.; FIRESTONE, M. K. Mechanisms for soil moisture effects on activity of nitrifying bacteria. **Applied and environmental microbiology**, v. 61, n. 1, p. 218-221, 1995.

SURENDRA, K. C., OLIVIER, R., TOMBERLIN, J. K., JHA, R., & KHANAL, S. K. Bioconversion of organic wastes into biodiesel and animal feed via insect farming. **Renewable Energy**, v. 98, p. 197-202, 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. **Porto Alegre, Artmed, 6ª edição**, 2017.

TOMBERLIN, J. K.; SHEPPARD, D. C. ; JOYCE, J. A. Selected Life-History Traits of Black Soldier Flies (Diptera: Stratiomyidae) Reared on Three Artificial Diets. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 95, n. 3, p. 379-386, 2002.

TOMBERLIN, JEFFERY K.; SHEPPARD, D. CRAIG; JOYCE, JOHN A. Selected life-history traits of black soldier flies (Diptera: Stratiomyidae) reared on three artificial diets. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 95, n. 3, p. 379-386, 2002.

TOMBERLIN, Jeffrey Keith. **Biological, behavioral, and toxicological studies on the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae)**. 2001. Doctoral dissertation. University of Georgia, USA.

USHAKOVA, N. A., BRODSKII, E. S., KOVALENKO, A. A., BASTRAKOV, A. I., KOZLOVA, A. A., PAVLOV, D. S. Characteristics of lipid fractions of larvae of the black soldier fly *Hermetia illucens*. In: **Doklady Biochemistry and Biophysics**. Pleiades Publishing, 2016. p. 209-212.

VALENTE, B. S.; XAVIER, E. G.; MORSELLI, T. B. G. A.; JAHNKE, D.S.; BRUM JR, B. S.; CABRERA, B. R.; MORAES, P. O.; LOPES, D. C. N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de Zootecnia**, v. 58, n. 1, p. 59-85, 2009.

WANG, C., QIAN, L., WANG, W., WANG, T., DENG, Z., YANG, F., FENG, W. Exploring the potential of lipids from black soldier fly: New paradigm for biodiesel production (I). **Renewable Energy**, v. 111, p. 749-756, 2017.

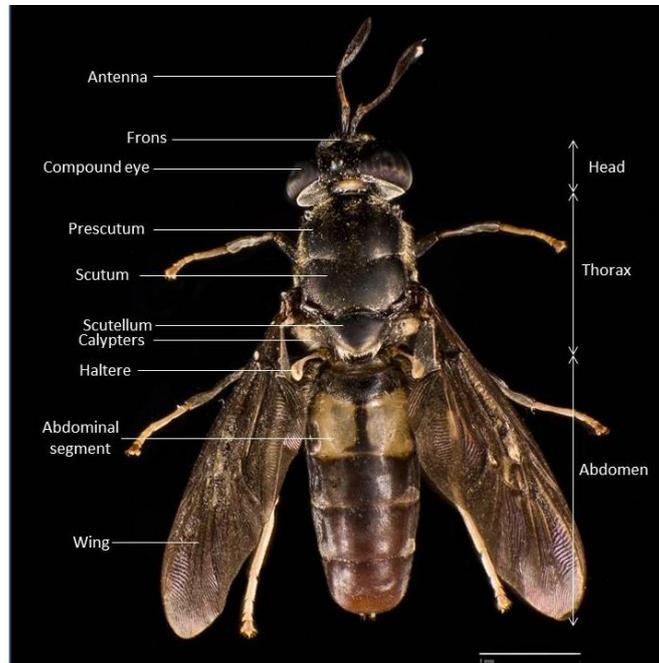
YADAV, Anoop; GARG, V. K. Vermicomposting—An effective tool for the management of invasive weed *Parthenium hysterophorus*. **Bioresource technology**, v. 102, n. 10, p. 5891-5895, 2011.

ZHANG, J.; HUANG L.; HE, J.; TOMBERLIN, J. K.; LI, J.; LEI, C.; SUN, M.; LIU, Z.; YU, Z. An artificial light source influences mating and oviposition of black soldier flies, *Hermetia illucens*. **Journal of Insect Science**, v. 10, n. 1, p. 202, 2010.

ZHENG, L.; CRIPPEN, T. L.; SINGH, B.; TARONE, A. M.; DOWD, S.; YU, Z.; WOOD, T. K.; TOMBERLIN, J. K. A survey of bacterial diversity from successive life stages of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) by using 16S rDNA pyrosequencing. **Journal of medical entomology**, v. 50, n. 3, p. 647-658, 2013.

ZUCCONI, F., BERTOLDI M. Composts specifications for the production and characterization of composts from municipal solid waste. **Elsevier Applied Science**, p. 30-50, 1987.

## ANEXO



Anexo 1- Visão dorsal. Anatomia geral de *Hermetia illucens* adulta.

*Créditos: Jonathan Tan*

*Fonte: <https://taxo4254.wikispaces.com/Hermetia+Illucens>*