

Devoradores de Lixo: Aspectos biológicos, produtivos e nutricionais da Mosca Soldado Negra *Hermetia illucens* (L., 1758) (Diptera; Stratiomyidae) em resíduos orgânicos em Manaus, AM.



Universidade Federal do Amazonas - UFAM  
Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais e Sustentabilidade na Amazônia – PPGCASA

Mestrando: Nelson Poli Teixeira Filho  
Orientador: Prof. Dr. Neliton Marques da Silva  
Coorientador: Prof. Dr. Carlos Gustavo Nunes

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e  
Sustentabilidade na Amazônia PPG/CASA  
Mestrado Acadêmico

NELSON POLI TEIXEIRA FILHO

DEVORADORES DE LIXO: ASPECTOS BIOLÓGICOS, PRODUTIVOS E  
NUTRICIONAIS DA MOSCA SOLDADO *HERMETIA ILLUCENS* (L., 1758)  
(DÍPTERA; STRATIOMYIDAE) EM RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS EM  
MANAUS, AM.

Projeto de pesquisa apresentado no  
Programa de Pós Graduação em  
Ciências Ambientais e  
Sustentabilidade na Amazônia –  
PPGCASA como parte dos requisitos  
para obtenção do título de Mestre em  
Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Neliton Marques da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Gustavo Nunes da Silva

MANAUS

2018

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

P766d      Poli, Nelson Teixeira  
Devoradores de lixo: : Aspectos biológicos, produtivos e  
nutricionais da Mosca Soldado Negra, *Hermetia illucens* (L., 1758)  
(Diptera; Stratiomyidae) em resíduos orgânicos em Manaus, AM. /  
Nelson Teixeira Poli. 2018  
77 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Neliton Marques da Silva  
Coorientador: Carlos Gustavo Nunes da Silva  
Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade  
Federal do Amazonas.

1. Resíduo. 2. Mosca Soldado Negra. 3. Taxas de produtividade.  
4. Proteína. 5. Reciclagem. I. Silva, Neliton Marques da II.  
Universidade Federal do Amazonas III. Título

*Este trabalho é dedicado à humanidade. Que cada um de nós possa enxergar que nas mais diversas áreas existem opções tecnológicas diferentes e inovadoras que podem mudar o “status quo” e trazer benefícios sociais, ambientais e econômicas, proporcionando mais sustentabilidade para a vida planetária. Que os humanos no poder público e privado possam buscar essas inovações e aplicá-las na prática sem nunca se esquecerem de que acima de tudo são avós, pais, irmãos, filhos e que têm a responsabilidade e o dever de prezar pelo bem estar da atual e das futuras gerações.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me dado a vida, saúde, sabedoria, diligência, e ter colocado pessoas em minha vida que me motivaram buscar este caminho e ter me dado oportunidade de cursar o mestrado em uma instituição reconhecida.

Agradeço aos meus queridos pais por sempre terem me apoiado como puderam e terem se esforçado tanto para me dar uma boa educação que me proporcionou chegar até aqui.

Obrigado, Aninha. Esposa amada e querida que durante o mestrado me deu o Pedro, filho abençoado! Agradeço a vocês dois por todo apoio nesta difícil etapa. Pela paciência e compreensão quando não pude estar tão presente quanto gostaríamos...

Karolyne, durante a fase final do mestrado você entrou de maneira avassaladora em nossas vidas. Obrigado a você e à Maria Júlia, que com tanta empolgação com a ciência me fizeram ver de perto o quanto a educação pode fazer a diferença em nossas vidas. Sigam sempre em frente!

Ao meu orientador e meu coorientador, Prof. Neliton e Prof. Gustavo, agradeço a disponibilidade e a empolgação com a qual sempre olharam nosso projeto. Isto me deu energia para seguir e fazer o melhor.

Às nossas estagiárias Carla, Jéssica, Fernanda e Jamiele que trabalharam duro no projeto e que junto comigo, alimentaram nossas larvas com muito suor, revirando lixo orgânico, enfrentando nosso calor amazônico que muitas vezes chegou a 44°C em nosso viveiro, contando e pesando ovos microscópicos, servindo de babá de nossos berçários e voyeur em nossa área de reprodução. Sou muito grato a vocês!

Aos amigos que foram parceiros, acreditam na ideia e me incentiva, meu muito obrigado! Vocês foram muito importantes, Camila, Marcus, Guilherme, Helena, Júlio, João, Lígia, Jaqueline e Rosemary.

Graças à FAPEAM, o projeto pôde tomar uma escala um pouco maior já que obteve apoio quando aprovado pelo Programa Sinapse de Inovação, que possibilitou uma melhoria em nossa estrutura para ampliar os estudos.

*Aqui estão os loucos. Os desajustados. Os rebeldes. Os criadores de caso. Os pinos redondos nos buracos quadrados. Aqueles que veem as coisas de forma diferente. Eles não curtem regras. E não respeitam o “status quo”. Você pode citá-los, discordar deles, glorificá-los ou caluniá-los. Mas a única coisa que você não pode fazer é ignorá-los. Porque eles mudam as coisas. Empurram a raça humana para frente. E, enquanto alguns os veem como loucos, nós os vemos como geniais. Porque as pessoas loucas o bastante para acreditar que podem mudar o mundo, são as que o mudam. (KEROUAC, 2004)*

## RESUMO

Entre os problemas que o crescimento da população mundial explosiva traz ao meio ambiente, este trabalho propõe uma possível solução para mitigar dois deles: descarte de resíduos sólidos orgânicos e pressão sobre o fornecimento atual de proteína alimentar. Esta solução baseia-se na produção em massa de larvas de *Hermetia illucens* (L., 1758) (Diptera: Stratiomyidae), também conhecida como mosca soldado negra, para degradar resíduos sólidos orgânicos e também como fonte alternativa de proteína animal. A otimização desta solução reside na compreensão da biologia do inseto para descobrir a relação da qualidade e quantidades ideais de matéria orgânica para garantir sua degradação e aumentar o crescimento das larvas. Finalmente, conhecer a qualidade da proteína larval é fundamental para encontrar seu mercado consumidor.

Para entender essas questões, foram realizadas experiências e análises quantitativas. Os resíduos sólidos orgânicos utilizados como alimento para as larvas mostraram na sua composição centesimal 66% de umidade, 63,8% de carboidratos, 13,8% de proteína bruta e 18,1% de gordura. Para a produção em massa de larvas de *Hermetia illucens*, o estudo procurou entender seu ciclo de vida no bioma amazônico em comparação com a literatura existente. Em relação à biologia das larvas, foi possível observar uma taxa de oviposição em torno de 1002 ovos / fêmea. O tempo de acasalamento leva cerca de 15 minutos. Observou-se um ciclo de cerca de 36 dias desde a oviposição até a idade adulta. Os ovos eclodiram em uma média de 74,75 horas. O tempo de desenvolvimento da larva do ovo para a fase pré-pupae levou cerca de 21 dias e o tempo de pupação 17,5 dias. 74,48% dos ovos atingem o estágio adulto com uma proporção sexual de 3 machos para 1 fêmea. No que diz respeito ao fornecimento da quantidade ótima de alimentos, concluiu-se que, para cada 100 mg de ovos de *Hermetia illucens*, o suprimento de 2000g de resíduo de restaurante em 2 frações de 1000 g com intervalo de alimentação de 5 dias atingiu o melhor potencial de redução de matéria orgânica. Observou-se uma redução de peso de resíduos sólidos orgânicos de 83,75% com uma taxa de conversão de resíduos sólidos em biomassa proteica de 23,2%.

A pré-pupa como matéria-prima para a produção de proteínas animais apresentou 40% de proteína bruta e 32,6% de gordura, enquanto a farinha de pré-pupa desengordurada apresentou níveis em torno de 58,3% de proteína bruta e 6,6% de gordura. O aminograma da farinha de pré-pupa mostrou níveis de aminoácidos essenciais acima das fontes de proteína tradicionalmente utilizadas, como farinha de carne e osso, farinha de vísceras de aves e farelo de soja. A análise dos ácidos gordurosos obtidos a partir da larva trouxe altos níveis de ácido láurico e palmítico, corroborando com a literatura.

Este trabalho forneceu uma boa indicação de que a produção em massa da mosca soldado negra para a degradação de resíduos orgânicos e posterior utilização como proteína animal é uma excelente alternativa sustentável aos problemas relacionados aos resíduos orgânicos sólidos e fontes alternativas de proteína.

Palavras-chave: Resíduo. Mosca Soldado Negra. Taxas de Produtividade. Proteína. Reciclagem.

## ABSTRACT

Among the problems explosive world population growth brings to the environment, this work proposes one possible solution to mitigate two problems: disposal of organic solid waste, and the pressure on the current supply of food protein. This solution is based on mass production of *Hermetia Illucens* larvae (L., 1758) (Diptera: Stratiomyidae), also known as black soldier fly, to degrade organic solid waste, and also serve as an alternative source of animal protein. The optimization of this solution lies on understanding the biology of the insect to find out the relation of the quality and optimal amounts of organic matter to ensure its degradation, and enhance the larvae growth. Finally, knowing the quality of the larvae protein is fundamental to finding its consumer market.

To understand these questions, quantitative experiments and analyzes were made. The organic solid residues used as food for the larvae showed in their centesimal composition 66% of humidity, 63,8% of carbohydrates, 13,8% of crude protein and 18,1% of fat. For the mass production of *Hermetia Illucens* larvae, the study sought to understand its life cycle in the Amazonian biome in comparison to the existing literature. In relation to the larvae biology, it was possible to observe an oviposition rate around 1002 eggs/female. The mating time takes about 15 minutes. It was observed a cycle of about 36 days from oviposition to adulthood. The eggs hatched on average at 74,75 hours. The development time of the larva from egg to the pre-pupae phase took around 21 days and pupation time 17,5 days. 74,48% of the egg reach the adult stage with a sex ratio of 3 males by 1 female. Regarding the supply of the optimum quantity of food to be supplied, it was concluded that for each 100 mg of *Hermetia Illucens* eggs, the supply of 2000g of restaurant waste in 2 fractions of 1000g with a 5-day feeding interval reached the best potential of dry. It was observed a organic solid waste weight reduction of 83,75% with a conversion rate of solid residue in proteic biomass of 23,2%.

The pre-pupal as raw material for the production of animal protein showed 40% of crude protein and 32,6% of fat, while the flour of defatted pre-pupal showed levels around 58, 3% crude protein and 6.6% fat. The pre-pupal meal aminogram showed levels of essential amino acids above traditionally used protein sources, such as meat-and-bone meal, poultry viscera meal and soybean meal. The analysis of the fatty acids obtained from the larva brought high levels of lauric and palmitic acid, corroborating with the literature.

This work has provided a good indication that the mass production of black soldier fly for degradation of organic waste and subsequent use as an animal protein is an excellent sustainable alternative to problems related to organic solid waste and alternative sources of protein.

Keywords: Waste. Black Soldier Fly. Productivity Rates. Protein. Recycling

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Comparação de redução de matéria orgânica por larvas de mosca soldado negra .....	38
<b>Tabela 2</b> - Comparação de taxas de conversão .....	39
<b>Tabela 3</b> – Duração dos estágios de ovo e período de pupação. Viabilidade total (ovo a emergência do adulto) de <i>Hermetia illucens</i> criada em resíduos do restaurante universitário da UFAM. Temperatura: $28,03 \pm 1,19^{\circ}\text{C}$ ; UR: $72,64 \pm 6,88\%$ ; fotofase: 12h. ....	53
<b>Tabela 4</b> – Quantidade de ovos por postura, peso de ovos e pré-pupas e tempo de acasalamento de <i>Hermetia illucens</i> criada em resíduos do restaurante universitário da UFAM. Temperatura: $28,03 \pm 1,19^{\circ}\text{C}$ ; UR: $72,64 \pm 6,88\%$ ; fotofase: 12h. ....	53
<b>Tabela 5</b> – Percentual médio de pupação em 17 dias da <i>Hermetia illucens</i> em diferentes densidades populacionais. Temperatura: $28,03 \pm 1,19^{\circ}\text{C}$ ; UR: $72,64 \pm 6,88\%$ ; fotofase: 12h. ....	55
<b>Tabela 6</b> – Análise de composição centesimal (média $\pm$ DP) do resíduo de restaurante universitário da UFAM. ....	57
<b>Tabela 7</b> – Percentuais (média $\pm$ DP) de taxa de redução de alimentos e de conversão de alimentos em biomassa larval do Experimento A. Temperatura: $28,12 \pm 1,05^{\circ}\text{C}$ ; UR: $72,72 \pm 5,70\%$ ; fotofase: 12h. ....	59
<b>Tabela 8</b> – Percentuais (média $\pm$ DP) de taxa de redução de alimentos e de conversão de alimentos em biomassa larval do Experimento B. Temperatura: $28,41 \pm 1,31^{\circ}\text{C}$ ; UR: $74,33 \pm 6,69\%$ ; fotofase: 12h. ....	61
<b>Tabela 9</b> - Percentuais (média $\pm$ DP) das análises centesimais da pré-pupa de MSN e da farinha de pré-pupa de MSN desengordurada .....	63
<b>Tabela 10</b> - Exigência de aminoácidos essenciais pelo tambaqui e comparativo do teor proteico e composição de aminoácidos essenciais da farinha de pré-pupa em relação a ingredientes proteicos de origem animal e vegetal utilizados em rações para aquicultura, incluindo os déficits em relação ao exigido pelo tambaqui. ....	66

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Cadeia produtiva de indústria de insetos .....	16
Figura 2 - Ovos e larvas de MSN em 20 dias de desenvolvimento .....	33
Figura 3 - Aspecto geral da larva de MSN.....	33
Figura 4 - Exemplar de adultos da MSN – (M) macho e (F) fêmea .....	34
Figura 5 - Viveiro adaptado p/ criação de <i>Hermetia illucens</i> em casa de vegetação	43
Figura 6 - Área de reprodução e oviposição de <i>Hermetia illucens</i> .....	44
Figura 7 - Célula de degradação de resíduos orgânicos e engorda de imaturos de <i>Hermetia illucens</i> .....	44
Figura 8 – Sítio de oviposição para <i>Hermetia illucens</i> .....	45
Figura 9 – Massa de ovos de <i>H. illucens</i> sobre ripa de madeira .....	46
Figura 10 – Berçário de <i>H. illucens</i> .....	46
Figura 11 - Ovos de <i>H. Illucens</i> coletados.....	46
Figura 12 - Bandejas de degradação de resíduo e engorda .....	48
Figura 13 – Moagem de pré-pupas secas de <i>Hermetia illucens</i> .....	50
Figura 14 – Dissolução do óleo da pré-pupa de <i>Hermetia illucens</i> em hexano.....	50
Figura 15 - Rotoevaporação do hexano diluído no óleo de <i>Hermetia illucens</i> .....	50
Figura 16 - Moagem de pré-pupas secas de <i>Hermetia illucens</i> .....	50
Figura 18 - Comparação visual do desenvolvimento das larvas entre os três tratamentos do Experimento B .....	61

## LISTA DE QUADROS E GRÁFICOS

Quadro 1 - Classificação de resíduos sólidos quanto à origem .....	22
Quadro 2 - Classificação de resíduos sólidos quanto à periculosidade .....	22
Quadro 3 - Experimento B: Quantidade e periodicidade de alimentação .....	47
Gráfico 1 - Crescimento populacional e sua projeção .....	12
Gráfico 2 - Eficiência da produção de carne convencional e grilos .....	14
Gráfico 3 - Produção de gases de efeito estufa (potenciais para o aquecimento global), uso de energia e terra devido à produção de 1 kg de proteína de tenébrio, leite, porcos, frango e boi .....	15
Gráfico 4 - Destinação de resíduo sólidos urbanos no Amazonas (t/dia) .....	25
Gráfico 5 - Volume de RSU e seus destinos no Brasil em 2016 .....	26
Gráfico 6– Curva de correlação entre a densidade populacional de pré-pupas e o % de emergência de adultos em 17 dias.....	56
Gráfico 7– Determinação do nível ótimo de volume de alimentação considerando maior TRA e TC para os 3 tratamentos do experimento A.....	59
Gráfico 8 - Comparação de percentuais de ácidos graxos no óleo da MSN .....	67

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>19</b>
2.1 CONTEXTO DA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	19
2.2 A MOSCA SOLDADO NEGRA (MSN).....	29
2.2.1 HISTÓRICO CIENTÍFICO .....	29
2.2.2 BIOLOGIA E COMPORTAMENTO.....	32
2.2.3 DESENVOLVIMENTO EM DIFERENTES RESÍDUOS ORGÂNICOS.....	35
2.2.4 FARINHA DA LARVA DE MSN COMO INGREDIENTE DE RAÇÃO ANIMAL.....	39
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>41</b>
3.1 ANÁLISE DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS.....	42
3.2 BIOLOGIA E ECOLOGIA.....	42
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>52</b>
4.1 ASPECTOS BIOLÓGICOS DE <i>Hermetia illucens</i> .....	52
4.2 ANÁLISE QUALIQUANTITATIVA DO RESÍDUO SÓLIDO ORGÂNICO UTILIZADO.....	56
4.3 ANÁLISE QUALIQUANTITATIVA DAS TAXAS DE REDUÇÃO DE ALIMENTOS (TRA) E DA CONVERSÃO DE ALIMENTO EM BIOMASSA DE PRÉ-PUPA (TC) .....	58
4.4 QUANTIDADE E QUALIDADE DA PROTEÍNA E GORDURA PRESENTES NA MSN.....	62
<b>5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>68</b>
<b>6. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>72</b>

## 1. INTRODUÇÃO

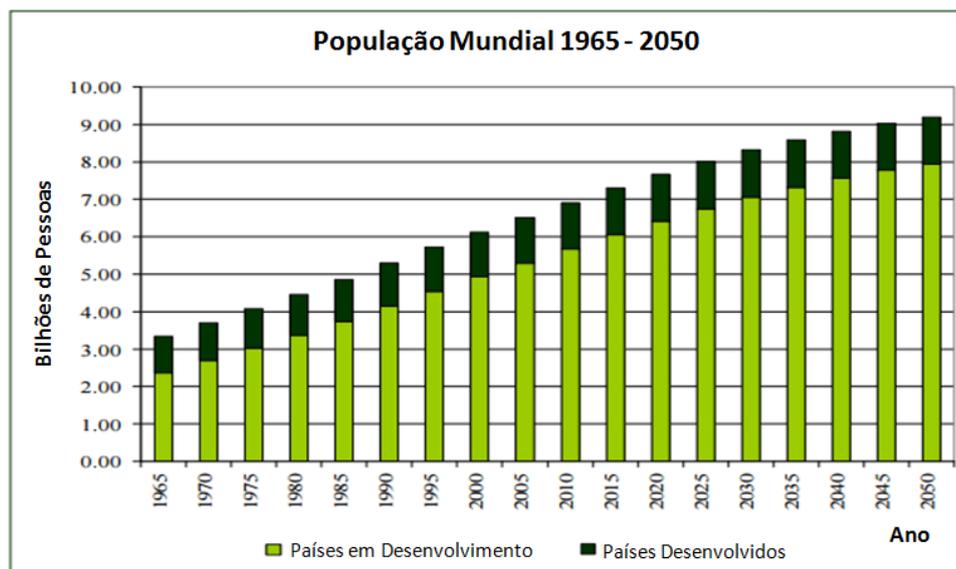
Atualmente a humanidade enfrenta uma crescente demanda por proteína animal, efeitos colaterais negativos da produção de carne convencional, e um crescente problema da eliminação dos resíduos (FAO, 2013). Sachs (2009) argumenta que uma vez que a agricultura é uma das principais causas antropogênicas das alterações climáticas, o mundo precisa desenvolver novas tecnologias agrícolas e novos padrões de consumo, e que, portanto, alimentar populações futuras exigirá o desenvolvimento de fontes alternativas de proteína.

A explosão demográfica que o mundo sofreu após a segunda guerra e os impactos trazidos por esta população crescente em consumo trouxe consigo problemas e externalidades crônicas que podem levar a uma crise ambiental e alimentar influenciadas pelos impactos das mudanças climáticas nas culturas agrícolas, insustentabilidade de modelos de produções agropecuárias, diminuição de terras agricultáveis, e a sobrepesca nos rios e oceanos. Tais questões podem gerar profundas implicações na produção de alimentos. Se faz necessário reavaliar como a humanidade faz suas escolhas em termos alimentares e como produz seus alimentos. Revisão de conceitos e novas tecnologias serão necessárias para enfrentar os desafios que estão por vir. Da mesma maneira, é importante reduzir as ineficiências e o desperdício alimentar, a fim de buscar novas maneiras de aumentar a produção de alimentos. Alternativas tecnológicas como melhoramento genético; transgenia; e fontes alternativas de proteína, como culturas de carne, algas e insetos são caminhos possíveis para mitigar os impactos resultantes do crescimento demográfico.

A pecuária responde por cerca de 70% do uso de toda a terra agricultável. Entre 2000 e 2050 é esperado que a demanda global por esses produtos mais que dobre de 229 milhões de toneladas para 465 milhões de toneladas, o que irá requerer soluções inovadoras. Similarmente, a produção e consumo de peixes tem crescido dramaticamente nos últimos 50 anos. Como consequência, o setor da aquicultura tem crescido e agora é responsável por quase 50% da produção mundial de peixes. O crescimento sustentável deste setor vai depender em grande parte de fontes de proteínas para a alimentação. A oportunidade para os insetos ajudarem a atender e substituir as crescentes demandas de farelo de soja, farinha de peixe e óleo de peixe é enorme. (FAO, 2013)

Em seu relatório “Insetos comestíveis”, FAO (2013) prevê que até 2050 a população mundial deve chegar a 9 bilhões de pessoas (Gráfico 1). Para atender toda esta população, a produção alimentar deverá ser quase dobrada. Embora esta questão já esteja superada, vale lembrar que Malthus (1798) previu um grande problema de segurança alimentar, comparando o crescimento da população em progressão geométrica, enquanto que a produção de alimentos cresceria em progressão aritmética, o que, inevitavelmente, traria para a humanidade cenários trágicos de escassez de alimentos. Sua teoria se mostrou falha, uma vez que não considerou uma variável indispensável. A tecnologia. Esta permitiu que a produção alimentar se multiplicasse significativamente, suficiente para alimentar mais do que a população mundial. A variável não considerada por Malthus salvou a humanidade de suas trágicas previsões. Esta mesma variável segue evoluindo, assim como o número de pessoas no Mundo segue aumentando. Daí, a importância de haver constantes inovações tecnológicas na produção de alimentos para que a segurança alimentar não fique comprometida frente ao crescimento populacional.

**Gráfico 1 - Crescimento populacional mundial e sua projeção**



Fonte: Adaptado de (FAO, 2009)

Devido ao aumento da população mundial e à melhoria econômica gradual dos países em desenvolvimento, estimativas apontam que a produção de proteínas terá

que aumentar em 70% para ser capaz de alimentar a população humana em 2050. (IFIF, 2012/13).

Olhando para o futuro, a demanda por produtos animais continuará a se intensificar ao longo das décadas vindouras. As estimativas mostram que entre 2010 a 2050 é esperado para a produção de proteína animal um crescimento de cerca de 1,7% ao ano, com a produção de carne aumentando em cerca de 58%, a aquicultura em 90% e produtos lácteos em 55%(...) temos que estar abertos para a inovação e tecnologia, que será a base de produzir mais e melhores alimentos nos próximos 40 anos. (IFIF, 2012/13) p. 5

Como a demanda por carne aumentará, o mesmo acontecerá com a necessidade de grãos e alimentos proteicos, já que muito mais proteína vegetal será necessária para alimentar os animais e gerar uma quantidade equivalente de proteína animal. O aumento da produção de alimentos, com o conseqüente incremento na geração de resíduos e pressão sobre os recursos naturais, pode alimentar um ciclo vicioso e trazer sérios impactos ao ambiente e à vida do homem.

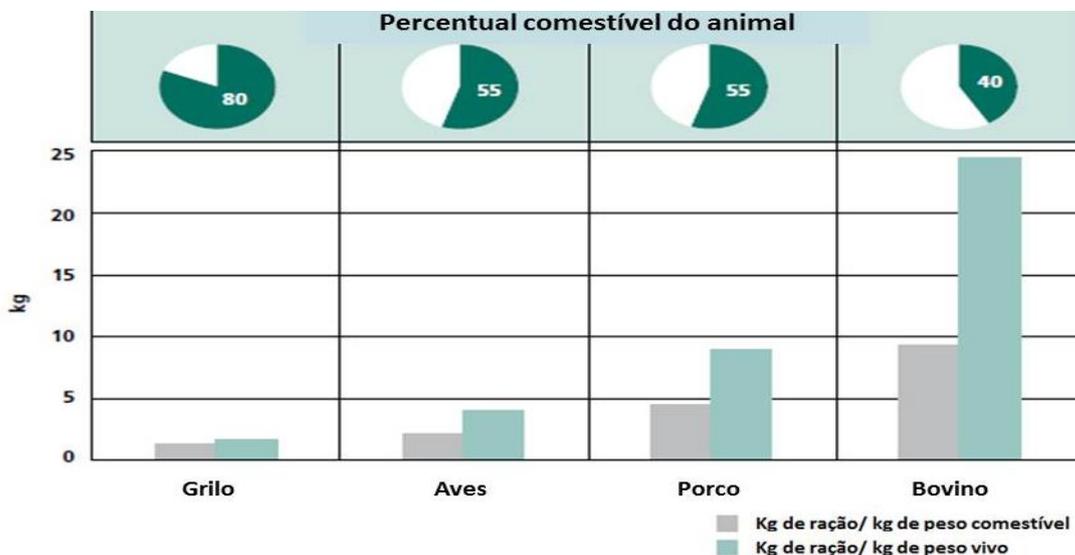
No Brasil, a geração de resíduos sólidos tem aumentado significativamente e de maneira preocupante (ABRELPE, 2013). De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, os administradores públicos municipais são os responsáveis legais pela gestão dos resíduos sólidos nos municípios brasileiros. Ao considerar que nem todos os municípios conseguiram se adequar à legislação e que no Amazonas são gastos cerca de R\$ 27 milhões por mês na gestão dos resíduos sólidos (valor que tende a aumentar com a migração de lixões para aterros sanitários) (AMAZONAS, 2015), é interessante pensar no uso alternativo de resíduos orgânicos, já que representam uma fração significativa dos resíduos sólidos. Estes poderiam passar por processos de degradação e serem aplicados na produção orgânica de alimentos, trazendo a diminuição da proliferação de insetos e roedores, seus patógenos, além de aliviar a pressão sobre os aterros sanitários e tratamento de chorume. Isto evitaria custos aos municípios e ampliaria a capacidade de vida útil desses aterros.

A produção de insetos a partir da degradação dos resíduos sólidos orgânicos pode ajudar a solucionar a questão dos resíduos sólidos orgânicos, além de desempenhar um papel importante como uma alternativas proteica. Estes animais quebram a matéria orgânica em conjunto com outros organismos decompositores,

contribuindo para a ciclagem de nutrientes. Assim, os minerais e nutrientes de organismos mortos se tornam novamente disponíveis no solo para a nutrição das plantas. Nutritivos e saudáveis, há milênios são consumidos por populações, principalmente no oriente. Segundo a FAO (2013), atualmente, mais de 2 bilhões de pessoas consomem insetos e há grande potencial de expansão para o ocidente, principalmente como fonte proteica alternativa para a alimentação animal.

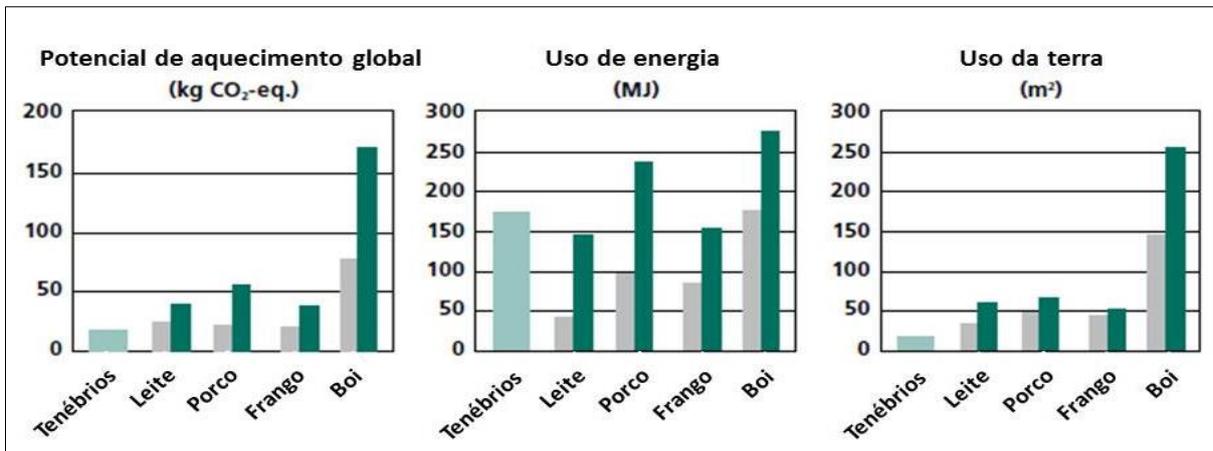
Por se tratarem de animais de sangue frio (poiquilotérmicos), estudos mostram que os insetos possuem elevada eficiência na conversão de matéria orgânica em massa corporal (Gráfico 2), fazendo com que tenham altas taxas de produtividade, podendo ser produzidos em um espaço mínimo, com utilização de pouca energia e pouca geração de gases de efeito estufa (Gráfico 3). Além disso, representam baixo risco de transmissão de infecções por zoonoses, já que insetos são taxonomicamente muito mais distante de seres humanos do que o gado convencional. (FAO, 2013)

**Gráfico 2 - Eficiência da produção de carne convencional e grilos**



Fonte: Adaptado de (FAO, 2013)

**Gráfico 3** - Produção de gases de efeito estufa (potenciais para o aquecimento global), uso de energia e terra devido à produção de 1 kg de proteína de tenébrio, leite, porcos, frango e boi



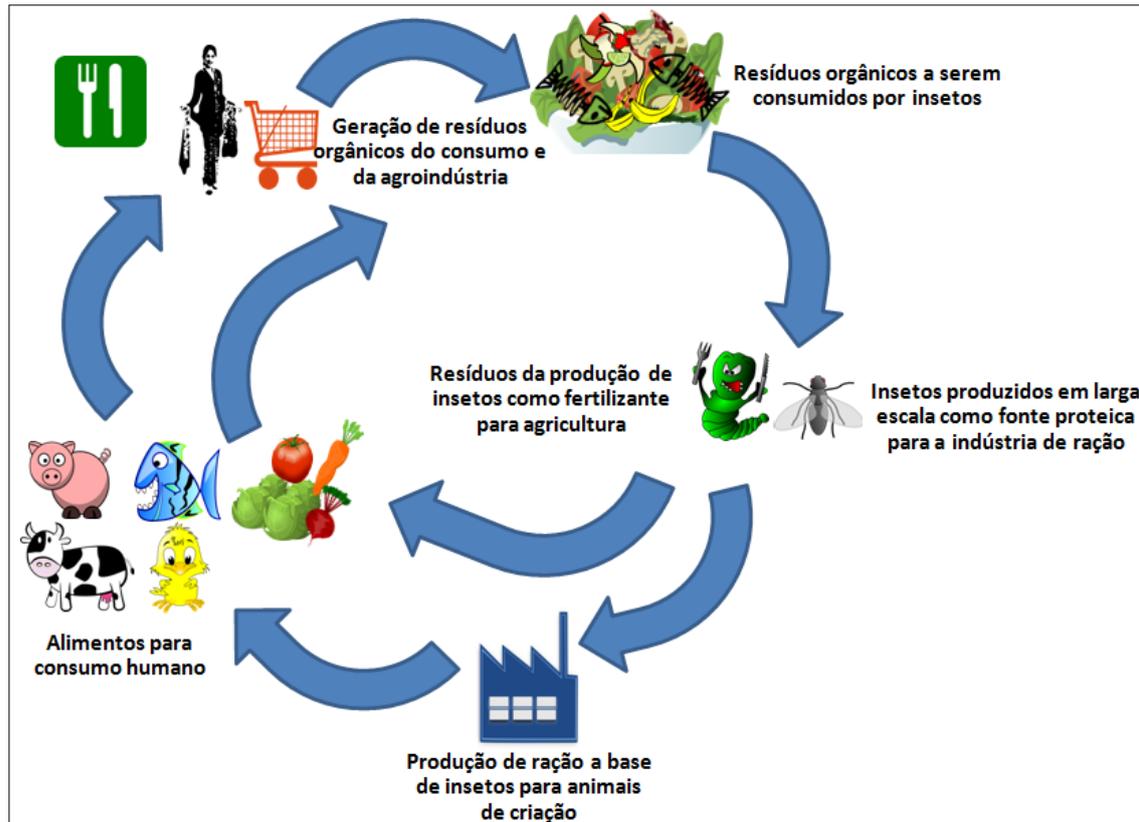
Fonte: Adaptado Ooninx e Boer, 2012 apud. (FAO, 2013)

Nota: As barras cinza são valores mínimos e as verdes escuras são valores máximos encontrados na literatura

O desenho da cadeia produtiva de insetos é circular (Figura 1) e baseia-se na criação de insetos em resíduos orgânicos e uso dos insetos como alimento para a produção de outros animais, cujos resíduos podem voltar a serem alimentos para insetos, fechando o ciclo de produção. O subproduto da criação de insetos pode ser utilizado como fertilizante orgânico, fechando assim o ciclo de produção. Tal proposta quebra o modelo de economia linear vigente. É apresentado algo inerente à economia ecológica, que olha a economia com a perspectiva da ecologia, colocando o meio ambiente em primeiro lugar, pois é de onde provêm os meios fundamentais. É preciso explorar a natureza buscando mitigar as externalidades negativas<sup>1</sup> e considerá-las economicamente em qualquer que seja o processo produtivo em questão (CAVALCANTI, 2014). O sistema produtivo de ciclo fechado busca minimizar e até remover os custos das externalidades negativas geradas pela disposição de resíduos, transporte e geração de gases de efeito estufa, sobretudo na logística e no uso do solo.

<sup>1</sup> Com o aumento de automóveis a cidade passa a se movimentar mais lentamente, com o aumento da ingestão de medicamentos a saúde das pessoas torna-se mais débil, e com o excesso de escola as pessoas tornam-se menos criativas. O “desenvolvimento” provoca externalidades negativas, geralmente ausentes dos cálculos de economistas e gestores públicos. (DO NASCIMENTO e GOMES, 2009)

**Figura 1 – Cadeia produtiva de indústria de insetos**



Fonte: Adaptado de (FAO, 2013).

A Mosca Soldado Negra (MSN), *Hermetia illucens* é um inseto cosmopolita, de ampla distribuição geográfica (MCCALLAN, 1974). A fase larval constitui-se no período de alimentação, sendo que na fase adulta, a qual é de menor duração, os insetos apenas copulam e (as fêmeas) realizam a postura de ovos, morrendo logo após.

Pelo fato de na fase adulta não se alimentarem, não são capazes de serem vetores agentes de proliferação de doenças, ao contrário de outros dípteros mais conhecidos os quais podem viver por um mês ou mais e nesse período visitam diversas fontes de recursos alimentícios, incluindo matéria orgânica contaminada com possíveis agentes patogênicos, representando, portanto, riscos à saúde, a exemplo da mosca doméstica (*Musca domestica*) (SHEPPARD, 1983).

O uso de larvas de MSN para degradar resíduos sólidos orgânicos, que geralmente tem destino inadequado, contribui para ampliar a vida útil dos aterros sanitários. Esta larva pode adicionalmente ser utilizada como uma fonte alternativa de

proteína para a composição de ração animal, permitindo, portanto, mitigar os problemas trazidos pelos resíduos sólidos orgânicos, além de reciclar sua matéria e nutrientes. (DIENER, ZURBRÜGG e TOCKNER, 2009)

O manejo da MSN tem sido estudado por diversos pesquisadores (BOOTH; SHEPPARD, 1984; CARUSO et al., 2014; SHEPPARD et al., 2002; TOMBERLIN; SHEPPARD, 2002; assim como seu uso enquanto alternativa de relativo baixo custo na conversão de resíduos orgânicos (DIENER, 2010; DIENER et al., 2011; DIENER; ZURBRÜGG, 2011; DIENER; ZURBRÜGG; TOCKNER, 2009; KALOVÁ; BORKOVCOVÁ, 2013) e sua utilização como fonte proteica para ração animal (GUTIÉRREZ; RUIZ; VÉLEZ, 2004; SEALEY, 2011; ST-HILAIRE et al 2007;).

A tecnologia de tratamento de resíduo orgânico que utiliza larvas da mosca soldado, *H.illucens*, pavimenta o caminho para uma opção de tratamento financeiramente sustentável. Atribuindo ao resíduo orgânico seu valor inerente para competir contra outros recicláveis. A alimentação da mosca soldado reduz até 80% da biomassa de resíduos orgânicos, tais como resíduos de mercado / cozinha, estrume animal ou mesmo fezes humanas. A última fase larval, a chamada pré-pupa, consiste em ~ 40% de proteína e ~ 30% de gordura, tornando-a uma alternativa valiosa à farinha de peixe na ração animal. (DIENER, 2010, p.5)

A MSN está entre as espécies mais promissoras para produção em alta escala, e conseqüentemente, para a indústria de ração animal por apresentar alta taxa de crescimento; ciclo curto de desenvolvimento; alta sobrevivência de imaturos e alta taxa de oviposição; um elevado potencial de aumento da biomassa por dia; uma alta taxa de conversão; capacidade de viver em altas densidades e baixa vulnerabilidade às doenças (FAO, 2013).

Apesar do potencial natural do Amazonas, com abundância de terras e de água para a produção de peixes, o Estado é apenas o 12º maior produtor de peixes em cativeiro do país. A dificuldade logística e principalmente o custo da ração (cerca de 70% dos custos de produção) são algumas das razões para a baixa produtividade do Estado. Uma fonte proteica alternativa a preços mais acessíveis, certamente impulsionaria ainda mais a atividade que já vem crescendo. De 2003 a 2013, a produção da piscicultura no Estado chegou a 21.500 toneladas, o que representou um crescimento de cerca de 350%. No Norte do Brasil, o Amazonas ainda está em terceiro

lugar na produção, atrás de Roraima e Rondônia. O Estado é o maior mercado em consumo de peixes per capita do Brasil e tem Manaus como o principal mercado consumidor, mas atualmente ainda depende dos Estados de Roraima e Rondônia para abastecer o mercado interno, importando cerca de R\$ 150 milhões anualmente, o que demonstra um imenso potencial para que a atividade seja uma nova matriz econômica para o Estado a fim de atender tanto as demandas internas quanto às externas que crescem anualmente (SEPROR, 2016).

Em 2014 os preços da farinha de peixe como fonte proteica para ração atingiram um pico de U\$ 2.400,00/ Ton. FOB (SEAFOOD BRASIL, 2015). Tal pico se deu por conta da crescente demanda e também pela diminuição da oferta. Atualmente, esse custo caiu para cerca de R\$ 2.200,00/ Ton. FOB com percentual de 55% de proteína (MFRURAL, 2018), uma vez que houve maior equilíbrio entre a oferta e a demanda. Tem surgido fontes proteicas alternativas, como por exemplo, o concentrado proteico de soja que hoje é comercializado em torno de R\$ 2.800,00/ Ton. FOB com percentual de 60% de proteína (SELECTA, 2018). Para os aquicultores é fundamental que o custo da ração esteja acessível para que não represente um entrave para a produção, visto que a alimentação representa cerca de 70% dos custos de produção. Alternativas estão sendo buscadas, visto que a aquicultura é o setor de produção animal que mais cresce, tem um importante papel na manutenção da segurança alimentar e será preciso expandir de forma sustentável (IPIFF, 2014). A demanda por alimentos para peixes em 2012 atingiu 575 mil MT, bem como uma taxa de 15% de crescimento, que tem sido caracterizado, ano a ano por um contínuo crescimento (IFIF, 2012/13).

O crescimento da indústria de produção de insetos parece inevitável e se apresenta como mais uma alternativa proteica. A IPIFF (International Platform of Insects for Food and Feed) é uma plataforma que representa os interesses do setor na Europa. Atualmente já conta com 30 membros associados de 14 países diferentes. Tais membros já estão investindo milhões de dólares na produção e na pesquisa e desenvolvimento para que se consolidem no mercado (IPIFF, 2014).

Diante do exposto, sendo a produção de insetos uma das diversas buscas por alternativas proteicas, é razoável considerar que a humanidade está em um caminho de transição em direção à reorientação do modelo de produção de proteína

atualmente predominante. Tal afirmação se sustenta na cultura ecológica, um sistema de valores ambientais que reorienta os comportamentos individuais e coletivos, transformando o desenvolvimento técnico e as práticas produtivas em processo de assimilação e transformação da natureza. O aproveitamento sustentável dos recursos naturais pode ser mais eficaz e produtivo ecossistemicamente a partir da inovação, mudanças tecnológicas e novos estilos culturais de uso de recursos. Tais meios são frutos das relações entre os processos sociais e naturais mediados pelas transformações históricas, as mudanças tecnológicas e a organização cultural. (LEFF, 2009)

Assim, a presente pesquisa buscou uma solução integrada para os problemas de excesso de geração e disposição de resíduos sólidos orgânicos e a crescente demanda por proteína, que vem acompanhados de negativos impactos ambientais. O principal objetivo foi verificar aspectos biológicos da MSN em resíduos sólidos orgânicos provenientes de restaurantes de Manaus, e aspectos quali-quantitativos como alternativa proteica para alimentação animal. Como objetivos específicos se pretendeu avaliar quali-quantitativamente o composto orgânico consumido pela MSN e a redução de resíduos orgânicos com a geração de biomassa de MSN enquanto alternativa proteica.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Para melhor compreensão da temática da pesquisa, considerou-se fundamental destacar as abordagens em torno do contexto atual e local da gestão de resíduos sólidos orgânicos, seguidos do conhecimento a respeito da biologia da MSN, sua produtividade e por fim, seu valor como fonte proteica.

### **2.1 CONTEXTO DA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

A gestão de resíduos sólidos vem sendo um problema enfrentado desde a antiguidade. Ainda é possível observar diversos depósitos antigos de resíduos sólidos pelo mundo (conhecidos como sambaquis), principalmente nas costas oceânicas.

Esta foi a solução que aqueles povos encontraram. Empilhar toneladas de resíduos sólidos no mesmo lugar. Apesar de centenas ou até milhares de anos terem se passado e com toda tecnologia desenvolvida hoje, exceto nas cidades mais desenvolvidas, as soluções atuais não parecem muito diferentes do que era feito pelos povos antigos. A diferença é que o lixo da antiguidade era mais inerte e natural do que atualmente. Composto principalmente de conchas e ossos, não havia produtos industrializados, químicos e nem a mesma abundância e consequente desperdício de orgânicos que existe hoje, o que leva a acreditar que esses “antigos lixões” não deveriam ser um grande problema ambiental como os observados atualmente.

Uma vez que se trata da matéria prima necessária para a produção da MSN, o foco deste trabalho estará sobre a questão dos resíduos sólidos orgânicos, uma vez que representam cerca de 45% das 1.050.000 toneladas de resíduo sólido gerados anualmente no Amazonas (AMAZONAS, 2015).

Promulgada em 1988, a Constituição brasileira contempla o meio ambiente quando o declara bem de uso comum e impõe ao poder público e à coletividade, o dever de zelar por sua proteção.

TÍTULO III – Da ordem social – Capítulo VI – Do Meio ambiente – Artigo 255  
- Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988).

Esta é a base para o entendimento das responsabilidades públicas e privadas no Brasil com relação à responsabilidade ambiental. Conseqüentemente, a gestão dos resíduos deve ser feita de maneira que não desequilibre o meio ambiente. No final da década de 1980 surgiram as primeiras iniciativas no tocante à gestão de resíduos sólidos, como o Projeto de Lei do Senado Federal Nº 354/89, que tratava de acondicionamento, coleta, transporte, tratamento, e destinação final de resíduos de serviços de saúde. Mas foi somente em 2010 que o Decreto Nº 7.404/2010 regulamentou a PNRS (Lei nº 12.305/2010), com diretrizes para a criação do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, com prazo de até 2014 para ser elaborado pela União. Além do Plano Nacional, passou a ser de responsabilidade dos Estados e Municípios elaborar seus respectivos Planos Estaduais de Resíduos Sólidos e os Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2012).

Trinta anos após a Constituição prever a responsabilidade ambiental, talvez seja possível afirmar que a sociedade brasileira se encontra em um momento de transição em direção à sustentabilidade ambiental. A mudança é lenta, afinal também é cultural. Uma mudança de paradigma para uma sociedade mais sustentável. Para isto, a PNRS instituiu alguns instrumentos que trazem incentivos a tal mudança, como a logística reversa, a responsabilidade compartilhada e os acordos setoriais, buscando sempre a redução e reaproveitamento de resíduos, incluindo a reinserção social na mão de obra utilizada. Os órgãos governamentais e os integrantes das cadeias produtivas passam a ter responsabilidades específicas na produção, utilização, descarte, transporte, tratamento e reutilização de resíduos sólidos.

As normas estabelecidas pelo Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS), Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (SUASA) e Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (SINMETRO) sustentarão a aplicabilidade da PNRS. Esta também se apoiará nas Leis Nº 9.966/2000 (poluição causada por óleo e outras substâncias nocivas lançadas em águas sob jurisdição nacional), Nº 9.974/2000 (Embalagens de Agrotóxicos) e Nº 11.445/2007 (Lei do Saneamento Básico).

De acordo com a NBR 10.004 (ABNT, 2004), os resíduos sólidos podem ser classificados em:

**CLASSE I OU PERIGOSOS:** São aqueles que apresentam inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, trazendo riscos à saúde pública ou ainda provocando nocivos ao meio ambiente quando descartados de forma inadequada.

**CLASSE II OU NÃO INERTES:** Podem apresentar combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, mas não se enquadrando nas classificações de resíduos Classe I – Perigosos – ou Classe III – Inertes.

**CLASSE III OU INERTES:** Não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente, e que, quando amostrados de forma representativa, segundo a norma NBR 10.007, e submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, a temperatura ambiente, se mantêm inertes.

A Lei 12.305/2010 classifica os resíduos sólidos quanto à origem (Quadro 01) e quanto à periculosidade (Quadro 02) conforme segue (BRASIL, 2010):

**Quadro 1 - Classificação de resíduos sólidos quanto à origem**

Art. 13, I, alíneas:	Tipos de Resíduos Sólidos:	Descrição:
a)	Resíduos Domiciliares	Os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
b)	Resíduos de Limpeza Urbana	Os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana.
c)	Resíduos Sólidos Urbanos	Os englobados nas alíneas “a” e “b”.
d)	Resíduos de Estabelecimentos Comerciais e Prestadores de Serviços	Os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”.
e)	Resíduos dos Serviços Públicos de Saneamento Básico	Os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”.
f)	Resíduos Industriais	Os gerados nos processos produtivos e instalações industriais.
g)	Resíduos de Serviços de Saúde	Os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos dos Sisnama e do SNVS.
h)	Resíduos da Construção Civil	Os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis.
i)	Resíduos Agrossilvopastoris	Os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades.
j)	Resíduos de serviços de transporte;	Os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira.
k)	Resíduos de mineração.	Os gerados nas atividades de pesquisa, extração ou beneficiamento

Fonte: Adaptação de (BRASIL, 2012).

**Quadro 2 - Classificação de resíduos sólidos quanto à periculosidade**

Art. 13, II, alíneas:	Tipos de Resíduos Sólidos:	Descrição:
a)	Resíduos Perigosos	Aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com a lei, regulamento ou norma técnica.
b)	Resíduos não perigosos	Aqueles não enquadrados na alínea “a”.

Fonte: Adaptação de (BRASIL, 2012).

Alguns pontos são importantes de serem destacadas para uma melhor compreensão sobre a utilização de resíduos sólidos orgânicos como matéria prima

para a produção de MSN - A Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2012), traz o seguinte conceito sobre resíduo sólido:

(...) material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (Capítulo II – Art. 3º - Inciso XVI).

Além disso, diferencia os conceitos de gerenciamento de resíduos sólidos e da gestão integrada de resíduos sólidos que serve de base para repensar o “status quo”, quebrar paradigmas e trazer mudanças ambientais significativas:

Gerenciamento de resíduos sólidos: conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma desta Lei;

Gestão integrada de resíduos sólidos: conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável. (BRASIL, 2010, Art. 3º).

Monteiro et al., 2001 resume as necessidades e os agentes necessários para a implantação de um sistema de gerenciamento integrado:

(...) materiais devem ser separados na fonte de produção pelos respectivos geradores, e daí seguir passos específicos para remoção, coleta, transporte, tratamento e destino correto. Consequentemente, os geradores têm de ser envolvidos, de uma forma ou de outra, para se integrarem à gestão de todo o sistema. Finalmente, o gerenciamento integrado revela-se com a atuação de subsistemas específicos que demandam instalações, equipamentos, pessoais e tecnologia, não somente disponíveis na prefeitura, mas oferecidos pelos demais agentes envolvidos na gestão, entre os quais se enquadram:

- a própria população, empenhada na separação e acondicionamento diferenciado dos materiais recicláveis em casa;

- os grandes geradores, responsáveis pelos próprios rejeitos;
- os catadores, organizados em cooperativas, capazes de atender à coleta de recicláveis oferecidos pela população e comercializá-los junto às fontes de beneficiamento;
- os estabelecimentos que tratam da saúde, tornando-os inertes ou oferecidos à coleta diferenciada, quando isso for imprescindível;
- a prefeitura, através de seus agentes, instituições e empresas contratadas, que por meio de acordos, convênios e parcerias exerce, é claro, papel protagonista no gerenciamento integrado de todo o sistema. (MONTEIRO, FIGUEIREDO, *et al.*, 2001)

A PNRS traz ainda a diferenciação entre resíduos e rejeitos. Trata o resíduo sólido como um bem econômico que pode ter valor econômico e que pode ajudar ao desenvolvimento sustentável do país, uma vez que novas estruturas produtivas podem receber estímulos, principalmente por meio de consórcios municipais e acordos setoriais, gerando valor social ao trazer trabalho e renda e promovendo a cidadania. Já os rejeitos são aqueles resíduos que devem ter uma disposição final adequada, uma vez que já não há possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e tecnicamente viáveis.

Nesta nova sociedade em amadurecimento, a reinserção de resíduos como insumos nas cadeias produtivas será uma lógica fundamental a ser seguida, otimizando assim a redução do uso de matérias primárias, incentivando o uso de materiais renováveis, diminuindo a emissão de gases, assim como o descarte de resíduos. Tal lógica trazida por meio das estratégias adotadas na PNRS deve vir a contribuir para melhorias ambientais. Neste contexto, alguns autores fazem importantes colocações:

A gestão de resíduos sólidos urbanos tem se tornado um expediente cada vez mais importante no contexto da sociedade contemporânea, haja vista a necessidade de políticas públicas, atreladas aos resíduos sólidos urbanos, que se relacionem a aspectos que envolvam questões ambientais (contaminação e poluição do solo, do ar e da água), econômicas (externalidades negativas) e sociais (associados à pobreza), configurando-se, dessa forma, um quadro delicado, principalmente quanto à disposição final dos resíduos sólidos. (MOTA, 2014)

No mundo contemporâneo questões que envolvem a gestão de resíduos sólidos (RS) têm abandonado o estigma de “lixo” propriamente dito. Demandas ambientais terminaram por induzir mudanças, principalmente, em

países do hemisfério norte, como Alemanha, Dinamarca, Holanda, Japão e Suécia, os quais desenvolveram soluções que somam exemplos de sucesso (DEMAJOROVIC, 1996; MOTA, 2006; MILANEZ, 2010; apud CASTRO, 2012).

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico do IBGE (2008), apontou que 50,8% dos municípios brasileiros não destinavam seus resíduos sólidos de forma adequada, mas sim para lixões. Embora a PNRS tenha previsto a eliminação dos lixões até 2014, sabe-se que esta meta ainda não foi atingida, expondo milhares de gestores públicos que estão atuando “fora da lei” e passivos de punições do Ministério Público e Tribunal de Contas. No Amazonas, por exemplo, dos 62 municípios, somente Manaus tem aterro sanitário, que recebe o equivalente a 55% do resíduos gerados no Estado, conforme Gráfico 4. Tal aterro, segundo a Secretaria Municipal de Limpeza pública (SEMULSP), já está com mais de 50% de sua capacidade comprometida e, a menos que se encontrem alternativas para diminuir o volume de resíduos despejados, em breve chegará ao fim de sua vida útil.

**Gráfico 4** - Destinação de resíduo sólidos urbanos no Amazonas (t/dia)



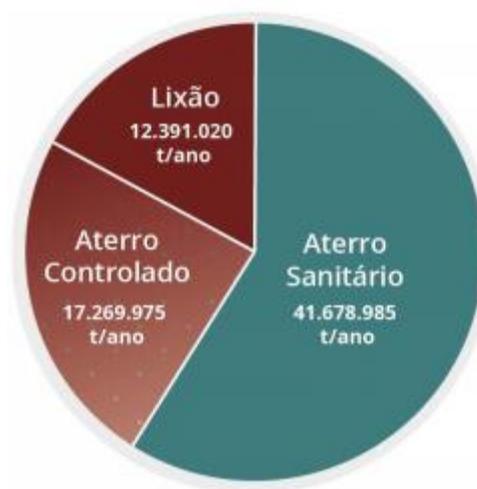
Fonte: (ABRELPE, 2013).

Observa-se que em todo o Brasil a evolução tem sido lenta, conforme Gráfico 5 que demonstra que 41,6% do resíduo sólido urbano produzido no Brasil ainda vão parar em lixões e aterros controlados inadequados que estão presentes em todas as

regiões do país e recebem mais de 81 mil toneladas de resíduos por dia, com elevado potencial de poluição ambiental e impactos negativos na saúde. Em se tratando da região Norte, segundo a ABRELPE, 2016, 64,6% ou o equivalente a 8.071 toneladas diárias dos resíduos coletados na região ainda são destinados de maneira inadequada para lixões e aterros controlados, sendo que os municípios desta região aplicaram, em média, R\$ 8,04 por pessoa na coleta de resíduos sólidos urbanos e demais serviços de limpeza urbana, movimentando R\$2.011 bilhões no ano.

Infelizmente, conforme revela a ABRELPE, 2016, a PNRS ainda não conseguiu trazer tantas melhorias. Entretanto, apesar de ter força de Lei, como dito anteriormente, o processo é de mudança cultural. Exige tempo até atingir níveis satisfatórios:

**Gráfico 5 - Volume de RSU e seus destinos no Brasil em 2016**



Fonte: (ABRELPE, 2016).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, instituída no país através da Lei Federal n. 12.305/2010, está em vigor há sete anos, mas ainda carece de aplicação prática em vários pontos (...) a geração de resíduos se mantém em patamares elevados, a reciclagem ainda patina, a logística reversa não mostrou a que veio e o país tem mais de três mil municípios com destinação inadequada, apesar da proibição existente desde 1981 e do prazo estabelecido pela PNRS ter-se encerrado em 2014, sem ter havido prorrogação, como alguns têm se manifestado. (...) as disposições da lei, por

si só, não proporcionaram os tão esperados avanços no setor, e a recessão da economia trouxe impactos negativos para as práticas até então verificadas, que retrocederam em diversos pontos.

A cobertura dos serviços de coleta de RSU passou de 90,8% para 91,2% do volume gerado, no entanto a coleta seletiva não avançou na mesma proporção e hoje só temos iniciativas registradas em 69,6% das cidades. A consequência direta disso são os índices de reciclagem que se mostram estagnados há alguns anos, apesar da grande propaganda que tem sido feita a esse respeito. Por conta disso, e pela ausência de iniciativas consolidadas para aproveitamento e recuperação da fração orgânica, há uma sobrecarga nos sistemas de destinação final, que recebem aproximadamente 71,34 milhões de toneladas por ano, das quais 12,4 milhões de toneladas ainda são depositadas em lixões, a pior forma de destinação possível e fonte diária de poluição ambiental, causadora de diversos problemas de saúde. (ABRELPE, 2016)

Em se tratando especificamente de resíduos orgânicos em Manaus, segundo a SUFRAMA (2015), somente 10% das indústrias do polo industrial responderam questionário sobre resíduos sólidos. Essas, sozinhas, geram cerca de 6000 toneladas/ano de resíduos orgânicos, sendo parte destinada à área de compostagem. Nesta área o resíduo passa por um processo natural de decomposição biológica de materiais orgânicos de origem animal e vegetal, pela ação de micro-organismos. (MONTEIRO, FIGUEIREDO, *et al.*, 2001).

De acordo com o relatório da SECRETARIA MUNICIPAL DE LIMPEZA PÚBLICA DE MANAUS (2017), o município de Manaus coleta diariamente resíduos sólidos orgânicos de 40 feiras e mercados municipais, que sozinhos totalizam cerca de 3256 toneladas por mês. O relatório aponta que somente uma pequena parte foi destinada para compostagem. Em 2017 foram peneirados somente 1200m<sup>3</sup> de resíduo composto, sendo que boa parte deste volume é proveniente de podas das árvores do município, o que leva à conclusão que a maior parte do resíduo orgânico gerado pelo município está sobrecarregando a capacidade do aterro e comprometendo sua vida útil.

Apesar de louvável do ponto de vista ambiental, a compostagem resolve o problema do resíduo orgânico, mas não traz muitos benefícios econômicos, uma vez que é difícil haver um mercado que absorva tanto composto orgânico gerado. Já no caso da vermicompostagem por meio da MSN, além de mais rápida (ciclos de cerca de 20 dias), o processo gera como produtos finais o mesmo composto orgânico da compostagem (em menor volume), além de proteína de alto valor nutricional e óleo

que assim como a larva, também pode ser utilizado na composição de rações ou como biocombustível para a frota municipal. (ZHENG, LI, *et al.*, 2012)

Segundo o Plano Estadual de Resíduos Sólidos do AMAZONAS (2015), o desperdício de resíduos orgânicos descartados, por meio de compostagem, teria potencial teórico de gerar 488 toneladas de composto por dia e, no mínimo, 9.300 m<sup>3</sup> de gás por hora, com base em dados do aterro de Manaus. Dentro do PERS-AM existe o Programa 1.3, cuja missão é a redução dos resíduos sólidos recicláveis secos e orgânicos dispostos em aterros sanitários. Tal programa traz em suas ações, mecanismos e metodologias estratégicas que vão ao encontro da filosofia proposta na vermicompostagem com uso da MSN, pois visa aproveitar os resíduos orgânicos como insumo para o solo e insumos agrícolas. Dessa forma é possível aproveitar os resíduos sólidos orgânicos no Estado do Amazonas, desviando os mesmos dos aterros sanitários.

Para divulgar modelos para o aproveitamento dos resíduos orgânicos, além de incentivar o mercado de produção e uso de compostos foram estabelecidos mecanismos de desenvolvimento de novas técnicas e aperfeiçoamento das existentes para aproveitamento de resíduos orgânicos; estímulo ao aproveitamento de resíduos orgânicos gerados nos municípios do estado do Amazonas através de capacitação técnica para os gestores municipais e as associações e cooperativas legalmente constituídas, formadas exclusivamente por catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis comprovadamente de baixa renda; além de incentivos à implantação de negócios e fortalecimento de empresas existentes que trabalham e/ou desenvolvem tecnologias para o aproveitamento de resíduos orgânicos.

A metodologia desenhada previu o incentivo dos municípios do Estado do Amazonas por meio de parcerias com Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM), Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Universidade do Estado do Amazonas (UEA), Centro de Educação Tecnológica do Amazonas (CETAM) e faculdades privadas para desenvolver novas tecnologias para aproveitamento e reciclagem de resíduos orgânicos. Buscou assegurar que os municípios do Amazonas façam que os grandes geradores locais (agroindústrias, supermercados, restaurantes e outros) elaborem e programem seus Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos para que assim seja possível atrair empresas

que realizem processamento de resíduos orgânicos e que desenvolvam tecnologias para aproveitamento desses resíduos. (AMAZONAS, 2015)

Com relação a resíduos orgânicos provenientes de restaurantes, a Resolução da ANVISA RDC nº 216, de 15 de setembro de 2004 dispõe sobre Regulamento Técnico de Boas Práticas para Serviços de Alimentação. Tal resolução não permite a reutilização deste resíduo (ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2004).

Segundo o site da Câmara dos Deputados, a Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável aprovou em junho de 2017 uma proposta de Lei que permite a doação de alimentos (Projeto de Lei 5958/13 e outros dez apensados). O texto aprovado foi um substitutivo, que, além de permitir o reaproveitamento de alimentos para consumo humano, de animais e para a compostagem, também estabelece normas para uma política nacional de combate ao desperdício de alimentos. Atualmente, os restos e sobras de alimentos só podem ser utilizados para alimentação de suínos (o que tem ocorrido em Manaus) se forem submetidos ao processo de tratamento que garanta a inocuidade do composto, devidamente avaliado e comprovado por órgão competente da Agricultura e de Vigilância Sanitária do Município (GAMA, 2017). Não foram encontrados estudos sobre a utilização para criação de porcos em Manaus, mas por meio de conversas com coletores, sabe-se que esta prática vem sendo adotada, embora não se possa afirmar se estes resíduos estão sendo submetidos aos devidos processos de tratamento e se sua utilização está sendo avaliada pelos órgãos competentes.

## 2.2 A MOSCA SOLDADO NEGRA (MSN)

### 2.2.1 HISTÓRICO CIENTÍFICO

Na década de 1970 iniciaram algumas pesquisas para verificar a viabilidade de a larva da MSN ser utilizada como fonte proteica para alimentação de animais. HALE (1973) investigou sobre a possibilidade do uso da larva como aditivo nutricional para aves e verificou que o percentual proteico da matéria seca da pré pupa de mosca soldado variou entre 35% e 42%. NEWTON, BOORAM, *et al* (1977) estudaram o uso da farinha de pré-pupa como suplemento para suínos, a colocando como uma real

possibilidade de uso, principalmente para comunidades mais afastadas, BOOTH e SHEPPARD (1984) discutem algumas questões a respeito da reprodução da mosca em cativeiro, como características dos ovos e locais de oviposição, sendo um dos primeiros artigos que auxiliaram no entendimento da criação massal, indicando uma média de 998 ovos por fêmea, peso de ovos em torno de 0,028 mg, identificação do horário da maioria das posturas (de 12:00h às 17:00h), além de verificarem a preferência por locais secos para realização da postura dos ovos. LARDÉ (1990) iniciou os estudos com objetivo de verificar a possibilidade de utilização da larva de MSN como uma alternativa para degradação de resíduos orgânicos, como na reciclagem de poupa de café, a qual foi reduzida em 29,8% pela atividade das larvas.

No início dos anos 2000 o tema é abordado por SHEPPARD, TOMBERLIN, *et al.* (2002), ao trazerem publicação bastante abrangente sobre métodos de criação da MSN. Ainda em 2002, TOMBERLIN e SHEPPARD publicaram artigo demonstrando que fatores como horário do dia e luminosidade influenciam na quantidade de acasalamentos. Além dessas duas variáveis, a umidade relativa do ar também influenciou o número de oviposições observadas. Possivelmente tal arcabouço científico possibilitou que outros cientistas tivessem capacidade para produzir a mosca e seguir com novos estudos. Desde então, observa-se publicações quase que anuais envolvendo a MSN. GUTIÉRREZ, RUIZ e VÉLEZ (2004) iniciaram os estudos sobre valor proteico e digestibilidade da farinha da larva em comparação com a farinha de peixe, concluindo que a farinha da pré pupa pode ser usada como um ingrediente proteico de alta digestibilidade. NEWTON, SHEPPARD, *et al.* (2005) estudaram técnicas que reduziram até 56% de resíduos da suinocultura por meio da utilização da larva, além do aproveitamento desta como fonte proteica para alimentação de peixes. Seguindo a linha de nutrição, ST-HILAIRE, SHEPPARD, *et al.*, 2007 concluíram a viabilidade de uso da farinha de pré-pupa para substituir 15% do total necessário de proteína para a criação da truta arco-íris sem impactos no crescimento do peixe e possibilitando a redução da utilização de óleo de peixe na ração. MYERS, TOMBERLIN, *et al.* (2008) verificaram a possibilidade de redução do volume de esterco bovino em até 58%; assim como a redução da disponibilidade de Fósforo (61% a 70%) e Nitrogênio (30% a 50%) por meio do uso da larva.

Até então, os dados dos estudos que vinham sendo publicados demonstravam a possibilidade de tal uso, entretanto ainda haviam questões a serem estudadas e melhor compreendidas, como a escalabilidade e necessidade de

conhecimento mais aprofundado sobre alguns aspectos comportamentais da larva, principalmente com relação à sua alimentação. Foi então que DIENER, ZURBRÜGG e TOCKNER, 2009 publicaram o primeiro estudo que buscou identificar níveis ótimos de alimentação diária para as larvas, aliando melhor eficiência na degradação do alimento fornecido e melhor conversão em biomassa larval, no qual encontraram uma quantidade ótima 100mg/larva/dia de alimentação à base de ração de frango com 60% de umidade.

Com o agravamento dos problemas das grandes cidades, principalmente no tocante à resíduos sólidos urbanos, DIENER, SOLANO, *et al.* (2011) testaram a degradação de matéria orgânica por meio da larva de MSN como uma possível solução para o problema de destinação de resíduos sólidos orgânicos enfrentados pelos municípios. Estes autores apresentaram os benefícios e limitações trazidos por esta tecnologia. Os testes foram realizados na Costa Rica, utilizando resíduos de lama de esgoto, lixo orgânico municipal e restos de mercados, no qual atingiram reduções de material na ordem de 65,5% a 78,9%.

Uma vez que a ciência vinha mostrando real possibilidade de utilização da larva como componente proteico de ração para peixes, SEALEY (2011) realiza estudo sobre análise sensorial da truta arco-íris alimentada com ração enriquecida com farinha de pré-pupa da MSN, demonstrando que além dos benefícios trazidos por esta nova possibilidade de uso, tal farinha não alterava significativamente a percepção da pessoas a respeito do sabor da carne da truta.

Com a lógica cada vez mais evidente que seria possível a utilização da larva como parte da solução para o problema da destinação de resíduos orgânicos, tendo como subproduto uma farinha proteica de alto valor agregado, óleo e fertilizante orgânico; e como os resíduos orgânicos são muito heterogêneos, KALOVÁ e BORKOVCOVÁ (2013) buscaram compreender o desenvolvimento da mosca em todas as suas fases (larval, pupa e adulta) em diferentes tipos de resíduos orgânicos, por meio da utilização dos BioPods Plus<sup>2</sup>, identificando uma eficiência do produto inferior em comparação ao restante da literatura.

A FAO (2013), em parceria com Wageningen University & Research, referência em produção de alimentos, saúde e meio ambiente, publicou o Relatório

---

<sup>2</sup> Equipamento desenvolvido e vendido exclusivamente para a biodecomposição de resíduos orgânicos domésticos por meio da larva da MSN

“Insetos Comestíveis”, alertando sobre a necessidade de regulamentação e de consolidação da indústria de produção de insetos tanto para alimentação de humanos quanto para animais, a fim de garantir a segurança alimentar da humanidade. Neste relatório, vários estudos sobre a MSN foram aglutinados e ganharam visibilidade mundial.

CARUSO, DEVIC, *et al.* (2014) tratam da domesticação e produção da MSN, incluindo informações de aspectos econômicos de produção. Com uma planta piloto localizada em Depok, Indonésia para a criação da larva em farinha de núcleo de palmeira, os autores também puderam validar aspectos biológicos da mosca.

CICKOVÁ, NEWTON, *et al.* (2015) usaram larvas para degradação de resíduos sólidos orgânicos, abordando aspectos econômicos, comerciais, normativos, além das perspectivas e entraves para produção em escala industrial.

HARNDEN e TOMBERLIN (2016) estudaram o ciclo evolutivo da mosca em em diferentes resíduos orgânicos e em diferentes temperaturas e concluíram que larvas criadas entre 27,6 °C e 32,2 °C exigiram em média 8,7% mais horas para completar seu desenvolvimento e tiveram um peso larval final 30% maior do que larva criada a 24,9 8C.

CHENG, CHIU e LO (2017), em estudos de processamento pré-industrial da MSN identificaram que em uma faixa de umidade entre 70% e 75% ainda é viável o peneiramento mecânico das larvas, entendimento fundamental, uma vez que a umidade presente no resíduo fornecido como alimento influencia no crescimento e sobrevivência da larva.

## 2.2.2 BIOLOGIA E COMPORTAMENTO

A mosca-soldado negra *Hermetia illucens* (L., 1758) pertence à ordem Díptera, família Stratiomyidae, subfamília Hermetiinae. Trata-se de uma espécie de um inseto de desenvolvimento holometábolo (ovo, larva, pupa e adulto). Nativa das regiões tropicais, subtropicais e temperadas do continente americano, hoje é cosmopolita e está presente entre as latitudes 40° Sul e 45° Norte (CARUSO *et al.*, 2014).

Os ovos têm formato de grãos de arroz e coloração que varia de branco ao creme, medindo cerca de 1 mm. A fim de proteger seus ovos de predadores e intempéries, a oviposição costuma ocorrer em grupos de cerca de 1000 ovos em frestas ou ranhuras

de materiais secos próximos de uma fonte de matéria orgânica úmida em decomposição. O período de incubação a 24°C é de 3 a 4 dias (BOOTH; SHEPPARD, 1984); (TOMBERLIN; SHEPPARD, 2002).

A fase larval é compreende 5 instares e leva em torno de 20 dias para atingir a fase de pré-pupa (Figura 2). Os segmentos corporais são mais largos que longos, e achatados dorsoventralmente (Figura 3) (GOBBI, 2012). A cápsula cefálica é destacada do corpo. As peças bucais, além da alimentação são usadas como auxiliares na locomoção. Seu corpo é formado por 8 segmentos abdominais e 3 segmentos torácicos com cerdas nas bordas e sua cor é bege ou marrom claro até a pupação, quando se torna marrom escuro. Nesta fase fica imóvel, apresentando uma cutícula rígida e rica em sais de cálcio, resultando em uma pupa marrom escura (CARUSO et al., 2014).

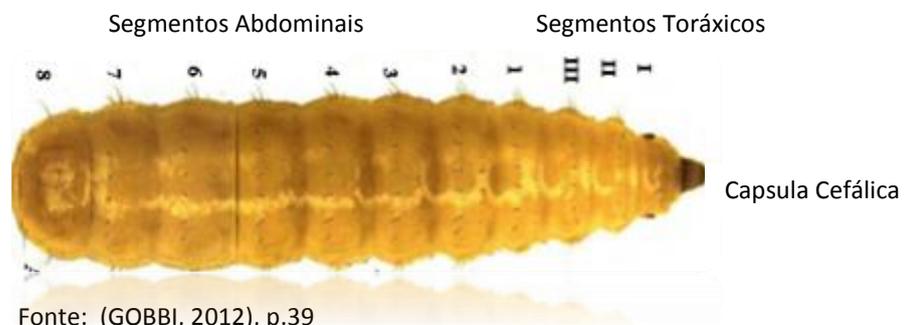
**Figura 2** - Ovos e larvas de MSN em 20 dias de desenvolvimento



Fonte: Adaptado de (CARUSO, DEVIC, *et al.*, 2014).

Nota: As larvas são bege até aproximadamente o 17º dia, quando passam para o tom marrom.

**Figura 3** - Aspecto geral da larva de MSN

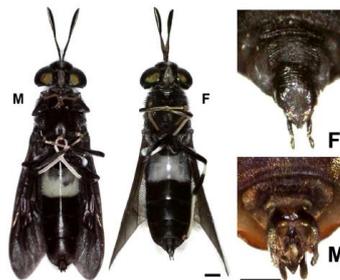


Fonte: (GOBBI, 2012), p.39

Os adultos são quase inteiramente negros e a diferenciação sexual é baseada em sua genitália (Figura 4). Medem de 13 a 20 mm de comprimento. Abdômen ligeiramente achatado; fêmur e tíbia são escuros, sendo que a parte distal da tíbia se apresenta em coloração amarelo palha. (MAY, 1961 apud TOMBERLIN; SHAPPARD, 2001). Apresentam olhos compostos bem evidentes com células fotorreceptoras sensíveis ao UV, ao azul e ao verde, permitindo a visão tricromática (OONINCX, VOLK, *et al.*, 2016).

As antenas apresentam flagelo achatado e alongado, sendo tão longo ou mais longo que o restante dos segmentos antenais. No tórax o escutelo é desprovido de espinhos. Apresenta as asas marrons ou negras. Da célula discal originam quatro nervuras, sendo a nervura transversal (m-cu) ausente. (JAMES, 1935).

**Figura 4** - Exemplar de adultos da MSN – (M) macho e (F) fêmea



Fonte: (OONINCX, VOLK, *et al.*, 2016)

Fatores quantitativos e qualitativos quanto à alimentação disponível para as larvas, assim como intensidade luminosa, temperatura e umidade influenciam diretamente no ciclo de vida da MSN, podendo afetar seu tempo de desenvolvimento (DIENER, ZURBRÜGG e TOCKNER, 2009).

As larvas são saprófagas (DIENER; ZURBRÜGG; TOCKNER, 2009), podendo ser encontradas nos mais diversos tipos de matéria orgânica em decomposição, incluindo vegetais, animais e fezes (TOMBERLIN; ADLER; MYERS, 2009). Tem poderosas peças bucais, rica flora intestinal e eficiente atividade enzimática, que lhes permite quebrar amidos, proteínas e lipídios (CARUSO *et al.*, 2014).

O tempo em fase larval depende das condições físicas e disponibilidade de alimentos, mas costuma durar em torno de 20 dias (GOBBI, 2012). Ao entrar na fase de pré-pupa abandona o meio úmido e busca um ambiente seco para empupar por cerca de 8 a 14 dias (TOMBERLIN; SHEPPARD, 2002), quando finalmente ocorre a emergência dos adultos.

Os adultos não se alimentam. Sobrevivem de suas reservas acumuladas na fase larval, o que determinará o tamanho do corpo e influenciará na sua longevidade, assim como o acesso à água, que também pode ampliar tal longevidade, podendo variar de 8 a 14 dias (TOMBERLIN, SHEPPARD e JOYCE, 2002).

A intensidade luminosa tem correlação positiva com a quantidade de acasalamentos, sendo estes mais observados em luminosidade acima de  $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , quando a interceptação da fêmea pelo macho ocorre em pleno voo. Tipicamente as fêmeas ovipositam em temperatura em torno de  $24^{\circ}\text{C}$  a  $40^{\circ}\text{C}$ . Também foi observado que a umidade relativa do ar entre 30% e 85% proporcionou condições para cruzamento e oviposição, entretanto, em ambiente com umidade acima de 60% foi observado maior número de oviposições (TOMBERLIN e SHEPPARD, 2002).

Cerca de 2 a 4 dias após se tornarem adultas, as fêmeas põem cerca de 1000 ovos. Logo após a eclosão, as larvas passam a se alimentar vorazmente. O substrato onde se desenvolvem deve ser úmido, entretanto, o excesso de umidade pode prejudicar o desenvolvimento. Teor de umidade em torno de 60% faz com que as larvas se desenvolvam bem, causando uma redução de volume de matéria orgânica de 40 a 80% (DIENER, 2010).

### 2.2.3 DESENVOLVIMENTO EM DIFERENTES RESÍDUOS ORGÂNICOS

Diversos estudos demonstraram que *H. illucens* pode se desenvolver em diversos tipos de resíduos orgânicos. Entretanto, existem questões importantes que precisam ser bem delimitadas, como número de larvas/Kg de resíduo fornecido; taxa de umidade ideal do resíduo para o desenvolvimento do inseto; taxas de redução de matéria orgânica; além de taxas de conversão de matéria orgânica em biomassa de larva. Estas questões não são tão simples de serem estimadas, principalmente por

causa da diversidade de resíduos que podem servir de substrado para o desenvolvimento larval.

LARDÉ (1990) demonstrou que a larva de MSN pode servir como uma alternativa para degradação de poupa de café. Para isso utilizou poupa de café preservada em condições anaeróbicas sendo degradadas por 7 larvas em placa de Petri. Identificou que as mesmas foram capazes de reduzir 29,8% do volume inicial.

NEWTON (2005) criou dispositivo para coletar os resíduos de 12 porcos e verificar a capacidade de degradação por parte da MSN. O autor registrou uma taxa de degradação de 56% em 14 dias, com 15,5% de conversão em biomassa. Além disso, a concentração de nutrientes no resíduo diminuiu de 40% a 55%, evidenciando uma alternativa para o manejo de resíduos da suinocultura. Esta alternativa é interessante inclusive porque altas populações de larva de mosca soldado inibem o desenvolvimento de larvas de mosca doméstica, indesejáveis vetores de doenças (SHEPPARD, 1983).

MYERS, TOMBERLIN, *et al.*, (2008), verificaram o desenvolvimento da MSN em estrume bovino. Trezentas larvas foram colocadas em cada tratamento a fim de verificar seu ciclo de vida. Cada tratamento tinha diferentes doses de estrume para avaliar o seu desenvolvimento. Os autores observaram que a quantidade de alimento oferecido afetou o desenvolvimento larval. As larvas que receberam menos estrume pesaram menos que aquelas que receberam mais. Além disso, esses adultos, além de menores, viveram menos. Entretanto, foi observado que a taxa de redução de resíduos foi mais eficiente no tratamento que recebeu menor quantidade. Possivelmente porque com menos quantidade de alimento disponível, as larvas acabaram processando todo substrato que lá havia.

DIENER, ZURBRÜGG e TOCKNER (2009) avaliaram a digestibilidade e proporção de mistura ideal de lodo de esgoto com resíduos de mercado para verificar a possibilidade de redução desses resíduos. As larvas foram alimentadas com diferentes proporções a cada três dias, até que todas as larvas se transformassem em pré-pupas. Neste caso, a MSN foi capaz de reduzir significativamente a biomassa de lodo. No entanto, as larvas desenvolveram-se muito mais rápido e melhor quando os resíduos de mercado foram adicionado ao lodo, aumentando seu valor nutritivo. A combinação de Lodo com resíduos de mercado em uma proporção de 50:50 mostrou ser uma boa relação para uma produção de biomassa de pré-pupa e redução eficiente dos resíduos.

Em busca de um nível ótimo entre eficiência de redução de matéria orgânica e produção de biomassa, DIENER, ZURBRÜGG e TOCKNER (2009) aplicaram diferentes quantidades de alimentação à base de ração de frango para larvas de MSN. Assim, por meio de 5 tratamentos com 200 larvas em cada repetição, determinaram que uma alimentação diária de 100 mg/larva/dia de ração de frango com 60% de teor de umidade seria a quantidade ótima que maximizaria eficiência de redução e produção de biomassa. Segundo os autores, uma vez aplicada aos resíduos do mercado e fezes humanas, isso corresponderia a uma alimentação potencial de 3-5 kg/m<sup>2</sup>/dia e 6,5 kg/m<sup>2</sup>/dia, respectivamente.

DIENER, SOLANO, et al., (2011) trabalharam em um experimento de média escala que, embora tenha sido possivelmente prejudicado pelo zinco das bandejas que solubilizou nos resíduos e influenciou no desenvolvimento e sobrevivência das larvas, obteve uma taxa de redução de resíduo que variou de 66,4% a 78,9%, dependendo da umidade do resíduo e da quantidade diária fornecida, que foi entre 1,5 Kg e 4,6 Kg por dia. Tal experimento atingiu uma taxa de conversão de resíduos em biomassa larval de 12%.

Buscando compreender os principais processos biológicos e físico-químicos durante o ciclo da MSN e sua aplicabilidade em uma unidade de processamento de resíduos, DIENER e ZURBRÜGG (2011) examinaram a decomposição de resíduos orgânicos, particularmente no que diz respeito à lodo de esgoto e resíduos orgânicos municipais. Seus experimentos confirmaram o potencial previsto de larvas para reduzir matéria orgânica e produzir proteínas. Entretanto, os resultados relativos ao peso e matéria orgânica oferecida foram menores do que os valores registrados na literatura, colocando em dúvida a operação em larga escala e sua sustentabilidade econômica. Por sua vez, DIENER, SOLANO, *et al.* (2011) realizaram experimentos em média escala na Costa Rica que demonstraram uma redução de resíduos que excedeu todas as expectativas. Ao invés de valores de redução de resíduos em torno de 40%, como conseguiram em laboratório, o lixo doméstico pôde ser reduzido em torno de 68%.

DIENER e ZURBRÜGG (2011) verificaram que tanto a fonte de alimento quanto a quantidade afetam o significativamente o tempo de desenvolvimento da larva de MSN, além, do peso da pré-pupa. GOBBI, MARTÍNEZ-SÁNCHEZ e ROJO (2013) corroboraram tais informações e ainda demonstram que os diferentes substratos em

diferentes quantidades afetaram também mortalidade das larvas, o tamanho dos adultos e o tamanho do ovário das fêmeas.

CHENG, CHIU e LO (2017) sugerem que para realizar a separação do resíduo degradado das pré-pupas, para uma produção industrial não seria interessante aguardar pela saída espontânea da pré-pupa em busca de melhor lugar para pupação, visto que elas não se desenvolvem todas ao mesmo tempo. Os autores buscaram, portanto, identificar um nível de umidade que seja adequado para o desenvolvimento e que também permita o peneiramento do resíduo nos dias finais do ciclo larval. Os resultados mostraram que o resíduo pode ser efetivamente separado da biomassa do inseto por peneiramento usando resíduos alimentares com até 75% de teor de umidade.

De um modo geral as pesquisas estão mais focadas na capacidade de processamento e redução de matéria orgânica por meio da larva da MSN, assim como na taxa de conversão de resíduos em biomassa de larva. Estudos foram feitos com fezes de frango, suínos, bovinos, resíduos agrícolas, lama de esgoto, resíduos de mercados, restos de comida e resíduos sólidos orgânicos municipais. Entretanto, por se tratarem de materiais tão heterogêneos as larvas se desenvolvem de maneira muito diferente, fazendo com que as taxas de degradação e de conversão em biomassa difiram bastante, conforme Tabelas 1 e 2, respectivamente.

**Tabela 1** - Comparação de redução de matéria orgânica por larvas de mosca soldado negra

<b>SUBSTRATO UTILIZADO</b>	<b>TX. MÁXIMA DEGRADAÇÃO</b>	<b>REFERÊNCIA</b>
Poupa de café	29,8%	(LARDÉ, 1990)
Fezes de suínos	56,0%	(NEWTON, SHEPPARD, <i>et al.</i> , 2005)
Fezes de bovino	58,0%	(MYERS, TOMBERLIN, <i>et al.</i> , 2008)
Ração de frango	41,8%	(DIENER, ZURBRÜGG e TOCKNER, 2009)
Lama de esgoto	54,7%	(DIENER e ZURBRÜGG, 2011)
Lama de esgoto+Resíduo de Mercado	66,6%	(DIENER e ZURBRÜGG, 2011)
Resíduo de mercado	68%	(DIENER e ZURBRÜGG, 2011)
Lixo orgânico municipal	78,9%	(DIENER, SOLANO, <i>et al.</i> , 2011)
Resto de comida	46,0%	(KALOVÁ e BORKOVCOVÁ, 2013)
Fezes Humanas	54,2%	(BANKS, GIBSON e CAMERON, 2014)

**Tabela 2** - Comparação de taxas de conversão

<b>RESÍDUO UTILIZADO</b>	<b>TAXA DE EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO MÁXIMA</b>	<b>REFERÊNCIA</b>
Farinha de semente de palmeira	12,0%	(CARUSO, DEVIC, <i>et al.</i> , 2014)
Fezes de suínos	15,5%	(NEWTON, SHEPPARD, <i>et al.</i> , 2005)
Ração de frango	16,0%	(DIENER, ZURBRÜGG e TOCKNER, 2009)
Fezes humanas	22,9%	(BANKS, GIBSON e CAMERON, 2014)
Resíduo orgânico municipal	12,0%	(DIENER, SOLANO, <i>et al.</i> , 2011)

Esta diferenciação pode trazer alguma complexidade para o escalonamento e produção comercial da larva, uma vez que dificulta as previsões de produção.

É evidente que além de umidade e quantidade de resíduo fornecido, as diferenças obtidas pelos diversos autores e suas respectivas taxas de redução e de conversão se devam também aos nutrientes encontrados em cada resíduo, sendo esta uma variável fundamental a ser bem compreendida. TSCHIRNER e SIMON (2015), ao testarem grupos de alimentos com altos índices de proteína e outro com altos índices de fibra, demonstram que a composição dos substratos impacta de maneira crítica no rendimento total das larvas e no peso corporal. Assim, melhores resultados de produção foram alcançados com uma mistura dos tratamentos; o que possivelmente explique as melhores taxas de degradação em resíduos orgânicos municipais, uma vez que são bastante heterogêneos e possivelmente mais balanceados nutricionalmente.

Da mesma forma, testes individuais de degradação de fígado, esturmo de vaca, restos de comida e peixes, demonstraram a melhor taxa de desenvolvimento em restos de comida; também um resíduo mais heterogêneo do que os pares testados (NGUYEN, TOMBERLIN e VANLAERHOVEN, 2015).

#### 2.2.4 FARINHA DA LARVA DE MSN COMO INGREDIENTE DE RAÇÃO ANIMAL

O uso da farinha de pré-pupa como fonte alternativa de proteína para a ração de animais já vem sendo discutido há mais de 40 anos, quando NEWTON, BOORAM, et al. (1977), ao produzirem MSN com esterco de gado levantaram a possibilidade de

tal farinha ser um ingrediente adequado nas dietas de suínos, por seu alto conteúdo de aminoácidos, extrato etéreo e cálcio. Defenderam que tal dieta poderia consistir em um mix de farinha de pré-pupas com farelo de soja e despertaram a necessidade de realização de mais trabalhos para avaliar e elaborar métodos de produção eficiente de MSN com esterco de gado como substrato de crescimento e para determinar os melhores níveis de farinha de pré-pupas em dietas animais.

Na década de 80, BONDARI e SHEPPARD (1981) iniciaram os primeiros estudos com bagre do canal *Ictalurus punctatus* (Rafinesque) e com a tilápia azul *Oreochromis aureus* (Steindachne), que foram alimentadas com larvas de MSN picadas que haviam sido criadas em esterco de aves. Os autores observaram que, em comparação com duas dietas comerciais, a larva picada não apresentou diferença significativa no comprimento e peso dos peixes, quando alimentados por dez semanas. BONDARI e SHEPPARD (1987) testaram larvas de MSN inteiras e picadas na alimentação das mesmas espécies de peixes por um período de tempo maior. Assim, concluíram que a alimentação substituindo farinha de peixe por larvas inteiras ou picadas não forneceu ingestão suficiente de matéria seca ou proteína, quando comparado à dieta comercial. Entretanto, os resultados indicaram que o bagre do canal alimentado com larvas inteiras na composição de sua dieta ganhou 76,7% do peso daqueles alimentados com larvas picadas de 7 a 20 semanas. O valor correspondente da tilápia azul foi de 41,7%.

NEWTON, SHEPPARD, et al.(2005) demonstraram a viabilidade de incluir até 30% de farinha de pré-pupa na alimentação de bagre do canal sem prejuízos no ganho de peso do peixe, trazendo a farinha de pré-pupa de MSN como uma alternativa vantajosa como substituta para a ração à base de farinha do peixe menhaden.

ST-HILAIRE, SHEPPARD, et al., (2007) realizaram estudos com a truta arco-íris. Os dados indicaram que a MSN pode ser um substituto parcial para a farinha de peixe e para o óleo de peixe na alimentação das trutas. A substituição de 25% de farinha de peixe por pré-pupa de MSN secas não trouxe impactos negativos para a taxa de conversão alimentar. Além disso, permitiu a redução de 38% de óleo de peixe na dieta.

SEALEY (2011) verificou por 8 semanas que o crescimento de truta arco-íris alimentada com dietas com 50% de MSN criadas em estrume enriquecido com miúdos de peixes não foi significativamente diferente da dieta controle baseada em farinha de peixe. Entretanto, o crescimento de peixes alimentados com dietas de MSN criadas

unicamente em estrume de bovinos foi significativamente reduzido em comparação com a dieta controle, o que demonstra que a qualidade nutricional da larva vai depender do tipo de resíduo do qual ela se alimenta. Este estudo ainda demonstrou por meio de análise sensorial que não houve diferença no sabor da carne da truta criada com 50% de MSN em sua dieta. STADTLANDER, STAMER, *et al.*, (2017) também chegou à mesma conclusão.

MAGALHÃES, SÁNCHEZ-LÓPEZ, *et al.*, (2017) concluíram que até 19,5% da farinha de pré-pupa de MSN, corresponde a 22,5% da proteína dietética total, podendo substituir com sucesso farinha de peixe em dietas para badejo, sem efeitos adversos sobre o desempenho do crescimento ou digestibilidade. Os resultados do teste de crescimento indicam que a ração para peixe pode incluir 19,5% de farinha de pré-pupa em dietas para juvenis de badejo, substituindo a farinha de peixe, sem efeitos negativos sobre o desempenho do crescimento.

Ainda que com menor eficiência do que farinha de peixe, as larvas MSN podem ser usadas como alimentos para peixes. É provável que o crescimento mais lento dos peixes alimentados com MSN seja devido à presença de quitina, composto que a maioria dos peixes não pode digerir. Além disso, a quitina diminui a absorção e uso de lipídios pelos peixes. (Shiau e Yu, 1999; Gopalakannan e Arul, 2006; Olsen *et al.*, 2006 apud CARUSO, DEVIC, *et al.*, 2014).

Com 30% de MSN na composição de ração para peixes, os coeficientes de digestibilidade diminuem em 36,6; 22,1; 15,9 e 27,3% para matéria orgânica, proteína bruta, lipídios e energia bruta, respectivamente, em comparação com uma ração padrão feita essencialmente de farinha de peixe (KROECKEL, HARJES, *et al.*, 2012).

A baixa digestibilidade das larvas MSN também pode ser devido ao seu alto teor de ácidos gordurosos saturados. Tal digestibilidade diminui linearmente com proporções crescentes de ácidos graxos saturados, indicando que o efeito negativo das larvas de MSN no crescimento de peixes é devido ao seu alto teor de lipídios (Moreau, 2010 apud CARUSO, DEVIC, *et al.*, 2014);

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Laboratório de Entomologia e Acarologia Agrícola – LEA e

em casa de vegetação da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Amazonas (FCA-UFAM), na cidade de Manaus, Estado do Amazonas.

A criação da mosca soldado negra (MSN) foi iniciada em maio de 2017, e os experimentos da pesquisa ocorreram entre os meses de outubro e dezembro de 2017. A temperatura média no período foi de  $28,03 \pm 1,19^{\circ}\text{C}$ , enquanto a umidade relativa do ar foi  $72,64 \pm 6,88\%$  (INMET, 2017). A identificação taxonômica da espécie foi feita no LEA da FCA-UFAM. Os vouchers espécimes foram depositados na coleção entomológica do LEA - FCA/UFAM.

### 3.1 ANÁLISE DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS

Foram utilizados restos de alimentos gerados no restaurante universitário do setor Sul do Campus da UFAM. A fim de se chegar a uma amostra mais representativa do resíduo que é gerado semanalmente pelo restaurante, foram coletados 14,4 Kg de restos de alimentos de segunda à sexta-feira durante uma semana. Essas amostras foram congeladas diariamente até totalizarem 72 Kg de resíduos necessários para realizar os experimentos, sendo posteriormente homogeneizados manualmente. Após tal etapa, foi retirada uma amostra de 100 g para realização de análise de composição centesimal: determinação de matéria seca (MS), matéria mineral (MM), extrato etéreo (EE) e proteína bruta (PB).

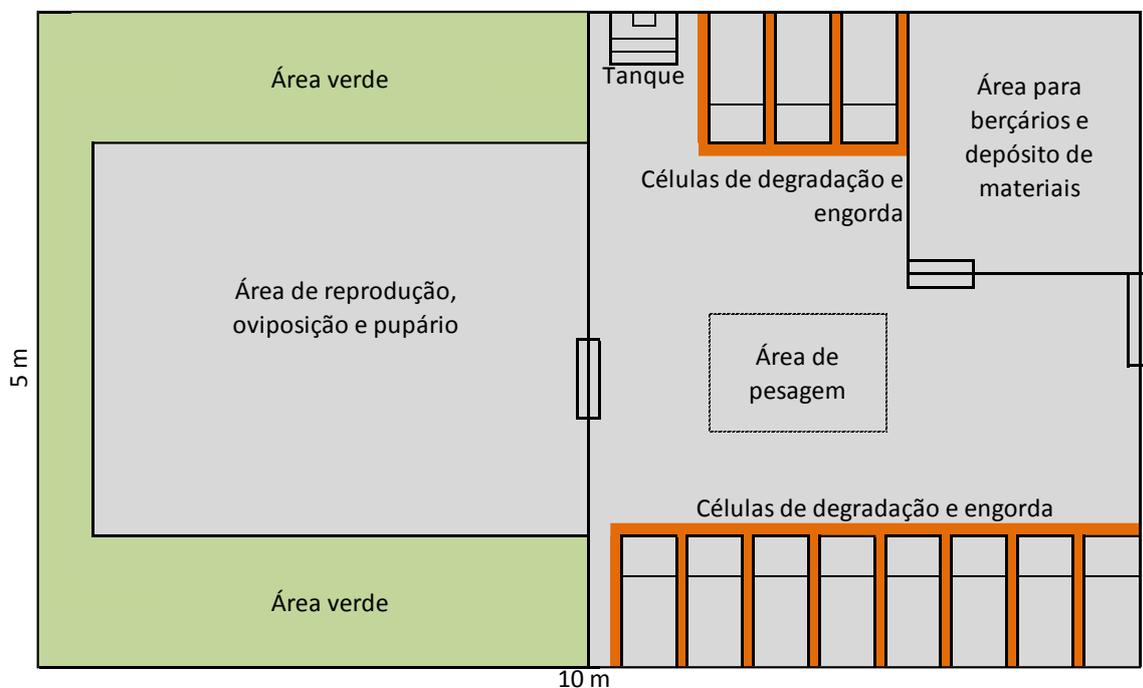
### 3.2 BIOLOGIA E ECOLOGIA

#### 3.2.1 Obtenção da colônia de adultos

Uma casa de vegetação foi adaptada como viveiro para o estabelecimento da criação estoque de Mosca Soladado Negra (Figura 5). A área total do viveiro é 50 m<sup>2</sup>. Desses, 25 m<sup>2</sup> foram telados com tela de 1 mm<sup>2</sup> nas laterais e sombrite de 5 mm<sup>2</sup> na cobertura, sendo que 12,5 m<sup>2</sup> foram cobertos com plástico transparente para permitir a entrada de luz e evitar chuva em metade do viveiro. Tais condições de radiação solar estimulam a reprodução dos adultos (TOMBERLIN e SHEPPARD, 2002). Esta área foi destinada à reprodução, oviposição e pupação das MSN (Figura 6). Os outros 25 m<sup>2</sup> também foram telados para evitar a entrada de insetos e outros animais vindos da parte externa. A fim de proteger da chuva, também foi coberto com lona

transparente. Ali foram confeccionadas onze células de degradação e engorda, medindo 100 cm x 50 cm x 20 cm de altura cada e com rampa de saída das larvas com inclinação de 28°, verificada em (DIENER, SOLANO, *et al.*, 2011) para facilitar a saída das larvas em direção à caixa de coleta e acondicionamento das pré-pupas (Figura 7). Cada célula continha substrato orgânico para alimentação das larvas. Nestes mesmos 25 m<sup>2</sup> ainda foram alocados área de pesagem, tanque de lavagem e área para berçários e depósito de materiais.

**Figura 5** - Viveiro adaptado para criação de *Hermetia illucens* em casa de vegetação



As primeiras matrizes de MSN foram coletadas na fase larval em fezes de aves no setor de avicultura da FCA-UFAM. Tais matrizes foram introduzidas no viveiro a fim de estabelecer uma colônia estoque. As larvas foram colocadas em recipiente plástico com dimensões de 50 cm x 30 cm x 15 cm junto com as fezes das aves, acondicionando cerca de 1 quilo de restos orgânicos de cozinha que eram acrescentados a cada dois dias por um período de 2 semanas para o desenvolvimento larval.

**Figura 6** - Área de reprodução e oviposição de *Hermetia illucens*



No viveiro foram disponibilizadas plantas de gengibre vermelho *Alpinia purpurata* e de mamona *Ricinus communis L.* para propiciar um ambiente adequado de forrageamento, abrigo e acasalamento. Apesar de não se alimentarem na fase adulta, as folhas ficaram expostas à chuva para que o ambiente úmido pudesse favorecer a manutenção das imagos.

**Figura 7** - Célula de degradação de resíduos e engorda de imaturos de *Hermetia illucens*



Em cada célula foi instalada tampas de PVC para manter o ambiente escuro, uma vez que as larvas são foto fóbicas. Essas células, junto com tanque de lavagem e área de circulação, ocupam 21 m<sup>2</sup> do viveiro. Ainda há uma área telada de 4 m<sup>2</sup> destinada aos berçários, guarda de equipamentos e materiais.

Para a obtenção dos ovos foram confeccionados sítios de oviposição que consistem em 4 pares de ripas de madeira de 20 cm x 8 cm formando frestas de 1 a 2mm entre elas. Os pares foram dispostos lado a lado e presos por liga elástica sobre bandeja plástica contendo ração São Pedro® para crescimento de frango umedecida em 50% como atrativo para as fêmeas (Figura 8). Para evitar o ataque de formiga os recipientes foram alocados em prateleiras suspensas por corda envolta com graxa.

**Figura 8** – Sítio de oviposição para *Hermetia illucens*



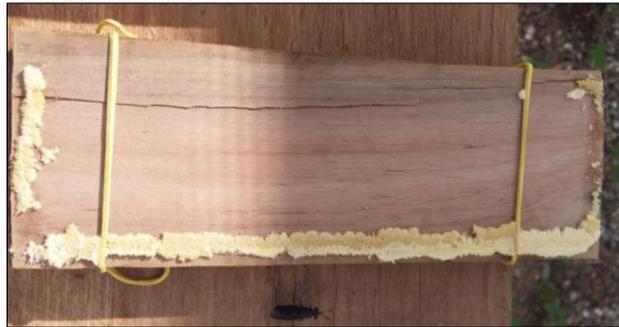
### 3.2.2 Desenvolvimento dos ovos

Os sítios de oviposição foram observados até que a fêmea iniciasse e finalizasse a postura (Figura 8). Foram selecionadas 4 posturas, cujas massas de ovos foram contadas separadamente para determinação de número médio de ovos presentes por postura. Os ovos foram coletados (Figura 9 e Figura 10) e pesados em balança analítica digital Shimadzu AUY220 com sensibilidade de 0,1 mg. Para a determinação do peso dos ovos foram selecionados 600 ovos com o auxílio de microscópio estereoscópico Nikon® SMZ800 com aumento de 40 vezes. Seis grupos de 100 ovos cada foram pesados para fins de determinação do peso médio unitário de cada grupo.

Para determinação da viabilidade dos ovos e o período de desenvolvimento embrionário, 100 ovos distribuídos em 6 placas de Petri foram mantidos em temperatura e umidade ambiente, registradas com médias de  $28,03 \pm 1,19^\circ\text{C}$  e UR:  $72,64 \pm 6,88\%$  (INMET, 2017). Após um intervalo de 72 horas, os 600 ovos foram monitoradas a cada 2 horas para registro de eclosão das larvas.

Para iniciar a produção larval foram confeccionados berçários que consistiam em bandejas plásticas contendo uma camada de ração São Pedro® para crescimento de frango umedecida em 50%. Sobre este substrato, em um suporte de arame contendo uma tela circular de nylon preto com cerca de 8 cm de diâmetro e malha de  $1\text{ mm}^2$ , foram colocadas massas de ovos de *H. illucens* (Figura 11). Foram utilizadas 20g de ração para cada 100 mg de ovos.

**Figura 9** – Massa de ovos de *H. illucens* sobre ripa de madeira



**Figura 10** - Ovos de *H. Illucens* coletados



**Figura 11** – Berçário de *H. illucens*



### 3.2.3 Determinação da produtividade larval

Para a determinação da produtividade larval foram realizados 2 experimentos: No Experimento A buscou-se compreender qual o volume ótimo de substrato para ser fornecido como alimento para as larvas. Este experimento consistiu de 3 tratamentos (1800 g, 2000 g e 2200 g de substrato) e 6 repetições cada. O segundo experimento (Experimento B) objetivou verificar se a alimentação fracionada para as larvas impactaria na produtividade e no desenvolvimento das mesmas. Foram fornecidos 3 tratamentos com diferentes volumes e em diferentes dias de alimentação, conforme detalhado no Quadro 3.

**Quadro 3** - Experimento B: Quantidade e periodicidade de alimentação

TRATAMENTO	DIA 1	DIA 5	DIA 10
Tratamento 1	1000 g	250 g	750 g
Tratamento 2	1000 g	500 g	500 g
Tratamento 3	1000 g	1000 g	0 g

Para ambos os experimentos o substrato foi fracionado e fornecido para larvas com 6 dias de vida (DIENER, SOLANO, *et al.*, 2011), nascidas a partir de 100 mg de ovos (aproximadamente 3671 indivíduos):

Após eclosão dos ovos, as larvas foram mantidas por um período de 6 dias no berçário para pré-adaptação. Em seguida foram transferidas para as bandejas de degradação de resíduos e engorda reservadas para a realização dos experimentos A e B. Para cada experimento foram preparadas 18 bandejas de 44 x 21 x 7,5 cm. Cada uma foi preenchida com a respectiva quantidade de resíduo, inoculada com as larvas desenvolvidas em berçário, cobertas com plástico preto para evitar luminosidade e mantidas por 15 dias (Figura 12).

Para os dados coletados em ambos os experimentos foram calculadas as taxas de redução de alimentos (TRA) (Equação 1) e as taxas de conversão de alimento em biomassa (TC) (Equação 2) com base na matéria seca.

**Figura 12** - Bandejas de degradação de resíduo e engorda



$$(1) \text{ TRA} = (A-R)/A$$

A= Total de alimento fornecido

R= Alimento remanescente

$$(2) \text{ TC} = (M/A) * 100$$

M= Massa de larva produzida

A= Total de alimento fornecido

Esta metodologia foi utilizada para definição de quantidades ótimas de alimentação para a mosca soldado conforme (DIENER; ZURBRÜGG; TOCKNER, 2009). Tais informações permitiram a análise estatística dos dados oriundos de alimentação das larvas.

### **3.2.4 Desenvolvimento e processamento das pré-pupas**

O período de pupação e a sobrevivência de pré-pupas foi determinado ao se colocar 60 pré-pupas recém-saídas do substrato de alimentação para puparem em 1 copo plástico de 300 ml preenchido com vermiculita. O copo foi telado e acompanhado diariamente após o 10º dia. Os adultos que emergiram foram contados diariamente até o vigésimo dia. A literatura demonstra que entre 14 e 17 dias as pupas já atingem a fase adulta (CARUSO, DEVIC, *et al.*, 2014) e (MYERS, TOMBERLIN, *et al.*, 2008).

Para viabilizar uma grande produção que vise degradar resíduos orgânicos é fundamental que o processo produtivo seja o mais eficiente possível. Assim, é necessário entender o tempo de desenvolvimento das pré-pupas e pupas até chegarem à fase de imago. Para isto foi realizado o experimento C, objetivando verificar se a densidade populacional de larvas no substrato de pupação exerceria alguma influência no período de pupação. O experimento consistiu de 7 tratamentos e 5 repetições com diferentes concentrações de pré-pupas (13, 27, 54, 82, 109, 136 e 163) em copos plásticos de 100mL telados contendo vermiculita como substrato de pupação. Os adultos que emergiram foram retirados dos copos e contados diariamente até o 18º dia.

A fim de se determinar o peso médio das pré-pupas, foram selecionadas 300 larvas do Tratamento 3 ao final do experimento. Com este valor e com a massa total de larvas medida, foi possível estimar a quantidade de larvas presentes ao final dos 15 dias. Assim foi possível determinar a taxa de sobrevivência das larvas na fase de engorda, uma vez que o número inicial de ovos era conhecido.

Objetivando avaliar se a biomassa de MSN gerada seria uma alternativa proteica como ingrediente de ração animal, foi necessário processar a pré-pupa e a partir dela produzir uma farinha desengordurada para posteriormente analisá-la. As pré-pupas do experimento B foram congeladas por 24 horas e secas em estufa de circulação a 70°C por 48 horas (NEWTON, SHEPPARD, *et al.*, 2005). Em seguida foram moídas em liquidificador (Figura 13) para posterior solubilização e extração do óleo com uso de *n*-hexano, um solvente apolar no qual a amostra permaneceu imersa (BRUM, ARRUDA e REGITANO-D´ARCE, 2009) até a decantação total (Figura 14), quando então o óleo solubilizado em *n*-hexano foi submetido à filtração à vácuo e rotoevaporação (Figura 15) para extração do *n*-hexano (mais volátil) e nova submersão da amostra até a solubilização e extração da maior parte do óleo contido na amostra. Tal procedimento foi repetido 8 vezes, permanecendo, portanto, somente o óleo no balão de destilação. Assim, a farinha de pré-pupa de MSN foi desengordurada e teve seu óleo levado para análise por meio de Cromatografia Gasosa acoplada a Espectrometria de Massa (CG-EM), a fim de identificar os ácidos graxos e suas concentrações.

**Figura 10** – Moagem de pré-pupas secas de *Hermetia illucens*



**Figura 14** – Dissolução do óleo da pré-pupa de *Hermetia illucens* em hexano



**Figura 15** - Rotoevaporação do hexano diluído no óleo de *Hermetia illucens*



**Figura 16** - Moagem de pré-pupas secas de *Hermetia illucens*



A farinha foi submetida à secagem em estufa de circulação de ar a 70°C por 48 horas (Figura 16) e enviada para análise composição centesimal e aminograma, a fim de determinar a matéria seca (MS), proteína bruta (PB), matéria mineral (MM), extrato etéreo (EE) e concentração de aminoácidos presentes.

### 3.2.5 Determinação da razão sexual e tempo de acasalamento dos adultos

Para determinação da razão sexual, uma população de 40 adultos foi retirada de uma gaiola telada de 40 cm x 25 cm x 25 cm. Todos foram examinados no microscópio esteoscópico para sexagem. A razão sexual foi calculada primeiramente pela definição do percentual de fêmeas (Equação 3), seguido pelo percentual de machos (Equação 4):

$$(3) \%F = TF/TA$$

TF= Total de fêmeas

TA= Total de adultos machos e fêmeas

$$(4) \%M = 1-TA$$

TM= Total de machos

Para a definição de tempo de acasalamento foram observados 16 casais em cópula dentro do viveiro de reprodução. A partir do momento que o casal acoplava e pousava, era colocado sobre eles um copo transparente de 300 mL e cronometrado até o desacoplamento. Os dados foram tabulados e tiveram suas médias e desvio padrão calculados, assim como expurgo de 2 “outliers” para definição final do tempo médio de acasalamento.

### 3.2.6 Análise Estatística

Para os dados biológicos da MSN foram utilizadas as médias e respectivos desvios padrão e amplitude calculados no Excel 2007. Para os experimentos A, B e C, os dados foram analisados no programa “Bioestat for Windows versão 5.3”, sendo utilizado o nível de significância de 95% ( $\alpha = 0,05$ ) em todas as análises. Por meio dele foi levantada a estatística descritiva dos tratamentos, com suas respectivas

médias, desvios padrão e coeficientes de variação. Teste de normalidade (LILIEFORS) foram realizados para verificar se os dados estavam normalmente distribuídos. Uma vez encontrada distribuição paramétrica dos dados, foi realizada análise de variância (ANOVA), com subseqüentes testes de Tukey para realizar a comparação das médias e determinar a existência de diferenças entre os tratamentos.

Em termos gráficos, no programa “Excel 2007” os dados sobre Taxa de redução de alimentos (TRA) e Taxa de conversão de alimento em biomassa (TC) foram plotados em gráficos de linha, a fim de visualizar melhor a quantidade ótima de alimentos a ser fornecida entre os três tratamentos dos experimentos A e B. O experimento B ainda contou com uma análise qualitativa visual, a fim de determinar o estágio de desenvolvimento das larvas.

Quanto ao experimento C, os dados foram plotados em gráfico de dispersão do “Excel 2007”, que determinou a equação da reta e o  $R^2$ , indicando a probabilidade de existência de correlação entre as variáveis.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

##### 4.1 ASPECTOS BIOLÓGICOS DE *Hermetia illucens*

Os dados observados estão detalhados nas Tabela 3 e Tabela 4. Os ovos são colocados em massas de  $1002 \pm 12,83$  unidades por postura e assemelham-se a grãos de arroz. São de coloração branco-leitoso (Figura 17) e cada um pesa  $0,028 \pm 7,5 \cdot 10^{-4}$  mg, corroborando o observado por (BOOTH e SHEPPARD, 1984). A partir do segundo dia após a postura é possível observar o surgimento de dois pontos vermelhos através do córion que são os espiráculos anteriores das larvas. A partir daí os ovos vão se tornando bege até o momento da eclosão. A duração da fase de ovo foi de  $74,75 \pm 0,97$  horas, próximo dos 3,5 dias a  $30^\circ\text{C}$  verificados por (SHEPPARD, TOMBERLIN, *et al.*, 2002), enquanto a viabilidade dos ovos sob temperatura de  $28,03 \pm 1,19^\circ\text{C}$  e UR:  $72,64 \pm 6,88\%$  foi  $97,83 \pm 1,83\%$ , correspondente a 587 ovos. O tempo de eclosão observado foi cerca de 25% menor que o valor observado por (BOOTH e SHEPPARD, 1984), possivelmente pela diferença de temperatura registrada por eles, que foi cerca de 15% menor do que a média registrada neste estudo.

Ao contrário de BOOTH e SHEPPARD, (1984) e SHEPPARD, TOMBERLIN, *et al.*, (2002) que utilizaram a parte corrugada de pedaços de papelão como sítios de oviposição, optou-se por utilizar a técnica com ripas de madeira descrita na metodologia para a oviposição e coleta de ovos, uma vez que basta separar as ripas para expor as frestas entre elas e assim coletar e pesar facilmente os ovos ali depositados, o que não é tão simples no caso dos orifícios da parte corrugada do papelão. Com o uso da metodologia das ripas foi possível coletar até 2g de ovos em um único dia por par de ripas.

**Figura 17** – Ovos de *Hermetia Illucens*



**Tabela 3** – Duração dos estágios de ovo e período de pupação. Viabilidade total (ovo a adulto) de *Hermetia illucens* criada em resíduos do restaurante universitário da UFAM. Temperatura:  $28,03 \pm 1,19^\circ\text{C}$ ; UR:  $72,64 \pm 6,88\%$ ; fotofase: 12h.

	Duração (Horas)	Duração (Dias)	Sobrevivência (%)		
	Eclosão dos ovos	Período de pupação	Ovos	Larvas	Pré-pupas e Pupas
$\bar{X} \pm DP$	$74.75 \pm 0.97$	$17.57 \pm 0.95$	$97,83 \pm 1,83\%$	$80 \pm 21\%$	95%
(a- b)	2	4	5	45	ND
n	587	60	600	12	60

**Tabela 4** – Quantidade de ovos por postura, peso de ovos e pré-pupas e tempo de acasalamento de *Hermetia illucens* criada em resíduos do restaurante universitário da UFAM. Temperatura:  $28,03 \pm 1,19^\circ\text{C}$ ; UR:  $72,64 \pm 6,88\%$ ; fotofase: 12h.

	Peso (mg)		Duração (Minutos)	Qtde. (Unidades)
	Ovos	Pré-pupas e Pupas	Tempo de acasalamento	Ovos por postura
$\bar{X} \pm DP$	$0,028 \pm 7,5.10^{-4}$	$115,49 \pm 21,27$	$15,23 \pm 2,38$	$1002 \pm 12,83$
(a-b)	0.002	81	10	28
n	6	20	13	4

As larvas apresentam 5 instares e a taxa de sobrevivência observada foi de  $80 \pm 21\%$  até a fase de pré-pupa, quando chegaram a um peso de  $115,1 \pm 18,71\text{mg}$  e atingiram uma taxa de sobrevivência de 95%. Esta taxa de sobrevivência considerou a fase de pré-pupa e de pupa juntas pela dificuldade em distinguir o momento exato em que a pré-pupa se transforma em pupa.

Considerou-se o início da fase de pré-pupa quando as larvas cessam a alimentação. As pré-pupas se deslocam da mesma maneira que as larvas e aos pouco vão cessando suas atividades até ficarem totalmente imóveis, quando iniciam o estágio de pupação.

Por algumas vezes foi possível observar que pré-pupas imóveis voltaram a apresentar intensa atividade pouco antes de haver uma precipitação de chuvas, retornando freneticamente à superfície do substrato de pupação, o que pode indicar uma percepção da queda de pressão atmosférica por parte das pré-pupas e a busca de locais mais altos e livres de água para pupação. Comportamento semelhante foi identificado em outra espécie de díptera, *Mallophora ruficauda* (CRESPO e CASTELO, 2012).

Pelo mesmo motivo foi considerado como período de pupação o momento em que a pré-pupa deixa o alimento para buscar um substrato de pupação até a emergência dos adultos. Assim, registrou-se  $17,57 \pm 0,95$  dias referente ao período de pupação, o que vem a corroborar os dados obtidos por (SHEPPARD, TOMBERLIN, *et al.*, 2002).

A taxa de sobrevivência das pré-pupas que permitiu uma emergência de 95% de adultos ficou bem acima dos 63% relatado por MYERS, TOMBERLIN, *et al.* (2008), que criaram as larvas em esterco bovino. Isso corrobora os resultados encontrados pelos autores, que demonstram que a disponibilidade de nutrientes influencia do desenvolvimento da pré-pupa, uma vez que existem menos nutrientes disponíveis em fezes do que resíduos de restaurantes.

Ainda com relação ao desenvolvimento das pré-pupas, além de ser influenciado por variáveis como a disponibilidade de nutrientes na fase larval, a densidade populacional de larvas no substrato também demonstrou exercer influência no tempo de desenvolvimento e emergência dos adultos. Foi constatada diferença estatística

significativa entre as médias (  $F= 5,25$ ;  $gl=6$ ;  $p= 0,001$ ) dos 7 tratamentos de pupação. A Tabela 5 demonstra a diferença entre as 7 densidades populacionais testadas. Foi encontrada uma correlação inversamente proporcional entre a variável “Densidade populacional de pré-pupas” e a variável “% de emergência de adultos”, com um  $R^2$  de 0,8, conforme Gráfico 6.

O tratamento que demonstrou maior percentagem de pupação nos 17 dias foi o que continha uma densidade populacional de 27 pré-pupas/copo de 100 mL de vermiculita. Entretanto, o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) somente começou a apresentar diferença estatisticamente significativa deste número a partir do tratamento com 109 pré-pupas/copo. Isto indica que a maior densidade de que pode ser utilizada sem o comprometimento do percentual de pupação fica em torno de 27 a 82 pré-pupas/copo de 100 mL de vermiculita. Como o experimento foi realizado somente até o 17º dia, é importante destacar que a alta densidade não inviabiliza as pupas, que podem levar muito mais tempo para terem seus adultos emergindo, entretanto, o entendimento da ótima densidade populacional de pré-pupas é fundamental para uma produção eficaz de pupários de MSN, a fim de minimizar o tempo de emergência dos adultos que darão continuidade à colônia estoque.

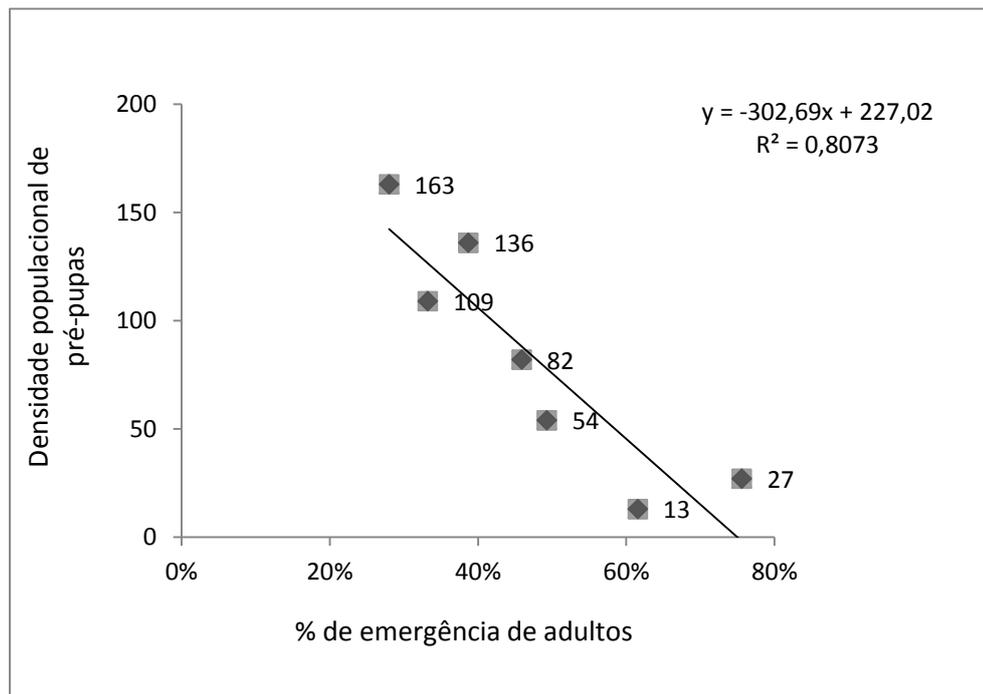
Nas condições pesquisadas, considerando as médias de sobrevivência das fases de ovo à emergência do adulto, a viabilidade total foi de 74,48%.

**Tabela 5** – Percentual médio de pupação em 17 dias da *Hermetia illucens* em diferentes densidades populacionais. Temperatura:  $28,03 \pm 1,19^\circ\text{C}$ ; UR:  $72,64 \pm 6,88\%$ ; fotofase: 12h.

Qtde. de Pré- pupas	13	27	54	82	109	136	163
$\bar{X} \pm DP$	$61 \pm 12\%ab$	$75 \pm 30\%b$	$49 \pm 13\%abc$	$46 \pm 17\%abc$	$33 \pm 9\%ac$	$38 \pm 11\%ac$	$28 \pm 9\%c$
(a-b)	0.3077	0.7407	0.3519	0.439	0.2477	0.2574	0.2393
n	5	5	5	5	5	5	5

Médias seguidas da mesma letra não variam significativamente pelo teste de Tukey ( $p \geq 0,05$ ).

**Gráfico 6**– Curva de correlação entre a densidade populacional de pré-pupas e o % de emergência de adultos em 17 dias.



Inesperada foi a razão sexual de 1 fêmea para cada 3 machos, bastante divergente do relatado por MYERS, TOMBERLIN, *et al.* (2008) que encontraram uma razão em torno de 1:1. Os casais observados no viveiro ficaram, em média,  $15,23 \pm 2,38$  minutos em cópula.

#### 4.2 ANÁLISE QUALIQUANTITATIVA DO RESÍDUO SÓLIDO ORGÂNICO UTILIZADO

A importância do entendimento sobre a qualidade do resíduo fornecido como alimento para as larvas é porque ao se trabalhar com resíduos sólidos orgânicos é necessário considerar que a heterogeneidade existente em resíduos pode impactar no desenvolvimento das larvas. Assim, é fundamental registrar a composição do resíduo utilizado a fim de definir a quantidade a ser fornecida para as larvas, além de permitir a realização de comparativos com outros estudos. Por se tratar de resíduos de restaurante universitário subsidiado, já eram esperados altos níveis de carboidratos (alimento de menor custo). O resultado da análise pode ser verificado na Tabela 6.

**TABELA 6** – Análise de composição centesimal (média  $\pm$  DP) do resíduo de restaurante universitário da UFAM

Amostra	MS (%)	MM (%)	EE(%)	PB (%)	CHO (%)
Resíduo de restaurante	66,0 $\pm$ 0,47	4,3 $\pm$ 0,17	18,1 $\pm$ 0,45	13,8 $\pm$ 0,75	63,8 $\pm$ 1,2
(a-b)	0.9	0.3	0.9	1.5	2.4
n	3	3	3	3	3

MS matéria seca, MM matéria mineral, EE extrato etéreo, PB proteína bruta, CHO carboidrato.

Diante das características do resíduo, foi definida a quantidade de alimentos a ser fornecida para as larvas. Para resíduos de cozinha a literatura apresenta algumas quantidades de resíduos utilizados/larva/dia. Considerando que cada ovo pesa em média 0,028mg, por regra de três se sabe que em 0,1g de ovos (quantidade usada no experimento) existem cerca de 3570 ovos. Ao considerar uma viabilidade dos ovos de 98% e que entre o estágio que a larva sai do berçário (6 dias) (DIENER, SOLANO, *et al.*, 2011) e a pré-pupa são necessários cerca de 15 dias (FURMAN, TOUNG e CATTIS, 1959), 3499 larvas eclodidas degradariam cerca de 3.200g de resíduos, considerando a taxa de alimentação para resíduos de cozinha de 61 mg/larva/dia de (DIENER, ZURBRÜGG e TOCKNER, 2009).

Entretanto, testes preliminares ao estudo demonstraram que quantidades acima de 2500 g de resíduos com 0,1g de ovos ainda estavam ficando com muito material sem degradar quando a maioria das larvas atingia à fase de pré-pupa. Por isso se optou em realizar o experimento A para melhor entendimento desta questão. Além disso, é difícil prever uma quantidade de alimento/larva/dia sem levar em consideração o estágio larval, pois a quantidade de alimentação reduz substancialmente e até cessa nos estágios larvais finais.

A experiência no viveiro para manter a colônia estoque demonstrou que as células de degradação e engorda podem vir a colapsar, caso recebam alimento em excesso quando as larvas estão em seus instares finais, conforme (TOMBERLIN, ADLER e MYERS, 2009) que verificaram que a adição de alimentos após 40% das larvas MSN transformadas em pré-pupa pode levar à alta mortalidade. Talvez isto ocorra porque com a diminuição do consumo de alimentos por parte das larvas em seus instares finais, os micro-organismos ali presentes podem se multiplicar mais rapidamente, o

que de alguma forma pode levar as larvas às altas taxas de mortalidade e colapso daquela população em poucas horas. Mais pesquisas são necessárias para compreender melhor se esta hipótese pode ser validada e quais micro-organismos seriam responsáveis por este fenômeno.

#### 4.3 ANÁLISE QUALIQUANTITATIVA DAS TAXAS DE REDUÇÃO DE ALIMENTOS (TRA) E DA CONVERSÃO DE ALIMENTO EM BIOMASSA DE PRÉ-PUPA (TC)

Entre as TRAs do experimento A foi encontrada diferença estatística significativa, ( $F= 12,09$ ;  $gl=2$ ;  $p= 0,0010$ ). Sendo que, conforme Tabela 7, o tratamento que forneceu 2000 g de alimentos para as larvas com 6 dias provenientes do berçário atingiu 77,93% de taxa média de redução de alimentos. Esta foi a maior TRA entre os três tratamentos experimentados. Quanto à comparação entre as médias das TCs, também foi encontrada diferença estatística significativa ( $F= 9,85$ ;  $gl=2$ ;  $p= 0,0022$ ). A partir de 2000 g de alimento fornecido para as larvas, foi encontrada uma TC de 17% que se estabilizou mesmo no outro tratamento que recebeu um aumento do volume de alimento para 2200 g.

Com maior TRA e TC equivalente ao encontrado no tratamento que disponibilizou 2200 g de alimento, ficou definido que 2000 g seria o valor ótimo de fornecimento de alimentação para as larvas, pois traria a melhor TRA aliada à melhor TC, conforme indicado no Gráfico 7.

Logicamente era esperado que a TRA diminuísse conforme fosse aumentada a quantidade de alimentos oferecida para as larvas, uma vez que quanto mais alimento é oferecido para um número constante de larvas, menor deveria ser sua capacidade de degradação desses alimentos. Esta lógica pôde ser observada quando se aumentou a quantidade de alimentos de 2000 g para 2200 g. Entretanto, de 1800 g para 2000 g, o que se observou foi o oposto: A TRA no tratamento com 2000 g foi maior que naquele com 1800 g. Uma possível explicação seria que o menor volume de alimentos (1800g) aliado à alta atividade metabólica exercida pelas larvas, o que elevava a temperatura do substrato a mais de 40°C, tenha permitido maior perda de umidade em comparação com os outros tratamentos. Tal desidratação pode ter dificultado a degradação por parte das larvas e explicar o resultado não esperado.

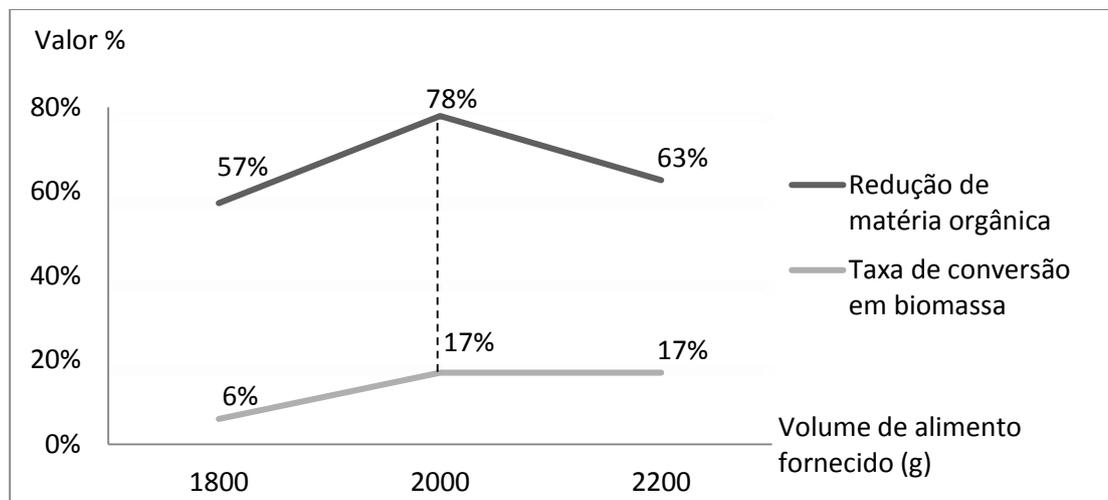
**Tabela 7** – Percentuais (média  $\pm$  DP) de taxa de redução de alimentos e de conversão de alimentos em biomassa larval do Experimento A. Temperatura:  $28,12 \pm 1,05^\circ\text{C}$ ; UR:  $72,72 \pm 5,70\%$ ; fotofase: 12h.

Tratamentos	1800g	2000g	2200g
TRA	$57,48 \pm 8,55a$	$77,93 \pm 6,87b$	$63,06 \pm 6,77a$
(a-b)	25	19,3	18,9
n	6	6	6
TC	$6,28 \pm 0,99a$	$17,25 \pm 7,69b$	$17,16 \pm 3,51b$
(a-b)	2,5	20	10
n	6	6	6

Nota: Quantidade de alimentação: Fornecida uma única vez com 66% de umidade para 100mg de ovos eclodidos com 6 dias

Valores médios seguidos da mesma letra na mesma linha não variam significativamente pelo teste de Tukey ( $p \geq 0,05$ ).

**Gráfico 7**– Determinação do nível ótimo de volume de alimentação considerando maior TRA e TC para os 3 tratamentos do experimento A



Já o comportamento dos dados de TC ficou mais próximo do esperado: Uma menor taxa de conversão de alimento em biomassa para o tratamento com 1800 g de alimento, uma vez que disponibilizou menos nutrientes e também pode ter sido influenciado pela maior perda de umidade; enquanto que a maior disponibilização de nutrientes no tratamento com 2000 g permitiu o aumento da taxa de conversão de 6% para 17%. Ao passo que quando a disponibilização de alimentos aumentou para 2200 g, a TC se manteve inalterada, o que faz sentido se levar em consideração que o

tratamento com 2000 g já pode ter oferecido a quantidade necessária de nutrientes para a melhor conversão em biomassa das larvas ali contidas. Portanto, volumes de alimento acima deste valor não fariam diferença para o desenvolvimento daquela quantidade de larvas testadas.

Em um cenário de fornecimento de 2000 g de alimentos para cada 100 mg de ovos eclodidos com 6 dias, ao converter o peso de ovos em número de larvas e considerando uma viabilidade dos ovos de 98%, estima-se 3499 larvas eclodias. Aplicada a taxa média de sobrevivência de 80% para essas larvas, se obtém 2799 larvas consumindo 2000g por 15 dias. Isto daria uma média de 47 mg/larva/dia, cerca de 23% abaixo do previsto por (DIENER, ZURBRÜGG e TOCKNER, 2009).

Quanto ao experimento B, os dados analisados tiveram distribuição normal. A análise ANOVA de comparação de médias de TRA e de TC não apresentou diferenças estatísticas, alcançando  $p=0,5$  e  $p=0,07$  respectivamente (Tabela 8). Entretanto, qualitativamente o Tratamento 3 apresentou melhor desenvolvimento das larvas, com maior número de pré-pupas ao final dos 15 dias pré-estabelecidos.

As larvas foram mantidas somente por 15 dias no substrato de alimentação, seguindo o tempo de desenvolvimento médio verificado na literatura (FURMAN, TOUNG e CATTS, 1959) e (MYERS, TOMBERLIN, *et al.*, 2008). A alimentação por meio dos 3 tratamentos, embora não tenha gerado um resultado estatístico significativo que implicasse em diferenças nas TRA e TC ( $p>0,05$ ), no aspecto biológico se observou que as larvas alimentadas por meio do Tratamento 3 tiveram um desenvolvimento mais rápido, uma vez que em 15 dias a maioria delas já havia se tornado pré-pupas marrom escuro, enquanto nos Tratamentos 1 e 2, visualmente ainda era possível verificar cerca de 50% de larvas ainda brancas (Figura 18).

Visto que as larvas passaram seus primeiros 6 dias de vida no berçário, é possível que o desenvolvimento das larvas do Tratamento 3 tenha sido melhor porque todos nutrientes que necessitavam foram disponibilizados até o 11º dia de vida, o que corresponde ao quarto instar (GOBBI, 2012). Enquanto isso, os Tratamentos 1 e 2 só forneceram a última porção de alimento no décimo sexto dia de vida das larvas, o que corresponde ao quinto e último instar antes de se tornarem pré-pupas.

**Tabela 8** – Percentuais (média  $\pm$  DP) de taxa de redução de alimentos e de conversão de alimentos em biomassa larval do Experimento B. Temperatura:  $28,41 \pm 1,31^\circ\text{C}$ ; UR:  $74,33 \pm 6,69\%$ ; fotofase: 12h.

Tratamentos	T1	T2	T3
TRA	$86,06 \pm 5,93a$	$83,75 \pm 7,56a$	$82,11 \pm 2,7a$
(a-b)	16	22	8
n	6	6	6
TC	$23,95 \pm 5,54b$	$23,2 \pm 2,23b$	$18,53 \pm 3,46b$
(a-b)	16	7	10
n	6	6	6

TRA Taxa de redução de alimentos, TC Taxa de conversão em Biomassa.

T1 1000g no primeiro dia, 250g no quinto dia e 750g no décimo dia; T2 1000g no primeiro dia, 500g no quinto dia e 500g no décimo dia; T3 1000g no primeiro dia e 1000g no quinto dia.

Médias seguidas da mesma letra na mesma linha não variam significativamente pelo teste ANOVA ( $p \geq 0,05$ ).

**Figura 18** - Comparação visual do desenvolvimento das larvas entre os três tratamentos do Experimento B



Nota: T1 1000g no primeiro dia, 250g no quinto dia e 750g no décimo dia; T2 1000g no primeiro dia, 500g no quinto dia e 500g no décimo dia; T3 1000g no primeiro dia e 1000g no quinto dia

Embora seja difícil comparar os resultados de TRA e TC com toda literatura existente, visto a variedade de métodos e de alimentos oferecidos para as larvas, é interessante notar que as TRAs obtidas nos experimentos A (78%) e B (82%) se apresentaram maiores do que o observado por outros autores. Ao se observar os resíduos utilizados como alimentos para as larvas por esses autores, é possível verificar que a disponibilidade de nutrientes não afeta somente o desenvolvimento das

larvas (MYERS, TOMBERLIN, *et al.*, 2008), como também a taxa de redução de alimentos. Embora não se tenha acesso à análise centesimal dos resíduos utilizados em outras pesquisas, é razoável supor que resíduos como restos de restaurante, supermercados, cascas de alimentos e lixo orgânico municipal incluindo feiras tenham mais nutrientes disponíveis do que fezes, uma vez que essas já sofreram degradação e são produto de um alimento processado por outro organismo que já retirou nutrientes necessários.

Os dados encontrados nos experimentos A e B, quando verificados em conjunto com a literatura demonstram que no geral, alimentos como resíduos de restaurante, lixo doméstico orgânico (DIENER, SOLANO, *et al.*, 2011); lama de esgoto+resíduo orgânico de mercado (DIENER e ZURBRÜGG, 2011); cascas de alimentos vegetais (KALOVÁ e BORKOVCOVÁ, 2013) apresentam TRAs que variam de 66% a 82%, enquanto fezes de bovino (MYERS, TOMBERLIN, *et al.*, 2008); fezes de suínos (NEWTON, SHEPPARD, *et al.*, 2005); lama de esgoto (DIENER e ZURBRÜGG, 2011); fezes humanas (BANKS, GIBSON e CAMERON, 2014) e poupa de café (LARDÉ, 1990) que é abundante em fibras (MENEZES, PIMENTA, *et al.*, 2011) e, portanto, com poucos nutrientes disponíveis para as larvas, apresentam TRAs que variam de 30% A 58%.

Com relação à TC, a literatura estudada demonstra que alimentos de alto valor nutricional fornecidos para as larvas, como ração de frango (DIENER, ZURBRÜGG e TOCKNER, 2009); farinha de semente de palmeira (CARUSO, DEVIC, *et al.*, 2014) e resíduo orgânico doméstico (DIENER, SOLANO, *et al.*, 2011) tem taxas de conversão de alimento em biomassa que variam de 12% a 16%, valores próximos do encontrado neste estudo que ficaram entre 17% e 19%. Já resíduos com menor valor nutricional, como fezes de suínos (NEWTON, SHEPPARD, *et al.*, 2005) apresentam TC em torno de 4%.

#### 4.4 QUANTIDADE E QUALIDADE DA PROTEÍNA E GORDURA PRESENTES NA MSN

As análises centesimais das pré-pupas e da farinha produzida a partir das pré-pupas, podem ser verificadas na Tabela 9.

Tanto a pré-pupa, quanto a farinha desengordurada apresentaram índices proteicos acima de 40%, o que é razoável, visto que várias formulações para ração de diferentes espécies de peixes utilizam de 25 a 32% de proteína bruta. Para juvenis de tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818), por exemplo, a exigência de concentração de proteína bruta na formulação de ração varia de 30% a 40% para peixes entre 46 g e 156 g (FRACALOSSI e CYRINO, 2013).

Quando comparado com outras fontes proteicas tradicionais, como as farinhas de peixe, de glúten e de soja, a farinha de pré-pupa desengordurada apresentou um resultado proteico satisfatório, tendo sua quantidade de proteína  $58.3 \pm 0,46\%$  acima até mesmo dos cerca de 44% presentes no farelo de soja (ABIMORAD et al., 2008 apud FRACALOSSI e CYRINO, 2013)

**Tabela 9** - Percentuais (média  $\pm$  DP) das análises centesimais da pré-pupa de MSN e da farinha de pré-pupa de MSN desengordurada

Amostra	MS (%)	MM (%)	EE(%)	PB (%)	CHO (%)
Pré-pupa de MSN	43.7 $\pm$ 0,2	8.0 $\pm$ 0,05	32.6 $\pm$ 0,75	40.1 $\pm$ 0,34	19.3 $\pm$ 0,36
(a-b)	0,4	0,1	1,4	0,6	0,7
n	3	3	3	3	3
Farinha de pré-pupa desengordurada	91.9 $\pm$ 0,21	8.7 $\pm$ 0,1	6.6 $\pm$ 0,41	58.3 $\pm$ 0,46	26.3 $\pm$ 0,15
(a-b)	0,4	0,2	0,8	0,8	0,3
n	3	3	3	3	3

MS matéria seca, MM matéria mineral, EE extrato etéreo, PB proteína bruta, CHO carboidrato.

A fim de determinar com maior assertividade o conteúdo total de proteína, DIENER, ZURBRÜGG e TOCKNER (2009) desprezaram parte do nitrogênio encontrado na composição centesimal, justificando que cerca de 8,72% da massa proteica é proveniente do nitrogênio da quitina, o que poderia superestimar a proteína bruta quando a mesma é estimada por meio do total de nitrogênio encontrado na análise centesimal  $\times 6,25$  (AOAC, 2005). Entretanto, FINKE (2007) ao estudar a quitina de vários insetos, afirma que na maioria dos insetos, suas cutículas são predominantemente formadas por proteínas e não por quitina. E que a análise de exuvia de tenebrio (*Tenebrio molitor*) apresentou cerca de 65% de seu peso proveniente de aminoácidos, concluindo que o nitrogênio de quitina representa uma

fração bastante pequena do nitrogênio total do inseto e que a estimativa usando o nitrogênio encontrado na composição centesimal  $\times 6.25$  fornece uma estimativa razoável da proteína total para a maioria dos insetos, forma com que foi estimada a proteína bruta na Tabela 9.

As quantidades encontradas de proteínas e lipídios estão próximo da média apresentada pela literatura. Em fezes de suínos (HALE, 1973; NEWTON, SHEPPARD, et al., 2005; ST-HILAIRE, SHEPPARD, et al., 2007); e fezes de aves (NEWTON, SHEPPARD, et al., 2005); o percentual proteico encontrado nas pré-pupas de MSN alimentadas com esses substratos variou de 39% a 43%, enquanto a concentração de lipídios variou de 28% a 38%.

Em se tratando de fonte proteica para a composição de ração para peixes, não basta observar as concentrações de proteína bruta para as formulações. Para o uso desta fonte proteica é necessário também entender a composição de aminoácidos presentes na proteína bruta, além da digestibilidade desta fonte proteica pela espécie de peixe que se pretende alimentar. Neste estudo a farinha de pré-pupa criada em resíduos de restaurante atingiu 26,66% de aminoácidos essenciais, nos estudos de NEWTON, BOORAM, et al. (1977) ao degradar carne bovina as larvas atingiram um total de 22,7%. Já para larvas que degradaram fezes suínas, esses mesmos autores encontraram um total de aminoácidos essenciais de 17,71%, enquanto ST-HILAIRE, SHEPPARD, et al., (2007) verificaram 21,97%. SEALEY, (2011) encontrou valor de 19,28% ao analisar pré-pupas criadas em fezes de bovino com miúdos de peixes; por fim, STADTLANDER, STAMER, et al., (2017) encontraram 14,56% para pré-pupas criadas em resíduos de hortifruti e cervejaria. Seriam necessários estudos comparativos que permitissem afirmar estatisticamente que existe diferença na quantidade final de aminoácidos essenciais, de acordo com o tipo de alimentação recebida pelas larvas.

Embora a quantidade proteica encontrada na pré-pupa e na farinha se apresente satisfatória, a quantidade de aminoácidos essenciais não atende toda a demanda exigida pelo tambaqui, principal peixe criado regionalmente. Entretanto, ao se comparar com outras fontes proteicas tradicionais, percebe-se que essas também não atendem em 100% a demanda de aminoácidos essenciais do tambaqui. Sendo assim, existe déficit de aminoácidos essenciais para atender esta espécie de peixe

com a farinha de pré-pupa, porém, esta perde em volume de aminoácidos essenciais somente para a farinha de peixe e para o concentrado proteico de soja, apresentando, portanto, melhor resultado do que a farinha de vísceras de aves, o farelo de soja e a farinha de carne e ossos, conforme Tabela 10.

Este é um ponto importante de ser estudado, pois tanto a deficiência quanto o excesso de aminoácidos essenciais podem causar uma série de desequilíbrios que influenciam o desenvolvimento dos peixes, é o que afirmam FRACALOSSI e CYRINO (2013) ao tratar de diferentes fontes proteicas disponíveis no mercado para a formulação de rações de peixes:

(...) diversas fontes proteicas não possuem os mesmos valores nutricionais e níveis de aminoácido exigidos pelo peixe, tanto quantitativa como qualitativamente. A avaliação de um ingrediente proteico deve ser feita em função da composição e digestibilidade dos aminoácidos essenciais nele presentes (FRACALOSSI e CYRINO, 2013).

**Tabela 10** - Exigência de aminoácidos essenciais pelo tambaqui e comparativo do teor proteico e composição de aminoácidos essenciais da farinha de pré-pupa em relação a ingredientes proteicos de origem animal e vegetal utilizados em rações para aquicultura, incluindo os déficits em relação ao exigido pelo tambaqui.

	Exigência estimada para o tambaqui	Proteína Animal Tradicional						Proteína Vegetal			Proteína Animal Alternativa		
		Farinha de Peixe	Déficit	Farinha de carne e ossos	Déficit	Farinha de vísceras de aves	Déficit	Farelo de soja	Déficit	Concentrado proteico de soja	Déficit	Farinha de pré-pupa de MSN	Déficit
Proteína bruta	40 <sup>1</sup>	65.5		50		59.7		44.8		62.63		58.3	
Aminoácidos essenciais													
Arginina	5.8	3.85	-1.95	3.37	-2.43	4.06	-1.74	3.39	-2.41	5	-0.8	3.54	-2.26
Histidina	2	1.61	-0.39	0.96	-1.04	1.09	-0.91	1.19	-0.81	1.7	-0.3	1.56	-0.44
Isoleucina	3.9	3.17	-0.73	1.43	-2.47	2.3	-1.6	2.03	-1.87	2.91	-0.99	3.31	-0.59
Leucina	6.6	5.05	-1.55	3	-3.6	4.11	-2.49	3.49	-3.11	5.04	-1.56	3.41	-3.19
Lisina	7.2	5.04	-2.16	2.67	-4.53	3.06	-4.14	2.85	-4.35	4.01	-3.19	2.9	-4.3
Metionina	2.2	1.99	-0.21	0.65	-1.55	1.1	-1.1	0.57	-1.63	0.92	-1.28	1.01	-1.19
Cistina	ND	0.6	ND	0.5	ND	0.84	ND	0.7	ND	0.97	ND	0.2	ND
Fenilalanina	3.6	2.78	-0.82	1.7	-1.9	2.1	-1.5	2.22	-1.38	3.34	-0.26	2.33	-1.27
Tirosina	ND	2.24	ND	1.09	ND	1.87	ND	1.57	ND	2.32	ND	2.56	ND
Treonina	4	2.82	-1.18	1.65	-2.35	0.94	-3.06	1.78	-2.22	2.57	-1.43	2.35	-1.65
Triptofano	ND	0.75	ND	0.3	ND	0.46	ND	0.64	ND	0.79	ND	0	ND
Valina	4.4	3.5	-0.9	2.45	-1.95	2.86	-1.54	2.02	-2.38	3	-1.4	3.49	-0.91
TOTAL		33.4	-9.89	19.77	-21.82	24.79	-18.08	22.45	-20.16	32.57	-11.21	26.66	-15.8

<sup>1</sup> Exigência máxima para peixes de 46g a 156g. Peixes com peso inferior exigem 50% de proteína bruta.  
Fonte: Adaptado de (FRACALOSSO e CYRINO, 2013).

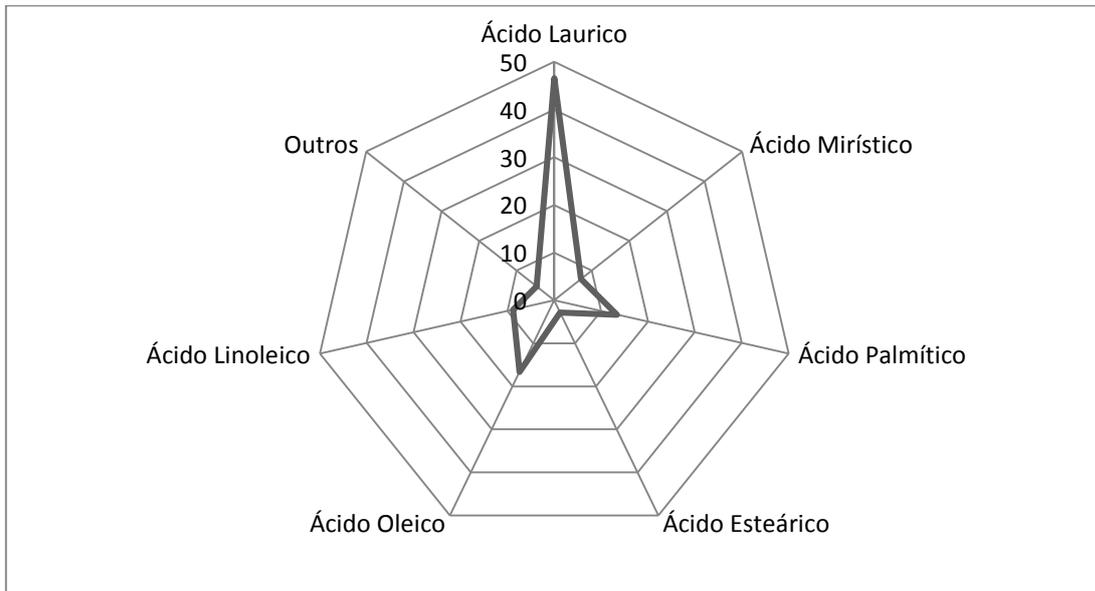
Assim, a farinha de pré-pupa pode ser considerada uma potencial alternativa proteica para a ração de tambaqui e de outras espécies de peixes que precisam ser estudadas. Os números apresentados fornecem um direcionamento para a formulação de rações para tambaqui com inclusão da farinha de pré-pupa. São necessários mais estudos com diferentes formulações e seus efeitos no desenvolvimento desses peixes e da digestibilidade da farinha de pré-pupa, possibilitando que esta farinha seja utilizada em frações adequadas, conforme foi realizado para outras espécies de peixes em outros estudos aqui apresentados.

Com relação ao óleo extraído das pré-pupas, no Gráfico 8 é possível observar que o óleo extraído tem altas concentrações de ácido láurico, seguido por palmítico e oleico. Tais concentrações tem seus picos próximos dos valores encontrados por (CARUSO, DEVIC, *et al.*, 2014), que alimentou as larvas com farinha de semente de palmeira, na qual o ácido laurico é apresentado como o mais concentrado entre os ácidos graxos, seguido dos ácidos mirístico, oleico e palmítico. Assim, seria provável que a alta concentração destes ácidos encontrada no óleo extraído das pré-pupas de *H. illucens* tenha alguma relação com a alimentação à base de farinha também rica nos mesmos ácidos. Entretanto, neste estudo foram encontrados níveis superiores de ácido láurico (46,53%) e ácido oleico (16,65%), além de um alto índice de ácido palmítico (13,43%), sugerindo, portanto, que se trata de ácidos graxos produzidos pela larva de MSN.

A princípio, uma produção em alta escala de MSN para degradação de resíduos e para utilização da pré-pupa como fonte de proteína de ração para peixes exigiria a extração do óleo da farinha de pré-pupa, pois esta tem altos índices de lipídios, o que pode vir a prejudicar o desenvolvimento dos peixes (Moreau, 2010 apud CARUSO, DEVIC, *et al.*, 2014); (KROECKEL, HARJES, *et al.*, 2012).

A análise de composição centesimal identificou cerca de 33% de gordura na composição das pré-pupa. Após o desengorduramento, a farinha ainda permaneceu com 6,6% de gordura. Para peixes de água doce, se considera que dietas contendo entre 10% e 20% de peso seco na forma de lipídios promovem o uso eficiente da proteína para crescimento, sem acúmulo excessivo de gordura nos tecidos. Os ácidos graxos considerados essenciais são os ácidos linolênico e o linoleico (FRACALOSSI e CYRINO, 2013), sendo o último presente em 8,7% no óleo da pré-pupa.

**Gráfico 8** - Comparação de percentuais de ácidos graxos no óleo da MSN



Seriam necessários estudos com peixes da região Amazônica, como o tambaqui para melhor entendimento sobre a real necessidade de desengorduramento da farinha para a produção de ração, uma vez que isto envolve mais custos de produção. Uma vez comprovada a real necessidade de extração do óleo, são necessários estudos para buscar suas possíveis utilidades. Talvez haja alguma aplicabilidade na própria indústria de rações ou na indústria química e de cosméticos, as quais exigem óleos diferenciados com maior valor agregado. Entretanto, no mínimo, é possível afirmar que tal óleo seria útil para a transformação em biodiesel (ZHENG, LI, *et al.*, 2012).

## 5. CONCLUSÕES

Para viabilizar em grande escala a utilização da mosca soldado negra como uma alternativa à redução de resíduos e ao fornecimento de proteína é necessário compreender bem a biologia da mosca e variáveis que influenciam em cada fase de sua vida. Pontos importantes compreendidos por este estudo para viabilizar um escalonamento de produção foram a influencia da densidade populacional no tempo de desenvolvimento da pupa, a quantidade de alimento a ser fornecida para cada 0,1g de ovos e a periodicidade de fornecimento de alimentação.

Os experimentos deixaram claro que a utilização da larva é uma alternativa tecnicamente viável para degradação e redução de resíduo orgânico, reduzindo o resíduo em cerca de 80% e gerando biomassa de larva que ao ser transformada em farinha apresentou um bom valor nutricional, com altos % proteicos, comparáveis às fontes tradicionais de proteína e até superiores a algumas delas, tornando a farinha de pré-pupa um ingrediente interessante para a nutrição de peixes e possivelmente de outros animais.

O fato de a larva se alimentar de uma ampla variedade de resíduos orgânicos é interessante do ponto de vista ambiental, pois permite o uso da mesma para uma ampla degradação e diminuição de resíduos orgânicos. Entretanto, em se tratando de degradação de resíduos sólidos orgânicos doméstico, de feiras, mercados e restaurantes, existe um grande desafio a ser enfrentado que é a heterogeneidade do resíduo. Isto porque, os níveis de pH, carboidrato, gordura, proteína e fibras existentes no resíduo devem influenciar nas taxas de degradação, de conversão em biomassa e no desenvolvimento do animal até a fase adulta.

Assim, de maneira prática, para a utilização da larva de forma escalonada, o que se deve pensar é como estes resíduos chegarão em uma planta industrial de processamento e como serão processados para serem disponibilizados para as larvas. Deve-se buscar valores médios compatíveis de volume de ovos para inoculação, taxas de redução e conversão para diferentes tipos de resíduos (restaurantes, feiras, supermercados e outros) e aprimorar o manejo dos imaturos para os diferentes perfis de resíduos orgânicos.

Diante do estudado, embora a questão de heterogeneidade de resíduo seja algo que dificulta um pouco o escalonamento de uma produção de MSN, isto não seria algo limitante e pode ser contornado com investimento em pesquisa, afinal investimentos milionários já estão sendo feitos em empresas ao redor do mundo que já estão lidando com esta tecnologia mesmo em lugares sem condições climáticas ideais, como o Canadá.

Assim como para outras cidades do bioma Amazônia, a degradação por meio da MSN seria uma alternativa interessante para Manaus, uma vez que a cidade tem alta disponibilidade de resíduos orgânicos tendo um destino não sustentável e sobrecarregando o aterro sanitário que já está com pouco tempo de vida útil. Além disso, a região conta com as condições climáticas ideais para um fácil manejo da espécie, com altas temperaturas e umidade relativa do ar.

Por fim, o alto potencial de piscicultura do Estado do Amazonas, aliado às crescentes taxas de consumo de proteína de peixe e à carência de alternativas proteicas de menor custo financeiro e ambiental que as fontes tradicionais de proteína abre um espaço para a viabilização econômica da produção da farinha como fonte alternativa para compor ração animal, além de outras possíveis fontes de receita, como o tratamento de resíduos sólidos orgânicos, a venda do óleo e do humus resultante da degradação dos resíduos sólidos, com baixo impacto ambiental.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pesquisas adicionais serão necessárias tendo como foco estudos multivariados que determinem de que forma as variáveis de pH, carboidrato, gordura, proteína e fibras contidas nos resíduos influenciam no desenvolvimento da larva e quais seus níveis ótimos de alimentação diária por instar, já que os estudos realizados até o momento determinam médias de alimentação por larva sem levar em consideração que a taxa de alimentação nos diferentes instares se altera significativamente, fato que foi observado nesta pesquisa. Uma vez que se conheça bem essa relação, seria possível para uma planta industrial, ao receber um resíduo sólido orgânico heterogêneo para processamento, homogeneizá-lo por meio de moagem e mistura, e após realização de análise de composição centesimal, determinar volume médio de ovos a serem inoculados, assim como o tempo médio de maturação das larvas e suas respectivas taxas de redução e de conversão em biomassa.

Com um bom banco de informações sobre o desenvolvimento das larvas em diferentes resíduos, também seria possível prever por meio de correlações e modelagem matemática a composição centesimal da farinha de pré-pupa resultante do processo, baseado na composição centesimal do resíduo fornecido (AOAC, 2005).

Para o desenvolvimento da indústria de insetos e especificamente da MSN é necessário boa vontade política e empreendedora, uma vez que além de se tratar de um produto novo a ser introduzido no mercado, ainda é necessário avançar nas questões de regulamentação. A farinha de pré-pupa de mosca soldado negra já se encontra registrada no Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento,

entretanto, por se tratar de uma inovação, seguramente encontrará desafios a serem enfrentados, como a regulamentação para a criação e para o uso de resíduos sólidos orgânicos como alimentos.

Na Europa, a International Platform of Insects for Food and Feed (IPIFF) tem concentrado esforços dos criadores de insetos para defender os interesses do setor e viabilizar regulamentação para isto. Neste sentido, já despertaram a atenção da Comissão europeia de saúde e segurança alimentar que vem formulando processo legislativo para uso de insetos como ração para aquacultura (BYRNE, 2016).

Em fevereiro de 2018 a *Enterra Feed Corporation*, empresa Canadense que processa resíduos orgânicos com o uso da MSN, recebeu aprovação para vender farinha de pré-pupa para os Estados Unidos, Canadá e União Européia, uma vez que a AAFCO (Association of American Feed Control Officials) incluiu a farinha de pré-pupa de mosca soldado negra como um ingrediente autorizado na lista de ingredientes de ração para salmonídeos. Além disso a empresa já recebeu aprovação da CFIA (*Canadian Food Inspection Agency*) para vender as larvas secas para alimentação de tilápia e de aves de corte (ENTERRA FEED CORPORATION, 2018) .

No Brasil o setor de produção de insetos ainda está iniciando sua organização por meio da Associação Brasileira dos Criadores de Insetos (ASBRACI) que como a IPIFF precisará unir esforços para viabilizar normativas para o setor junto aos órgãos públicos , criadores, possíveis consumidores e a mídia.

## 7. REFERÊNCIAS

- ABNT. **ABNT NBR 10004**. 2ª Edição. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. ABRELPE. [S.l.], p. 48;108 e 109. 2013.
- ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. [S.l.]. 2016.
- AMAZONAS, G. D. E. D. **Versão 1.0 do Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Amazonas: SDS / Laghi Engenharia Ltda./ Governo do Estado do Amazonas**. Manaus. 2015.
- ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução RDC nº 216, de 15 de setembro de 2004**. [S.l.]: [s.n.], 2004.
- AOAC, A. O. O. A. C. **Official Methods of Analysis**. 18ª. ed. Washington, DC, USA: [s.n.], 2005.
- BANKS, I. J.; GIBSON, W. T.; CAMERON, M. M. Growth rates of black soldier fly larvae fed on fresh human faeces and their implication for improving sanitation. **Tropical Medicine and International Health**, v. 19, n. 1, p. 14-22, 2014.
- BONDARI, K.; SHEPPARD, D. C. Soldier fly larvae as feed in commercial fish production. **Aquaculture**, v. 24, p. 103-109, 1981.
- BONDARI, K.; SHEPPARD, D. C. Soldier fly, *Hermetia illucens* L., larvae as feed for channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque), and blue tilapia, *Oreochromis aureus* (Steindachner). **Aquaculture and Fisheries Management**, v. 18, p. 209-220, 1987.
- BOOTH, D. C.; SHEPPARD, C. Oviposition of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): Eggs, Masses, Timing, and Site Characteristics. **ENVIRONMENTAL ENTOMOLOGY**, v. 13, n. 2, p. 421-423, 1984.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: [s.n.], 1988.
- BRASIL. **Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos**. 2ª Edição. ed. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2012, v. 81, 2012. ISBN ISBN 978-85-736-5971-9.
- BRUM, A. A. S.; ARRUDA, L. F. D.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B. Métodos de extração e qualidade da fração lipídica de matérias-primas de origem vegetal e animal. **Química Nova**, v. 32, n. 4, p. 849-854, 2009.
- BYRNE, J. Feed Navigator.com. **Feed Navigator**, 2016. Disponível em: <<https://www.feednavigator.com/Article/2016/10/11/Talks-on-EU-authorization-for-insect-meal-in-fish-feed>>. Acesso em: fevereiro 2018.

CARUSO, D. et al. **TECHNICAL HANDBOOK OF DOMESTICATION AND PRODUCTION OF DIPTERA BLACK SOLDIER FLY (BSF) HERMETIA ILLUCENS, STRATIOMYIDAE**. 1. ed. [S.l.]: IRD, v. 1, 2014. ISBN ISBN: 978-979-493-610-8.

CASTRO, M. A. D. O. E. **AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NOS MUNICÍPIOS DE IRANDUBA, MANACAPURU E NOVO AIRÃO, AM**. 2012. ed. Manaus: [s.n.], v. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Sustentabilidade na Amazônia) - PPGCASA - UFAM, Manaus.

CAVALCANTI, C. D. V. Insustentabilidade do desenvolvimento econômico: o fetiche do crescimento. In: CASTRO, V. M. D.; WEHRMANN, M. E. S. D. F. **Esquina da Sustentabilidade: um laboratório da biocivilização**. Brasília: UnB, 2014. p. 11-44.

CHENG, J. Y. K.; CHIU, S. L. H.; LO, I. M. C. Effects of moisture content of food waste on residue separation, larval growth and larval survival in black soldier fly bioconversion. **Elsevier - Waste Management**, 2017.

CICKOVÁ, H. et al. The use of fly larvae for organic waste treatment. **Elsevier - Waste Management 35**, p. 68-80, 2015.

CRESPO, J. E.; CASTELO, M. K. Barometric pressure influences host-orientation behavior in the larva of a dipteran ectoparasitoid. **Journal of Insect Physiology**, Buenos Aires, setembro 2012.

DIENER, S. Valorisation of Organic Solid Waste using the Black Soldier Fly *Hermetia illucens*, in Low and Middle-Income Countries. **eawag**, Dübendorf, 2010. Disponível em:

<[https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/CORS/diss\\_diener.pdf](https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/CORS/diss_diener.pdf)>. Acesso em: 4 outubro 2016. Ph.D. thesis.

DIENER, S. et al. Biological Treatment of Municipal Organic Waste using Black Soldier Fly Larvae. **Waste Biomass Valor**, 2011. 357–363.

DIENER, S.; ZURBRÜGG, C. **BLACK SOLDIER FLY LARVAE FOR ORGANIC WASTE TREATMENT – PROSPECTS AND CONSTRAINTS**. Proceedings of the WasteSafe - 2nd International Conference on Solid Waste Management in the Developing Countries. Khulna, Bangladesh: [s.n.]. 2011. p. 1-8.

DIENER, S.; ZURBRÜGG, C.; TOCKNER, K. Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. **Waste Management & Research**, v. 27, p. 603-610, 2009. ISSN DOI: 10.1177/0734242X09103838.

DO NASCIMENTO, E. P.; GOMES, G. C. **DÉCROISSANCE: QUAL A CONSISTÊNCIA? VIII ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA ECOLÓGICA**. Cuiabá: [s.n.]. 2009.

ENTERRA FEED CORPORATION. Globe News Wire, 2018. Disponível em: <

receives-new-approvals-to-sell-sustainable-insect-ingredients-for-animal-feed-in-USA-Canada-and-EU.html>. Acesso em: março 2018.

FAO. **How to feed the world in 2050**. High Level Expert Forum. Roma: [s.n.]. 2009. Disponível em [www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert\\_paper/How\\_to\\_Feed\\_the\\_World\\_in\\_2050.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf).

FAO. **Edible insects - Future prospects for food and feed security**. FAO. Roma, p. 187. 2013.

FINKE, M. D. Estimate of Chitin in Raw Whole Insects. **Zoo Biology**, Arizona, v. 26, p. 105-115, 2007.

FRACALOSSO, D. M.; CYRINO, J. E. P. **Nutriaqua - Nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira**. 1ª edição ampliada. ed. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2013.

FURMAN, D. P.; TOUNG, R. D.; CATTS, E. P. *Hermetia illucens* (Linnaeus) as a Factor in the Natural Control of *Musca domestica* Linnaeus<sup>1</sup>. **JOURNAL OF ECONOMIC ENTOMOLOGY**, v. 52, n. 5, outubro 1959.

GAMA, L. Câmara dos Deputados, 2017. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/camaranoticias/radio/materias/RADIOAGENCIA/537055-COMISSAO-APROVA-DOACAO-DE-SOBRAS-DE-ALIMENTOS-COMO-FORMA-DE-REDUZIR-DESPERDICIO.html>>. Acesso em: janeiro 2018.

GOBBI, F. P. **Biología reproductiva y caracterización morfológica de los estadios larvarios de *Hermetia illucens* (L., 1758) (Diptera: Stratiomyidae)**. Bases para su producción masiva en Europa. Universidad de Alicante. Alicante. 2012.

GOBBI, P.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, A.; ROJO, S. The effects of larval diet on adult life-history traits of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). **EUROPEAN JOURNAL OF ENTOMOLOGY**, v. 110, p. 461-468, 2013.

GUTIÉRREZ, G. P. A.; RUIZ, R. A. V.; VÉLEZ, H. M. ANALISIS COMPOSICIONAL, MICROBIOLÓGICO Y DIGESTIBILIDAD DE LA PROTEÍNA DE LA HARINA DE LARVAS DE *Hermetia illucens* L (DIPTERA:STRATIOMYIIDAE) EN ANGELÓPOLIS-ANTIOQUIA, COLOMBIA. **Revista Facultad Nacional de Agronomía**, Medellín, v. 57, n. 2, p. 2491-2499, 2004.

HALE, O. M. Dried *Hermetia illucens* larvae (Diptera: Stratiomyidae) as a feed additive for poultry. **Journal of Georgia Entomological Society** 8, p. 17-20, 1973.

HARNDEN, L. M.; TOMBERLIN, J. K. Effects of temperature and diet on Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera Stratiomyidae), development. **Forensic Science International**, p. 109-116, May 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**, 2008. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/0000000105.pdf>>. Acesso em: 2017.

IFIF. **Annual Report**. International Feed Industry Federation. [S.l.]. 2012/13.

IPIFF. **International Platform of Insects for Food and Feed**, 2014. Disponível em: <[www.ipiff.org](http://www.ipiff.org)>. Acesso em: outubro 2017.

JAMES, M. T. The Genus *Hermetia* in the united states (Diptera Stratiomyidae). **Bulletin of the Brooklyn Entomological Society**, p. 165, 1935.

KALOVÁ, M.; BORKOVCOVÁ, M. VORACIOUS LARVAE HERMETIA ILLUCENS AND TREATMENT OF SELECTED TYPES OF BIODEGRADABLE WASTE. **ACTA UNIVERSITATIS AGRICULTURAE ET SILVICULTURAE MENDELIANAE BRUNENSIS**, v. LXI, n. 1, p. 77-83, 2013.

KROECKEL, S. et al. 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.

LARDÉ, G. Recycling of Coffee Pulp by *Hermetia illucens* (Diptera:Stratiomyidae) Larvae. **Biological Waste** 33, p. 307-310, 1990.

LEFF, E. **Ecologia, capital e Cultura**. São Paulo: Vozes, 2009.

MAGALHÃES, R. et al. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) pre-pupae meal as a fish meal replacement in diets for European seabass (*Dicentrarchus labrax*). **Elesvier - Aquaculture**, p. 79-85, 2017.

MALTHUS, T. R. **An Essay on the Principle of Population**. [S.l.]. 1798.

MCCALLAN, E. *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae), a cosmopolitan American species long established in Australia and New Zealand. **Entomo. Mo.**, v. 109, p. 232-234, 1974.

MENEZES, E. G. T. et al. **CARACTERIZAÇÃO E PRÉ-TRATAMENTO DA POLPA DE CAFÉ**. VII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Araxá: [s.n.]. 2011.

MONTEIRO, J. H. P. et al. **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. [S.l.]: IBAM, 2001.

MOTA, A. R. S. D. **AVALIAÇÃO DO GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO MUNICÍPIO DE COARI-AM**. [S.l.]. 2014.

MYERS, H. M. et al. Development of Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae Fed Dairy Manure. **Environmental Entomology**, v. 37, n. 1, p. 11-15, 2008.

NEWTON, G. L. et al. DRIED HERMETIA ILLUCENS LARVAE MEAL AS A SUPPLEMENT FOR SWINE. **JOURNAL OF ANIMAL SCIENCE**, Vol. 44, p. 395-400, 1977.

NEWTON, L. et al. **USING THE BLACK SOLDIER FLY, *Hermetia illucens*, AS A VALUE-ADDED TOOL FOR THE MANAGEMENT OF SWINE MANURE**. [S.I.]. 2005.

NGUYEN, T. T. X.; TOMBERLIN, J. K.; VANLAERHOVEN, S. Ability of Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae to Recycle Food Waste. **ENVIRONMENTAL ENTOMOLOGY**, v. 44, n. 2, p. 406-410, 2015. ISSN DOI: 10.1093/ee/nvv002.

OONINCX, D. G. A. B. et al. Photoreceptor spectral sensitivity of the compound eyes of black soldier fly (*Hermetia illucens*) informing the design of LED-based illumination to enhance indoor reproduction. **Journal of Insect Physiology**, v. 95, p. 133-139, 2016.

SACHS, J. D. Rethinking Macroeconomics. **Capitalism and Society**, v. 4, n. 3, December 2009. ISSN 10.2202/1932-0213.1065.

SEALEY, W. M. Sensory Analysis of Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*, Fed Enriched Black Soldier Fly Prepupae, *Hermetia illucens*. **JOURNAL OF THE WORLD AQUACULTURE SOCIETY**, 42, n. 1, Fevereiro 2011. 34-45.

SECRETARIA MUNICIPAL DE LIMPEZA PÚBLICA DE MANAUS. **ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DIÁRIA DE LIXO COLETADO, EM TONELADAS, NAS FEIRAS E MERCADOS DE DE MANAUS**. SEMULSP. Manaus. 2017.

SEPROR. **SECRETARIA DE ESTADO DE PRODUÇÃO RURAL**, 2016. Disponível em: <<http://www.sepror.am.gov.br/pesca-e-psicultura/>>. Acesso em: janeiro 2018.

SHEPPARD, C. House fly and lesser fly control utilizing the black soldier fly in manure management systems for caged laying hens. **Environmental Entomology**, p. 1439-1442, 1983.

SHEPPARD, D. C. et al. Rearing Methods for the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae). **J. Med. Entomol.**, Tifton, 2002. 695-698.

STADTLANDER, T. et al. *Hermetia illucens* meal as fish meal replacement for rainbow trout on farm. **Journal of Insects as Food and Feed**, 2017.

ST-HILAIRE, S. et al. Fly Prepupae as a Feedstuff for Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*. **JOURNAL OF THE WORLD AQUACULTURE SOCIETY**, 38, n. 1, março 2007. 59-67.

SUFRAMA. **INVENTÁRIO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS - DISTRITO INDUSTRIAL DE MANAUS**. [S.I.]. 2015.

TOMBERLIN, J. K.; ADLER, P. H.; MYERS, H. M. Development of the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) in Relation to Temperature. **Environmental Entomology**, v. 38, p. 930-934, 2009.

TOMBERLIN, J. K.; SHEPPARD, D. C. Factors Influencing Mating and Oviposition of Black Soldier Flies (Diptera: Stratiomyidae) in Colony. **J. Entomol. Sci.**, 37, n. 4, October 2002. 345-352.

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. 379-387, 2002.

TSCHIRNER, M.; SIMON, A. Influence of different growing substrates and processing on the nutrient composition of black soldier fly larvae destined for animal feed. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 1, p. 249-259, 2015.

ZHENG, L. et al. Double the biodiesel yield: Rearing black soldier fly larvae, *Hermetia illucens*, on solid residual fraction of restaurant waste after grease extraction for biodiesel production. **Renewable Energy**, v. 41, p. 75-79, 2012.