

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

GABRIEL DIAS TEIXEIRA NAPPI

INSETOS: O ALIMENTO DO FUTURO

SANTO ANDRÉ

2021

GABRIEL TEIXEIRA DIAS NAPPI

INSETOS: O ALIMENTO DO FUTURO

Monografia apresentada ao curso de bacharelado em Ciências Biológicas da Universidade Federal do ABC como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Alberto José Arab Olavarrieta

SANTO ANDRÉ

2021

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do ABC
Elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da UFABC
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Dias Teixeira Nappi, Gabriel

Insetos : O alimento do futuro / Gabriel Dias Teixeira Nappi. —
2021.

63 fls. : il.

Orientador: Alberto José Arab Olavarrieta

Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Federal do ABC,
Bacharelado em Ciências Biológicas, São Paulo, 2021.

1. Inseto. 2. Entomofagia. 3. Sustentabilidade. 4. Alimentação. I.
Arab Olavarrieta, Alberto José. II. Bacharelado em Ciências
Biológicas, 2021. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Alberto José Arab Olavarrieta, docente do Centro de Ciências Naturais e Humanas da Universidade Federal do ABC (UFABC), agradeço seu permanente entusiasmo e a competência com que exerce suas atividades. Sempre na busca do melhor desempenho, se renovando constantemente e trazendo crescimento para aqueles que o cercam.

Ao Prof. Casé Oliveira, agradeço a oportunidade do aprendizado e desenvolvimento pessoal. Sempre me atendeu e ajudou atenciosamente, passando seus conhecimentos com alegria e empolgação.

Ao Prof. Dr. Tiago Fernandes Carrijo, docente do Centro de Ciências Naturais e Humanas da Universidade Federal do ABC (UFABC), que através do projeto Wikitermes me ensinou a importância de uma boa escrita e a desmistificar conceitos. Assim como agradeço as sugestões, comentários e correções como membro da banca examinadora.

A Prof^a Dra. Juliana Aparecida Fracarolli, docente da Faculdade de Engenharia Agrícola, Departamento de Pré-Processamento de Produtos Agropecuários. UNICAMP, pela participação, correções e sugestões como membro da banca examinadora.

Ao Felipe Martin Pamplona pela atenção ao realizar a correção ortográfica da monografia.

A Dra. Maria Cristina Dias Teixeira, minha mãe, pelo apoio emocional, auxílio e orientação no desenvolvimento da monografia.

RESUMO

Até 2050 é esperado que a população mundial atinja a marca de 9 bilhões de seres humanos. Esse aumento populacional, aliado ao crescimento no consumo de carne demanda a necessidade da procura por novas fontes de proteínas de origem animal. Devido às limitações de terras agricultáveis, a expansão da produção de carne é insuficiente para o aumento da demanda e os impactos ambientais dessa prática agravam ainda mais o problema. Neste estudo, levantamos a informação disponível sobre o uso de insetos na alimentação, analisando a sua sustentabilidade, eficiência, processamento e social tabus na criação massal desses organismos. Os insetos vêm sendo estudados como uma alternativa para a produção de proteína animal. Os besouros tenébrios, por exemplo, são capazes de produzir a mesma quantidade de nutrientes utilizando menos recursos, água e espaço. Além disso, os insetos conseguem crescer em sobras e subprodutos da produção de alimentos diminuindo o impacto ambiental associado à indústria do alimento. Os insetos possuem uma composição nutricional diversa e rica em vários compostos e sua criação de insetos produz menos gases do efeito estufa. A produção industrial de insetos como alternativa alimentar é viável e já existem empresas capazes de produzir e processar grandes volumes desses organismos. Na maioria das produções os processos ainda são precários, faltando otimização em algumas etapas, tais como na dieta, gaiolas, técnicas, até na tecnologia e processos automatizados que garantam um padrão, segurança e eficiência produtiva. É necessário desenvolvimento de técnicas e tecnologias para otimização dessa indústria, assim como a disseminação das já existentes. Há necessidade urgente de estudos e investimentos na área. O colapso da indústria de carne é iminente e seus impactos ambientais já são observáveis e podem se tornar irreversíveis.

Palavras-chave: Entomofagia; Sustentabilidade; Gado; Proteína.

ABSTRACT

World's population is expected to reach 9 billion in 2050. This growth allied with the increasing consumption of meat demand for other resources of animal protein. Since agricultural landscapes are insufficient for the increasing cattle rearing and its negative impact on environmental resources. In this study, we assembled the available information for the use of insects as food source by analyzing the sustainability, efficiency, processing, and social taboos of insect mass rearing. Insects are being considered as an alternative for the production of animal protein. Mealworm beetles, for example, can produce the same amount of nutrients than cattle but using less resources, water and space. Insect mass rearing require less resources than cattle and can be maintained using waste and food by-products, reducing the environmental impact. Additionally, insects have high nutritional value and contributed less to the impact caused byof greenhouse warming. Optimization of automatized processes that could guarantee safety, efficiency and production of insects will be essential for the development of an alternative protein source. There is an urgent necessity for studies and investments on insectproduction. The collapse of meat industry is eminent and its environmental impact could be turn irreversible.

Keywords: Entomophagy; Sustainability; Livestock; Protein.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Lista de Figuras

Figura 1 — Criação do <i>Tenebrio molitor</i>	14
Figura 2 — Comparação do FCRs*.....	21
Figura 3 — Comparação do uso da água.	27
Figura 4 — Proteína produzida por uso espaço.....	28
Figura 5 — Comparação na emissão de gases do efeito estufa.	31
Figura 6 — Caixa de ovo criando espaço vertical em criação de barata de madagascar (<i>Gromphadorhina portentosa</i>).....	36
Figura 7 — Vasilha de plástico com água na base para impedir a entrada de formigas.....	37
Figura 8 — Verticalização da produção.....	40

Lista de Tabelas

Tabela 1 — Quantidade dos aminoácidos essenciais em diferentes estágios de <i>Tenebrio molitor</i> ao lado das necessidades diárias de crianças e adultos.....	17
Tabela 2 — Conteúdo de minerais nos diferentes estágios de <i>Tenebrio molitor</i> comparado com as necessidades diárias de uma pessoa.....	18
Tabela 3 — Conteúdo de vitaminas nos diferentes estágios de <i>Tenebrio molitor</i> comparado com as necessidades diárias de uma pessoa.....	19
Tabela 4 — Impacto das diferentes dietas no desenvolvimento do <i>Tenebrio molitor</i>	22
Tabela 5 — Efeito de dietas a base de subprodutos no desenvolvimento do <i>Tenebrio molitor</i>	23

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1 Insetos e sua importância	9
1.2 Entomofagia e seu histórico.....	10
1.3 Aumento da demanda por fontes de proteína.....	11
1.4 Insetos como fonte de proteína.....	12
1.5 Escolha do tipo de inseto	13
2. OBJETIVOS	14
3. Desenvolvimento	14
3.1 Valor Nutricional dos Insetos	14
3.1.1 Calorias	15
3.1.2 Proteína	15
3.1.3 Aminoácidos	16
3.1.4 Ácidos graxos	17
3.1.5 Minerais	18
3.1.6 Vitaminas.....	19
3.1.7 Fibras.....	20
3.2 Sustentabilidade	20
3.2.1 Uso de alimento.....	20
3.2.2 Uso de água	25
3.2.3 Uso de espaço.....	27
3.2.4 Emissão de gases estufa.....	29
3.3 Produção, processamento e armazenamento	34
3.3.1 Produção	35
3.3.1.1 Grilos	35
3.3.1.2 Tenébrios.....	37
3.3.2 Processamento e armazenamento.....	38
3.4 Desafios	39
3.4.1 Produção e processamento	39
3.4.2 Doenças	42
3.5 Cenário brasileiro.....	45
4. CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS	50

1. INTRODUÇÃO

1.1 Insetos e sua importância

Insetos são os animais mais abundantes no planeta— 66,7% de todos os animais existentes. Capazes de sobreviver e se adaptar em diversos habitats e explorar diferentes tipos de alimento, habitam todos os ecossistemas terrestres. Esses organismos são essenciais para o meio ambiente, tanto que são utilizados como indicadores ecológicos para avaliações de impactos ambientais (ROSENBERG *et al.*, 1986). Os insetos atuam em todas as guildas alimentares, desde decompositores, herbívoros (alimentando-se de diversas plantas e algas), até fungos e outros artrópodes (GILLOT, 2005; GULLAN; CRANSTON, 2017). Além dessas interações, os insetos também polinizam diversas plantas em troca do alimento que as plantas fornecem. Os vegetais produzem grandes quantidades de pólen. Acredita-se que apenas 10% sejam necessários para a polinização, e os outros 90% presume-se que sejam consumidos pelos insetos (DENNIS, 2001).

Além da sua importância ecológica, esses organismos também possuem grande importância na economia, medicina e criminalística (GILLOT, 2005; ADEBANJO *et al.*, 2012; WILSON, 1997). Algumas espécies de insetos são importantes pragas na agricultura e nas construções civis. No entanto, os benefícios trazidos pelos insetos são maiores: produzem mel, cera, seda e são polinizadores e decompositores significativos. A polinização aumenta a produtividade, à qual, segundo estimativa, arrecadando aproximadamente 15 milhões de dólares anuais (GULLAN; CRANSTON, 2017; GILLOT, 2005).

Sendo que alguns insetos utilizam carcaças de animais para alimentação e/ou reprodução, a composição de insetos e seus estágios de desenvolvimento no cadáver podem trazer informações importantes sobre a data da morte. Dessa forma, a entomologia forense — ciência que aplica o estudo da biologia dos insetos associados a resolução de crimes — consegue determinar a data da morte, movimentações pós-morte, circunstâncias relacionadas ao óbito e ao momento póstumo, de forma que até a ausência de insetos pode ser uma ferramenta útil na resolução de crimes (DE SANTANA; BOAS, 2012; DOS SANTOS, 2014).

Os insetos também contribuem na alimentação de forma direta (ver tópico de entomofagia) e indireta para os humanos, fornecendo produtos tais como o mel e própolis. Em 2018, a importação e exportação de mel movimentou 4 bilhões de dólares no mundo enquanto o volume de movimentações comerciais relacionadas à seda, produto do casulo de uma mariposa, movimentou 1 bilhão de dólares (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION CORPORATION STATISTIC DATABASE, 2020). A maior parte da produção de cera era utilizada para produção de velas. Com a descoberta da eletricidade, houve diminuição na produção e utilização daquelas peças, que, até então, eram

utilizadas com objetivo de fornecer iluminação para o ambiente. Apesar disso, a cera possui uma variedade de propósitos industriais, farmacêuticos e hortícolas (GILLOTT, 2005). A produção de cera continua significativa nos dias de hoje. Em 2019 foram produzidas cerca de 66 mil toneladas de cera de abelha (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION CORPORATION STATISTIC DATABASE, 2020).

Os estudos de insetos não se restringem às suas relações benéficas. Algumas áreas de estudo buscam entender e minimizar alguns dos efeitos maléficos, como é o caso da entomologia médica e veterinária. Algumas espécies de insetos são vetores de doenças parasitárias, ou podem causar ferimentos, injetar veneno causando sérias consequências sociais e econômicas. As equipes que atuam nessa área são compostas de multiprofissionais, como epidemiologistas, virologistas, imunologistas, médicos e entomólogos médicos, que buscam minimizar danos e controle do inseto (GULLAN; CRANSTON, 2017).

1.2 Entomofagia e seu histórico

Os primeiros registros históricos da entomofagia remontam-se ao Pleistoceno, quando insetos desempenhavam um papel importante na dieta nos primeiros humanos (SUTTON, 1990). Atualmente é uma prática bem difundida em diversos grupos étnicos na América do Sul, México, África e Ásia (GAHUKAR, 2011). O conhecimento sobre insetos pelas comunidades étnicas é expressado de forma espiritual, religiosa, cosmológica, mitológica e artística, evidenciando a importância desses organismos nas diferentes culturas. O consumo de insetos como fonte alimentar humana é uma dessas manifestações que permitiu a sobrevivência de muitas comunidades indígenas ao longo do tempo (RAMOS-ELORDUY, 2009; VAN HUIS *et al.*, 2013; COSTA-NETO, 2015).

Os insetos são consumidos de diversas formas: crus, assados, cozidos, ou, no caso de grandes quantidades — especialmente gafanhotos e grilos, desidratados e triturados para a produção de farinha, armazenada e consumida no inverno (GILLOT, 2005). Além das formas de preparo, diferentes estágios de desenvolvimento são utilizados na culinária. De acordo com DeFoliart (2006), insetos são também consumidos do estágio de ovo, até larvas e pupas. Seus produtos de excreção também podem ser consumidos, como o maná (alimento feito a base de substâncias excretadas por insetos) (COSTA-NETO, 2003; SUTTON, 1990).

O grau de entomofagia varia significativamente entre as etnias humanas. É possível perceber diferenças na escolha por tipos de insetos dependendo do seu sabor, valor nutricional, costumes locais, e disponibilidade desses organismos (VAN HUIS, 2003). Por exemplo: algumas etnias da África preferem cupins do gênero *Macrotermes*. (CHUNG, 2010). Essa preferência pelo gênero

Macrotermes pode ser observada também em gorilas e chimpanzés, revelando, assim, um aspecto curioso em símios filogeneticamente próximos (FIGUEIRÊDO *et al.*, 2015). Algumas escolhas podem ser baseadas em crenças. Os residentes de Omido acreditam que o fluido branco dos grilos podem capacitar o consumidor a fazer cálculos e solucionar problemas aritméticos com mais precisão (COSTA-NETO, 2003).

Só de cupins, há registros do seu consumo em 29 países, dos quais 19 pertencem ao continente africano. A abundância do gênero *Macrotermes* nessa região explica a preferência pelo consumo desses organismos (FIGUEIRÊDO *et al.*, 2015). No Brasil, há numerosos registros de entomofagia em comunidades indígenas. De acordo com os dados mais atualizados, aproximadamente 135 espécies de insetos são utilizadas como alimento por 39 comunidades indígenas, mostrando a relevância desses organismos para a alimentação desses grupos étnicos brasileiros (NETO; RAMOS-ELORDUY, 2006). No entanto, a prática entomófaga vem sendo substituída por causa do processo de industrialização dos alimentos e atualmente poucos registros podem ser encontrados sobre o assunto (BIRGIT; OLIVER, 2013).

1.3 Aumento da demanda por fontes de proteína

A projeção do crescimento populacional global foi estimada em 50% a partir do ano de 2000, resultando em 9,5 bilhões de pessoas em 2050 e gerando a necessidade por mais alimento para suprir essa demanda (HENCHION *et al.*, 2017). Outro fator importante são as alterações na distribuição da renda que afeta diretamente na composição de demanda por alimentos (TILMAN, 2011; MSANGI; ROSEGRANT, 2012). Assim, teremos mudanças não só na quantidade de alimento necessária, mas também no tipo de alimento e na sua contribuição relativa à dieta da população (HENCHION *et al.*, 2017).

Em países de alta renda, o consumo anual de carne pode chegar a 130 kg por pessoa (STEINFELD *et al.*, 2006), e ainda é esperado um aumento em até 50% (VAN HUIS, 2013). Segundo Trostle (2008), já que a demanda, por alimentos ricos em proteínas, está relacionada com o consumo de carne, também haverá um aumento na demanda de grãos utilizados na ração para gado — cerca de 48% nos países de alta renda e até 158% na China (MSANGI; ROSEGRANT, 2012). Além das mudanças nas estruturas de distribuição dos alimentos — com mais supermercados e alimentos processados para atender essas áreas —, as pessoas que vivem em áreas urbanas têm tendência a consumir mais produtos de origem animal. Se considerarmos esses fatores juntos, aumento da renda, urbanização e crescimento populacional, podemos estimar aumentos significativos no consumo de carne e outros produtos de origem animal como leite (HERRERO *et al.*, 2015).

Devido ao aumento no consumo de carne e sua baixa eficiência de produção, são necessários em média 6 kg de proteína vegetal para a obtenção de 1 kg de proteína animal (PIMENTEL, D.; PIMENTEL, M., 2003). Estima-se que haja um aumento dos preços dos grãos e carne, que ainda pode ser agravado pelas alterações climáticas causadas pelo aquecimento global (NELSON *et al.*, 2009). O aumento da quantidade de gado afeta negativamente o meio ambiente devido à poluição da água e do solo e emissão de gases do efeito estufa. Os dejetos e emissões de gases causam diversos impactos como acidificação do solo e aquecimento global (STEINFELD *et al.*, 2006; VAN HUIS; OONINCX, 2017; HERRERO *et al.*, 2015). Por outro lado, a expansão das áreas de pastagens e produção de ração (70% de toda a produção de grãos está direcionada para a alimentação de gado) não acompanham essa demanda crescente (STEINFELD *et al.*, 2006; VAN HUIS *et al.*, 2013). Esses impactos ambientais, por sua vez, podem estressar plantas e gado, e afetar a sua produtividade devido ao calor, escassez de água, quantidade e qualidade de alimento e solo fértil, e um provável aumento na prevalência e intensidade de doenças nos animais de corte (HERRERO *et al.*, 2015).

O aumento da demanda de carne também implica em aumento de terra arável. O fato de não haver novas áreas que possam rapidamente ser transformadas em pasto causam sérias implicações no setor (STEINFELD *et al.*, 2006). Esse aumento na demanda e no preço, aliado a sua baixa eficiência e as consequências ambientais iminentes, pode agravar seriamente o problema da fome global nos próximos anos, principalmente se considerarmos o aumento no consumo de biocombustíveis e diminuição da produtividade da agricultura (VAN HUIS, 2013) e do gado (HERRERO *et al.*, 2015). Esses problemas relacionados ao consumo de carne evidenciam a inviabilidade da produção, consumo em alta escala e a necessidade da procura de fontes alternativas de proteína.

1.4 Insetos como fonte de proteína

Com a necessidade de novas fontes de alimentos proteicos e o crescimento insustentável das indústrias de carne é necessário a procura por fontes alternativas de proteína. Os insetos possuem diversas vantagens quando comparados com a produção de carne, não apenas mais eficientes em diversos aspectos, como também mais sustentáveis e saudáveis. O consumo em excesso, e a longo prazo, de carne processada e carne vermelha está associado à câncer e doenças cardiovasculares (ABU-GHAZALEH *et al.*, 2021; BOUVARD *et al.*, 2015). Quando comparamos insetos com os animais convencionais utilizados na produção de carne, percebemos que os insetos são mais eficientes na conversão do alimento em biomassa, ou seja, eles consomem menos alimento para a produção da mesma quantidade de proteínas e calorias (VAN HUIS, 2013; PREMALATHA *et al.*, 2011).

Além do menor consumo de recursos, os insetos também consomem menos água, se consideramos a demanda para a irrigação das lavouras de grão para ração (VAN HUIS, 2013). Esses

fatores somados com a taxa de crescimento superior (meses para atingir o estado adulto e não anos) e sua alta fertilidade demonstram a maior eficiência dos insetos para produção de alimentos (PREMALATHA *et al.*, 2011). Essa eficiência está relacionada também à fração do animal que é consumida. De um boi, por exemplo, se aproveita aproximadamente 40% do peso total, enquanto dos insetos se consome entre 80% (grilos) a 100% (tenébrio) (ALEXANDER *et al.*, 2017). Outros fatores que tornam insetos mais sustentáveis ao meio ambiente, em comparação com a produção de carne, são a menor emissão de gases do efeito estufa e de amônia (OONINCX *et al.*, 2010). Adicionalmente, a criação de insetos ocupa menos espaço, já que são capazes de viver em locais de alta densidade populacional (BIRGIT; OLIVER, 2013).

No entanto, os insetos são heterotérmicos, implicando na necessidade de aquecimento em locais mais frios, que geraria maior gasto de energia.

O valor nutricional dos insetos também mostrou-se promissor: possuem bastantes ácidos graxos — mono e polinsaturados —, e são ricos em diversos nutrientes como cobre, ferro, magnésio, manganês, fósforo, selênio, zinco, riboflavina, ácido pantotênico, biotina e ácido fólico (RUMPOLD; SCHULUTER, 2013). Alguns insetos, inclusive, possuem todos os aminoácidos essenciais, como é o caso de algumas espécies de tenébrios e grilos (VAN HUIS, 2013). Adicionalmente, é importante lembrar que o consumo de carne também está ligado a diversos problemas de saúde como obesidade, doenças cardiovasculares e câncer, tornando os insetos uma escolha mais eficiente, sustentável e saudável (BOUVARD *et al.*, 2015).

1.5 Escolha do tipo de inseto

Quando ponderamos em insetos como alimento global existe outro fator extremamente importante para se levar em consideração: a automatização dos processos de criação (VAN HUIS *et al.*, 2013). A produção em escala industrial foi definida como capaz de gerar, no mínimo, uma tonelada de matéria fresca de insetos por dia. As espécies a serem utilizadas para esse fim devem possuir certas características, tais como: 1) alta taxa intrínseca de crescimento; alta taxa de sobrevivência de jovens; 3) alta taxa de oviposição e de conversão de biomassa; 4) ciclo de vida curto; 5) alto ganho de biomassa por dia; 6) capacidade de viver em altas densidades populacionais; 7) proteína de alta qualidade; 8) sincronização do estágio de pupa; e 9) baixa vulnerabilidade a doenças (VAN HUIS *et al.*, 2013).

Um inseto muito utilizado para produção em massa com a finalidade de alimentação humana é a larva-da-farinha, ou, como chamaremos ao longo desse estudo, tenébrio (*Tenebrio molitor*) (Figura 1A). A larva desse besouro é muito utilizada para a alimentação de animais de estimação como aves, répteis e mamíferos e são considerados ideais para nutrição humana. Inclusive, já existem

empresas produzindo esses animais em escala industrial, como a Ynsect, que produz toneladas desse inseto por semana (GRAU *et al.*, 2017), e já é umas das espécies mais criadas em escala industrial (RIBEIRO, 2017). É importante ressaltar que um sistema de produção dependente de apenas uma espécie é extremamente vulnerável e não é uma prática recomendada (Figura 1B); é fundamental descobrir outras espécies do mesmo gênero ou família que possam ser utilizadas para esse fim (VAN HUIS *et al.*, 2013; RUMPOLD; SCHULUTER, 2013).



Figura 1 — Criação do *Tenebrio molitor*. Fonte: Bugs Farm Brasil (2020).

2. OBJETIVOS

Analisar a viabilidade do uso de insetos como alimento humano desde a produção até processamento e armazenamento em escala global através de informação disponibilizada na literatura.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 Valor Nutricional dos Insetos

O valor nutricional dos insetos é variável, não só devido às diversas espécies que podem ser

utilizadas para esse fim, mas também pelas diferenças entre indivíduos dentro de uma mesma espécie. Adicionalmente o valor nutricional pode ser afetado pelo estágio de desenvolvimento, habitat, dieta e pelo processamento e preparação dos insetos antes do consumo (BIRGIT; OLIVER, 2013; OONINCX *et al.*, 2015). As necessidades nutricionais diárias foram estimadas baseadas em um homem de 30 anos pesando 70 kg, afim de simplificar as contas foi suposto uma digestibilidade de 100% dos nutrientes (DAILY NUTRIENT REQUIREMENTS..., 2015).

3.1.1 Calorias

Insetos são fontes muito calóricas. De acordo com Ramos Elorduy *et al.* (1997), esses organismos possuem um alto índice calórico (entre 293 e 762 kcal por cada 100 gramas de peso seco). As larvas do besouro *Tenebrio molitor* possuem um valor nutricional entre 205 e 225 kcal, apesar de ser um valor relativamente baixo quando comparado a outras fontes como a formiga saúva *Atta mexicana* (403 kcal/100g de peso seco) e o cupim *Macrotermes subhyalinus* (534 kcal/100g de peso seco). Esses valores são altos se comparados, por exemplo, com batatas fritas, que possuem, em média, 200 kcal (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2020). Alguns insetos podem atingir valores calóricos ainda maiores, como é o caso da formiga-verde (*Oecophylla smaragdina*), atingindo incríveis 1.272 kcal. Esses valores são de energia bruta, normalmente menor do que a energia metabolizada (VAN HUIS *et al.*, 2013). Considerando que um homem adulto de 30 anos, e com peso de 70 kg, necessita, em média, de 2.868 kcal diariamente, seriam necessários cerca de 1,4 kg de tenébrios diários para um eficiente fornecimento de energia.

3.1.2 Proteína

Os insetos são ótimas fontes de nutrientes devido a suas altas concentrações de proteínas. As proteínas dos insetos contêm a maioria dos aminoácidos essenciais e possuem alta digestibilidade (ADÁMKOVÁ *et al.*, 2017) e suas concentrações de proteína variam dependendo da espécie de inseto. Grilos e gafanhotos, por exemplo, possuem entre 23 a 65% de proteína por peso seco. Algumas espécies de mariposas, como *Imbrasia belina* — comumente utilizada como alimento em alguns países da África — possuem entre 48 e 57% de proteína enquanto cupins possuem em média 35% (VAN HUIS *et al.*, 2013; FINKE, 2002; BANJO *et al.*, 2006; RUMPOLD; SCHULUTER, 2015).

Durante o processo de preparação, os insetos usualmente são desidratados antes do consumo, o que pode elevar a concentração de proteína em até 77% (XIAOMING *et al.*, 2010). Lavas de tenébrio contêm entre 14 e 25 g de proteína/100g de matéria fresca (VAN HUIS *et al.*, 2013; SIEMIANOWSKA *et al.*, 2013; MORALES-RAMOS *et al.*, 2016; FINKE, 2002), atingindo 52g/100g, quando desidratadas (ADÁMKOVÁ *et al.*, 2017; RAVZANAADII *et al.*, 2012). Esses

valores são relevantes se considerarmos que, em média, um ser humano necessita de 64 g de proteínas diárias, o equivalente a 123-139 g de larvas de tenébrio desidratado ou 256-457 g de larvas frescas.

3.1.3 Aminoácidos

Observar os números brutos de proteína dos insetos não é o suficiente para analisar seu valor nutritivo. Além de analisar a quantidade de proteínas e sua digestibilidade, é importante determinar quais aminoácidos compõem as proteínas desses organismos. Dentre os aminoácidos dos insetos, oito não são sintetizados pelos humanos e, portanto, devem ser obtidos através da alimentação (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION; WORLD HEALTH ORGANIZATION; UNITED NATIONS UNIVERSITY, 1986). De acordo com Persijn e Charrondiere (2014), todos os aminoácidos essenciais estão disponíveis nesses insetos, apesar de haver variação interespecífica (ALEXANDER *et al.*, 2017). A lisina, o triptofano e a treonina são os aminoácidos mais abundantes no corpo dos insetos. Esses aminoácidos são especialmente importantes pois não estão presentes na maioria dos alimentos, sendo necessário a sua incorporação artificial. Sendo assim, os insetos podem ser utilizados como um suplemento desses aminoácidos (VAN HUIS *et al.*, 2013).

Para utilização de insetos como um suplemento alimentar, é necessário analisar os hábitos alimentares da região e suas deficiências nutricionais, bem como os insetos disponíveis que podem suprir essas deficiências. Na República Democrática do Congo, por exemplo, a alimentação é pobre em lisina e pode ser complementada com lagartas da região, ricas em lisina. Já em outros locais da África, onde a população humana se alimenta principalmente de milho (o qual contém baixas quantidades de lisina e triptofano), o cupim *M. bellicosus* é utilizado como uma alternativa para evitar a deficiência desses aminoácidos (VAN HUIS *et al.*, 2013). Dos aminoácidos essenciais, os tenébrios só não possuem o triptofano. Em média 200 g de larvas de tenébrio desidratadas podem suprir as necessidades diárias de aminoácidos de um adulto; e entre 420 e 725 gramas suprimos a necessidade de uma criança. Calculando esses valores para matéria fresca, chegamos à quantidade que pode variar entre 568 e 946 g de larvas para suprir as necessidades de um adulto, e desde 840 até 1400 g para suprir as necessidades de uma criança (Tabela 1).

É interessante observar as diferenças nos valores nutricionais entre os estágios e as larvas nos dois estudos utilizados, reforçando como a dieta e o estágio de vida do inseto influenciam no seu valor nutricional. Com o conhecimento adequado dessas variações, podemos manipular a composição da dieta e misturar os estágios para atingir valores otimizados para nutrição humana. Além disso, as exúvias desses animais que normalmente são descartadas também possuem valor nutricional considerável e podem ser processadas e utilizadas para enriquecer o valor nutricional de alimentos.

Tabela 1 — Quantidade dos aminoácidos essenciais em diferentes estágios de *Tenebrio molitor* ao lado das necessidades diárias de crianças e adultos

Aminoácido	Conteúdo de aminoácidos g/100g de proteína				Necessidades diárias g/dia	
	Larva ¹	Larva ²	Besouro (adulto) ¹	Exúvia ¹	Criança	Adulto
Isoleucina	3,6	2,6	3,9	1,9	2,8	1,3
Leucina	3,4	4,6	5,2	2,0	6,6	1,9
Lisina	2,9	1,6	2,2	1,0	5,8	1,6
Cisteína+Metionina	1,2	1,6	1,1	0,4	2,5	1,7
Fenilalanina+Tirosina	5,2	7,5	3,2	3,0	6,3	1,9
Treonina	1,8	2,7	2,2	1,1	3,4	0,9
Valina	2,4	3,8	3,4	2,4	3,5	1,3
Histidina	1,5	2,1	1,7	1,2	1,9	1,6

Fonte: Adaptado de Ravzanaadii et al., (2012), Aguilhar-Miranda et al., (2002) e Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, Organização Mundial da Saúde e Organização das Nações Unidas (1986).

3.1.4 Ácidos graxos

Ácidos graxos são moléculas ricas em energia. Os ácidos graxos insaturados são uma parte importante de uma dieta saudável já que ajudam a reduzir o risco de doenças cardíacas e diminuir os níveis de colesterol, entre outros benefícios (DAILY NUTRIENT REQUIREMENTS, 2015). Segundo Van Huis *et al.* (2013), os insetos são uma fonte considerável de ácidos graxos insaturados — possuem concentração que varia de 7 a 77% por peso seco. Suas concentrações variam entre 30 a 50 g/100 g de peso seco nos insetos comumente utilizados, como é o caso dos grilos, cupins e tenébrios (ADÁMKOVÁ *et al.*, 2017; BANJO *et al.*, 2006; FINKE, 2002). Assim como os aminoácidos, existe um grupo de ácidos graxos essenciais que não podem ser sintetizados pelo organismo humano, e, portanto, devem ser ingeridos: o ácido alfa-linolênico e o ácido linoleico. Os insetos normalmente contêm pelo menos um dos dois ácidos graxos essenciais para humanos (WOMENI *et al.*, 2009).

Os gafanhotos das espécies *Ruspolia differens* e *Zonocerus variegates*, por exemplo, possuem ambos os ácidos graxos essenciais, contendo até 67% de ácidos graxos por peso seco (WOMENI *et al.*, 2009; VAN HUIS *et al.*, 2013). Larvas de tenébrios, por sua vez, contêm de 10 a 15 g de ácido linoleico e de 0,56 a 0,68 g de ácido alfa-linolênico por peso seco (RAVZANAADII *et al.*, 2012; ADÁMKOVÁ *et al.*, 2017). Sendo que as necessidades desses ácidos graxos para humanos são de 17 e 1,6 g por dia, respectivamente, (BURNS- WHITMORE *et al.*, 2019), seriam necessários consumir de 235 a 285 g diários de tenébrio desidratado para suprir essa demanda.

3.1.5 Minerais

Os minerais são micronutrientes importantes para diversos processos biológicos e sua ingestão diária é essencial para a manutenção da saúde. No entanto, a deficiência desses compostos nos alimentos consumidos comumente é relativamente alta. Deficiência de ferro e zinco no alimento afetam de 1 bilhão a 2 bilhões de pessoas (MÜLLER; KRAWINKEL, 2005). Insetos são ricos em minerais (Tabela 2), tornando-se, assim, uma alternativa mais eficiente que a carne para suprir essas carências. Cupins e grilos comumente encontrados são ricos em ferro e zinco (VAN HUIS, 2013). Já as lagartas da mariposa *Gonimbrasia belina* possuem de 6 a 12 vezes mais ferro do que carne (VAN HUIS *et al.*, 2013), e as larva do besouro *Rhynchophorus phoenicis* possuem mais do dobro de zinco (BUKKENS, 2005).

Tabela 2 — Conteúdo de minerais nos diferentes estágios de *Tenebrio molitor* comparado com as necessidades diárias de uma pessoa

Mineral	Necessidade diária (mg/dia)	Conteúdo de nutriente – mg/100g da amostra				
		Larva ¹	Adulto ¹	Exuvia ¹	Larva ²	Adulto ²
Cálcio	1000,00	43,40	48,43	80,11	16,90	23,10
Fósforo ³	700,00	706,07	808,70	525,22	285,00	277,00
Potássio	3800,00	947,97	1045,99	1472,56	341,00	340,00
Ferro	8,00	6,68	7,87	5,58	2,00	2,18
Sódio	920,00	364,48	430,27	634,31	53,70	63,20
Magnésia	400,00	202,68	193,20	138,80	80,10	60,60
Zinco	14,00	10,42	10,89	26,51	5,20	6,62
Cobre ³	0,90	1,32	1,80	1,00	0,61	0,75
Iodo	0,15	-	-	-	0,02	0,02

Fonte: Adaptado de Ravzanaadii *et al.*, (2012), Finke (2002) e Van Huis *et al.*, (2013).

Os tenébrios, por outro lado, possuem baixa quantidade de cálcio quando comparamos com as necessidades diárias (FINKE, 2002; RAVZANAADI, 2012), sendo necessárias de 1,7 a 2,3 kg das larvas desses besouros para satisfazer essa necessidade. Contudo, a demanda por outros minerais pode ser satisfeita consumindo aproximadamente entre 400 e 1700 g de tenébrios/dia. As exúvias desses insetos contem o dobro da concentração de cálcio e também pode ser usada como alternativa (colocados na farinha, por exemplo), para a obtenção de cálcio, como outros nutrientes. É importante notar que Finke (2002) realizou as análises nutricionais dos tenébrios depois de submetê-los a 24 horas de jejum, sugerindo que o processamento desses insetos pode causar perda nutricional. Esses métodos devem ser refinados a fim de minimizar a perda nutricional, já que, em uma escala global, é

imprescindível o abate e a conservação desses animais tanto para transporte, como para armazenamento.

3.1.6 Vitaminas

As vitaminas são essenciais para estimular diversos processos metabólicos e fortalecer o sistema imune. Essas substâncias estão presentes na maioria dos insetos comestíveis (VAN HUIS *et al.*, 2013). Algumas espécies possuem concentrações de vitamina B1 e B2 de até 4 mg/100 g de peso seco (maior que pão integral). O retinol e o β -caroteno (Vitamina A) podem ser encontrados em algumas lagartas na concentração de até 48 μ g/100 g de peso seco. A larva do besouro *R. Phoenicis*, citado anteriormente como rico em zinco, possui também alto conteúdo de α -tocopherol e β + γ tocopherol (Vitamina E), atingindo valores de 9 a 35 g/100 g de peso seco (BUKKENS, 2005). Tenébrios são pouco eficientes no fornecimento de vitaminas A e C. Porém, todas as outras podem ser fornecidas consumindo até 500 gramas de tenébrios diariamente (Tabela 3). Vale ressaltar que esses valores são obtidos dos tenébrios após um jejum de 24 horas e congelamento. Supondo que a queda nos valores nutricionais ocorrida nos minerais se repita nos valores das vitaminas, pode-se supor que esses valores são maiores.

Tabela 3 — Conteúdo de vitaminas nos diferentes estágios de *Tenebrio molitor* comparado com as necessidades diárias de uma pessoa

Vitaminas	Necessidade diária (mg/dia)	Conteúdo em mg/100g da amostra ¹	
		Larva	Adulto
Vitamina A	0,9	0,1 ²	-
Tiamina	1,2	0,24	0,1
Riboflavina	1,3	0,91	0,85
Vitamina C	45	1,2	5,4
Vitamina B12	< 0,01	< 0,01	<0,01
Vitamina B6	1,3	0,81	0,81
Ácido fólico ³	0,4	0,15	0,14
Niacina	16	4	5,6
Ácido pantotênico ³	6	2,6	2,4
Biotina ³	0,03	0,03	0,03

Fonte: Adaptado de Finke (2002), Van Huis *et al.*, (2013) e Valores de Referência Nutricional para Austrália e Nova Zelândia (2020).

3.1.7 Fibras

As concentrações de fibras nos insetos são elevadas e estão presentes na forma de quitina, um polissacarídeo insolúvel componente do exoesqueleto (VAN HUIS *et al.*, 2013). A maioria dos insetos criados comercialmente apresenta concentração de quitina entre 0,27 a 4,98 mg/100 g de peso seco. Esse intervalo, porém, aumenta para 1,16 a 13,72 mg/100 g nos insetos frescos (FINKE, 2007; VAN HUIS *et al.*, 2013). Nos tenébrios, as larvas desidratadas possuem entre 4,58 a 5,7 g/100 g de peso seco de fibra bruta. Considerando que a necessidade diária de fibras é de aproximadamente 30 g/dia seriam necessárias entre 526 a 655 g de larvas para atender essa demanda. Entretanto, os adultos (besouros) e exúvias possuem ainda concentrações mais altas (20-25 g/100g de peso seco de fibras). Nesse caso, a utilização de besouros e exúvias parece ser mais interessante do que a de larvas (RAVZANAADII *et al.*, 2012; FINKE, 2002). É importante ressaltar sobre a digestibilidade da quitina, que é amplamente vista como uma fibra não digerível por humanos (VAN HUIS *et al.*, 2013), porém, uma enzima capaz de digerir quitinase foi encontrada no sistema digestório de seres humanos, sugerindo a capacidade de digerir essa fibra (PAOLETTI *et al.*, 2007).

3.2 Sustentabilidade

3.2.1 Uso de alimento

Os insetos são mais eficientes na conversão da biomassa, quando comparados com o gado bovino (VAN HUIS, 2013). As medidas utilizadas para avaliar a eficiência no uso do alimento, ou seja, a taxa de conversão do alimento em massa corporal são a FCR (Food Conversion Rate) para matéria fresca e a ECI (Efficiency Conversion of Ingested Food), quando for baseado em matéria seca (OONINCX *et al.*, 2015). De acordo com esses parâmetros, a carne bovina é a menos eficiente na conversão de biomassa com FCR que pode variar de 7,7 a 10, ou seja, seriam necessários entre 7,7 a 10 kg de alimento para produção de 1 kg de carne. Já a carne de porco possui FCR de 3,6 a 5,0, e o frango, o mais eficiente na conversão, possui de 2,2 a 2,5. Esses valores podem variar bastante dependendo da dieta e das técnicas de produção (VAN HUIS, 2013; BIRGIT; OLIVER, 2013).

O FCR dos insetos também apresenta variação dependendo da dieta e da densidade populacional desses organismos. Dentre os FCRs estudados nos insetos, temos do grilo, de 0,9 a 6,1; o tenébrio, de 1,8 a 6,1, e a barata argentina, de 1,5 a 2,7 (OONINCX *et al.*, 2015; VAN HUIS *et al.*, 2013; HALLORAN *et al.*, 2016; COLLAVO *et al.*, 2005). Os valores mais altos de FCR dos insetos ainda são menores que os valores mais baixos de FCR para a carne bovina. Os valores mais baixos de FCR nos insetos foram coletados quando os insetos foram alimentados com rações de altas concentrações proteicas, como as utilizadas nas criações de frango, e com fornecimento de matéria

vegetal. Pode-se dizer que, quando utilizada alimentação semelhante, os insetos atingem valores próximos ou menores de FCR que o frango (Figura 2). Esses valores indicam que grilos, baratas e tenébrios são tão eficientes quanto o frango na conversão de alimento em biomassa (OONINCX *et al.*, 2015).

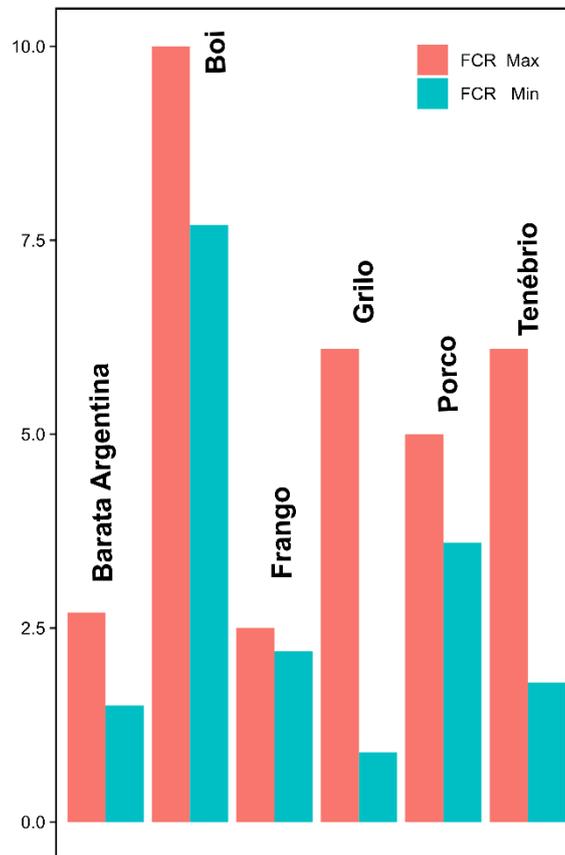


Figura 2 — Comparação do FCRs*. Fonte: Adaptado de Van Huis et al., (2015), Van Huis et al., (2013), Oonincx et al., (2015), Birgit; Oliver, (2013) *FCR (Feed Conversion Rate)

Esses números de eficiência no uso do alimento são ainda mais expressivos se a quantidade da biomassa animal utilizada for levada em conta. Se considerarmos que cerca de 55% do frango é aproveitado em comparação a 80% do grilo, por exemplo, significa que o grilo é pelo menos duas vezes mais eficiente na conversão de alimento em biomassa (VAN HUIS *et al.*, 2013).

Liu (2020) avaliou o impacto do fornecimento de vegetais em tenébrios. Estes foram separados em quatro grupos — todos utilizaram farelo de trigo como substrato. O grupo controle não recebeu vegetais, e foi fornecido um vegetal diferente (cenoura, laranja, repolho) para cada um dos outros três grupos. O tratamento não teve efeito na sobrevivência dos insetos e o tempo de desenvolvimento não foi afetado. As taxas de crescimento foram de 38 a 49% maiores quando oferecida uma dieta vegetal, resultando em larvas 40% a 46% mais pesadas. No entanto, não houve

diferença significativa entre os tipos de vegetais. A composição nutricional das larvas foi de 64,1% de água, 13,8% de lipídios, 17,6% de proteína, 1,5% de micronutrientes e 3,1% de carboidratos, calculados a partir de matéria fresca, não foi afetada pelas diferenças nutricionais no tratamento com vegetais, embora aumente a taxa de crescimento e, portanto, melhorando a eficiência para produção em massa (LIU et al., 2020).

Rumbos *et al.* (2020) também avaliaram o impacto de diferentes dietas na criação de tenébrios. As dietas foram divididas em quatro categorias: farinha de cereais, substrato de cereais, farinha de legumes e substratos diversos. Houve fornecimento de vegetal como fonte de umidade para todos os grupos. Um resumo mostrando os destaques de cada categoria com seus valores de mortalidade, peso total e individual e ECI em comparação com as outras dietas da mesma categoria (Tabela 4).

A mortalidade dos besouros foi baixa e o peso das larvas maior quando foram utilizadas dietas com farinhas de cereais, substratos cereais e substratos diversos com exceção da farinha de aveia, ração a base de leite e farinha de quinoa. Já na dieta com farinha de legumes houve uma maior mortalidade das larvas. Os maiores valores de ECI da farinha de cereais, substratos cereais e substratos diversos ficaram próximos, como esperado os maiores valores de ECI coincidiram com os maiores valores de peso total e peso individual. A exceção dessa regra é a farinha de legumes, que apresentou resultados ruins comparados com as outras categorias. Podemos inferir que o ECI está ligado a larvas mais pesadas e menor mortalidade, gerando também maior peso total (RUMBOS *et al.*, 2020).

Tabela 4 — Impacto das diferentes dietas no desenvolvimento do *Tenebrio molitor*

Ração utilizada	Mortalidade de Adultos (%)	Peso total (mg)	Peso individual (mg)	ECI* (%)
Farinha de aveia	16,7	104,2	0,7	5,6
Farinha de trigo duro	6,7	517,2	4,3	16,9
Farinha de cevada	3,3	170,6	3,3	8,0
Farelo de trigo	6,7	1431,7	8,2	14,9
Farelo de centeio	3,3	146,8	8,3	11,6
Grão de milho	3,3	39,3	0,4	3,0
Farinha de soja	6,7	27,2	0,6	2,5
Grão de bico	15,0	97,3	1,1	7,1
Farinha de lentilha	30,0	90,6	1,4	8,6
Tremoço	23,3	46,2	2,7	2,3
Farinha de quinoa	24,0	119,3	1,5	7,8
Ração a base de leite	48,3	505,7	3,1	14,0
Ração para galinhas	6,7	1744,7	11,1	15,5

Fonte: Adaptado de Rumbos *et al.* (2020). *ECI (Efficiency Conversion of Ingested food)

Outro estudo sobre o efeito das dietas na produção dos tenébrios foi conduzido por Ooninx *et al.* (2015). Nesse caso, os autores avaliaram a possibilidade da utilização de subprodutos nas dietas

como o melaço de beterraba, casca de batata, restos de pão, grãos, biscoito e fermento de cerveja. As dietas foram compostas de uma mistura dos subprodutos e foram classificadas dependendo de suas concentrações de proteínas e lipídeos, HPHF (altas concentrações de proteína e lipídeos), HPLF (altas concentrações de proteína e baixa de lipídeos), LPHF (baixa concentrações de proteína e alta de lipídeos), LPLF (baixa concentrações de proteína e lipídeos), para cada dieta foi utilizado um exemplar com cenoura e outro sem (Tabela 5).

Tabela 5 — Efeito de dietas a base de subprodutos no desenvolvimento do *Tenebrio molitor*

Dietas	Taxa de sobrevivência (%)	Tempo de desenvolvimento (dias)	FCR*	ECI**(%)	N-ECI*** (%)
HPHF	79	116	3,8	12	29
HPLF	67	144	4,1	10	22
LPHF	19	191	5,3	8	28
LPLF	52	227	6,1	7	23
HPHF – cenoura	88	88	4,5	19	45
HPLF – cenoura	82	83	5,8	15	41
LPHF – cenoura	15	135	19,1	13	45
LPLF -cenoura	80	164	10,9	13	58

*FCR (Feed Conversion Rate). **ECI (Efficiency of Conversion of Ingested food). ***N-ECI (Efficiency of Conversion of Ingested nitrogen). Fonte: Adaptado de Oonincx *et al.*, (2015).

Os resultados mostraram valores altos do FCR em todas as dietas sem cenoura e nas dietas com cenoura os valores aumentaram devido ao peso das cenouras, excluindo a cenoura do cálculo o FCRs das dietas com suplementação de cenoura atingiram de 1,8 (HPHF) a 3,1 (HPLF). Os valores mais baixos encontrados são próximos dos valores de tenébrios produzidos comercialmente (2,2), quando fornecida a cenoura. Os valores mais altos de ECI foram encontrados nas dietas ricas em proteína, o N-ECI (eficiência do uso de nitrogênio) foi mais alto que o ECI em todos os casos, indicando que o nitrogênio é convertido em biomassa de forma mais eficiente que os outros nutrientes. A suplementação de cenoura aumentou o ECI de forma discreta, gerando maior impacto no N-ECI que quase dobrou. É possível perceber que as concentrações de proteína e lipídeos impactam o tempo de desenvolvimento do tenébrio.

Altas taxas de sobrevivência estão correlacionadas com o curto tempo de desenvolvimento. Os tenébrios desse estudo tiveram um tempo de desenvolvimento entre 12 e 32 semanas. Nas dietas com baixas concentrações de proteína, o tempo de desenvolvimento foi maior, e as taxas de sobrevivência menores, enquanto no grupo controle foi intermediário. A cenoura melhorou as taxas

de desenvolvimento, com exceção na dieta HPLF, cuja causa pode ser a presença de canela contida nos restos de biscoito (50% dessa dieta), possivelmente tóxico para insetos (OONINCX *et al.*, 2015; VAN BROEKHOVEN *et al.*, 2015).

A quantidade de proteína e ácidos graxos se mantiveram dentro do esperado, enquanto a quantidade de fósforo foi baixa. Foi possível observar uma correlação positiva forte entre o conteúdo de fósforo e proteína. O fornecimento de cenoura parece ter aumentado a quantidade de água nos tenébrios, mas não afetou a quantidade de proteína, fósforo ou ácidos graxos (OONINCX *et al.*, 2015). Os maiores valores de ácidos graxos foram encontrados em uma das dietas controle, que era a dieta que continha um número intermediário de lipídeos. Além disso, a concentração de lipídeos foi o nutriente que mais variou (22% a 33% de matéria desidratada), enquanto proteína e fósforo foram mais constantes entre as dietas (OONINCX *et al.*, 2015).

As larvas de tenébrio parecem se desenvolver bem em substratos com trigo e outras plantas próximas, como cevada e centeio. A adição de matéria vegetal como fonte de umidade impacta principalmente nos valores de ECI e taxa de crescimento. Isso provavelmente se deve ao fato de as larvas não gastarem energia absorvendo umidade do ar, como fazem normalmente quando não tem fonte de umidade. Além disso, a cenoura é uma boa fonte de carotenóides que servem como antioxidantes, estimulando a imunidade de invertebrados. Esses resultados, contudo, não são conclusivos, visto que a suplementação excessiva de certos carotenóides pode resultar em queda da imunidade, taxa de crescimento e sobrevivência (HANSEN *et al.*, 2004; LIU *et al.*, 2020; DHINAUT *et al.*, 2017). A adição de cenoura, no entanto, não parece melhorar os valores de FCR (OONINCX *et al.*, 2015).

Os diferentes substratos afetam os tenébrios de diversas formas: taxa de crescimento, mortalidade, fertilidade, composição nutricional, FCR e ECIs. Altas concentrações de proteína, por exemplo, parecem resultar em números menores de FCR e maiores de ECI, ou seja maior eficiência de conversão de biomassa. Dessa forma, a formulação de dietas que contém uma mistura dos diversos substratos nas proporções corretas são potencialmente melhores para o desenvolvimento desses insetos, ressaltando a importância de entender como as diferentes dietas influenciam os tenébrios para criação de uma dieta otimizada (RUMBOS *et al.*, 2020; OONINCX *et al.*, 2015).

Normalmente esses insetos se desenvolvem melhor em substratos com altas concentrações de proteína, porém, esse não foi o caso em todos os substratos avaliados. Na farinha de soja, por exemplo (42,4% de proteína), o ECI atingiu valores baixos de 2,5%. A soja contém um forte inibidor de tripsina que afeta negativamente o crescimento larval do tenébrio. Isso nos mostra que as concentrações de proteína não servem como único indicativo da qualidade da ração para o melhor desenvolvimento das larvas. Além do mais, é conhecido de outros animais criados para alimento que excesso de proteína

pode resultar em diminuição da taxa de crescimento, já que será necessário energia para metabolizar o excesso de aminoácidos. É importante conhecer os níveis adequados para a espécie a ser criada (RUMBOS *et al.*, 2020).

A taxa de fertilidade também foi afetada pela composição da dieta, de forma geral, maiores concentrações de proteína levam a maiores taxas de fertilidade. É notável que os maiores valores de fertilidade foram nos substratos com melhores valores de crescimento. Dessa forma, é possível que o número de descendentes não esteja ligado a um indicador de maior fertilidade das fêmeas, mas a maior taxa de sobrevivência das larvas naquele substrato. Além das composições, a forma do substrato parece influenciar no crescimento e fertilidade. Os flocos de milho favorecem a fertilidade dos adultos, enquanto grãos de milho favorecem o crescimento larval, mesmo ambos possuindo valores nutricionais muito próximos (RUMBOS *et al.*, 2020).

Apesar das diferenças na disponibilidade de nutrientes e vegetais influenciarem o desenvolvimento e eficiência dos tenébrios, de diversas formas, a composição nutricional dos insetos não é muito afetada, exercendo maior influência nas concentrações de lipídios, embora tenha havido casos cujas altas concentrações proteicas na ração resultaram em altas quantidades de proteína no tenébrio quando desidratado (RUMBOS *et al.*, 2020; OONINCX *et al.*, 2015).

Esses estudos nos ajudam a entender o impacto das diferentes dietas na criação de tenébrios comestíveis que podem otimizar o crescimento e desenvolvimento das larvas para uma escala industrial. Não só limitado às rações e dietas formuladas, esse inseto se desenvolveu bem em restos de produtos de outros ramos alimentícios. Essa característica permite uma criação economicamente mais viável, e menor impacto ambiental. A aplicação de subprodutos na criação depende do quão eficiente estes podem ser convertidos em biomassa, e como já citado, uma composição com as proporções corretas de diferentes subprodutos podem criar uma dieta adequada para o seu desenvolvimento. Também poderá haver a possibilidade de manipular a composição nutricional das larvas, como, por exemplo, as concentrações de proteína e lipídios que parecem ser os nutrientes mais afetados pela dieta, adequando os valores para diferentes usos e necessidades.

3.2.2 Uso de água

Água é um recurso fundamental para a vida. Hoje em dia, a palavra "escassa" é um dos adjetivos mais associados à palavra "água". A agricultura é responsável por 70% do consumo de água e quase um terço desse recurso é voltado para a criação de gado. Ou seja, é um dos grandes responsáveis pela escassez daquele elemento. Espera-se que a substituição da criação de gado por insetos diminua drasticamente esse consumo (MANCOSU *et al.*, 2015; RIDOUTT *et al.*, 2012; HALLORAN *et al.*, 2016; VAN HUIS; OONINCX, 2017; BIRGIT; OLIVER, 2013).

A maior parte do consumo de água relativo à produção de gado, assim como a produção de insetos, está relacionado à irrigação de plantações, que são utilizadas para alimentação dos animais criados. Isso explica o menor gasto de água nas criações de insetos, já que eles usam o alimento de forma mais eficiente, como já foi mostrado em alguns estudos com grilos e tenébrios (VAN HUIS; OONINCX, 2017; MIGLIETTA *et al.*, 2015; BIRGIT; OLIVER, 2013; RUMBOS *et al.*, 2020; OONINCX *et al.*, 2015).

Dentre os indicadores que mostram o consumo de água, a pegada hídrica é relativamente fácil de se usar e permite a comparação de diferentes produtos e serviços em relação aos recursos utilizados. Logo, representa o total de água consumido na produção, incluindo tudo que foi utilizado direta ou indiretamente. Esse valor reflete diversas etapas durante o processo, como irrigação do alimento, consumo de água direto pelo animal e até o gasto em diversos serviços como limpeza do local (MIGLIETTA *et al.*, 2015).

Um estudo feito por Miglietta (2015) comparou o total da pegada hídrica do tenébrio com a dos animais criados comumente como gado. Esse artigo foi baseado no artigo de Ooninx e Boer (2012), que utiliza uma produção comercial de tenebrio (van de Ven Insectenkwekerij, Deurne, Holanda) como referência. O substrato utilizado é uma ração concentrada cuja fórmula foi retirada do produtor, cujos ingredientes são: farelo de trigo, aveia, soja, centeio, milho, fermento de cerveja e pedaços de cenoura em cima (fonte de água) (MIGLIETTA *et al.*, 2015). Inicialmente, se olharmos a pegada hídrica por peso do animal, ou seja, litros gastos por tonelada de animal produzida (L/T), os tenébrios (4341 L/T) apresentam valores maiores que os de porco (3831 L/T) e frango (3364 L/T). O valor só foi menor que a produção bovina (7477 L/T). Porém, esse cálculo não inclui um parâmetro essencial que é a porcentagem do animal utilizada como alimento, já que parte dos animais como frango e boi não é utilizada como alimento, enquanto se ingere 100% do tenébrio. Então, ajustando os valores para litros gastos por tonelada comestível, o tenébrio (4341 L/T) é comparável ao frango (4325 L/T) e inferior ao porco (5988 L/T) e ao boi (15415 L/T) (MIGLIETTA *et al.*, 2015).

Olhando da perspectiva do fornecimento de proteínas, que é o nutriente mais destacável nos insetos, encontramos valores ainda melhores (Figura 3). Utilizando como média 20 gramas de proteína em 100 gramas de tenébrio, e ajustando os valores para litros gastos por grama de proteína produzida (L/g de proteína), observamos que o tenébrio (23 L/g de proteína) tem valores menores que o frango (34 L/g de proteína), porco (57 L/g de proteína) e chega a ser cinco vezes mais eficiente que o boi (112 L/g de proteína) (MIGLIETTA *et al.*, 2015).

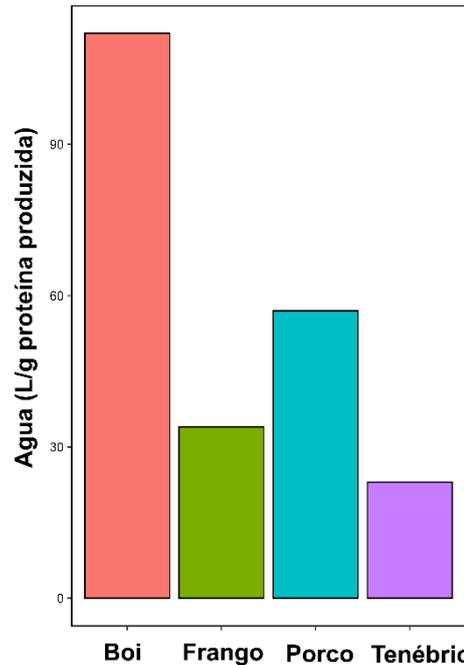


Figura 3 — Comparação do uso da água. Fonte: Adaptado de Miglietta et al. (2015)

Os resultados foram obtidos de análises feitas baseadas em apenas uma produção de tenébrios, apesar de trazer resultados interessantes para referências futuras. Assim como os outros animais, a maior parte do consumo de água dos tenébrios é ligado à irrigação de plantações, o que significa que a composição e escolha de alimentos que necessitam de menos aspersão deve reduzir essa pegada hídrica. É importante ressaltar que a dieta impacta os valores de FCR, que, por sua vez, impacta no consumo de alimento e, conseqüentemente, de água. Portanto, não só o consumo de água específico de cada planta como seu impacto no FCR do tenébrio devem ser levados em consideração (MIGLIETTA *et al.*, 2015; GERBER *et al.*, 2007). Os valores de FCRs dependem de fatores como temperatura e dieta. Por isso, é possível uma análise para otimização dos fatores que influenciam o FCR para minimização da pegada hídrica. A produção de tenébrios e sua integração na dieta de humanos pode ajudar a diminuir o gasto de água ligado à produção de alimento animal (MIGLIETTA *et al.*, 2015; ROE *et al.*, 1985).

3.2.3 Uso de espaço

Outro recurso altamente utilizado pelo gado é o espaço. A criação de animais de corte utiliza grandes quantidades de espaço, seja para alocar os animais de grande porte, seja pelo espaço utilizado para agricultura, da qual a maior parte vai para o gado, assim como a utilização de pastos (ALEXANDER *et al.*, 2017). Como já mencionado, o aumento da população, mudanças nas dietas e o aumento de renda estão causando um crescimento na demanda de carne. Dessa forma, a intensificação do uso de terra pela agricultura nos últimos 50 anos foi feita majoritariamente para a expansão da produção de gado (ALEXANDER *et al.*, 2015; ALEXANDER *et al.*, 2017).

As áreas de pasto ocupam o dobro do espaço utilizado para agricultura, e o gado consome um terço do que é produzido pela mesma. Isto posto, é esperado que os insetos se tornem uma opção viável para a redução do uso de terras, já que não necessitam de pastos, e sua conversão em biomassa mais eficiente significa redução nas áreas necessárias para produção de alimentos. Somado a isso, são animais que, no geral, vivem em altas densidades populacionais (ALEXANDER *et al.*, 2017; BIRGIT; OLIVER, 2013; VAN HUIS, 2013).

Utilizando os valores encontrados por Alexander (2017), observamos que a produção de insetos como substituto da carne utiliza o espaço de forma muito mais eficiente. Olhando para as proteínas (grama de proteína/m².ano), tenébrios e grilos produzem, em média, 25 gramas de proteína por metro quadrado em 1 ano, enquanto o boi produz cerca de 1 ou 2 gramas e o frango (animal mais eficiente) cerca de 15 gramas (g/m².ano) (Figura 4). Para produção de calorías em megajoules por metro quadrado por ano (MJ/m².ano), o tenébrios obtiveram os melhores resultados com 1,5 e os grilos, com 0,8, são mais eficientes que o porco, animal tradicional mais eficiente nesse caso, com 0,5.

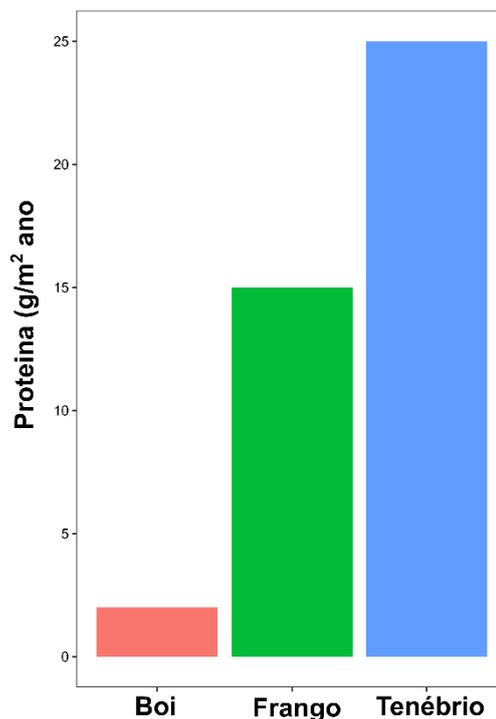


Figura 4 — Proteína produzida por uso espaço Fonte: Adaptado de Alexander et al., (2017)

Os impactos causados pela substituição de metade da produção de carne por uma produção de insetos capaz de gerar a mesma quantidade de proteínas e calorías, diminuiria em 34% o uso de terra para produção de rações. Outro dado importante é a eficiência da soja, que em termos de proteína

produz cerca de 55 gramas de proteína/m².ano, e em termos de calorias 2 MJ/m².ano, valores superiores aos dos insetos. Dessa forma, em um primeiro momento, o cultivo de soja pode ser utilizado como alimento para os insetos, minimizando o uso de terra. No entanto, como observado por Rumbos (2020), a soja contém inibidores que afetam negativamente o crescimento larval dos tenébrios, porém, ainda pode ser utilizada por outros insetos (ALEXANDER *et al.*, 2017; RUMBOS *et al.*, 2020).

Outro estudo feito por Oonincx e Boer (2012) corrobora com esses resultados. Supondo o FCR do tenébrio como 2,2, seu uso de espaço (3,6m²/kg.ano) foi de 2 a 3 vezes menor que frango e porco e de 7 a 14 vezes menor que o boi. E a produção de 1 kg de proteínas requer apenas 10% do espaço utilizado pelo boi. Do uso de espaço do tenébrio 85% foi necessário para produção de alimento para rações e 14% para a cenoura, ressaltando como a otimização das dietas pode afetar esse valor.

Os insetos necessitam de menos espaço que boi, gado e porco. Além disso, podem crescer em dejetos e restos de outros ramos alimentícios que não foram considerados nas análises. Outro ponto é que, com o uso da ciência e desenvolvimento de novas tecnologias, a eficiência na produção de porco e frango vem aumentando em 2,3% por ano. Isso implica em possíveis melhorias na eficiência das produções de tenébrios. Podemos esperar que a velocidade de aumento na eficiência, nessa área, seja maior que o do gado tradicional, já que as produções de insetos ainda são precárias em comparação ao gado (OONINCX; BOER, 2012; ALEXANDER *et al.*, 2017).

Com o aumento das demandas globais e a rigorosidade da limitação do uso de espaço em termos de sustentabilidade, o baixo uso de espaço dos tenébrios é uma característica importante, tornando-os uma opção mais sustentável e viável, já que o espaço é um recurso fixo e limitado. Além disso, a redução do uso de espaço pode permitir novas opções para mitigação de mudanças climáticas e, indiretamente, diminuir a emissão de gases do efeito estufa (OONINCX; BOER, 2012; ALEXANDER *et al.*, 2017).

3.2.4 Emissão de gases estufa

Como vimos, o gado utiliza recursos como espaço, água e alimento de forma pouco eficiente. A expansão do gado, a baixa eficiência e a intensificação no uso de recursos causam pressões ambientais de diversas formas em vários locais do mundo. Com o consumo de produtos animais reduzido pela metade, a emissão de gases estufa diminuiu em 65% no Reino Unido e entre 25-40% na Europa. Por outro lado, como vimos nos tópicos anteriores, os insetos não consomem água diretamente; utilizam a comida de forma mais eficiente, reduzindo o impacto ambiental da produção de alimento e ocupa menos espaço, tornando-se uma escolha possivelmente mais sustentável

(HERRERO *et al.*, 2015; BIRGIT; OLIVER, 2013).

A criação do gado é um importante fator de influência nas mudanças climáticas. Só o boi é responsável por 64-78% de toda a emissão de gases estufa originados de produtos animais, e a pecuária, no geral, é responsável por 18% de toda a emissão antropogênica. Os principais poluentes emitidos são o CH₄, da fermentação entérica, e N₂O/CO₂, associados à produção de alimento e mudanças no uso da terra (deflorestação) para criação de pastos. De todos os processos, a manufatura alimentícia é a mais impactante, representando 45% de toda a emissão global ligada à criação de gado (HERRERO *et al.*, 2016; HERRERO *et al.*, 2015; VAN HUIS; OONINCX, 2017). Os impactos ambientais podem ser divididos em direto e indireto; direto pelo metabolismo, como respiração e fezes, emitindo CO₂, CH₄, N₂O e NH₃, e indiretamente pela produção de alimento e uso de terra (VAN HUIS; OONINCX, 2017).

A emissão direta de gases de efeito estufa foi quantificada para apenas cinco espécies de insetos, duas espécies de *Coleoptera Tenebrio molitor* e *Pachnoda marginata*, duas espécies de *Orthoptera Acheta domesticus* e *Locusta migratoria*, e uma espécie de *Blattodea Blaptica dubia*, cuja medida permitiu calcular a emissão dos insetos, do alimento e do substrato. Os insetos analisados apresentaram uma emissão de gases estufa e CO₂/biomassa incorporada igual ou menor que porco e muito menor que o gado bovino. A emissão de NH₃ de todos os insetos foi menor que o porco e o boi. A emissão de CH₄ só foi observada na espécie de *Coleoptera Pachnoda marginata* e na espécie de *Blattodea Blaptica dubia* — foi próxima ou um pouco menor que o porco e 20 vezes mais baixa que o boi. O tenébrio não emitiu CH₄ nem NH₃, porém, foi o que mais emitiu N₂O. Olhando os gases estufa de forma geral, o tenébrio teve uma emissão direta menor que o porco e o boi (Figura 5). É interessante notar que, mesmo sendo da mesma ordem, o tenébrio emitiu quase 20 vezes menos CO₂ que o *Pachnoda marginata*, além de não emitir CH₄ (OONINCX *et al.*, 2010).

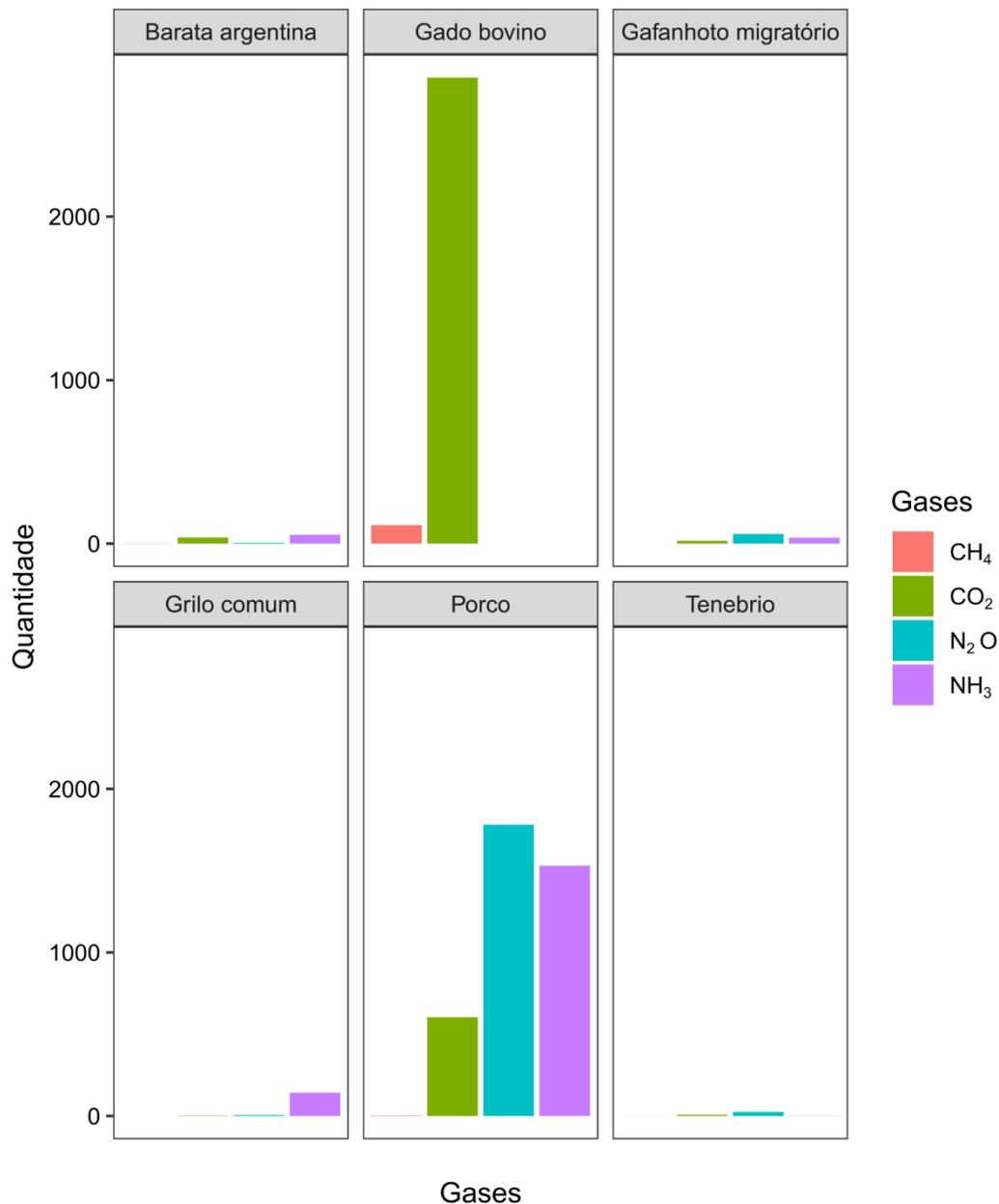


Figura 5 — Comparação na emissão de gases do efeito estufa. Fonte: Adaptado de Ooninx et al., (2010)

Nos processos de criação, a produção de alimento é o principal emissor de gases de efeito estufa, e os insetos não são exceção. Como ressaltado no tópico “uso de espaço”, a alocação das larvas de tenébrio contribui com 0,2% do uso de espaço total do processo, enquanto a produção de alimento representa 99% (OONINX; DE BOER, 2012). Não só o uso de espaço, mas vimos também que o uso direto de água era mínimo comparado ao uso da água utilizada na irrigação do alimento (MIGLIETTA *et al.*, 2015). Como a maior parte do impacto está associada à agricultura, a capacidade dos insetos de utilizar o alimento de forma mais eficiente reduz os efeitos relacionados à produção alimentícia em escala industrial. Se utilizarmos o frango, que é o animal mais eficiente e sustentável,

tradicionalmente criado para alimentação, ele gasta de duas a três vezes mais espaço e 50% mais água que o tenébrio, para produção da mesma quantidade de proteína. Como consequência, o frango chega a emitir até 167% mais gases estufa (OONINCX; DE BOER, 2012; VAN HUIJNS; OONINCX, 2017).

A otimização das dietas pode levar em consideração não só o impacto na eficiência da conversão em biomassa, mas também o impacto ambiental daquela planta, a fim de combinar ambos os aspectos e reduzi-lo ao máximo. Nesse âmbito, os insetos possuem outra grande vantagem: a possibilidade de crescer em produtos de baixo valor, como sobras e dejetos. Quando os efeitos dos impactos foram quantificados para uma espécie de Diptera, *Hermetia illucens*, ficou óbvio que produtos de baixo valor resultam em baixo impacto ambiental. Convertem esterco em biomassa e associam nutrientes como fósforo e nitrogênio com 61-70% e 30-50% de eficiência, além de eliminar parte de bactérias como E.coli e Salmonella. É importante, porém, que o animal use esses produtos de forma eficiente, já que testes feitos com polpa de beterraba resultaram em alto impacto ambiental. Isso ocorreu devido à baixa eficiência na conversão de biomassa. Portanto, foram necessárias grandes quantidades de alimento e energia para aquecimento. O uso de insetos criados nesse tipo de dejetos não é recomendado para alimentação humana, contudo, é considerado um bom alimento para gado e peixe e pode produzir de 91g de biodiesel com 1 kg de esterco. Essa importância é evidenciada se levarmos em consideração que há um desperdício anual de 27% de tudo produzido pela agricultura, com um valor total estimado em 750 bilhões de dólares (SMETANA *et al.*, 2015; VAN HUIS; OONINCX, 2017; VAN HUIS, 2012; LI *et al.*, 2011; THE GLOBAL FOOD SECURITY..., 2021).

Conduzido por Smetana *et al.* (2015), um estudo comparou o impacto ambiental de diversos possíveis substitutos para carne, concluindo que produtos à base de soja e insetos foram aqueles que apresentaram menor potencial de danos. Ressaltando a ideia de Alexander *et al.* (2017) de utilizar soja para alimentação de insetos, combinando a eficiência na conversão de biomassa e impacto ambiental de um dado alimento, minimizando o impacto ambiental. No caso do tenébrio, deve-se buscar soluções alternativas devido aos inibidores contidos na soja que afetam seu crescimento larval (RUMBOS *et al.*, 2020).

As diferenças dos impactos ambientais entre produtos à base de porco, frango e boi são causadas principalmente por: Fermentação entérica (CH₄), taxa de reprodução e conversão de alimento em biomassa (DE VRIES; BOER, 2010). Baseado nesses fatores, podemos esperar um menor impacto ambiental da produção de tenébrios já que: 1. tenébrios não produzem CH₄; 2. alta taxa de reprodução (160 ovos por fêmea) e maturação rápida (10 semanas); 3. o FCR, apesar de mudar conforme a dieta, no geral, é próximo ao frango (OONINCX *et al.*, 2010; OONINCX *et al.*, 2015; RUMBOS *et al.*, 2020; LIU *et al.*, 2020).

O estudo de Oonincx e Boer (2012) — citado no subtópico “uso de espaço” — também traz

alguns resultados sobre o gasto de energia e contribuição no aquecimento global dos tenébrios. A emissão de gases estufa para produção de 1 kg de tenébrio fresco foi de 2,7 kg de CO₂, dos quais 42% vieram da produção e transporte do alimento, 14% da produção e transporte de cenouras, 26% do gás usado para aquecimento e 17% do uso de eletricidade. A energia utilizada no processo foi 34 MJ, dos quais 31% vieram da produção e transporte de alimentos, 13% da produção e transporte de cenouras, 35% do gás usado para aquecimento e 21% do uso da eletricidade. Transformando esses valores por kg de proteína, a emissão de CO₂ foi de 14 kg e o gasto de energia foi 173 MJ. As proporções permaneceram as mesmas.

Comparando com os valores encontrados por De Vries e Boer (2010), a emissão de CO₂ por kg de proteína foi, em média, duas vezes mais baixa que a do frango, 2,7 vezes mais baixa que a do porco e 9 vezes mais baixa que aquela apresentada pelo gado. Por proteína, o gasto de energia foi 67% mais alto que o frango, o mesmo para o porco e 25% mais baixo que o boi (OONINCX; BOER, 2012). Além disso, o tenébrio usa menos espaço que o frango, porco e boi. Esse tópico foi mais bem explorado no subtópico “uso de espaço”, que afeta diretamente a emissão de gases estufa, já que a expansão da agricultura é a maior emissora. Metade de todo potencial de mitigação do uso de terra se dá na produção de gado, e a redução do uso de tal recurso, por si só, tem potencial de diminuir o lançamento de gases nocivos, aumentar a biodiversidade e permitir novas opções de abrandamento de mudanças climáticas, como sequestro de carbono (FOLEY *et al.*, 2011; PHALAN *et al.*, 2011; LAMB *et al.*, 2016; OONINCX; BOER, 2012).

Insetos são pecilotérmicos, não produzem calor, portanto, dependem de aquecimento em locais mais frios, o que implica em maior gasto de energia. Porém, essa também é a característica que permite o uso eficiente do alimento, maior conversão de biomassa. Aliás, trata-se da característica que torna viável o uso de sobras e alimentos de baixo valor nutricional para a produção de tenébrios, que usaram diversos subprodutos e sobras da indústria alimentícia — como vimos em Oonincx *et al.* (2015) e Van Broekhoven *et al.* (2015). Os tenébrios se desenvolveram bem na maioria dos substratos e mantiveram uma composição nutricional constante (OONINCX *et al.*, 2015; VAN BROEKHOVEN *et al.*, 2015; OONINCX; BOER, 2012).

Por outro lado, animais com baixa eficiência no uso de alimentos emitem grandes quantidades de poluentes, já que energia de recursos e nutrientes não aproveitados são liberados na forma de poluentes, baixa eficiência no uso de nitrogênio, por exemplo, é correlacionado com altas emissões de óxido nitroso, amônia e nitrato (VAN HUIS; OONINCX 2017; OONINCX *et al.*, 2010).

Analisando os dados, percebemos que os tenébrios têm alto potencial de se tornar uma produção de proteína animal mais sustentável que as produções tradicionais. Consomem menos água, ocupam menos espaço e emitem menos gases estufa de forma direta e indireta. Além disso, os

processos ainda têm grande potencial de melhora, não só do aumento na eficiência relacionado à tecnologia. Citado no subtópico “uso de espaço”, temos outros exemplos como:

1. alternativas no uso da cenoura, visto que tem impacto considerável no processo; 2. o uso de larvas maiores (que geram calor) para aquecer larvas menores; 3. formulação de dietas ótimas que afetam a eficiência no uso do alimento e sobras (MIGLIETTA *et al.*, 2015, VAN HUIS; OONINCX, 2017; OONINCX; BOER, 2012; ALEXANDER *et al.*, 2017; VAN HUIS, 2013; VAN HUIS *et al.*, 2013).

3.3 Produção, processamento e armazenamento

Com o aumento do uso de insetos como alimento, a quantidade necessária para suprir a demanda vai aumentar. Dessa forma, a produção em escala industrial se faz necessária. Apesar de mais sustentáveis, o processo produtivo de alta demanda por insetos requer técnicas de cultivo e processamento mais sofisticadas que as atuais. Alguns daqueles animais já são criados em grande quantidade, como abelhas e bicho-da-seda, cuja prática de criação para coleta de seda data de mais de 5 mil anos. Parajulee, DeFoliart e Hogg (1993) desenvolveram técnicas que permitem a produção de grilos comuns. Com 32 caixas de criações — com a dimensão de 50x44x20 cm³ —, é possível produzir 6 mil grilos diariamente. Esse modelo é antigo e ainda é esperado diversas melhorias na área (VAN HUIS *et al.*, 2013; OONINCX; VAN HUIS, 2017; SMETANA *et al.*, 2015; BIRGIR; OLIVER, 2013).

A indústria de insetos para consumo está ainda muito atrasada e falta comprovação científica de diversos conhecimentos aplicados na cadeia de produção. Dessa forma, é importante o desenvolvimento de um campo especializado naquela produção. Para garantir alta qualidade dos produtos, e gerar confiabilidade, uma formalização da criação de insetos como alimento torna-se imprescindível. A conquista de mais credibilidade se dará a partir de uma padronização dos processos que visem garantir a qualidade do produto, bem como tornar o uso de insetos como alimento e suas tecnologias em disciplinas acadêmicas, modificando a opinião pública sobre o assunto (COHEN, 2001; BERGGREN, 2018).

A produção de grandes quantidades de insetos tanto para consumo, como para a extração de proteína já é uma realidade em países industrializados. Alguns dos elementos mais importantes para garantir o sucesso do processo são: conhecimento da biologia do inseto, ótimas condições de criação e formulação de dietas artificiais. Estes regimes alimentares podem ser utilizados para aumentar/alterar valor nutricional. A adaptação do regime de luz pode ter um papel importante em algumas espécies: grilos, por exemplo, cuja exposição à luminosidade por 24 horas, resulta em maior produtividade (WANG *et al.*, 2004; VAN HUIS *et al.*, 2013; COLLAVO *et al.*, 2005; OONINCX *et*

al., 2015).

Algumas sugestões e recomendações sobre a produção de insetos foram feitas na FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, sigla em inglês) em janeiro de 2012, tais como: utilização de insetos locais para evitar riscos ao equilíbrio do ecossistema em caso de fugas e dispensa da necessidade de controle climático; possibilidade da automatização dos processos; melhoria genética através de seleção; baixo impacto ambiental; e as outras características biológicas citadas na seção 1.5 (VAN HUIS *et al.*, 2013). Nos trópicos, é possível estimular a produção através de incentivos a produtores de pequena escala. Segundo Van Huis *et al.* (2013), o desenvolvimento e disponibilização de kits caseiros com técnicas simples e baratas facilitam a criação de insetos de forma caseira, utilizando tanto rações vendidas localmente como dando uso para os rejeitos locais. Ainda conforme os autores supracitados, os meios de comunicação permitem a troca de conhecimentos, treinamentos e cursos para iniciantes, assim como o auxílio e estímulo de criações de pequeno porte por meio de disciplinas ministradas no Ensino Médio (VAN HUIS *et al.*, 2013).

3.3.1 Produção

3.3.1.1 Grilos

Os melhores exemplos de insetos criados para alimentação humana nos trópicos são os grilos criados na Tailândia. São criadas duas espécies de grilos: o nativo *Gryllus bimaculatus* e o grilo caseiro *Acheta domesticus*. Os métodos usados nas criações da Tailândia, Laos e Vietnã são bem parecidos: em galpões simples, sem nenhum uso de materiais caros. Na Tailândia e no Laos, anéis de concreto de aproximadamente 0,5 m de altura e 0,8 m de diâmetro são usados como criadouros, enquanto no Vietnã são utilizados recipientes de plástico. Cascas e sobras de arroz são colocadas no fundo e ração de pet com sobras vegetais são colocadas como alimentos para nutrição. Para o fornecimento de água, são utilizadas tigelas de plástico com água e pedras para impedir que os grilos se afoguem. Fita adesiva é colocada nas extremidades verticais internas dos recipientes para impedir que os grilos escalem para fora. Caixas de ovos são utilizadas para criar mais espaço vertical no recipiente — essa técnica é utilizada para espécies que escalam, pulam ou voam, criam um espaço 3D dentro do ambiente (Figura 6), permitindo maior densidade populacional. As fêmeas colocam seus ovos em pequenas tigelas com areia e casca de arroz por cima para manter a temperatura de incubação. Eventualmente, essas vasilhas são colocadas em outro recipiente para começar uma nova geração. Por cima é colocado uma rede para impedir a entrada de outros animais, como mosquitos e lagartixas; os recipientes são cercados por água para impedir a invasão de formigas (Figura 7) (VAN HUIS *et al.*, 2013; DOSSEY *et al.*, 2016).

Para facilitar a automação do processo, a formulação de dietas com matéria seca é um fator importante, já que alimentos com alta umidade devem ser substituídos com frequência para evitar

mofo. O fornecimento de alimento dos criadouros pode ser realizado com um silo mecanizado que despeja a comida nos vagões com os criadouros. O processo e posicionamento dos “braços” do silo que despejam a comida são controlados e automatizados por um programa de computador. O tipo de comida, quantidade e frequência são controlados por parâmetros que variarão de acordo com a espécie e estágio de vida do inseto. Para o fornecimento de água, um sistema de baixa pressão, que fornece uma pequena quantidade, constantemente, parece ser o ideal, evitando alagamentos, crescimento microbial e contaminação pelos dejetos dos insetos. E a última etapa do processo: a coleta — as caixas vão para uma correia onde são manipulados por um braço mecânico que remove o substrato das caixas, os grilos são empurrados para fora, gentilmente, com uma escova, enquanto são sugados por um aspirador para outra caixa onde podem ser processados e transportados (DOSSEY *et al.*, 2016).



Figura 6 — Caixa de ovo criando espaço vertical em criação de barata de madagascar (*Gromphadorhina portentosa*).
Fonte: Bugs Farm Brasil (2020).



Figura 7 — Vasilha de plástico com água na base para impedir a entrada de formigas. Fonte: Bugs Farm Brasil (2020).

3.3.1.2 Tenébrios

Os tenébrios são normalmente criados em bandejas acomodadas em móveis com prateleiras multiníveis. O fundo das bandejas é feito de uma tela bem fina, com 0,5mm de abertura, permitindo a passagem dos dejetos, porém, não grande o suficiente para passagem do substrato, evitando perda de alimento. Esse método, entretanto, só é possível a partir da quarta semana. Nas primeiras semanas, as larvas devem ficar em bandejas com fundo fechado até atingirem o tamanho necessário. Esse método também é útil para separar os adultos das partículas de alimento, com ovos grudados depois da oviposição, evitando o canibalismo. Outro sistema útil, utilizando essa mesma técnica, pode ser feito com telas no fundo de aberturas com 0,85mm, em que bandejas empilhadas com adultos permitiriam a passagem das larvas jovens junto com pequenas partículas de comida. Esta serve de alimento para esse estágio inicial da larva e não há a necessidade de separar os adultos das larvas para evitar o canibalismo. A necessidade de manutenção direta na caixa de adultos diminuiria bastante já que tanto a sujeira, como as larvas/ovos são constantemente removidas (MORALES-RAMOS *et al.*,

2015; DOSSEY *et al.*, 2016; MORALES-RAMOS *et al.*, 2012).

Uma série de fatores influenciam o tempo de desenvolvimento das larvas de tenébrio. Como consequência, ele apresenta uma alta plasticidade no tempo de desenvolvimento, tornando impossível a sincronização da pupação das larvas. Os métodos utilizados para separação de larvas consistem em chacoalhar bandejas com telas de aberturas de acordo com o tamanho da larva que se deseja coletar. Um procedimento mecanizado foi desenvolvido por Morales-Ramos *et al.* (2011b): bandejas com três telas separadoras, constantemente em movimento, são alimentadas por uma transportadora; esse processo separa automaticamente e continuamente quatro tamanhos de larva: grande, média, pequena e partículas (LUDWIG, 1956; ESPERK *et al.*, 2007; GREENBERG; AR, 1996; DOSSEY *et al.*, 2016).

Para animais que não vivem em superfícies lisas, como o tenébrio, é importante minimizar a quantidade de bandejas sem adicionar excesso de substrato/ração. O excesso pode impedir a circulação de ar e controle de temperatura. Além disso, algumas espécies só utilizam o alimento até uma certa profundidade, ocorrendo desperdício se colocado em demasia (DOSSEY *et al.*, 2016).

A produção de tenébrio ainda não consegue competir economicamente com o gado tradicional. Os próximos passos para uma produção mais eficiente devem ser: 1) ração designada para atender às necessidades nutricionais da espécie, gerando máxima taxa de reprodução e conversão de biomassa; 2) otimização da quantidade e frequência da alimentação; 3) otimização da densidade populacional e temperatura; 4) aumentar a altura de empilhamento dos criadouros, otimizando espaço; 5) diminuir risco de doenças (HECKMANN *et al.*, 2018).

3.3.2 Processamento e armazenamento

Insetos são ricos em nutrientes e umidade —ambiente favorável para o crescimento de microrganismos. Depois de produzidos, os insetos serão coletados e nem sempre serão consumidos de imediato. Não será incomum o transporte de insetos por longas distâncias para utilização como alimento em escala global. A determinação de ótimos métodos de preservação e armazenamento é de extrema importância. Métodos de processamento como fritura, desidratação ou cocção não só melhoram o gosto como descontaminam e prolongam a vida útil do alimento. Existem diversos métodos de preservação, mas, dependendo da espécie, talvez sejam necessários métodos específicos (KLUNDER *et al.*, 2012; VAN HUIS *et al.*, 2013).

Depois de coletados, os insetos devem passar por um jejum de 24 horas para esvaziar o trato digestivo, após o jejum são abatidos por congelamento dentro de *freezers*. Podem ser processados e consumidos de três maneiras: o inseto inteiro (fresco ou desidratado), em forma de pasta/pó ou extração de nutrientes que servem de aditivo para outros alimentos. Para insetos recém coletados, fritos ou cozidos, é recomendado mantê-los em refrigeradores. Em locais mais secos e quentes, podem

ser desidratados no sol, porém, não é recomendado em locais úmidos, já que a umidade proveniente do ar pode hidratar o suficiente para permitir o crescimento de microrganismos. Além disso, pode ocorrer a re-contaminação por ar ou solo. Por isso, é recomendado esquentá-los antes do consumo e práticas de higiene são recomendadas durante todo o processo. Outros métodos simples e menos utilizados para esterilização são a acidificação (vinagre, por exemplo) e aditivos em comidas fermentadas que diminuam o pH, impedindo crescimento de patógenos (KLUNDER *et al.*, 2012; GIACCONE, 2005).

Insetos podem ser facilmente desidratados e moídos para servirem de pó/pasta ou extraídos seus nutrientes, servindo de aditivos alimentares, elevando o valor nutricional do alimento — são também formas mais aceitáveis para a população não acostumada com o hábito de comer insetos. A extração dos nutrientes permite o uso de insetos criados em rejeitos com menor risco de contaminação, porém, necessita-se alto conhecimento das propriedades dos nutrientes a serem extraídos e o processo hoje em dia ainda é muito caro e proibitivo (VAN HUIS *et al.*, 2013).

Os processos tanto de produção, como processamento de insetos, ainda são majoritariamente manuais e custosos, refletindo no alto preço do produto, tornando impossível competir com outros produtos animais (VAN HUIS *et al.*, 2013).

3.4 Desafios

Como uma nova indústria emergente, o setor de produção industrial de insetos está desenvolvendo novas técnicas e tecnologias para automatizar e aumentar a eficiência dos seus processos. Como é de se esperar, um novo ramo que traz novas técnicas e tecnologias também vem acompanhado de novos desafios. Inicialmente, os principais problemas são a qualidade, a confiabilidade e o custo-eficiência. A melhoria dos processos depende ainda do surgimento de tecnologias, técnicas e dietas que reduzam o custo da produção. A qualidade e confiabilidade vêm com a formalização e padronização das indústrias, garantindo consistência na qualidade e segurança dos produtos (VAN HUIS, 2013; COHEN, 2001; BERGGREN, 2018).

3.4.1 Produção e processamento

Os métodos de produção são um dos maiores obstáculos para garantir uma sustentabilidade econômica nas criações de insetos. A maioria das criações são feitas com caixas empilhadas em cima de prateleiras (Figura 8) com métodos simples de automação. Os métodos utilizados são majoritariamente caros e manuais, impróprios para um processo industrial. Além disso, a ração utilizada não é otimizada para as necessidades da espécie, como o caso de criações de porcos e aves, por exemplo. Logo, a produção de insetos ainda não consegue ser economicamente competitiva com outras fontes de proteína. Diminuir a necessidade de trabalhos manuais através de sistemas

automatizados deve diminuir o preço da mão de obra, afetando o preço final do produto. Alguns insetos parecem se desenvolver bem em recursos de baixo valor como subprodutos de outros ramos alimentícios. A formulação de dietas a partir desses recursos também ajuda a baratear a produção (INBIOM 2015, 2016; HECKMANN *et al.*, 2018; VARELAS, 2019; OONINCX *et al.*, 2015).



Figura 8 — Verticalização da produção. Fonte: Bugs Farm Brasil (2020).

Os maiores desafios na produção industrial são a automatização dos processos e encontrar o equilíbrio entre os níveis de mecanização, automação, investimento e produtividade. Algumas pesquisas sobre os melhores modelos para produção em alta escala com rejeitos e dejetos, estão sendo conduzidos. Os principais impedimentos são os altos custos e a incerteza quanto à manutenção regular do fornecimento de rejeitos e dejetos (VAN HUIS *et al.*, 2013; DOSSEY *et al.*, 2016).

Atualmente, os processos têm baixos níveis de automação e mecanização. Como consequência, os produtos com insetos são caros e de qualidade inconsistente. Para que os insetos se tornem um substituto da carne necessita-se da produção de grandes volumes, qualidade, consistência

na produção e fornecimento de matéria-prima e preço competitivo. Nesse quesito, a automação dos processos vai diminuir a mão de obra, aumentar a produtividade e permitir maior consistência na qualidade do produto. O uso de produtos de baixo valor, como subprodutos na formulação de dietas artificiais, ajuda a baratear a alimentação. Esses fatores diminuem os custos de produção permitindo um preço mais competitivo. A escolha da dieta, equipamentos e dos métodos de automação dependem da espécie a ser criada, tamanho da criação, condições climáticas locais, poder econômico, entre outros fatores (DOSSEY *et al.*, 2016; VARELAS, 2019).

O design também é importante para garantir a otimização do uso de espaço e energia, além de minimizar as chances de contaminação e fugas. Para minimizar o espaço necessário, as caixas devem ser colocadas em prateleiras multiníveis, preenchidas com o máximo de caixas possível, criando uma verticalização da produção. Podem ser utilizadas caixas empilháveis e vagões para permitir a movimentação das caixas. A localização das fábricas também é importante; uma fábrica que produz insetos em restos de cevada, por exemplo, deve ser localizada próxima de uma fábrica de cervejas, garantindo seu recurso e minimizando o custo do transporte (DOSSEY *et al.*, 2016; PARKER, 2005). Mecanismos de controle climático são necessários para garantir que o ambiente permaneça adequado, mesmo com a alta densidade. A automação equivalente, utilizada para alimentação, é capaz de controlar as condições do ambiente. Constantemente, lendo parâmetros como temperatura e umidade, essas entradas de dados serão comparadas com parâmetros pré-estabelecidos para aquela criação. Esse sistema pode tomar ações como movimentar os vagões e alertar os funcionários em caso de mudanças drásticas e perigosas (DOSSEY *et al.*, 2016).

Van Huis *et al.* (2013) estabeleceram algumas sugestões que deveriam ser os próximos passos para garantir o sucesso da produção industrial, tais como : 1) criação de uma sociedade internacional de produtores de insetos como alimento; 2) desenvolvimento de padrões e métricas de quantificação de qualidade para ganho de credibilidade; 3) adoção de uma língua comum no meio para facilitar comunicação; 4) estratégias de marketing definindo as indústrias e consumidores alvo; 5) lista de insetos “aprovados socialmente” para serem consumidos como alimento humano; 6) centralização das informações de métodos e técnicas.

Hoje em dia, a tecnologia de processamento de insetos quase não existe, já que são produzidos normalmente em pequenas escalas e não são reconhecidos como uma fonte de alimento para humanos. Se os insetos se tornarem um meio útil e lucrativo de produzir alimento, eles serão produzidos em grande escala e continuamente, necessitando, dessa forma, meios de automatizar não só a produção, como o processamento do alimento, que continua sendo um desafio (VAN HUIS *et al.*, 2013).

Há um tempo que a Holanda vem desenvolvendo um método de produção em larga escala de

produtos derivados de insetos voltados para a alimentação humana e animal. Diversos institutos de pesquisa estão ajudando o desenvolvimento do processo que segue os princípios de economia circular e teorias de economia sustentável. É baseado principalmente no uso de insetos para reciclar rejeitos — que já vimos ser possível, segundo Oonincx *et al.* (2015) —, transformando-os em alimento ou ingredientes alimentares (VAN HUIS *et al.*, 2013). Nesse país europeu, insetos preparados especialmente para consumo humano fazem um jejum de um dia. Para garantir que o trato alimentar esteja vazio, o inseto é, então, congelado e desidratado inteiro. Dessa forma, o produto pode durar até 1 ano se armazenado corretamente; mantém-se o valor nutricional e o produto pode ser reidratado. O processo, no entanto, é caro e gera oxidação do produto, deixando odores e gostos desagradáveis. Novos métodos e tecnologias ainda podem ser explorados, como luz ultravioleta e pressão, levando em consideração não só a longevidade, mas o impacto no valor nutricional (VAN HUIS *et al.*, 2013).

A indústria do ramo ainda está nos seus estágios iniciais. Os conhecimentos da produção de insetos para consumo humano vêm se desenvolvendo, contudo, ainda há um longo caminho. Diversas empresas já começaram a desenvolver novos métodos, tecnologias e técnicas para baratear e facilitar as produções e processamento em alta escala, alguns, inclusive, já vendem os insetos processados. A Hao Cheng Mealworm, na China, já produz 50 toneladas de tenébrio por mês, e, além de vivo, vende esses besouros em pó que pode ser usado para fazer pães, farinha, pastas, biscoitos, condimentos, macarrão e doces. O processamento é importante não só para prolongar a vida útil, mas também diminuir os riscos de contaminação, permitindo a criação em rejeitos alimentares, barateando o preço final do produto. Também é importante avaliar os impactos do processamento no valor nutricional. O uso de insetos parece promissor devido ao uso eficiente dos recursos e reciclagem de rejeitos. Ainda dependemos de novos métodos e tecnologias a serem descobertas que possibilitem uma produção sustentável em alta escala de insetos, com processos, automações e dietas que garantam um preço final acessível (HAOCHENG MEALWORM INC, 2012; VAN HUIS *et al.*, 2013; DOSSEY *et al.*, 2016; KLUNDER *et al.*, 2012; GIACCONE, 2005; INBIOM 2015, 2016; HECKMANN *et al.*, 2018; BERGGREN, 2018; VARELAS, 2019).

3.4.2 Doenças

Uma das razões do baixo uso de espaço dos insetos é a capacidade de viver em altas densidades populacionais, porém, essas características traz riscos agregados, criando um ambiente que facilita o surgimento e proliferação de doenças e crescimento microbiano. Insetos podem estar contaminados com diversos microrganismos patogênicos como fungos, bactérias e protozoários, além de microrganismos inofensivos, como os existentes na sua flora intestinal, eliminados na excreta, e aqueles provenientes da manipulação humana, como esporos que podem se acomodar na sua cutícula. Considerando a alta densidade populacional, temperatura e disponibilidade de alimento, é possível

que ocorra crescimento exagerado da população de microrganismos que podem ser prejudiciais para os insetos e/ou contaminá-los trazendo riscos para o consumidor humano.

A ingestão de grandes quantidades de microrganismos, mesmo inicialmente inofensivos, pode trazer sérios riscos à saúde se ingeridos constantemente a longo prazo. Por isso, manter a higiene, limpeza local, processamento e armazenamento corretos são medidas importantes para evitar esse tipo de problema, além da automação que diminui o contato humano com os insetos (VAN HUIS, 2013; VAN HUIS *et al.*, 2013; KLUNDER *et al.*, 2012; GIACCONE, 2005; EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY SCIENTIFIC COMMITTEE, 2015).

Doenças e contaminações prejudiciais aos insetos podem causar muitas mortes em pouco tempo, principalmente nas altas densidades populacionais, que é como os insetos devem ser criados em escala industrial. Um ótimo exemplo disso é o densovirus, vírus que afeta a espécie de grilo *Acheta domesticus*, que já obrigou uma produtora no Estado de Michigan, nos Estados Unidos, a dispensar 30 milhões de grilos doentes. A empresa Kreca perdeu 50% da população em apenas 12 horas devido a uma epidemia de densovirus. Mesmo com a limpeza total do local e imposições higiênicas rígidas, houve uma segunda epidemia que levou à desistência da empresa na produção de grilos. Esse exemplo ressalta a vulnerabilidade de produções dependentes de apenas uma espécie, reforçando a necessidade de se encontrar mais de uma que sirva ao mesmo propósito, comentado no tópico 1.5 (VAN HUIS *et al.*, 2013; SZELEI *et al.*, 2011).

O emprego de microbicidas pode ser utilizado como tratamento emergencial em caso de doenças que podem afetar a produção matando milhares ou milhões de indivíduos. Esse uso, porém, deve ser raro e extremamente situacional. A utilização de medicamentos e os métodos de processamento aliados a altas densidades populacionais criam o ambiente perfeito para o surgimento de patógenos resistentes, como aconteceu com o gado convencional e seu uso de antibióticos. Patógenos de insetos normalmente são considerados inofensivos para humanos, contudo, a alta densidade populacional aumenta a incidência dos mesmos, com o surgimento de novas doenças e cepas resistentes. Esse ambiente é propício ao aparecimento de doenças zoonóticas; zoonoses são infecções e doenças originárias de outros animais que podem afetar humanos — como a gripe aviária e suína (EILENBERG *et al.*, 2015; VAN HUIS *et al.*, 2013; EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY SCIENTIFIC COMMITTEE, 2015).

É importante estudar os patógenos que afetam os insetos voltados para a produção em massa, com atenção especial àqueles que podem sofrer mutações com o contato humano e mudar de hospedeiro. Nesse aspecto, insetos trazem menos riscos em comparação ao gado tradicional, já que são filogeneticamente mais distantes de humanos que o boi, o frango e o porco. Van Huis *et al.* (2013) já comentavam sobre o perigo de uma pandemia zoonótica devido à globalização e às altas densidades

populacionais nas cidades, citando um vírus SARS como exemplo. Tais preocupações se mostraram válidas, considerando a pandemia atual de origem zoonótica gerada pelo SARS-CoV-2, reforçando o cuidado necessário com esse tópico (SLINGENBERGH *et al.*, 2004).

A contaminação não é exclusiva para agentes orgânicos como microrganismos; os insetos podem estar contaminados com substâncias inorgânicas como metais pesados oriundos da alimentação. Alguns estudos já foram conduzidos como o estudo de Charlton *et al.* (2015), em que encontraram concentrações de cádmio de até 0,72 mg/kg, valor que ultrapassa o máximo seguro estabelecido de 0,5 mg/kg. As concentrações em cinco artrópodes utilizados como alimento na Nigéria foram medidas por Banjo *et al.* (2010), variando entre 0,02-0,07 mg/kg de cádmio e 0,03-0,10 mg/kg, de chumbo, que são valores baixos se considerarmos os níveis máximo tolerados. O risco parece ser baixo mas merece atenção: grilos desidratados, importados do México, são suspeitos de causar uma contaminação em massa por chumbo em uma comunidade na Califórnia.

Os tenébrios, por exemplo, se mostraram capazes de acumular cádmio e selênio, cujos níveis de metais pesados parecem diminuir a cada ecdise. A contaminação por metais pesados não parece ser letal aos insetos, os quais mostraram-se capazes de diminuir as concentrações de contaminantes com as ecdises, não obrigando o produtor a se livrar da sua produção contaminada.

Já foi demonstrada a bioacumulação de metais pesados por insetos em diversos outros estudos além dos citados, porém, são dedicados às práticas de coleta e semicultivo. Ainda faltam estudos dessa contaminação em produções comerciais e os impactos da intoxicação por metais pesados em consumidores humanos (EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY SCIENTIFIC COMMITTEE, 2015).

Outros problemas são toxicidade e alergia. Alguns insetos tóxicos podem e são utilizados como alimento depois de passarem por processos de destoxificação. Algumas toxinas podem ser eliminadas com o cozimento; em outras, os insetos devem ser espremidos e, em alguns casos, o inseto deve ser separado e as partes tóxicas retiradas. É importante conhecer o inseto produzido e se ele possui alguma toxina, visto que certos insetos possuem substâncias perigosas se ingeridas. Algumas toxinas podem não ser produzidas pelo inseto, acabam acumuladas pela ingestão através de alimentos e substratos contaminados. Contaminações de trigo por micotoxinas de fungos, do gênero *Fusarium*, tem se tornado um problema cada vez mais comum. Um estudo com tenébrios mostrou que mesmo alimentados com substratos contaminados naturalmente, não acumulam a toxina em seus corpos, e testes com substratos artificialmente contaminados em grandes concentrações mostraram que uma pequena fração ficou retida no corpo do animal. Além da toxicidade intrínseca do inseto, levar em consideração a capacidade de reter ou expelir toxinas proveniente de fontes externas pode ser uma característica importante para evitar contaminações (VAN HUIS *et al.*, 2013; OCHOA SANABRIA

et al., 2019; EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY SCIENTIFIC COMMITTEE, 2015).

Alimentos contendo proteína de artrópodes podem causar reações alérgicas em pessoas mais sensíveis causando dermatites, conjuntivite, asma, bronquite e rinite. Apesar de a alergia estar relacionada ao histórico pessoal e familiar, é possível desenvolvê-las com a repetição da exposição à molécula alergênica. (VAN HUIS *et al.*, 2013; EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY SCIENTIFIC COMMITTEE, 2015).

Já foram demonstradas algumas reações cruzadas de insetos para outros insetos, como alergias entre tenébrios, grilos e gafanhotos, bem como crustáceos para insetos, pacientes alérgicos a crustáceos apresentaram reações alérgicas a moscas. Mesmo pessoas sem nenhum tipo de histórico ou alergia prévia podem apresentar reações alérgicas depois da exposição, como demonstrado no estudo por Freye *et al.* (1996), no qual pessoas se sensibilizaram e apresentaram reações alérgicas depois do consumo de tenébrios por longos prazos. Certos métodos de processamento demonstraram a capacidade de diminuir a concentração de alergênicos, como hidrólise enzimática ou tratamento em altas temperaturas, como cozinhar ou fritar o inseto, diminuindo o risco de reações alérgicas. Mais estudos sobre alergias alimentícias de inseto são necessários, principalmente com esse novo ramo emergindo. Deve-se analisar os riscos do surgimento de alergia com a exposição, principais alergênicos, reações cruzadas e métodos de processamento que diminuem esse risco, além da rotulação de alimentos com possíveis alergênicos de insetos e seus derivados (REESE *et al.*, 1999; PALI-SCHOLL *et al.*, 2019; EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY SCIENTIFIC COMMITTEE, 2015). De forma geral se criados em condições controladas com imposições higiênicas seguido do abate, processamento e armazenamento correto os insetos são fontes seguras de alimento. Essas etapas devem ser complementadas com tratamento a altas temperaturas antes da ingestão como cozimento e atenção as possíveis reações alérgicas de pessoas suscetíveis tornando o risco o mínimo possível (EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY SCIENTIFIC COMMITTEE, 2015).

3.5 Cenário brasileiro

O consumo de insetos no Brasil é comum em populações ribeirinhas da Amazônia, populações no Vale do Paraíba, em São Paulo, e diversos locais no Norte e Nordeste. Esse consumo é regional e periódico, baseado em coletas nas temporadas de alta abundância do inseto. Não dá pra dizer que esse consumo gera um mercado de insetos visto que não há a produção nem compra e venda do animal. De acordo com Casé Oliveira (2021), o Brasil está atrasado na utilização de insetos na alimentação

(informação pessoal).¹ Embora existam algumas iniciativas, como o restaurante D.O.M, do renomado chef Alex Atala, a prática ainda é muito artesanal e restrita, vista como uma opção inacessível de alimento do cotidiano, em comparação a alimentos tradicionais na mesa do brasileiro, tais como o arroz e o feijão.

Apesar do mercado interno de insetos para alimento humano ainda ser quase inexistente, no país há condições de produzi-lo e exportá-lo. Hoje, os maiores produtores estão localizados na Europa, onde é necessário controle climático, enquanto no Brasil há regiões que reúnem as condições climáticas consideradas ideais para produzi-los o ano inteiro sem gasto de energia.

Logo, há potencial de produzir grandes volumes de insetos com baixo custo de manutenção e preço competitivo para exportação. Em 2019, ocorreu o primeiro congresso brasileiro de insetos alimentícios (INSETEC 2019), organizado em parceria entre a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e a Associação Brasileira dos Criadores de Insetos (Asbraci). O evento reuniu interessados na abertura de empresas para produzir insetos, pesquisadores e possíveis compradores. Já há muita gente interessada em comprar a produção brasileira. Casé acredita que esse mercado externo deve aumentar significativamente em qualquer momento (OLIVEIRA, 2021; CHAVES, 2020).

Esse novo ramo já começou a se instalar em Piracicaba, cidade considerada como o vale do agronegócio brasileiro, concentrando 40% das startups do setor. Uma biofábrica voltada para a produção grilos — de forma semiautomatizada — está sendo montada pela startup Hakkuna. Desde 2015, a empresa já monta barras proteicas à base de farinha de grilo, e agora pretende produzir sua matéria prima. A startup visa uma produtividade em escala industrial com menos trabalho humano e maior padronização dos processos. O projeto busca desde a utilização de dietas otimizadas, melhores substratos de oviposição, e gaiolas de criação, até o uso de metodologias de reaproveitamento dos resíduos produzidos. Esse sistema vai reduzir o uso de água, alimento e dependência de mão de obra, criando uma produção mais automatizada, segura e sustentável (OLIVEIRA, 2021; TEIXEIRA, 2021).

Outra inovação na área veio da bióloga Patrícia Milano, do Departamento de Entomologia da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ-USP), que em 2016, criou a Ecological Food com suporte do programa Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas (Pipe), da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). Com o objetivo de vender insetos para alimentação animal, foi desenvolvida uma dieta específica para grilos e baratas, que já mostraram resultados, melhorando o valor nutricional do animal sem encarecer a produção. Agora, Milano pretende dar continuidade, visando a alimentação humana. A empresa busca aperfeiçoar a criação de

¹ OLIVEIRA, C. [São Paulo], 14 fev. 2021. 1 comunicação pessoal.

algumas espécies oferecendo dietas específicas, almejando a criação em massa, bem como a busca da regulamentação quanto ao uso de insetos como alimento pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), enquanto a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) deverá entrar em contato com representantes da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, sigla em inglês) no Brasil (MILANO, 2021).

A mídia tem explorado o assunto como uma alternativa importante para garantir a segurança alimentar no futuro. Mesmo assim, ainda existe uma grande resistência com a prática por parte dos brasileiros, que, em grande parte, ainda associa a prática a algo “nojento”, afirmando que só comeria insetos por necessidade. A cultura brasileira é uma miscigenação de diversas culturas das quais a maioria não tem o hábito de comer insetos. 86% da população declara nunca ter tido a experiência de comê-los. Em contrapartida, há uma aceitação de produtos que os utilizam como ingredientes e seus subprodutos. Dois produtos comumente utilizados na indústria alimentícia são o corante carmim, que vem da cochonilha — muito utilizado em produtos lácteos, como iogurte e sorvete —, e a goma-laca, secretada do inseto *Kerria lacca* — utilizada para fazer jujubas —, além do consumo de subprodutos como o mel e a cera da abelha (bastante utilizada para dar brilho às frutas). Desde que os insetos venham disfarçados e integrados em outros alimentos, como farinha ou whey protein (proteína do soro do leite), os brasileiros irão aceitar a prática com maior facilidade, principalmente quando estão relacionados à atividade física, saúde e à sustentabilidade (OLIVEIRA, 2021; PALESTRA..., 2020; BISCONSIN JUNIOR *et al.*, 2020; SCHARDONG *et al.*, 2019; SCHARDONG *et al.*, 2018).

Em uma pesquisa sobre a percepção do brasileiro sobre a prática, Bisconsin Junior *et al.* (2020) encontraram três perfis de pessoas que foram divididas em três grupos. O grupo 1 é o potencial consumidor, que aceita a prática como alternativa nutritiva e sustentável; o grupo 2 composto por curiosos que consideram a prática exótica, mas que têm dúvidas se iriam gostar ou não do sabor e textura; e o grupo 3, composto por aqueles que rejeitam totalmente a prática. É importante saber direcionar os esforços para os dois primeiros grupos, que são os consumidores em potencial, que congrega pessoas mais jovens e com maior nível de escolaridade, explorando associações positivas como sustentabilidade, alimento exótico, nutritivo e voltado para o aumento de performance na prática de atividade física. É notório que pessoas do grupo 3 normalmente entendem a prática como algo nocivo à saúde, ligando insetos à sujeira e doenças. Por isso, a regulamentação e padronização da produção, garantindo consistência na qualidade e segurança do alimento, é crucial para mudar essa percepção do brasileiro sobre os insetos. Pessoas com maior escolaridade apresentam tendência a considerar insetos um alimento seguro. Essa associação — encontrada por Schardong *et al.* (2019) — entre a salubridade do alimento e a escolaridade dos participantes sugere que há muito “medo” por falta de informação e disponibilidade do produto. Por isso, instigar o desenvolvimento de um mercado

interno junto a discussões, palestras, apoio governamental e programas educacionais podem ajudar a desmistificar essa imagem dos insetos e aumentar a aceitação (SCHARDONG *et al.*, 2019; SCHARDONG *et al.*, 2018).

Diversos aspectos sociais e culturais determinam as preferências e tabus alimentares. Dentre as regiões do Brasil, no Norte — por exemplo —, temos a maior porcentagem de pessoas que já comeram insetos. Não coincidentemente, é o local onde o consumo de insetos por populações indígenas é mais comum; assim, o alimento é visto com maior familiaridade pelas pessoas que fazem parte da cultura local. No Sul, onde temos a cultura da criação de gado, e, conseqüentemente, do churrasco, 75% das pessoas comem carne pelo menos três vezes na semana. A pressão social, vontade de parecer sofisticado, ser ecologicamente correto e se encaixar nos grupos sociais podem contribuir para que as pessoas mais relutantes adiram a essa prática quando disseminada (SCHARDONG *et al.*, 2019; CAMBRAIA, 2004).

Além dos fatores sociais, estímulos sensoriais também influenciam nas preferências alimentares. É reconhecido que a ingestão de alimentos depende do animal codificar e representar diversas informações sobre suas experiências com os alimentos. Características do alimento podem influenciar na motivação e preferência alimentar. Isso significa que as pessoas devem preferir um alimento com odor, textura, forma familiar do que um alimento completamente novo. Experiências prévias têm um papel importante na percepção sobre as coisas. Por isso, eventos que introduzem esse alimento para as pessoas, permitindo a familiarização com o hábito, são fundamentais, principalmente para os mais jovens, que são menos relutantes em experimentar coisas novas. Também merece ser considerado importante que a primeira experiência seja agradável. Para crianças, podem ser oferecidos alimentos como grilo coberto com chocolate, e para os adultos, uma forma que gere menos aversão, como alimentos feitos à base de farinha de insetos (SCHARDONG *et al.*, 2019; CAMBRAIA, 2004; SOGARI *et al.*, 2019).

Sobre as percepções das pessoas antes e depois de consumir um alimento com insetos, Araujo Filho (2018) mostrou que, enquanto algumas experiências podem mudar a percepção para melhor, outras podem trazer aversão. Inicialmente, o tenébrio e o grilo foram relacionados a emoções positivas, como “alegre” e “motivado”, enquanto a barata cinérea era ligada ao “nojo”. Depois de experimentar o alimento, a percepção do grilo piorou, sendo, desde então, relacionada a palavras como “medo” e “desmotivado”, enquanto a barata foi relacionada a termos mais neutros, como “relaxado”. O tenébrio permaneceu igual.

Esse estudo traz duas informações importantes: primeiro que diferentes insetos trazem diferentes pesos de aversão; uma pessoa relutante a comer inseto, por exemplo, talvez prefira começar com um tenébrio ou formiga, que gera menos repulsa que uma barata. Segundo que garantir que a

primeira experiência seja agradável é um fator importante, visto que experiências negativas podem afastar ainda mais as pessoas da prática.

Essa aversão a insetos não é exclusividade do Brasil. De forma geral, os seres humanos entendem a prática como algo de “gente primitiva”. Inclusive, Van Huis² não gosta do termo “entomofagia” para descrever a prática, visto que remete a algo “primitivo” ou “tribal”, afinal, não temos termos específicos para o consumo de carne por humanos (informação pessoal). O ser humano é um animal adaptável. Conceitos e percepções mudam com o tempo. Nos anos 80, a ideia de comer peixe cru era vista como algo exótico e estranho. Hoje em dia, é um alimento consumido por grande parte dos brasileiros e a prática já se tornou algo comum (COSTAS, 2003; VAN HUIS, 2018).

No Brasil, um dos empecilhos da utilização de insetos como alimento é a falta de uma legislação específica. A regulamentação depende do MAPA e da Anvisa. Os insetos devem ser classificados como um novo tipo de alimento, porém, ainda não há pedidos para análise de insetos como alimento. O MAPA já tem uma legislação para insetos como alimento animal. Inclusive, já se fala em incluí-lo no sistema integrado de produtos e estabelecimentos (SIPE). Para alimentação humana, apesar de alguns insetos já serem liberados como ingredientes, ainda não há uma orientação específica da Anvisa para a utilização de insetos inteiros. Liberados pela vigilância sanitária local, desde que tenham boas práticas de manipulação, já existem eventos utilizando-os como alimento. A Asbraci já busca, junto ao MAPA e à Anvisa, a regulamentação da criação de insetos, desde as normas, até as características dos produtos à base de insetos. Casé não acredita que o inseto será liberado inteiro, contudo, processado e utilizado como ingrediente não será problema. Atualmente, é possível produzir insetos com esse propósito de forma simples: basta o registro no Ibama e Secretaria Estadual do Meio Ambiente e sua produção já poderá estar regulamentada (OLIVEIRA, 2021; PALESTRA, 2020; CHAVES, 2020).

4. CONCLUSÕES

Dependendo da região, cultura, costumes e preferências, diversas espécies de insetos são utilizadas como alimento. Apesar de eles apresentarem bom valor nutricional e melhor eficiência que a criação de gado no uso de recursos, nem todos são bons candidatos para a produção em escala industrial. O besouro *Tenebrio molitor* é uma das espécies que possui características essenciais para esse fim, tais como seu valor nutricional, eficiência no uso de recursos, facilidade na automação dos processos e outras características biológicas intrínsecas citadas no tópico 1.5. Adicionalmente, o

² VAN HUIS, E. **Entomofagia**. Receptor: Gabriel Nappi. [Wageningen, Holanda — Wageningen University & Research], 04 set. 2018. 1 comunicação pessoal.

tenébrio foi o inseto que obteve melhor aceitação social quando utilizado inteiro na refeição.

A eficiência no uso de recursos dos insetos pode variar dependendo de fatores como dieta, temperatura e densidade populacional. Dentre os animais criados, o frango é aquele com a maior conversão de alimento em biomassa. Quando criados em condições parecidas, a maioria dos insetos — como o tenébrio — atinge valores de conversão iguais ou melhores, mesmo sem uma dieta específica e sem levar em conta o percentual do animal utilizado. Conseqüentemente, gastam menos água e espaço, visto que o maior gasto desses recursos ocorre na produção de alimento.

Os insetos são fontes de alimento mais sustentáveis, emitem menos poluentes metabólicos como CH₄, NH₃ e CO₂ (tenébrio sequer emite Metano e Amônia), assim como N₂O e CO₂ associados à produção de alimentos. A capacidade de reciclar dejetos e subprodutos de forma eficiente é fundamental para evitar o desperdício, trazendo nutrientes de volta para a cadeia produtiva na forma de alimento humano ou ração animal, diminuir os impactos ambientais agregados à agricultura e permitir novas opções de mitigação com as terras agora vagas — como o sequestro de carbono. O desenvolvimento de uma dieta ótima para a criação de insetos também garante maior eficiência na produção, e parece ter mais valor do que tentar controlar a composição do inseto através da dieta.

A indústria de insetos para alimento é muito nova e está dando seus primeiros passos. Já existem empresas desenvolvendo tecnologias e métodos para automatizar e otimizar a produção e processamento de insetos em grandes volumes, principalmente em países com maior aceitação da prática, contudo, os métodos ainda são majoritariamente manuais e mal otimizados. Já existem empresas produzindo e processando grandes volumes de insetos de forma eficiente e ainda é esperado uma melhoria acelerada nesse setor.

Dessa forma os insetos são mais eficientes no uso de recursos, mais sustentáveis e sua produção em altos volumes com preço acessível é possível. O abate e processamento da forma correta eliminam a maior parte dos microorganismos e alergênicos, além de prolongar sua vida útil. Os insetos mostraram-se uma alternativa viável para solucionar o problema de fornecimento de proteína animal perante a essa demanda crescente.

REFERÊNCIAS

ABU-GHAZALEH, N.; CHUA, W. J.; GOPALAN, V. Intestinal microbiota and its association with colon cancer and red/processed meat consumption. **Journal of Gastroenterology and Hepatology**, v. 36, n. 1, p. 75– 88, 2021. <https://doi.org/10.1111/jgh.15042>

ADÁMKOVÁ, A. *et al.* Nutritional potential of selected insect species reared on the island of Sumatra. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 14, n. 5, p. 521, 2017.

- ADEBANJO, F.; ONI, O.; MORO, D. D. **Bio 407 — Basic Entomology**. Lagos, Nigeria: National Open University of Nigeria, 2012. Disponível em: <https://nou.edu.ng/sites/default/files/2017-03/BIO%20407%20-%20BASIC%20ENTOMOLOGY_0.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2021.
- ALEXANDER, P. *et al.* Could consumption of insects, cultured meat or imitation meat reduce global agricultural land use?. **Global Food Security**, n. 15, p. 22-32, 2017.
- ALEXANDER, P. *et al.* Drivers for global agricultural land use change: The nexus of diet, population, yield and bioenergy. **Global Environmental Change**, v. 35, p. 138-147, 2015.
- ARAÚJO FILHO, A. L. **Entomofagia**: estudos de aceitação de insetos comestíveis e composição centesimal de formiga comestível da Serra da Ibiapaba, 2018.
- BANJO, A. D. *et al.* Alkali and heavy metal contaminants of some selected edible arthropods in south western Nigeria. **American-Eurasian Journal Of Toxicology Science**, n. 2, p. 25-29, 2010.
- BANJO, A. D.; LAWAL, O. A.; SONGONUGA, E. A. The nutritional value of fourteen species of edible insects in southwestern Nigeria. **African Journal of Biotechnology**, v. 5, n. 3, p. 298-301, 2006.
- BERGGREN, Å.; JANSSON, A.; LOW, M. Using current systems to inform rearing facility design in the insect-as-food industry. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 4, n. 3, p. 167-170, 2018.
- BISCONSIN-JUNIOR, A. *et al.* Examining the role of regional culture and geographical distances on the representation of unfamiliar foods in a continental-size country. **Food Quality and Preference**, v. 79, p. 103779, 2020.
- BOUVARD, V. *et al.* Carcinogenicity of consumption of red and processed meat. **The Lancet Oncology**, v. 16n. 16, p. 1599-1600, 2015.
- BUKKENS, S. G.; PAOLETTI, M. G. Insects in the human diet: nutritional aspects. **Ecological implications of minilivestock**, n. 28, 545-577. Enfield, New Hampshire: Science Publishers, 2005.
- BURNS-WHITMORE, B. *et al.* Alpha-Linolenic and Linoleic Fatty Acids in the Vegan Diet: Do They Require Dietary Reference Intake/Adequate Intake Special Consideration?. **Nutrients**, v. 11, n. 10, p. 2365, 2019.
- CAMBRAIA, R. P. B. Aspectos psicobiológicos do comportamento alimentar. **Revista de Nutrição**, v. 17, n. 2, p. 217-225, 2004.
- CHAVES, Léo Ramos. Insetos comestíveis. **Pesquisa FAPESP**, São Paulo, Edição 290, abr. 2020. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/insetos-comestiveis/>>. Acesso em: 6 mar. 2021
- CHUNG, A. Y. Edible insects and entomophagy in Borneo. Forest insects as food: humans biteback, 141. *In: WORKSHOP ON ASIA-PACIFIC RESOURCES AND THEIR POTENTIAL FOR DEVELOPMENT*, Chiang Mai, Thailand, 19-21 Feb., 2008. **Proceedings [...]**. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization (FAO), 2008.
- CHARLTON, A. J. *et al.* Exploring the chemical safety of fly larvae as a source of protein for animal feed. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 1, n. 1, p. 7-16, 2015.

- COHEN, A. C. Formalizing insect rearing and artificial diet technology. **American Entomologist**, v. 47, n. 4, p. 198-206, 2001.
- COLLAVO, A. *et al.* House cricket small-scale farming. **Ecological implications of minilivestock: potential of insects, rodents, frogs and snails**, n. 27, p. 515-540. Enfield, New Hampshire: Science Publishers, 2005.
- COSTA-NETO, E. M. Anthro-entomophagy in Latin America: an overview of the importance of edible insects to local communities. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 1, n. 1, p. 17-23, 2015.
- COSTA-NETO, Eraldo Medeiros. Insetos como fontes de alimentos para o homem: Valoração de recursos considerados repugnantes. **INCI** [online], v. 28, n. 3, p. 136-140, 2003.
- DAILY NUTRIENT REQUIREMENTS Calculator. Eat for Health, Australian Government, National Health and Medical Research Council, Department of Health, Canberra/Australia, 27 Jul. 2015. Disponível em: <<https://www.eatforhealth.gov.au/node/1813927/done?sid=605331>>. Acesso em: 15 jan. 2021.
- DE FOLIART, Gene. The human use of insects as a food resource: A bibliographic account in progress. **University of Wisconsin-Madison**, Department of Entomology, 29 Sep. 2002, Madison, Wisconsin. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20150127012156/http://www.food-insects.com/book7_31/The%20Human%20Use%20of%20Insects%20as%20a%20Food%20Resource.htm>. Acesso em: 18 dez. 2020.
- DE VRIES, M.; DE BOER, I. J. Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. **Livestock science**, v. 128, n. 1-3, p. 1-11, 2010.
- DHINAUT, J. *et al.* A dietary carotenoid reduces immunopathology and enhances longevity through an immune depressive effect in an insect model. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1-12, 2017.
- DOSSEY, A. T.; MORALES-RAMOS, J. A.; ROJAS, M. G. (Eds.). **Insects as sustainable food ingredients: production, processing and food applications**. Cambridge, Massachusetts: Academic Press, 2016.
- EILENBERG, J. *et al.* Diseases in insects produced for food and feed. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 1, n. 2, p. 87-102, 2015.
- ESPERK, T.; TAMMARU, T. ; NYLIN, S. Intraspecific variability in number of larval instars in insects. **Journal of Economic Entomology**, v. 100, n. 3, p. 627-645, 2007.
- EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY SCIENTIFIC COMMITTEE. Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. **EFSA Journal**, v. 13, n. 10, p. 4257, 2015.
- FIGUEIRÊDO, Rozzanna *et al.* Edible and medicinal termites: A global overview. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, v. 11, n. 29, 10.1186/s13002-015-0016-4, 2015.
- FINKE, M. D. Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for

insectivores. **Zoo Biology**: Published in Affiliation with the American Zoo and Aquarium Association, v. 21, n. 3, p. 269-285, 2002.

FOLEY, J. A. *et al.* Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, n. 7369, p. 337-342, 2011.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION/WORLD HEALTH ORGANIZATION/UNITED NATIONS UNIVERSITY. Special Report. Energy and Protein requirements. **Cereal Foods World**, v. 3, p. 694-695, 1986.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS — FAO. **FAO Statistical Database**, Rome, Italy, 2021. Disponível em: <<http://www.fao.org/home/en>>. Acesso em: 23 jan. 2021.

FREYE, H. B. *et al.* Anaphylaxis to the ingestion and inhalation of *Tenebrio molitor* (mealworm) and *Zophobas morio* (superworm). **Allergy and Asthma Proceedings**, v. 17, n. 4, p. 215, 1996.

GAHUKAR, R. Entomophagy and human food security. **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 31, n. 3, p. 129-144, 2011. doi:10.1017/S1742758411000257

GERBER, P. *et al.* Environmental impacts of a changing livestock production: overview and discussion for a comparative assessment with other food production sectors. In: BARTLEY, D.M.; BURGÈRE, C.; SOTO, D.; GERBER, P.; HARVEY, B. (eds) **Comparative assessment of the environmental costs of aquaculture and other food production sectors: methods for meaningful comparisons**. FAO/WFT EXPERT WORKSHOP, 24-28 Apr. 2006, Vancouver, Canada. **Proceedings [...]**. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization (FAO) Fisheries Proceedings, n. 10, 2007. p. 37-54.

GIACCONE, V. Hygiene and health features of "minilivestock". In: PAOLETTI, Maurizio G. **Ecological implications of minilivestock: Potential of insects, rodents, frogs and snails**. Enfield, New Hampshire: Science Publisher, 2005.

GILLOTT, Cedric. **Entomology**. 3. ed. Dordrecht, Netherlands: Springer, 2005. Disponível em: <<http://www.bio-nica.info/Biblioteca/Gillott2005ntomology.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2021.

GRAU, T.; VILCINSKAS, A.; JOOP, G. Sustainable farming of the mealworm *Tenebrio molitor* for the production of food and feed. **Zeitschrift für Naturforschung C**, v. 72, n. 9-10, p. 337-349.

GREENBERG, Sara; AR, Amos . Effects of chronic hypoxia, normoxia and hyperoxia on larval development in the beetle *Tenebrio molitor*. **Journal of Insect Physiology**, v. 42, n. 11-12, p.991-996, ISSN 0022-1910, 1996. [https://doi.org/10.1016/S0022-1910\(96\)00071-6](https://doi.org/10.1016/S0022-1910(96)00071-6).

GULLAN, P. S.; CRANSTON, G. P. **Insetos** — Fundamentos da Entomologia. 5. ed. São Paulo: Grupo GEN, 2017. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788527731188/>>. Acesso em: 22 jan. 2021.

HALLORAN, A. *et al.* Life cycle assessment of edible insects for food protein: a review. **Agronomy Sustainable Development**, v. 36, n. 57, 2016. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0392-8>

HANSEN, L. L.; RAMLØV, H.; WESTH, P. Metabolic activity and water vapour absorption in the mealworm *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera, Tenebrionidae): real-time measurements by two-channel

microcalorimetry. **Journal of experimental biology**, v. 207, n. 3, p. 545-552, 2004.

HANDLEY, M. A. *et al.* Globalization, binational communities, and imported food risks: results of an outbreak investigation of lead poisoning in Monterey County, California. **American Journal of Public Health**, v. 97, n. 5, p. 900-906, 2007.

HECKMANN, L. H. *et al.* Sustainable mealworm production for feed and food. *In*: RAMPELOTTO, P. H.; TRINCONE, A. **Edible insects in sustainable food systems**. Aarhus, Dinamarca: Danish Technological Institute, 2018.

HENCHION, M. *et al.* Future protein supply and demand: strategies and factors influencing a sustainable equilibrium. **Foods**, v. 6, n. 7, p. 53, 2017.

HERRERO, M. *et al.* Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector. **Nature Climate Change**, v. 6, n. 5, p. 452-461, 2016.

HERRERO, M. *et al.* Livestock and the environment: what have we learned in the past decade?. **Annual Review of Environment and Resources**, n. 40, p. 177-202, 2015.

HILL, Dennis S. **The Economic Importance of Insects**. 1st. ed. Colchester, Reino Unido: Springer Science, 1997. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=6qvsCAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=insects+importance&ots=oVwaKwxzRN&sig=baDK1NtsSIX9vbiYElss58bsqsM#v=onepage&q=insects%20importance&f=false>>. Acesso em: 18 jan. 2021.

INBIOM (2015–2016) Bio-resources for insect production of protein feed. R&D project funded by the Danish Agency for Science and Higher Education under INBIOM (Innovation Network for Biomass). <http://www.inbiom.dk/en/projects/inbiom-projects/mealworms-for-poultry>.

KLUNDER, H. C. *et al.* Microbiological aspects of processing and storage of edible insects. **Food control**, v. 26, n. 2, p. 628-631, 2012.

LAMB, A. *et al.* The potential for land sparing to offset greenhouse gas emissions from agriculture. **Nature Climate Change**, v. 6, n. 5, p. 488-492, 2016.

LI, Q. *et al.* From organic waste to biodiesel: Black soldier fly, *Hermetia illucens*, makes it feasible. **Fuel**, v. 90, n. 4, p. 1545-1548, 2011.

LIU, C. *et al.* Growth performance and nutrient composition of mealworms (*Tenebrio molitor*) fed on fresh plant materials-supplemented diets. **Foods**, v. 9, n. 2, p. 151, 2020.

LUDWIG, Daniel. Effects of Temperature and Parental Age on the Life Cycle of the Mealworm, *Tenebrio Molitor* Linnaeus (Coleoptera, Tenebrionidae). **Annals of the Entomological Society of America**, v. 49, n. 1, p. 12–15, 1956. <https://doi.org/10.1093/aesa/49.1.12>

MANCOSU, N. *et al.* Water scarcity and future challenges for food production. **Water**, v. 7, n. 3, p. 975-992, 2015.

MIGLIETTA, P. P. *et al.* Mealworms for food: a water footprint perspective. **Water**, v. 7, n. 11, p. 6190-6203, 2015

MILANO, Patrícia. Insetos para alimentação animal e humana: adaptações e pesquisas para futura criação massal no Brasil. **Biblioteca Virtual da FAPESP**, São Paulo, 2021. Disponível em: <<https://bv.fapesp.br/pt/auxilios/98893/insetos-para-alimentacao-animal-e-humana-adaptacoes-e-pesquisas-para-futura-criacao-massal-no-brasil/>>. Acesso em: 9 mar. 2021. .

MONTEIRO, I. *et al.* Disturbance-modulated symbioses in termitophily. **Ecology and evolution**, v. 7, n. 24, p. 10829-10838, 2017. <https://doi.org/10.1002/ece3.3601>

MORALES-RAMOS Juan A. *et al.* Nutritional Value of Pupae Versus Larvae of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) as Food for Rearing *Podisus maculiventris* (Heteroptera: Pentatomidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 109, n. 2, p. 564–571, Apr. 2016. <https://doi.org/10.1093/jee/tov338>

MORALES-RAMOS *et al.* Automated Insect Separation System. **The United States of America as represented by the Secretary of Agriculture**, Washington DC, 5 Aug. 2009. Disponível em: <<https://patentimages.storage.googleapis.com/24/70/e3/02a38880c8b1b0/US8025027.pdf>>. Acesso em: 2 mar. 2021.

MORALES-RAMOS, Juan A. *et al.* Morphometric Analysis of Instar Variation in *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). **Annals of the Entomological Society of America**, v. 108, n. 2, p. 146–159, 2015. <https://doi.org/10.1093/aesa/sau049>.

MSANGI, S.; ROSEGRANT, M. W. Feeding the future's changing diets: Implications for agriculture markets, nutrition, and policy. Edited by Shenggen Fan and Rajul Pandya-Lorch, 65. Washington D. C.: International Food Policy Research Institute (IFPRI), 2012.

MÜLLER, O.; KRAWINKEL, M. Malnutrition and health in developing countries. **Canadian Medical Association Journal**, v. 173, n. 3, p. 279-286, 2005.

NELSON, G. C. *et al.* Climate change: Impact on agriculture and costs of adaptation. **International Food Policy Research Institute**, v. 21, 2009.

NETO, E. C.; RAMOS-ELORDUY, J. Los insectos comestibles de Brasil: etnicidad, diversidad e importancia en la alimentación. **Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa**, n. 38, p. 423- 442, 2006.

NUTRIENT REFERENCE VALUES for Australia and New Zealand. **National Health and Medical Research Council, Australian Government, Ministry of Health, Ministry of Health of New Zealand**, Canberra/Australia, 16 Jan. 2020. Disponível em: <<https://www.nrv.gov.au/>>. Acesso em: 18 jan. 2021.

OCHOA SANABRIA, C. *et al.* Yellow Mealworm Larvae (*Tenebrio molitor*) Fed Mycotoxin-Contaminated Wheat—A Possible Safe, Sustainable Protein Source for Animal Feed? **Toxins**, v. 11, n. 5, 282, 2015.

OLIVEIRA, C. **Falta de tradição do consumo de insetos como fonte alimentar no Brasil**. [São Paulo], 14 fev. 2021. 1 comunicação pessoal.

OONINCX, D. G. *et al.* An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. **Plos One**, v. 5, n. 12, e14445, 2010.

OONINCX, D. G. *et al.* Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. **Plos One**, v. 10, n. 12, e0144601, 2015.

OONINCX, D. G.; DE BOER, I. J.. Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans—a life cycle assessment. **Plos One**, v. 7, n. 12, e51145, 2012.

PALESTRA: **Entomofaga** — Insetos na Alimentação. 1 vídeo (47 min). Publicado pelo canal Enata e Sealim UFMS. Disponível em:
<<https://www.youtube.com/watch?v=2wuPANHS1Zk>>. Acesso em: 10 mar. 2021.

PALI-SCHÖLL, I. Edible insects: Cross-recognition of IgE from crustacean-and house dust mite allergic patients, and reduction of allergenicity by food processing. **World Allergy Organization Journal**, v. 12, n. 1, p. 100006, 2019.

PAOLETTI, M. G. *et al.* Human gastric juice contains chitinase that can degrade chitin. **Annals of Nutrition and Metabolism**, v. 51, n. 3, p. 244-251, 2007.

PARAJULEE, M.; DEFOLIART, G.; HOGG, D. B. Model for Use in Mass-Production of *Acheta domesticus* (Orthoptera: Gryllidae) as Food. **Journal of Economic Entomology**, v. 86, p. 1424-1428, 1993.

PARKER, A. G. Mass-rearing for sterile insect release. *In*: DYCK, V.A.; HENDRICHS, J.; ROBINSON, A.S. **Sterile insect technique** Dordrecht: Springer, 2005.

PHALAN, B. *et al.* Reconciling food production and biodiversity conservation: land sharing and land sparing compared. **Science**, v. 333, n. 6047, p. 1289-1291, 2011.

SMETANA, S. *et al.* Meat alternatives: life cycle assessment of most known meat substitutes. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 20, n. 9, p. 1254-1267, 2015.

PIMENTEL, D.; PIMENTEL, M. Sustainability of meat-based and plant-based diets and the environment. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 78, n. 3, 660S-663S, 2003.

PREMALATHA, M. *et al.* Energy-efficient food production to reduce global warming and ecodegradation: The use of edible insects. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 15n.9, p. 4357-4360, 2011.

RAMOS-ELORDUY, J. *et al.* La investigación etnoentomológica en México: antecedentes, retos y perspectivas. Encontros e desencontros na pesquisa etnobiológica e etnoecológica: os desafios do trabalho em campo. **NUPEEA**, Recife, Brazil, p. 235-258.

RAVZANAADII, N. *et al.* Nutritional value of mealworm, *Tenebrio molitor* as food source. **International Journal of Industrial Entomology**, v. 25, n. 1, p. 93-98, 2012.

REESE, G.; AYUSO, R.; LEHRER, S. B. Tropomyosin: an invertebrate pan-allergen. **International Archives of Allergy and Immunology**, v. 119, n. 4, p. 247-258, Aug. 1999. doi:10.1159/000024201. PMID: 10474029.

RIBEIRO, Nuno Tiago Garrucho Martins. **Tenebrio molitor for food or feed: Rearing conditions and the effect of pesticides on its performance.** 2017. 70 p. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental) — Escola Superior Agrária de Coimbra, Politécnico de Coimbra, Coimbra, Portugal,

2017.

RIDOUTT, B. G. *et al.* Water footprint of livestock: comparison of six geographically defined beef production systems. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 17, n. 2, p. 165-175, 2012.

ROE, R. M.; CLIFFORD, C. A. ; WOODRING, J. P. The effect of temperature on energy distribution during the last-larval stadium of the female house cricket, *Acheta domesticus*. **Journal of insect physiology**, v. 31, n. 5, p. 371-378, 1985.

ROSENBERG, D. M.; DANKS, H. V.; LEHMKUHL, D. M. Importance of insects in environmental impact assessment. **Environmental Management**, n. 10, p. 773–783, 1986. <https://doi.org/10.1007/BF01867730>.

RUMBOS, C. I. *et al.* Evaluation of various commodities for the development of the yellow mealworm, *Tenebrio molitor*. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1-10, 2020.

RUMPOLD, B. A.; SCHLÜTER, O. Insect-based protein sources and their potential for human consumption: Nutritional composition and processing. **Animal Frontiers**, v. 5, n. 2, p. 20-24, 2015.

RUMPOLD, B. A.; SCHLÜTER, O. K. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. **Molecular nutrition & food research**, v. 57 n. 5, p. 802-823, 2013.

RUMPOLD, Birgit A.; SCHLÜTER, Oliver K. Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 17, p. 1-11, 2013. ISSN: 1466-8564, <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.11.005>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1466856412001452>>. Acesso em: 14 jan. 2021.

SCHARDONG, I. S. *et al.* Brazilian consumers' perception of edible insects. **Ciência Rural**, v. 49, n. 10, 2019.

SCHARDONG, I. S.; FREIBERG, J. A.; RICHARDS, N. S. P. S. **Insetos Comestíveis: Percepção do Consumidor**, 2018.

SIEMIANOWSKA, E. *et al.* Larvae of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) as European novel food. **Agricultural Sciences**, v. 4, p. 287-291, 2013. doi: [10.4236/as.2013.46041](https://doi.org/10.4236/as.2013.46041).

SLINGENBERGH, J. Ecological sources of zoonotic diseases. **Revue scientifique et technique-Office international des épizooties**, v. 23, n. 2, p. 467-484, 2004.

SOGARI, G.; MENOZZI, D.; MORA, C. The food neophobia scale and young adults' intention to eat insect products. **International Journal of Consumer Studies**, v. 43, n. 1, p. 68-76, 2019.

STEINFELD, H. *et al.* **Livestock's long shadow: environmental issues and options**. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization (FAO), 2006.

STEINFELD, H.; WASSENAAR, T.; JUTZI, S. Livestock production systems in developing countries: status, drivers, trends. **Revue Scientifique et Technique**, v. 25, n. 2, p. 505-516, 2006.

SUTTON, M. Q. Aboriginal Tasmanian entomophagy. *In: INTERNATIONAL CONGRESS OF*

ETHNOBIOLOGY, 1., 1988, Belém. ETHNOBIOLOGY: IMPLICATIONS AND APPLICATIONS. **Proceedings [...]**. Belém: MPEG, 1988. p. 209-217.

SZELEI, J. et al. Susceptibility of North-American and European crickets to Acheta domesticus densovirus (AddNV) and associated epizootics. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 106, n. 3, p. 394-399, 2011.

TEIXEIRA, Marcelo Romano. Pesquisa e desenvolvimento de sistema otimizado e semi-automatizado da biofábrica Hakkuna para produção massal de grilos Gryllus assimilis (Orthoptera: Gryllidae). **Biblioteca Virtual da FAPESP**, São Paulo, 2021. Disponível em: <<https://bv.fapesp.br/pt/auxilios/105707/pesquisa-e-desenvolvimento-de-sistema-otimizado-e-semi-automatizado-da-biofabrica-hakkuna-para-produ/?q=19/00735-7>>. Acesso em: 9 mar.2021.

THE GLOBAL FOOD SECURITY INDEX. **The Economist Group**, Londres, 2021. Disponível em: <<https://foodsecurityindex.eiu.com/Home/>>. Acesso em: 28 fev. 2021.

TILMAN, D. *et al.* Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 50, p. 20260-20264, 2011.

TROSTLE, Ronald. Global Agricultural Supply and Demand: Factors Contributing to the Recent Increase in Food Commodity Prices. A Report from the Economic Research Service. **United States of Agriculture (USDA)**, Washington D.C., May 2008. Disponível em: <https://www.ers.usda.gov/webdocs/outlooks/40463/12274_wrs0801_1_.pdf?v=1419.1>. Acesso em: 23 jan. 2021.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Agricultural Research Service**, Washington, D. C., 2021. Food Data Central Search Results: potatoes. Disponível em: <<https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/?query=potatoes>>. Acesso em: 26 jan. 2021.

VAN BROEKHOVEN, S., *et al.* Growth performance and feed conversion efficiency of threeedible mealworm species (Coleoptera: Tenebrionidae) on diets composed of organic by-products. **Journal of Insect Physiology**, v. 73, p. 1-10, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jinsphys.2014.12.005>.

VAN HUIS, A. *et al.* **Edible insects: future prospects for food and feed security**. FAO Forestry Paper 171. Rome, Italy: FAO, 2013.

VAN HUIS, A. Insects as Food in Sub-Saharan Africa. **International Journal of Tropical Insect Science**, n. 23, p. 163–185, 2003. <https://doi.org/10.1017/S1742758400023572>

VAN HUIS, A. Potential of insects as food and feed in assuring food security. **Annual review of entomology**, n. 58, p. 563-583, 2013.

VAN HUIS, A. Potential of insects as food and feed in assuring food security. **Annual Review of Entomology**, v. 58, p. 563–583, 2013.

VAN HUIS, A.; OONINCX, D. G. The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 37n. 5, p. 43, 2017.

VAN HUIS, E. **Entomofagia**. [Wageningen, Holanda — Wageningen University & Research], 04 set. 2018. 1 comunicação pessoal.

VARELAS, V. Food wastes as a potential new source for edible insect mass production for food and feed: A review. **Fermentation**, v. 5, n. 3, p. 81, 2019.

VIJVER, M. et al. Metal uptake from soils and soil–sediment mixtures by larvae of *Tenebrio molitor* (L.) (Coleoptera). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 54, n. 3, p. 277-289, 2003.

WANG, D. *et al.* Nutritional value of the field cricket (*Gryllus testaceus* Walker). **Insect Science**, v. 11, n. 4, p. 275-283, 2004.

WILSON, E. O. **Biodiversidade**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira. 1997.

WOMENI, H. M. *et al.* Oils of insects and larvae consumed in Africa: potential sources of polyunsaturated fatty acids. **Oléagineux, Corps gras, Lipides**, v. 16, n. 4-5-6, p. 230-235, 2009.

XIAOMING, C *et al.* Review of the nutritive value of edible insects. *In*: FOREST INSECTS AS FOOD: HUMANS BITE BACK. WORKSHOP ON ASIA-PACIFIC RESOURCES AND THEIR POTENTIAL FOR DEVELOPMENT, Feb. 2008, Chiang Mai, Thailand. **Proceedings[...]**. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization (FAO), 2010. p. 85-92