

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**

**Robson Antônio de Vasconcelos**

**Efeito de diferentes técnicas de secagem sobre as propriedades nutricionais  
de larvas da mosca soldado negro (*Hermetia illucens* L)**

**MONTES CLAROS - MG  
2022**

**Robson Antônio de Vasconcelos**

**Efeito de diferentes técnicas de secagem sobre as propriedades nutricionais de larvas da mosca soldado negro (*Hermetia illucens* L)**

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Alimentos e Saúde.

**Área de concentração:** Alimentos e Saúde.

**Orientador:** Dr. William James Nogueira Lima

**Coorientador:** Dr. Diego Vicente da Costa

**MONTES CLAROS - MG  
2022**

Vasconcelos, Robson Antônio de.

V331e  
2022

Efeito de diferentes técnicas de secagem sobre as propriedades nutricionais de larvas da mosca soldado negro (*Hermetia illucens* L.) [manuscrito] / Robson Antônio de Vasconcelos. Montes Claros, 2022.

36 f.: il.

Dissertação (mestrado) - Área de concentração em Alimentos e Saúde. Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias.

Orientador(a): William James Nogueira Lima.

Banca examinadora: William James Nogueira Lima, João Carlos Gonçalves, Júnio Cota Silva.

Inclui referências: f. 28-33.

1. Larva. 2. Insetos comestíveis. 3. Segurança alimentar. I. Lima, William James Nogueira. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 641

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**

**Reitora: Sandra Regina Goulart Almeida**

**Vice-Reitor: Alessandro Fernandes Moreira**

**Pró-Reitor de Pesquisa: Fernando Marcos dos Reis**

**Pró-Reitora de Pós-Graduação: Isabela Almeida Pordeus**

**INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - ICA**

**Diretor do ICA: Leonardo David Tuffi Santos**

**Vice-Diretor do ICA: Helder dos Anjos Augusto**

**Coordenador de Ensino e Pesquisa: Helder dos Anjos Augusto**

**Subcoordenador: Maximiliano Soares Pinto**

**CURSO DE MESTRADO EM ALIMENTOS E SAÚDE**

**Coordenador: Sérgio Henrique Sousa Santos**

**Subcoordenadora: Igor Viana Brandi**

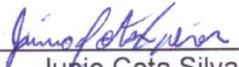
**ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**

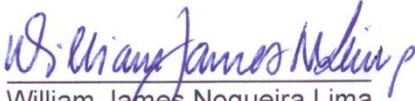
Aos 23 dias do mês de junho de 2022, às 14:00 horas, sob a Presidência do Professor William James Nogueira Lima, Dr. Sc. (Orientador – UFMG/ICA) e com a participação dos Professores João Carlos Gonçalves, Dr. Sc. (IFNMG) e Junio Cota Silva, Dr. Sc. (UFMG/ICA), reuniu-se, presencialmente, a Banca de defesa de dissertação do Discente **ROBSON ANTÔNIO DE VASCONCELOS**, aluno do Curso de Mestrado em Alimentos e Saúde. O resultado da defesa de dissertação intitulada: “**Efeito de diferentes técnicas de secagem sobre as propriedades nutricionais de larvas da mosca soldado negro (*Hermetia illucens* L)**”, sendo o aluno considerado **aprovado**. E, para constar, eu, Professor William James Nogueira Lima, Presidente da Banca, lavrei a presente ata que depois de lida e aprovada, será assinada por mim e pelos demais membros da Banca examinadora.

**OBS.: O aluno somente receberá o título após cumprir as exigências onde o candidato deverá, após a aprovação de sua Dissertação ou Tese e da realização das modificações propostas pela banca examinadora, se houver, encaminhar à secretaria do Colegiado do Programa, com a anuência do orientador, no mínimo 1 (um) exemplar impresso e 1 (um) exemplar eletrônico da dissertação no prazo máximo de 30 (trinta) dias.**

Montes Claros, 23 de junho de 2022.

  
João Carlos Gonçalves  
Membro

  
Junio Cota Silva  
Membro

  
William James Nogueira Lima  
Orientador

É importante agradecer a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para que este trabalho pudesse ser levado a termo. Em especial a William James (UFMG), Diego Costa (UFMG) e João Carlos Gonçalves (IFNMG).

“Chegará o tempo em que o homem conhecerá o íntimo de um animal e nesse dia todo crime contra um animal será um crime contra a humanidade.”

(Leonardo da Vinci)

“E aqueles que foram vistos dançando foram julgados insanos por aqueles que não podiam escutar a música.”

(Friedrich Nietzsche)

## RESUMO

Para 2050, a ONU prevê uma população mundial de 9,7 bilhões de habitantes. Para suprir as necessidades proteicas desta população a produção de alimentos terá de aumentar em 70% e vários são os desafios a serem superados para se atingir essa meta. Os insetos têm se mostrado uma alternativa sustentável a essa demanda proteica e a mosca-soldado-negro (BSF, *Hermetia illucens* L.), tem se destacado por seu alto valor proteico e maior facilidade de criação em relação a outros insetos, além de ser também fonte de lipídeos e ácidos graxos e seu valor nutricional inclui ainda a quitina que atua como uma fibra. Foi analisado a influência de diferentes técnicas de secagem - secagem em leito fixo (LF), secagem em estufa (ES), secagem em túnel de vento (TV) sob diferentes temperaturas (50; 55 e 60°C); secagem ao sol (SOL) e secagem por micro-ondas (MO) nas potências 20 e 50% - sobre o teor final de umidade e sobre o valor nutricional (teor de proteínas, lipídeos e cinzas) de larvas da mosca soldado negro. Foi utilizado um delineamento em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial (3 x 3) + 3 testemunhas adicionais. Os dados foram submetidos a análise de variância e para as comparações de médias foi utilizado o teste de Tukey e o Teste Dunnett. Diferenças significativas foram encontradas principalmente para o teor de lipídeos após a aplicação das técnicas de secagem. Os resultados demonstraram que temperaturas e condições mais elevadas tendem a favorecer o aumento no teor de lipídeos no material seco, calculados sob o mesmo teor de umidade. A secagem em LF na temperatura de 55°C retornou o maior resultado (35,24% ± 0,72) estatisticamente comparável a LF-60 (35,00% ± 0,07), MO-50 (34,77% ± 0,28) e TV-60 (34,61% ± 0,17). Em contrapartida proteínas (via Kjeldahl) retornaram valores mais elevados em condições menos extenuantes. TV a 50°C (36,42% ± 0,79) e estufa nas 3 temperaturas pesquisadas (35,71% ± 0,80; 36,10% ± 1,69 e 35,49% ± 0,80) forneceram os maiores resultados para proteína. Estes estudos irão contribuir para que se possa estabelecer um meio eficiente de secagem para as larvas de BSF. Apresentamos ainda um levantamento sobre os pré-tratamentos que devem anteceder à secagem para garantir a melhor segurança alimentar.

Palavras-chave: *Hermetia illucens*, pré-tratamento, secagem, insetos, segurança alimentar.

## ABSTRACT

By 2050, the UN predicts a world population of 9.7 billion. To meet the protein needs of this population, food production will have to increase by 70% and there are several challenges to be overcome to reach this goal. Insects have proven to be a sustainable alternative to this protein demand and the black soldier fly (BSF, *Hermetia illucens* L.), has stood out for its high protein value and ease of rearing in relation to other insects, besides also being a source of lipids and fatty acids and its nutritional value also includes chitin that acts as a fiber. The influence of different drying techniques - fixed bed drying (FBL), oven drying (ES), wind tunnel drying (WT) under different temperatures (50; 55 and 60°C); sun drying (SUN) and microwave drying (MO) in powers 20 and 50% - on the final moisture content and on the nutritional value (protein, lipid and ash content) of black soldier fly larvae was analyzed. A randomized block design (RDB) was used in a factorial scheme (3 x 3) + 3 additional controls. Data were subjected to variance analysis and for comparisons of means Tukey's test and Dunnett's test were used. Significant differences were found mainly for lipid content after the application of the drying techniques. The results showed that higher temperatures and conditions tend to favour the increase in lipid content in the dried material, calculated under the same moisture content. LF drying at 55°C returned the highest result (35.24% ± 0.72) statistically comparable to LF-60 (35.00% ± 0.07), MO-50 (34.77% ± 0.28) and TV-60 (34.61% ± 0.17). In contrast, proteins (via Kjeldahl) returned higher values in less strenuous conditions. WT at 50°C (36.42% ± 0.79) and greenhouse at the 3 temperatures surveyed (35.71% ± 0.80; 36.10% ± 1.69 and 35.49% ± 0.80) provided the highest results for protein. These studies will contribute to the establishment of an efficient means of drying for BSF larvae. We also present a survey on the pre-treatments that should precede drying to ensure the best food safety.

Keywords: *Hermetia illucens*, pretreatment, drying, insects, food safety.

## **LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

Figura 1: Umidade da amostra (em base seca) versus tempo em horas.

Figura 2: Valores dos Coeficientes de Correlação de Pearson(r) para p-Valor<0,05.

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Parâmetros relacionados ao processo de secagem por ar quente e micro-ondas

Tabela 2: Valores médios obtidos da análise de Extrato Etéreo após os processos de secagem.

Tabela 3: Valores médios obtidos da análise de Proteína após os processos de secagem.

Tabela 4: Valores médios obtidas da análise de Perda a 105°C após os processos de secagem.

Tabela 5: Valores médios obtidos da análise de Cinzas após os processos de secagem.

Tabela 6: Valores médios obtidas da análise de Umidade Residual após os processos de secagem.

Tabela 7: Valores médios obtidos da análise de Proteína + Lipídeo após os processos de secagem.

## SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO .....	12
2 – REVISÃO DE LITERATURA .....	13
2.1 – A Mosca Soldado-negro .....	13
2.2 – Processamento .....	14
2.2.1 – Jejum .....	15
2.2.2 – Abate .....	15
2.2.3 – Branqueamento .....	16
2.2.4 – Secagem .....	16
3 – OBJETIVOS .....	18
4 – MATERIAIS E MÉTODOS .....	19
5 – ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	20
6 – RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	20
7 – CONCLUSÃO .....	22
8 – REFERÊNCIAS .....	23

## 1 INTRODUÇÃO

Para 2050, a ONU prevê uma população mundial de 9,7 bilhões de habitantes (UNFPA, 2019). Com esse crescente aumento numérico, aliado a uma também crescente riqueza da população do planeta, o aumento na demanda por proteína animal é estimado em 68% até 2050 (MASSÉ et al., 2020) demandando em contrapartida um aumento no rebanho mundial (aves, suínos e bovinos). A fim de cobrir a necessidade alimentar deste rebanho a geração de alimentos (como milho e soja) terá de aumentar em 70%, (ALEXANDRATOS; BRUINSMA, 2012; KONUMA, 2018).

A humanidade terá de encontrar soluções para os problemas advindos dessa crescente demanda por alimentos. A produção pecuária já responde por 70% de todas as terras agrícolas (MOZHUI et al., 2020) e seu aumento geraria ainda mais desmatamento com inevitáveis consequências climáticas, além de que a criação de gado é responsável por 16% das emissões globais de gases de efeito estufa, mais do que todos os meios de transportes juntos (BERNARD, 2021). Existe ainda uma crescente tendência a se destinar parte da produção agrícola, em especial milho e cana de açúcar para produção de biocombustível diminuindo a oferta destes produtos para uso alimentar. A água utilizada na irrigação e manutenção dos rebanhos é mais um recurso crítico: estima-se que 1 kg de grãos requer 1.000 litros de água, 1 kg de frango requer 2.300 litros, 1 kg de carne bovina requer 22.000 litros de água podendo chegar a 44.000 litros (ARAVIND et al., 2019).

Algumas soluções para esses problemas já foram apontadas (VAN HUIS; DICKE; VAN LOON, 2015). Reduzir o consumo de carne, aumentar a eficiência da cadeia alimentar “do campo até o garfo” reduzindo as perdas e mudar os hábitos alimentares para produtos que exijam menos terra para serem produzidos.

Nesse cenário o uso de insetos tanto para ração animal como para alimento direto deve ser considerado uma estratégia viável que pode resolver em grande parte os problemas acima enumerados (VAN HUIS; DICKE; VAN LOON, 2015). A introdução de insetos na cadeia alimentar trará pelo menos 5 benefícios ambientais imediatos em relação aos atuais rebanhos: (1) menor emissão de gases de efeito estufa (VAN HUIS; OONINCX, 2017); (2) menor área para produção de mesmo conteúdo energético (Bosch *et al.*, 2019; Cadinu *et al.*, 2020); (3) os insetos possuem alta eficiência de conversão alimentar, definida como a quantidade de alimento necessária para produzir 1 kg de peso corporal comestível (VAN HUIS; DICKE; VAN LOON, 2015). São duas vezes mais eficientes na conversão de alimentos que as aves,

quatro vezes mais que os porcos e doze vezes mais que os bovinos (OONINCX et al., 2015) e ao serem incorporados às rações permitirão redirecionar grãos e plantas para alimentos humanos (CISSE, 2019); (4) os insetos não precisam de muito mais água do que a contida nos seus alimentos (CADINU et al., 2020); (5) os insetos podem ser gerados a partir de resíduos e até estrume permitindo a recuperação destes resíduos e diminuindo seus efeitos nocivos ao meio ambiente (DUSSAULT, 2017).

Apesar dos insetos fazerem parte da alimentação de humanos a milhares de anos, antes que sejam utilizados em larga escala como ração ou alimento direto estudos sobre o tema precisam ser aprofundados. Existem basicamente 4 categorias principais de riscos associados ao consumo de insetos como alimento (TESTA et al., 2017; CAPPELLI et al., 2020): químico, relacionado a contaminantes produzidos pelo inseto ou acumulados por ele através de sua alimentação; físicos, embora raros podem ocorrer devido à natureza rígida de alguns insetos; alergênicos, já que os insetos apresentam os mesmos alérgenos que os crustáceos e os aracnídeos (aranhas, escorpiões e ácaros) e estão muito próximos dos moluscos, podem dar origem a reações ou alergias cruzadas; e por fim, riscos microbiológicos, que apesar de poucos, não podem ser desprezados. Se todos os cuidados sanitários aplicados a produção de alimentos forem também aplicados à produção de insetos e devido à distância filogenética entre insetos e animais superiores estes riscos são minimizados (VAN HUIS; VAN GURP; DICKE, 2014; VAN HUIS, 2021).

Além de mais estudos sobre os problemas citados acima outros estudos referentes à produção dos insetos devem ser feitos, como p.e. o efeito de cada etapa do processo de preparação dos insetos (colheita, abate, secagem, separação etc.) sobre seus constituintes nutricionais e o efeito de sua introdução na nutrição de animais e na dieta humana.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A mosca Soldado Negro (*Hermetia illucens* - Linnaeus, 1758)

A classe *insecta* representa mais 80% do reino animal e contém mais espécimes que todas as espécies de todas as outras classes combinadas. Mas apesar de existirem milhares de espécies de insetos nem todos se prestam como alimento e para cultivo em massa. Controle do ciclo de vida, taxa de conversão de alimento em proteína, valor nutricional, resistência ao estresse,

taxa de crescimento e as necessidades nutricionais são alguns fatores a serem considerados na escolha da espécie a ser cultivada (HÉNAULT-ETHIER et al., 2015).

Dentre os vários espécimes de insetos já estudados as larvas da mosca Soldado Negro (BSF – Black Soldier Fly) tem se destacado como uma das mais promissoras, por atender bem os requisitos antes listados (VAN HUIS; VAN GURP; DICKE, 2014). Tem sido também, junto com o *Tenebrio molitor* um dos insetos mais estudados ultimamente (VAN HUIS, 2020).

A BSF apresenta uma alta resiliência, pois consegue viver em condições adversas se nutrindo de uma grande variedade de alimentos, o que torna seu cultivo bastante simples se comparado a outros insetos. A larva da BSF é muito eficaz ao processar matéria orgânica residual. Para cada 2kg de resíduos de alimento a BSF pode produzir 1 kg de larvas (DUSSAULT, 2017). Em um contexto em que globalmente são gerados 1,3 bilhão de toneladas de resíduo orgânicos por ano (ANANNO et al., 2021), o cultivo das larvas de BSF pode possibilitar a reintrodução deste alimento na cadeia alimentar diminuindo as perdas e a poluição causada por estes resíduos. A Soldado negro é altamente nutritiva. Sua composição de nutrientes é altamente dependente de sua dieta e sua biomassa seca pode conter até 50% de proteína, 35% de gordura e 20% de carboidratos, dependendo de sua alimentação (SHUMO et al., 2019; NYANGENA et al., 2020; SURENDRA et al., 2020). O padrão de aminoácidos pouco se altera com a dieta, porém a composição lipídica pode ser alterada por diferentes dietas larvais e dependendo da finalidade pretendida (ração animal ou uso industrial) é possível "projetar" a composição de ácidos graxos larval desejados (MÜLLER; WOLF; GUTZEIT, 2017). As larvas também são ricas em sais minerais se destacando dentre vários outros insetos (JANSEN, 2018).

A BSF além de não ser considerada uma praga, pois o indivíduo adulto não possui boca, não se alimenta e não é atraída por habitats ou alimentos humanos vivendo sua vida separada, ainda atua no controle de outros insetos. Ao colonizar o estrume de aves e suínos causa uma redução de mais de 90% na população de moscas domésticas (JANSEN, 2018). Ainda, devido a capacidade das larvas da BSF de rapidamente processar matéria orgânica, o risco de crescimento microbiano nestes resíduos alimentares é diminuído (GOLD et al., 2018).

## 2.2 Processamento

O processamento dos insetos começa com a colheita e deve terminar na obtenção de um produto seguro e estável do ponto de vista microbiológico e físico-químico (LAROUCHE et

al., 2019). A escolha das técnicas de processamento das BSFs para sua adequação ao consumo será um fator determinante na obtenção de um produto saudável que possa ser incorporado à cadeia alimentar (VAN HUIS et al., 2013; PURSCHKE et al., 2018).

As larvas de BSFs no seu estado fresco possuem alto teor de água (65%), um grande e variado número de micro-organismos, vários nutrientes como proteínas e lipídios, bem como um pH próximo ao neutro fazendo com que sejam altamente perecíveis (WYNANTS et al., 2019). Sendo assim, antes de serem utilizadas como alimento ou ração elas devem ser processadas para garantir três fatores importantes: qualidade, segurança e conservação. Depois de processadas, o produto obtido, deve possuir qualidade nutricional comprovada, teor de contaminantes biológicos e químicos adequados e deve ser seco e estável ao armazenamento (CISSE, 2019). As técnicas utilizadas no processamento devem ainda apresentar sustentabilidade, serem viáveis em escala industrial e pagáveis (VANDEWEYER et al., 2017).

As etapas de processamento irão diferenciar de acordo com o destino do produto, podendo incluir processamento pós-colheita, branqueamento, morte, descontaminação, secagem, trituração e extração de macronutrientes (ou seja, proteínas, lipídios e quitina).

### 2.2.1 Jejum

Na impossibilidade de se retirar o trato gastrointestinal do inseto, e também por causa de seu valor nutritivo, este normalmente se torna parte do produto acabado. Para reduzir a matéria orgânica contida nos intestinos da larva e sua consequente carga microbiana recomenda-se que as larvas sejam deixadas por um período em jejum, para esvaziarem o trato gastrointestinal (VAN HUIS et al., 2013). Esse período deve ser suficiente para tal esvaziamento, porém não muito elevado de forma a comprometer a reserva energética do inseto (BARRAGAN-FONSECA; DICKE; VAN LOON, 2018). Um período de 24 horas, seguido de lavagem das larvas, parece ser um consenso, porém, o resultado deste processo na microbiota das larvas varia em diferentes estudos (WYNANTS et al., 2017; MANCINI et al., 2019).

### 2.2.2 Abate

O abate é uma etapa essencial no processamento de insetos, pois afeta a qualidade nutricional, a segurança microbiana, a cor e o sabor do produto (FARINA, 2017). Sendo parte em

qualquer produção animal, o abate deve ser rápido e eficaz, deve ajudar a reduzir a carga microbiana e manter a qualidade nutricional do produto.

Tratamento térmico, asfixia, interrupção mecânica e congelamento são os procedimentos mais comuns para o abate de larvas de BSF (LAROUCHE et al., 2019). Estudos indicam que insetos possuem resposta sensorial a dor (GJERRIS; GAMBORG; RÖCKLINSBERG, 2016) portanto, aspectos éticos de bem-estar animal precisam ser considerados e os métodos de abate devem minimizar o sofrimento (VAN HUIS et al., 2013). Os insetos são pecilotérmicos, então matar pelo frio reduz seu metabolismo, impedindo qualquer dor ou sofrimento em potencial. Porém a atividade enzimática permanece ativa após o congelamento podendo induzir à degradação lipídica e a oxidação de polifenóis (Caligiani *et al.*, 2019; Leni *et al.*, 2019). O abate por tratamento térmico (branqueamento em água fervente por um curto período) pode resolver este problema - é rápido, reduz a umidade da larva, minimiza a oxidação lipídica, a contaminação microbiana e as alterações de cor (LAROUCHE et al., 2019). O uso de CO<sub>2</sub> torna a larvas inconscientes, e aplicado antes do tratamento térmico, resolve o problema ético (ZHEN et al., 2020).

### 2.2.3 Branqueamento

Nas larvas de BSF, a enzima responsável pela lipólise demonstrou ser altamente ativa, e continuou a promover a deterioração lipídica mesmo sob armazenamento a -20 °C (CALIGIANI et al., 2019). Nas larvas o branqueamento é aplicado essencialmente com o objetivo de inativar estas enzimas e reduzir a carga microbiana antes de seu armazenamento ou processamento complementar (VANDEWEYER et al., 2017) evitando que essas enzimas atuem causando alteração nos nutrientes e nas qualidades sensoriais por oxidação (BAZINET; CASTAIGN, 2011) ajudando a manter a cor e a qualidade nutricional do inseto (LENI; CALIGIANI; SFORZA, 2019). O branqueamento ainda possui outras vantagens já documentadas: aumento do pH em 0,5 unidades por no mínimo 48 h, conferindo uma estabilidade maior ao produto se comparado ao mesmo *in natura* (TONNEIJCK-SRPOVÁ et al., 2019) e o branqueamento ainda reduz o tempo de secagem, provavelmente comprometendo a integridade da cutícula revestida de cera que reduz a desidratação das larvas (SAUCIER et al., 2021). Quanto ao tempo, 40s em água fervente é eficaz na redução da maioria dos microrganismos (VANDEWEYER et al., 2017). Branqueamento por tempo mais prolongado pode causar lixiviação de substâncias solúveis como minerais, carboidratos, proteínas e vitaminas solúveis (BAZINET; CASTAIGN, 2011).

#### 2.2.4 Secagem

A secagem, aliada aos tratamentos anteriores é extremamente importante, e tem influência direta, no valor nutricional da BSF (HUANG *et al.*, 2019) e nos seus aspectos físico-químicos. O processo de secagem consiste em remover a água contida em um produto específico em uma medida específica para transformá-lo em um produto seco com uma umidade residual baixa (BADAOUI *et al.*, 2019) e é um método tradicional de preservação de alimentos amplamente aplicado a frutas, vegetais e produtos cárneos (AZZOLLINI; DEROSI; SEVERINI, 2016) que visa inibir ou retardar o crescimento microbiano, a atividade enzimática e as reações de escurecimento (KRÖNCKE *et al.*, 2018). O crescimento microbiano é altamente dependente de água e quando a atividade de água (AW) é baixa os microrganismos apresentam crescimento lento e a grande maioria cessa seu crescimento em  $AW < 0,65$  (GRABOWSKI; KLEIN, 2017).

Secagem em micro-ondas e secagem por ar quente são algumas das técnicas que tem sido utilizado para secar e aumentar a vida útil das larvas de BSF. O processo de secagem com ar quente consiste em submeter um produto úmido a uma corrente de ar quente (pelo menos 10°C acima da temperatura ambiente) com temperatura, umidade e velocidade controladas (GRABOWSKI; RAMASWAMY; MARCOTTE, 2003). Nessa situação há o estabelecimento de uma diferença de temperatura e pressão parcial da água entre o produto e o ar, ocasionando não só a transferência de calor por convecção, devido ao gradiente de temperatura, mas também a transferência de água que se deve ao gradiente de pressão de vapor entre a superfície do produto e aquela no ar. Essa transferência de massa ocorre principalmente por difusão, seguindo a Lei de Fick (MICHELIN *et al.*, 2015; DA SILVA *et al.*, 2019). A secagem por micro-ondas é baseada em interações de um campo eletromagnético com a estrutura química dos alimentos (REGIER; KNOERZER; SCHUBERT, 2017). A molécula de água é bipolar e as micro-ondas causam um realinhamento da molécula fazendo com que ela gire. Essa rotação produz atrito e gera calor aquecendo volumetricamente o material, permitindo maior taxa de difusão e maior gradiente de pressão que afasta a umidade de dentro do material (KUMAR; KARIM, 2019).

A tabela 1 mostra um comparativo entre os equipamentos utilizados na secagem por ar quente e por micro-ondas. A secagem por micro-ondas é um processo rápido enquanto na secagem por ar quente a desidratação é mais lenta o que resulta em produtos diferentes em termos de forma, cor e densidade aparente. O método de secagem também tem influência sobre os valores nutricionais das larvas secas ao afetar as estruturas proteicas da BSF. Larvas secas por

métodos tradicionais como secagem utilizando ar quente até 60°C apresentam melhor digestibilidade e maior índice de aminoácidos digeríveis indispensáveis se comparados a secagem por micro-ondas, porém, ambas as técnicas apresentam valores que atendem aos requisitos da FAO para aminoácidos indispensáveis (HUANG et al., 2019; KIM et al., 2021). A temperatura de secagem também é um fator importante a ser considerado, pois secagem de insetos em elevadas temperaturas causam escurecimento, encolhimento acentuados, perda de sabor e valor nutricional (PURSCHKE et al., 2018; PARNIAKOV et al., 2021) e a secagem em temperaturas mais baixas por um longo período de tempo também tem impacto negativo na qualidade do produto (WADE; HOELLE, 2020). As técnicas de secagem também apresentam diferenças sob o ponto de vista econômico. A tabela 1 mostra que para produção em escala reduzida a secagem por MO e por ar quente requerem baixo investimento, porém, sendo um processo passivo e ao trabalhar com lotes maiores a secagem por ar quente demanda menos mão de obra e tem um custo de manutenção menor (DORTMANS et al., 2021). Em escala industrial alguns parâmetros tendem a mudar. Equipamentos de MO são muito caros e a secagem por ar quente depende de muita mão-de-obra. A secagem solar se apresenta como uma opção, possui baixo custo de implantação e manutenção, porém depende do caráter periódico da radiação solar (HERNÁNDEZ-ÁLVAREZ et al., 2021) e possui uma facilidade maior de contaminação (YI et al., 2020).

**Tabela 1. Parâmetros relacionados ao processo de secagem por ar quente e micro-ondas em escala reduzida (adaptado de DORTMANS et al., 2021)**

<b>Parâmetro</b>	<b>Micro-ondas</b>	<b>Ar Quente</b>
Aspecto	Crocante, inchado	Duro, rígido
Cor	Amarelado	Marrom escuro
Densidade	110-130 g/l	220-230 g/l
Fonte de energia	Eletricidade	Gás
Forma de Aquecimento	Ondas eletromagnéticas	Ar quente
Temperatura	Max. 180 °C	Max. 65 °C
Tamanho do lote	0,25 kg	30 kg
Tempo de secagem	15 minutos	24 horas
Taxa de transferência	1,0 kg/h	1,3 kg/h
Uso de espaço	0,4 m <sup>2</sup>	2 m <sup>2</sup>
Consumo de energia / kg de larvas secas	3.7 kWh	10,9 kWh <sup>1</sup>
Investimento	Muito baixo	Baixo
Mão de obra	Alta	Baixa

<sup>1</sup> Energia usada é apresentada como kWh: 1 kg gás é igual 13,6 kWh

A técnica de secagem e suas condições específicas devem ser escolhidas, observando quantidade e objetivo, de forma a garantir uma alta qualidade ao produto com alta eficiência

energética e baixo impacto ambiental originando alimentos secos estáveis e sustentáveis (CALÍN-SÁNCHEZ et al., 2020).

### 3 OBJETIVOS

O objetivo desta pesquisa foi analisar a influência de diferentes técnicas de secagem - secagem em leito fixo (LF), secagem em estufa (ES), secagem em túnel de vento (TV) sob diferentes temperaturas (50; 55 e 60°C); secagem ao sol (SOL) e secagem por micro-ondas (MO) nas potências 20 e 50% - sobre o teor final de umidade e sobre o valor nutricional (teor de proteínas, lipídeos e cinzas) de larvas da mosca soldado negro.

### 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Devido à heterogeneidade das unidades experimentais foi utilizado o delineamento em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial (3 x 3) + 3 testemunhas adicionais. Cada procedimento de secagem e as análises laboratoriais foram executados em triplicata. As larvas no estágio pré-pupa com 20 dias foram fornecidas por *Verdear Ambiental Ltda* e os ensaios foram conduzidos nas instalações do *Instituto Federal Norte de Minas Gerais* (IFNMG) e *Universidade Federal de Minas Gerais* (UFMG) em Montes Claros-MG. As larvas depois de lavadas em água corrente e enxaguadas com água deionizada foram mortas por congelamento a -20°C e mantidas a essa temperatura até o momento de uso. Antes do processo de desidratação amostras de 50g de larvas foram descongeladas, branqueadas por 40 segundos em água fervente na proporção larva-água de 1:12 (p / p) para evitar a queda da temperatura da água (PURSCHKE et al., 2018) e imediatamente resfriadas em água deionizada a temperatura ambiente. Em seguida as larvas foram secas em toalhas DURX®, pesadas, distribuídas em uma camada fina e submetidas à desidratação com pesagens a cada 15 minutos para os procedimentos com ar quente e a cada 2 minutos e trinta segundos para o micro-ondas. Em todas as técnicas as larvas foram colocadas para secar sobre uma peneira, permitindo a troca de calor e umidade pelos dois lados e diminuindo a influência do vasilhame sobre o experimento.

Para desidratação em estufa foi utilizado um equipamento com circulação forçada da marca Nova Ética modelo 410/3NDRE. A desidratação em Leito Fixo (raio de 5,5 cm) e em Túnel de Vento (40 x 11 cm) foi conduzida em um módulo educacional da UP Control adaptado. As

secagens anteriores foram feitas às temperaturas de 50, 55 e 60°C. Em Leito Fixo a velocidade do vento média usada foi 6,09 m/s e no Túnel de Vento 4,11 m/s. As peças utilizadas nas adaptações foram modeladas e impressas em uma impressora 3D. Para as secagens em micro-ondas utilizado um equipamento da marca Eletrolux modelo MA30S (Frequência 2480 MHz e 1,35kW de potência) ajustado em 20 e 50% da potência. Um anteparo foi utilizado para separar o vasilhame contendo as larvas do prato do micro-ondas evitando a influência deste no processo de secagem. O aquecedor solar foi construído em um caixa de aço inox (16 X 24,5 X 7 cm) pintada internamente de preto fosco, revestida externamente com isopor e coberta por uma placa de vidro transparente. O equipamento foi posicionado com uma inclinação de 32° em relação ao solo. As larvas foram posicionadas a uma altura intermediária da caixa sobre uma tela de aço e aberturas na parte inferior e superior permitiam que o ar circulasse atravessando a amostra. Com auxílio de uma haste colocada perpendicular à caixa e observação de sua sombra, o equipamento foi reposicionado a cada 30 minutos, acompanhando o movimento do sol, para melhor incidência dos raios solares. Em todos os processos as secagens foram conduzidas até que a diferença de peso da amostra, entre duas pesagens, fosse inferior a 0,5%.

Imagens dos equipamentos utilizados podem ser vistas no “Apêndice A”.

A análise de proteínas seguiu o método AOAC 928.08 utilizando o fator 6,25 para conversão de N em proteína. Matéria seca seguiu o método AOAC 950.46 e para determinação de cinzas utilizou-se o método AOAC 923.03. O Extrato Etéreo seguiu o método AOAC 960.39 (AOAC, 2002).

## 5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos a análise de variância e para as comparações de médias foi utilizado o Teste de Tukey e o Teste de Dunnett. O teste de Tukey foi realizado utilizando o SISVAR (FERREIRA, 2019) e o Teste de Dunnett foi feito no RStudio (R CORE TEAM (2022.07.1+554), 2022) com o pacote “Tratamentos.ad” (AZEVEDO, 2021) utilizado para análise de experimentos com testemunhas adicionais. *P*-valores menores que 0,05 foram considerados estatisticamente significativos.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise das larvas *in natura* mostrou  $34,22\% \pm 0,15$  (BS) para proteína,  $30,30\% \pm 0,89$  (BS) para lipídeos,  $19,31\% \pm 0,08$  (BS) para cinzas e  $62,30\% \pm 0,51$  para umidade. Estes resultados estão coerentes com os encontrados por outros autores (SHUMO et al., 2019; SURENDRA et al., 2020). Os resultados das análises físico-químicas das larvas após os tratamentos de secagem são apresentados nas Tabelas 2 a 7.

**Tabela 2. Análises físico-químicas de larvas da BSF após os processos de secagem.**

Equipamento	Extrato Etéreo		
	Temperatura		
	50	55	60
Estufa	$27,11 \pm 0,53$ Bab # @ $\alpha$	$26,67 \pm 0,03$ Bb # @ $\alpha$	$27,57 \pm 0,47$ Ba # @ $\alpha$
LF	$32,34 \pm 0,03$ Ab # @ $\alpha$	$35,24 \pm 0,72$ Aa # $\alpha$	$35,00 \pm 0,07$ Aa # $\alpha$
TV	$26,71 \pm 0,05$ Bb # @ $\alpha$	$25,81 \pm 0,14$ Cc # @ $\alpha$	$34,61 \pm 0,17$ Aa # $\alpha$
MO20%		$29,06 \pm 0,10$ #	
MO50%		$34,77 \pm 0,28$ @	
Solar		$28,66 \pm 0,85$ $\alpha$	

Os valores são mostrados como média  $\pm$  desvio padrão (n=3). Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na coluna (equipamentos) e minúsculas na linha (temperaturas), diferem entre si pelo Teste de Tukey (p<0,05). Médias seguidas de #, @ e  $\alpha$  se diferem dos tratamentos testemunhas pelo teste de Dunnett (p<0,05). Resultados referentes a base seca. Larvas *in natura*: Proteína =  $34,22\% \pm 0,15$ ; Lipídeos =  $30,30\% \pm 0,89$ ; Cinzas =  $19,31\% \pm 0,08$ ; Umidade =  $62,30\% \pm 0,51$ .

**Tabela 3. Análises físico-químicas de larvas da BSF após os processos de secagem.**

Equipamento	Proteína		
	Temperatura		
	50	55	60
Estufa	$35,71 \pm 0,80$ Aa # $\alpha$	$36,10 \pm 1,69$ Aa # $\alpha$	$35,49 \pm 0,80$ Aa # $\alpha$
LF	$33,49 \pm 0,87$ Ba	$32,93 \pm 0,68$ Ba	$33,68 \pm 0,16$ Ba
TV	$36,42 \pm 0,79$ Aa # $\alpha$	$33,40 \pm 0,18$ Bb	$32,46 \pm 0,09$ Bb
MO20%		$32,79 \pm 1,16$ #	
MO50%		$34,58 \pm 1,98$ @	
Solar		$31,86 \pm 0,37$ $\alpha$	

Os valores são mostrados como média  $\pm$  desvio padrão (n=3). Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na coluna (equipamentos) e minúsculas na linha (temperaturas), diferem entre si pelo Teste de Tukey (p<0,05). Médias seguidas de #, @ e  $\alpha$  se diferem dos tratamentos testemunhas pelo teste de Dunnett (p<0,05). Resultados referentes a base seca. Larvas *in natura*: Proteína =  $34,22\% \pm 0,15$ ; Lipídeos =  $30,30\% \pm 0,89$ ; Cinzas =  $19,31\% \pm 0,08$ ; Umidade =  $62,30\% \pm 0,51$ .

Em geral, após a secagem das larvas, houve redução nos teores de proteínas e cinzas e aumento no teor de lipídeos se comparados com as larvas *in natura*. Diferentes resultados para os valores nutricionais após secagem das larvas são explicados por mudanças na matriz biológica. A concentração desses valores na matriz é resultado de uma complexa combinação de fatores como proteólise e atividade enzimática e a secagem promove novos arranjos moleculares na matriz, que alteram o teor de proteínas e lipídios (KRÖNCKE et al., 2018). A solubilização de proteínas e sais minerais durante o branqueamento e a desnaturação e reações

de escurecimento podem explicar as reduções desses componentes (AKONOR et al., 2016; LENAERTS et al., 2018). A técnica de secagem que retornou o maior resultado para proteínas foi TV a 50°C (36,42% ± 0,42) estatisticamente igual a estufa nas 3 temperaturas testadas (35,71% ± 0,80; 36,10% ± 1,69 e 35,49% ± 0,80). Extrato Etéreo, o qual podemos relacionar com o teor de lipídeos, apresentou o melhor resultado para LF a 55°C (35,24%) estatisticamente comparável a LF-60 (35,00% ± 0,07), MO-50 (34,77% ± 0,28) e TV-60 (34,61% ± 0,17).

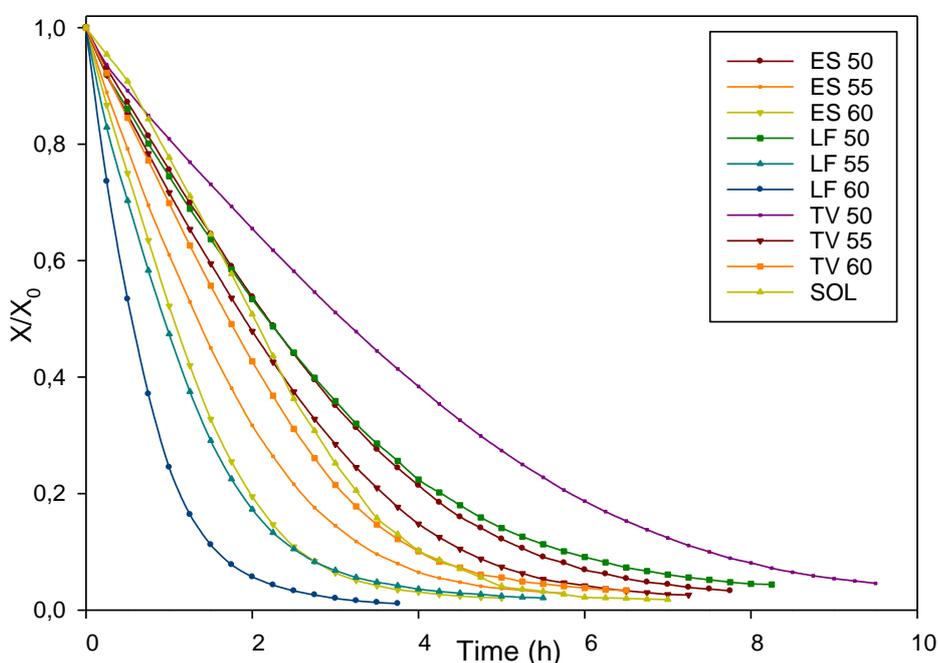
**Tabela 4. Análises físico-químicas de larvas da BSF após os processos de secagem.**

Equipamento	Perda a 105°C		
	Temperatura		
	50	55	60
Estufa	63,11 ± 0,07 Aa # @	63,12 ± 0,15 Aa # @	63,28 ± 0,09 Ba # @
LF	62,23 ± 0,53 Bc # @	63,35 ± 0,05 Ab # @	64,05 ± 0,14 Aa @ ɺ
TV	62,75 ± 0,04 ABa # @	63,05 ± 0,25 Aa # @	62,69 ± 0,44 Ca # @
MO20%		64,35 ± 0,11 #	
MO50%		71,12 ± 1,02 @	
Solar		62,96 ± 0,28 ɺ	

Os valores são mostrados como média ± desvio padrão (n=3). Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na coluna (equipamentos) e minúsculas na linha (temperaturas), diferem entre si pelo Teste de Tukey (p<0,05). Médias seguidas de #, @ e ɺ se diferem dos tratamentos testemunhas pelo teste de Dunnett (p<0,05). Resultados referentes a base seca. Larvas *in natura*: Proteína = 34,22% ± 0,15; Lipídeos = 30,30% ± 0,89; Cinzas = 19,31% ± 0,08; Umidade = 62,30% ± 0,51.

A Figura 1 mostra as curvas de cinética de secagem ( $X/X_0$  vs tempo) para os tratamentos envolvendo ar quente.

**Figura 1: Curva de Cinética de secagem de larvas da mosca soldado negro.**



Curva da cinética de secagem das larvas da mosca soldado negro sob diferentes processos de secagem, onde X é o conteúdo de água após secagem e  $X_0$  é o conteúdo inicial de água. Os experimentos foram feitos em triplicata.

A cinética de secagem foi traçada determinando o conteúdo relativo de água  $X/X_0$  (onde  $X$  é o conteúdo de água após secagem e  $X_0$  é o conteúdo inicial de água) ao longo do tempo de secagem. Os maiores resultados para extrato etéreo aparecem entre os processos com menores tempos de secagem e maiores temperaturas sugerindo que estas condições tendem a favorecer o aumento do teor de lipídeos no material seco.

**Tabela 5. Análises físico-químicas de larvas da BSF após os processos de secagem.**

Equipamento	Cinzas		
	Temperatura		
	50	55	60
Estufa	19,40 ± 2,01 Aa	19,27 ± 0,72 Aa	19,25 ± 0,33 Aa
LF	17,61 ± 0,98 Aa	16,77 ± 0,69 Ba	17,61 ± 0,32 ABa
TV	17,83 ± 0,57 Aab	18,87 ± 0,71 Aa	16,99 ± 0,28 Bb
MO20%		17,74 ± 0,62	
MO50%		14,41 ± 0,32	
Solar		15,62 ± 0,90	

Os valores são mostrados como média ± desvio padrão (n=3). Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na coluna (equipamentos) e minúsculas na linha (temperaturas), diferem entre si pelo Teste de Tukey (p<0,05). Médias seguidas de #, @ e ¢ se diferem dos tratamentos testemunhas pelo teste de Dunnett (p<0,05). Resultados referentes a base seca. Larvas *in natura*: Proteína = 34,22% ± 0,15; Lipídeos = 30,30% ± 0,89; Cinzas = 19,31% ± 0,08; Umidade = 62,30% ± 0,51.

O teor de cinzas apresentou apenas pequenas diferenças pelo Teste de Tukey e não mostrou diferenças significativas quando comparadas pelo Teste de Dunnett com as testemunhas adicionais. Como as cinzas dependem do teor de minerais que não são afetados por temperaturas como as utilizadas no ensaio essa pequena variação já era esperada e pode ser explicada pelas modificações na matriz biológica devido ao branqueamento (MUTUNGI et al., 2019).

**Tabela 6. Análises físico-químicas de larvas da BSF após os processos de secagem.**

Equipamento	Umidade Residual		
	Temperatura		
	50	55	60
Estufa	7,28 ± 0,22 Ba # @	6,68 ± 0,12 Ab @ ¢	5,91 ± 0,08 Ac # @ ¢
LF	6,76 ± 0,11 Ca @ ¢	6,03 ± 0,07 Bb # @ ¢	5,80 ± 0,09 Ab # @ ¢
TV	7,63 ± 0,12 Aa # @ ¢	5,97 ± 0,21 Bb # @ ¢	5,78 ± 0,03 Ab # @ ¢
MO20%		6,57 ± 0,08 #	
MO50%		5,35 ± 0,06 @	
Solar		4,64 ± 0,07 ¢	

Os valores são mostrados como média ± desvio padrão (n=3). Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na coluna (equipamentos) e minúsculas na linha (temperaturas), diferem entre si pelo Teste de Tukey (p<0,05). Médias seguidas de #, @ e ¢ se diferem dos tratamentos testemunhas pelo teste de Dunnett (p<0,05). Resultados referentes a base seca. Larvas *in natura*: Proteína = 34,22% ± 0,15; Lipídeos = 30,30% ± 0,89; Cinzas = 19,31% ± 0,08; Umidade = 62,30% ± 0,51.

Quanto a umidade residual, ou seja, aquela que permaneceu na amostra após o procedimento de secagem também ficou em média dentro dos índices pretendidos (7%). Fixar uma mesma umidade exata para as larvas secas não foi possível devido às limitações de controle dos

diversos métodos de secagem. A secagem ao sol apresentou o menor valor para este parâmetro possivelmente devido às altas temperaturas alcançadas (72°C) no decorrer da secagem. Como já visto a secagem das larvas segue a Lei de Fick, logo temperaturas mais altas irão estabelecer diferenças de gradientes maiores facilitando a evaporação. Posterior secagem a 105°C das amostras previamente secas mostrou valores bem próximos e de acordo com a literatura (SHUMO et al., 2019; SURENDRA et al., 2020). Um experimento que se destaca dos demais por seus resultados peculiares é MO-50%. Além de apresentar teor de cinzas abaixo dos demais experimentos também apresentou um valor para dessecação a 105°C muito acima dos demais apesar de sua umidade residual, embora baixa, não fugir consideravelmente da média. Como o cálculo dos demais constituintes é feito sobre a base seca, a elevada perda por dessecação, devido ao rearranjo da matriz biológica, pode ter contribuído para concentração destes elementos (WASSWA et al., 2021).

**Tabela 7. Análises físico-químicas de larvas da BSF após os processos de secagem.**

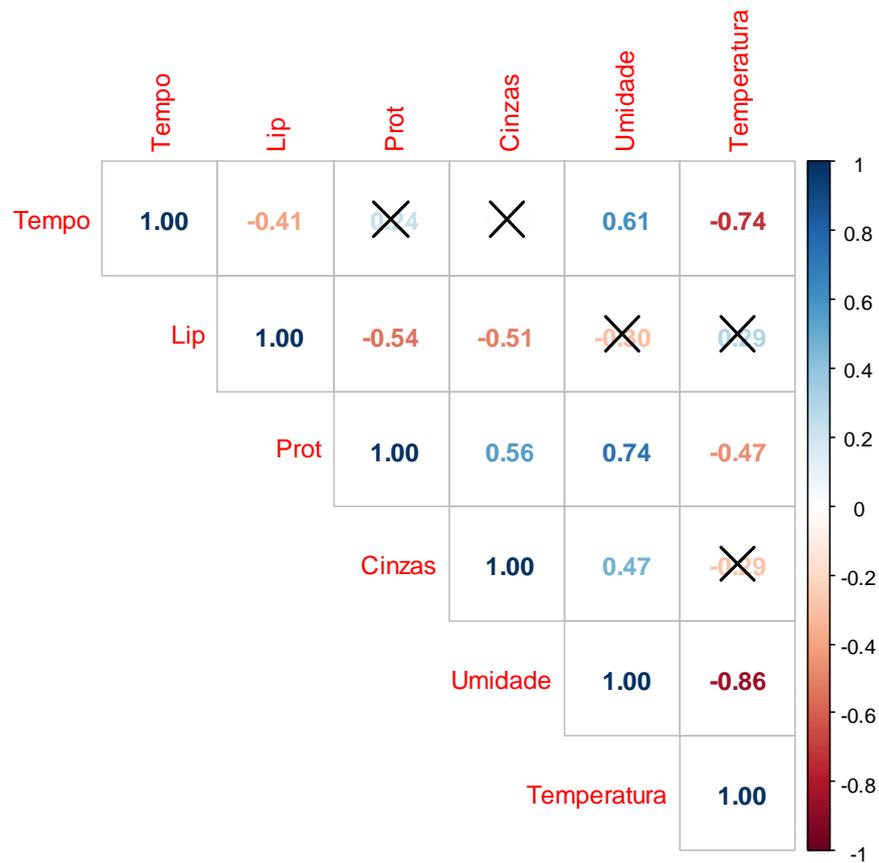
Equipamento	Proteína + Lipídeo		
	Temperatura		
	50	55	60
Estufa	62,82 ± 1,02 Ba @	62,77 ± 1,70 Ba @	63,06 ± 1,12 Ba @
LF	65,83 ± 0,88 Ab # @ ✕	68,17 ± 0,68 Aa # ✕	68,68 ± 0,19 Aa # ✕
TV	63,13 ± 0,83 Bb @ ✕	59,21 ± 0,18 Cc # @	67,07 ± 0,26 Aa # ✕
MO20%		61,85 ± 1,26 #	
MO50%		69,35 ± 2,18 @	
Solar		60,52 ± 0,98 ✕	

Os valores são mostrados como média ± desvio padrão (n=3). Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na coluna (equipamentos) e minúsculas na linha (temperaturas), diferem entre si pelo Teste de Tukey (p<0,05). Médias seguidas de #, @ e ✕ se diferem dos tratamentos testemunhas pelo teste de Dunnett (p<0,05). Resultados referentes a base seca. Larvas *in natura*: Proteína = 34,22% ± 0,15; Lipídeos = 30,30% ± 0,89; Cinzas = 19,31% ± 0,08; Umidade = 62,30% ± 0,51.

Levando em consideração que os dois componentes mais importantes a serem recuperados após secagem são proteína e lipídeo e no intuito de identificar a técnica com melhor resultado para estes dois componentes juntos, foi analisado a soma destes. Percebemos que MO na potência de 50% teve melhor resultado (69,35% ± 2,18) junto com LF-60 (68,68% ± 0,19), LF-55 (68,17% ± 0,68) e TV-60 (67,07% ± 0,26). Estudos anteriores mostraram que insetos secos em micro-ondas tendem a aumentar a fração não digerível de proteínas (KRÖNCKE et al., 2018; KIM et al., 2021) então é preciso encarar com cuidado este resultado.

A figura 2 mostra os valores dos coeficientes de correlação de Pearson(r) entre as variáveis envolvidas no experimento (excetuando os experimentos com micro-ondas por envolver processos diferentes) e demonstra que há correlação entre temperatura, tempo de secagem e teor residual de umidade.

Figura 2: Valores dos Coeficientes de Correlação de Pearson(r) para p-Valor<0,05\*.



\* Os ensaios com micro-ondas não estão incluídos.

Temperaturas menores demandam tempos maiores e retornam um teor de umidade residual maior, o que está de acordo com a Lei de Fick. Há também uma correlação direta entre o teor de umidade residual e o teor proteínas, que nos leva a depreender que aquecimentos mais brandos tem um efeito positivo sobre o teor de proteínas. Isto também pode ser percebido no gráfico onde vemos uma correlação indireta entre proteína e temperatura, ou seja, para temperaturas mais altas obtemos menores teores de proteína. Há também uma correlação indireta entre lipídeos e proteínas da ordem de -0,542 (p-Valor = 0,002), indicando que o aumento no teor de um item implica na redução do outro.

## 7 CONCLUSÃO

Todos os processos de secagem testados causaram alterações no teor de proteínas, gorduras e cinzas nas larvas de BSF comparadas com a larva *in natura*. Diferenças menores no teor de proteínas e cinzas foram encontradas entre larvas secas e frescas, se comparadas aos lipídeos, que apresentaram as maiores variações. Os ensaios sugerem que temperaturas mais altas e

consequentemente processos mais rápidos aumentam o teor de lipídeos ao contrário das proteínas. O processo que forneceu o melhor resultado para proteínas e lipídeos somados foi micro-ondas a 50% de potência. É um processo rápido, mas que adiciona alguns problemas ligados à solubilidade das proteínas. A secagem em Leito Fixo nas três temperaturas testadas também se destacou dos demais processos por sua relativa rapidez e preservando tanto lipídeos quanto proteínas.

A escolha da técnica de secagem deve observar a quantidade e objetivo do material para se garantir um produto seco de qualidade obtido com sustentabilidade. Apesar de estar condicionada à incidência solar, a secagem solar, pelos resultados obtidos para proteínas e lipídeos e por ser um processo que demanda baixo investimento e baixa manutenção se destaca das demais por ser uma técnica econômica e ecologicamente sustentável.

## REFERÊNCIAS

- AKONOR, P. T. et al. Drying Characteristics and Physical and Nutritional Properties of Shrimp Meat as Affected by Different Traditional Drying Techniques. *International Journal of Food Science*, v. 2016, p. 1–5, 2016. Disponível em: <<http://www.hindawi.com/journals/ijfs/2016/7879097/>>.
- ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. WORLD AGRICULTURE TOWARDS 2030/2050: the 2012 revision. In: Rome. *Anais...* Rome: 2012. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-ap106e.pdf>>. Acesso em: 4 out. 2020.
- ANANNO, A. A. et al. Sustainable food waste management model for Bangladesh. *Sustainable Production and Consumption*, v. 27, p. 35–51, jul. 2021. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352550920313622>>.
- AOAC. *AOAC: Official methods of analysis*. 17th. ed. Gaithersburg: Association of Official Analytical Chemists, 2002.
- ARAVIND, L. et al. Alternative food production and consumption: Evolving and exploring alternative protein supplement potential through Entomoceticals. *International Journal of Chemical Studies*, v. 7, n. 2, p. 1393–1397, 2019. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/335527301\\_Alternative\\_food\\_production\\_and\\_consumption\\_Evolving\\_and\\_exploring\\_alternative\\_protein\\_supplement\\_potential\\_through\\_Entomoceticals](https://www.researchgate.net/publication/335527301_Alternative_food_production_and_consumption_Evolving_and_exploring_alternative_protein_supplement_potential_through_Entomoceticals)>.
- AZEVEDO, A. M. *Tratamentos.ad: Pacote Para Analise De Experimentos Com Testemunhas Adicionais*, 2021. . Disponível em: <<https://cran.r-project.org/package=Tratamentos.ad>>.
- AZZOLLINI, D.; DEROSI, A.; SEVERINI, C. Understanding the drying kinetic and hygroscopic behaviour of larvae of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) and the effects on their quality. *Journal of Insects as Food and Feed*, v. 2, n. 4, p. 233–243, 24 out. 2016. Disponível em: <<https://www.wageningenacademic.com/doi/10.3920/JIFF2016.0001>>.
- BADAoui, O. et al. Experimental and modelling study of tomato pomace waste drying in a new solar greenhouse: Evaluation of new drying models. *Renewable Energy*, v. 133, p. 144–155, abr. 2019. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960148118312047>>.
- BARRAGAN-FONSECA, K. B.; DICKE, M.; VAN LOON, J. J. A. Influence of larval density and dietary nutrient concentration on performance, body protein, and fat contents of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*). *Entomologia Experimentalis et Applicata*, v. 166, n. 9, p. 761–770, set. 2018. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/eea.12716>>.
- BAZINET, L.; CASTAIGN, F. *Concepts de génie alimentaire - Procédés associés et applications à la conservation des aliments*. Paris: Technique et Documentation, 2011.
- BERNARD, P. M. Health Management Model: A Case Study for Success. *Universal Journal of Public Health*, v. 9, n. 2, p. 51–56, abr. 2021. Disponível em: <[http://www.hrpub.org/journals/article\\_info.php?aid=10733](http://www.hrpub.org/journals/article_info.php?aid=10733)>.
- BOSCH, G. et al. Conversion of organic resources by black soldier fly larvae: Legislation, efficiency and environmental impact. *Journal of Cleaner Production*, v. 222, p. 355–363, jun. 2019. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652619306791>>.
- CADINU, L. A. et al. Insect Rearing: Potential, Challenges, and Circularity. *Sustainability*, v. 12, n. 11, p. 4567, 3 jun. 2020. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071->

1050/12/11/4567>.

CALIGIANI, A. et al. Influence of the killing method of the black soldier fly on its lipid composition. *Food Research International*, v. 116, p. 276–282, fev. 2019. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996918306392>>.

CALÍN-SÁNCHEZ, Á. et al. Comparison of Traditional and Novel Drying Techniques and Its Effect on Quality of Fruits, Vegetables and Aromatic Herbs. *Foods*, v. 9, n. 9, p. 1261, 9 set. 2020. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2304-8158/9/9/1261>>.

CAPPELLI, A. et al. Insects as food: A review on risks assessments of Tenebrionidae and Gryllidae in relation to a first machines and plants development. *Food Control*, v. 108, p. 106877, fev. 2020. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956713519304669>>.

CISSE, M. *Comparaison de différentes techniques de prétraitement et de séchage sur la charge microbienne, les caractéristiques physicochimiques et nutritionnelles des larves de mouches soldats noires (Hermetia illucens) comme aliment alternatif pour l' alimenta*. 2019. Université Laval, 2019. Disponível em: <<https://corpus.ulaval.ca/jspui/handle/20.500.11794/37548>>. Acesso em: 22 set. 2020.

DA SILVA, P. et al. Modelling Drying Kinetics of Black Soldier Fly ( *Hermetia Illucens*, L. ) Larvae. *E3S Web of Conferences*, v. 128, p. 09011, 8 nov. 2019. Disponível em: <<https://www.e3s-conferences.org/10.1051/e3sconf/201912809011>>.

DORTMANS, B. et al. *Black Soldier Fly Biowaste Processing - A Step-by-Step Guide*. 2nd Editio ed. Dübendorf: Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, 2021.

DUSSAULT, M. *Étude de faisabilité du déploiement de l'industrie des insectes destinés à la consommation humaine au Québec*. 2017. UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE, 2017. Disponível em: <<https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/10287>>. Acesso em: 22 set. 2020.

FARINA, M. F. How method of killing crickets impact the sensory qualities and physiochemical properties when prepared in a broth. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, v. 8, p. 19–23, jul. 2017. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1878450X1630052X>>.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A COMPUTER ANALYSIS SYSTEM TO FIXED EFFECTS SPLIT PLOT TYPE DESIGNS. *REVISTA BRASILEIRA DE BIOMETRIA*, v. 37, n. 4, p. 529–535, 20 dez. 2019. Disponível em: <<https://biometria.ufra.br/index.php/BBJ/article/view/450>>.

GJERRIS, M.; GAMBORG, C.; RÖCKLINSBERG, H. Ethical aspects of insect production for food and feed. *Journal of Insects as Food and Feed*, v. 2, n. 2, p. 101–110, 10 jun. 2016. Disponível em: <<https://www.wageningenacademic.com/doi/10.3920/JIFF2015.0097>>.

GOLD, M. et al. Decomposition of biowaste macronutrients, microbes, and chemicals in black soldier fly larval treatment: A review. *Waste Management*, v. 82, p. 302–318, dez. 2018. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956053X18306408>>.

GRABOWSKI, N. T.; KLEIN, G. Microbiology of cooked and dried edible Mediterranean field crickets ( *Gryllus bimaculatus* ) and superworms ( *Zophobas atratus* ) submitted to four different heating treatments. *Food Science and Technology International*, v. 23, n. 1, p. 17–23, 9 jan. 2017. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1082013216652994>>.

GRABOWSKI, S.; RAMASWAMY, H.; MARCOTTE, M. Drying of Fruits, Vegetables, and Spices. In: *Handbook of Postharvest Technology*. [s.l.] CRC Press, 2003. p. 653–695.

HÉNAULT-ETHIER, L. et al. *La faisabilité des élevages d'insectes pour la consommation humaine ou animale en milieu urbain*. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.1.4605.0327>>. Acesso em: 22 set. 2020.

HERNÁNDEZ-ÁLVAREZ, A.-J. et al. Drying technologies for edible insects and their derived ingredients. *Drying Technology*, v. 39, n. 13, p. 1991–2009, 31 ago. 2021. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/07373937.2021.1915796>>.

HUANG, C. et al. Impact of drying method on the nutritional value of the edible insect protein from black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae: amino acid composition, nutritional value evaluation, in vitro digestibility, and thermal properties. *European Food Research and Technology*, v. 245, n. 1, p. 11–21, 6 jan. 2019. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00217-018-3136-y>>.

JANSEN, Z. *The nutritional potential of black soldier fly (Hermetia illucens) larvae as a protein source for broiler chicken diets*. 2018. Stellenbosch : Stellenbosch University, 2018. Disponível em: <<https://scholar.sun.ac.za:443/handle/10019.1/103609>>. Acesso em: 22 set. 2020.

KIM, B. et al. Evaluation of microwave-dried black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal as a dietary protein source in broiler chicken diets. *Journal of Insects as Food and Feed*, p. 1–12, 18 out. 2021. Disponível em: <<https://www.wageningenacademic.com/doi/10.3920/JIFF2021.0113>>.

KONUMA, H. Status and Outlook of Global Food Security and the Role of Underutilized Food Resources: Sago Palm. In: EHARA, H.; TOYODA, Y.; JOHNSON, D. V. (Ed.). *Sago Palm*. Singapore: Springer Singapore, 2018. p. 3–16.

KRÖNCKE, N. et al. Comparison of suitable drying processes for mealworms (*Tenebrio molitor*). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v. 50, p. 20–25, dez. 2018. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1466856418306842>>.

KUMAR, C.; KARIM, M. A. Microwave-convective drying of food materials: A critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 59, n. 3, p. 379–394, 4 fev. 2019. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408398.2017.1373269>>.

LAROUCHE, J. et al. Effects of Killing Methods on Lipid Oxidation, Colour and Microbial Load of Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) Larvae. *Animals*, v. 9, n. 4, p. 182, 21 abr. 2019. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2076-2615/9/4/182>>. Acesso em: 22 set. 2020.

LENAERTS, S. et al. Suitability of microwave drying for mealworms (*Tenebrio molitor*) as alternative to freeze drying: Impact on nutritional quality and colour. *Food Chemistry*, v. 254, p. 129–136, jul. 2018. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814618302310>>.

LENI, G.; CALIGIANI, A.; SFORZA, S. Killing method affects the browning and the quality of the protein fraction of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) prepupae: a metabolomics and proteomic insight. *Food Research International*, v. 115, p. 116–125, jan. 2019. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996918306276>>.

MANCINI, S. et al. Effects of different blanching treatments on microbiological profile and quality of the mealworm (*Tenebrio molitor*). *Journal of Insects as Food and Feed*, v. 5, n. 3, p. 225–234, 10 jul. 2019. Disponível em: <<https://www.wageningenacademic.com/doi/10.3920/JIFF2018.0034>>.

- MASSÉ, J. et al. Review: Climate Finance readiness of the animal protein sector: overview of experience in linking the sector to Climate Finance, and options to address bottlenecks. *Animal*, v. 14, p. s491–s499, 2020. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1751731120001755>>.
- MICHELIN, M. et al. Cellulose from Lignocellulosic Waste. In: *Polysaccharides*. Cham: Springer International Publishing, 2015. p. 475–511.
- MOZHUI, L. et al. Traditional Knowledge of the Utilization of Edible Insects in Nagaland, North-East India. *Foods*, v. 9, n. 7, p. 852, 30 jun. 2020. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2304-8158/9/7/852>>.
- MÜLLER, A.; WOLF, D.; GUTZEIT, H. O. The black soldier fly, *Hermetia illucens* – a promising source for sustainable production of proteins, lipids and bioactive substances. *Zeitschrift für Naturforschung C*, v. 72, n. 9–10, p. 351–363, 26 set. 2017. Disponível em: <<https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/znc-2017-0030/html>>.
- MUTUNGI, C. et al. Postharvest processes of edible insects in Africa: A review of processing methods, and the implications for nutrition, safety and new products development. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 59, n. 2, p. 276–298, 19 jan. 2019. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408398.2017.1365330>>.
- NYANGENA, D. N. et al. Effects of Traditional Processing Techniques on the Nutritional and Microbiological Quality of Four Edible Insect Species Used for Food and Feed in East Africa. *Foods*, v. 9, n. 5, p. 574, 4 maio 2020. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2304-8158/9/5/574>>.
- OONINCX, D. G. A. B. 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, p. e0144601, 23 dez. 2015. Disponível em: <<https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0144601>>.
- PARNIAKOV, O. et al. Insect processing for food and feed: A review of drying methods. *Drying Technology*, p. 1–14, 17 ago. 2021. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/07373937.2021.1962905>>.
- PURSCHKE, B. et al. Effect of Pre-Treatment and Drying Method on Physico-Chemical Properties and Dry Fractionation Behaviour of Mealworm Larvae (*Tenebrio Molitor* L.). *European Food Research and Technology*, v. 244, n. 2, p. 269–280, 27 fev. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00217-017-2953-8>>. Acesso em: 23 set. 2020.
- R CORE TEAM (2022.07.1+554). *Rstudio: A Language and Environment for Statistical Computing*, Vienna, Austria. R Foundation for Statistical Computing, , 2022. . Disponível em: <<https://www.r-project.org>>.
- REGIER, M.; KNOERZER, K.; SCHUBERT, H. Introducing microwave-assisted processing of food. In: *The Microwave Processing of Foods*. [s.l.] Elsevier, 2017. p. 1–22.
- SAUCIER, L. et al. Comparison of black soldier fly larvae pre-treatments and drying techniques on the microbial load and physico-chemical characteristics. *Journal of Insects as Food and Feed*, p. 1–20, 14 jul. 2021. Disponível em: <<https://www.wageningenacademic.com/doi/10.3920/JIFF2021.0002>>.
- SHUMO, M. et al. The Nutritive Value of Black Soldier Fly Larvae Reared on Common Organic Waste Streams in Kenya. *Scientific Reports*, v. 9, n. 1, p. 10110, 12 dez. 2019. Disponível em: <<http://www.nature.com/articles/s41598-019-46603-z>>. Acesso em: 22 set. 2020.
- SURENDRA, K. C. et al. Rethinking organic wastes bioconversion: Evaluating the potential

of the black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.)) (Diptera: Stratiomyidae) (BSF). *Waste Management*, v. 117, p. 58–80, nov. 2020. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956053X20304281>>.

TESTA, M. et al. Ugly but tasty: A systematic review of possible human and animal health risks related to entomophagy. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 57, n. 17, p. 3747–3759, 22 nov. 2017. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408398.2016.1162766>>.

TONNEIJCK-SRPOVÁ, L. et al. Impact of processing on enzymatic browning and texturization of yellow mealworms. *Journal of Insects as Food and Feed*, v. 5, n. 4, p. 267–277, 25 out. 2019. Disponível em: <<https://www.wageningenacademic.com/doi/10.3920/JIFF2018.0025>>.

UNFPA. *World Population Dashboard* United Nations Population Fundation. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.unfpa.org/data/world-population-dashboard>>. Acesso em: 22 set. 2020.

VAN HUIS, A. et al. *Edible insects: Future prospects for food and feed security*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013. v. 171

VAN HUIS, A. Insects as food and feed, a new emerging agricultural sector: a review. *Journal of Insects as Food and Feed*, v. 6, n. 1, p. 27–44, 6 fev. 2020. Disponível em: <<https://www.wageningenacademic.com/doi/10.3920/JIFF2019.0017>>.

VAN HUIS, A. Prospects of insects as food and feed. *Organic Agriculture*, v. 11, n. 2, p. 301–308, 17 jun. 2021. Disponível em: <<https://link.springer.com/10.1007/s13165-020-00290-7>>.

VAN HUIS, A.; DICKE, M.; VAN LOON, J. J. A. Insects to feed the world. *Journal of Insects as Food and Feed*, v. 1, n. 1, p. 3–5, 1 jan. 2015. Disponível em: <<https://www.wageningenacademic.com/doi/10.3920/JIFF2015.x002>>. Acesso em: 4 out. 2020.

VAN HUIS, A.; OONINCX, D. G. A. B. The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 37, n. 5, p. 43, 15 out. 2017. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s13593-017-0452-8>>.

VAN HUIS, A.; VAN GURP, H.; DICKE, M. *The Insect cookbook: food for a sustainable planet*. English-la ed. New York: Columbia University Press, 2014.

VANDEWEYER, D. et al. Effect of blanching followed by refrigerated storage or industrial microwave drying on the microbial load of yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*). *Food Control*, v. 71, p. 311–314, jan. 2017. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956713516303747>>.

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

WASSWA, M. S. et al. Influence of sun drying and a combination of boiling and sun drying on the retention of nutrients and bioactive compounds in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) leaves. *African Journal of Biological Sciences*, v. 3, n. 3, p. 48, 7 maio 2021. Disponível em: <[https://www.afjbs.com/files/1627023357\\_\(6\)\\_AFJBS20210150\\_\(p\\_48-58\).pdf](https://www.afjbs.com/files/1627023357_(6)_AFJBS20210150_(p_48-58).pdf)>.

WYNANTS, E. et al. Effect of post-harvest starvation and rinsing on the microbial numbers and the bacterial community composition of mealworm larvae (*Tenebrio molitor*).

*Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v. 42, p. 8–15, ago. 2017. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S146685641630741X>>.

WYNANTS, E. et al. Assessing the Microbiota of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) Reared on Organic Waste Streams on Four Different Locations at Laboratory and Large Scale. *Microbial Ecology*, v. 77, n. 4, p. 913–930, 14 maio 2019. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00248-018-1286-x>>.

YI, J. et al. Drying efficiency and product quality of biomass drying: a review. *Drying Technology*, v. 38, n. 15, p. 2039–2054, 2 nov. 2020. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/07373937.2019.1628772>>.

ZHEN, Y. et al. Impacts of Killing Process on the Nutrient Content, Product Stability and In Vitro Digestibility of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Meals. *Applied Sciences*, v. 10, n. 17, p. 6099, 2 set. 2020. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2076-3417/10/17/6099>>.

## APÊNDICE A - Imagens dos equipamentos utilizados nos ensaios.



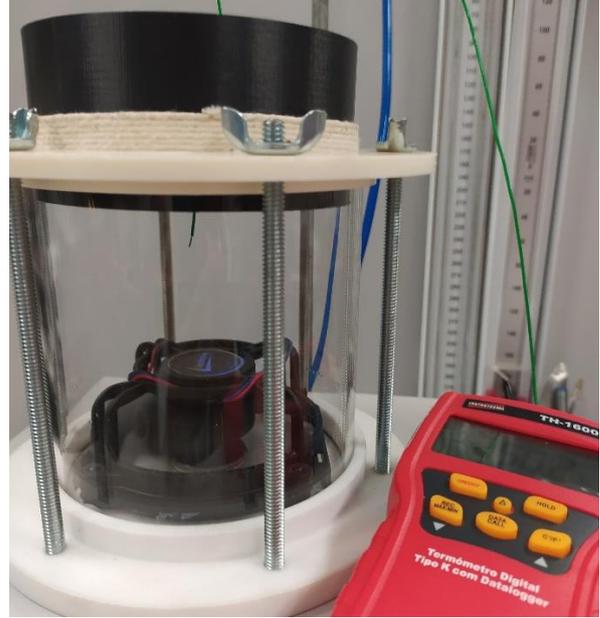
Termômetro Digital com certificação utilizado em todos os experimentos, exceção ao experimento utilizando micro-ondas.



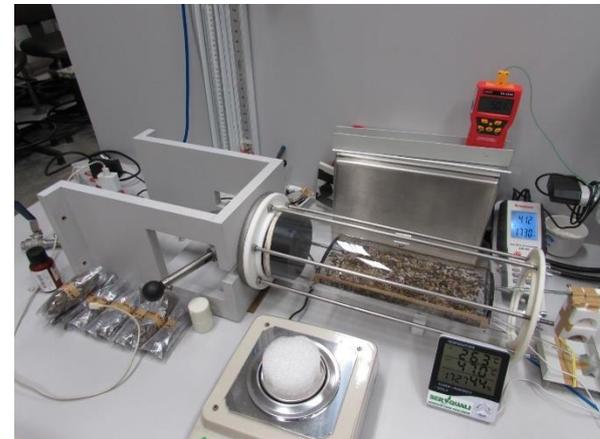
Larvas sendo secas em estufa de circulação forçada.



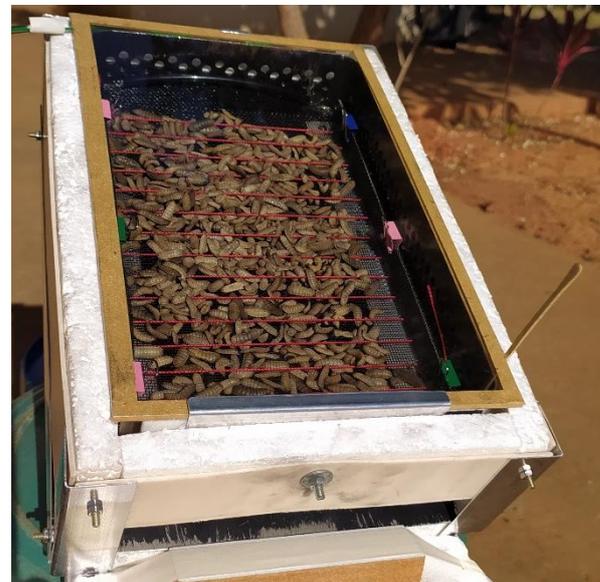
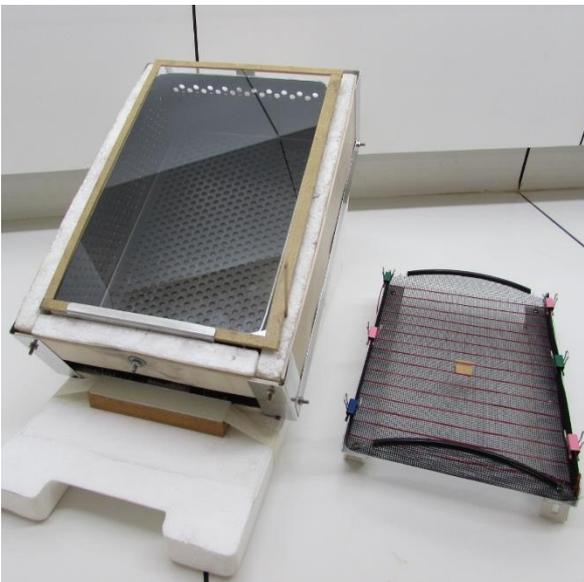
Módulo de secagem utilizado nos experimentos de secagem em Leito Fixo e em Túnel de Vento



Montagem para secagem em leito fixo.



Montagem para secagem em Túnel de Vento.



Montagem para secagem ao sol.



Montagem para secagem utilizando o Micro-ondas.