

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
CURSO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Claudio Marcos Eugênio Malaghini

Impressão 3D de alimentos: utilização de farinha de insetos como fonte alternativa de proteínas em produtos de cereais

Florianópolis

2021

Claudio Marcos Eugênio Malaghini

Impressão 3D de alimentos: utilização de farinha de insetos como fonte alternativa de proteínas em produtos de cereais

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia de Alimentos
Orientadora: Profa. Silvani Verruck, Dr^a.

Florianópolis

2021

Ficha de identificação da obra

Malaghini, Claudio Marcos Eugênio

Impressão 3D de alimentos: utilização de farinha de insetos como fonte alternativa de proteínas em produtos de cereais / Claudio Marcos Eugênio Malaghini ; orientador, Silvani Verruck, 2021.

62 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Ciência e Tecnologia de Alimentos. 2. Impressão 3D de alimentos. 3. Proteína alternativa. 4. Entomofagia. 5. Tenebrio molitor. I. Verruck, Silvani. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. III. Título.

Claudio Marcos Eugênio Malaghini

Impressão 3D de alimentos: utilização de farinha de insetos como fonte alternativa de proteínas em produtos de cereais

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Ciência e Tecnologia de Alimentos” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos

Florianópolis, 06 de maio de 2021.

Prof^a. Ana Carolina de Oliveira Costa, Dr^a.
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Prof^a. Silvani Verruck, Dr^a.
Orientadora
UFSC

Prof^a. Carmen Maria de Oliveira Müller, Dr^a.
Avaliadora
UFSC

Prof^a. Katia Rezzadori, Dr^a.
Avaliadora
UFSC

Este trabalho é dedicado à consciência ecológica, ao futuro do planeta Terra, dedicado a todos nele vivos e em memória de toda a vida que nele se desenvolveu e faz parte de sua história.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente à minha mãe, Enides de Souza Malaghini e meu pai, Luiz Malaghini, pela paciência, dedicação, compreensão e apoio em mais uma etapa importantíssima da minha vida.

A Sociedade brasileira por permitir e promover a existência de ensino superior público e de qualidade, sobretudo àqueles que lutaram e lutam para garantir este direito/obrigação, construindo uma sociedade tecnologicamente avançada, mais justa e igualitária.

A Universidade Federal de Santa Catarina por promover ensino público e pesquisa de qualidade, principalmente os seus atores, funcionários e professores.

A minha professora e orientadora, a grandiosa cientista Dra. Silvani Verruck por me orientar nesta empreitada desafiadora.

A minha banca, composta pelas professoras Dra. Carmen Maria Oliveira Müller e Dra. Katia Rezzadori, outras grandes cientistas que me orientaram ao mesmo tempo em que me seguem nesta importante etapa da minha vida.

Muito Obrigado!

“Diante da vastidão do tempo e da imensidão do universo, é um imenso prazer para mim dividir um planeta e uma época com todos vocês.”

Carl Sagan

RESUMO

A impressão 3D de materiais, também conhecida como fabricação aditiva ou digital, é um campo bastante conhecido na fabricação de protótipos pela versatilidade e facilidade na criação de formas complexas. Este trabalho de revisão abordará as técnicas conhecidas na impressão 3D de alimentos e apresentará o uso de farinha de insetos comestíveis em formulações de produtos cereais para fins nutricionais e tecnológicos como fonte alternativa de nutrientes. Serão abordadas também as propriedades físicas destas massas durante a produção e no pós-processamento. Além disso, serão discutidas as tecnologias inovadoras de impressão 3D desses produtos e seus benefícios aos consumidores. Os benefícios relatados com o uso da tecnologia de impressão 3D de alimentos incluem aumento do *shelf life*, diversidade de formas e formulações específicas. Neste sentido, a impressão 3D pode ser uma aliada na solução de alimentos voltados para necessidades específicas como para celíacos e diabéticos. Outro fator que influencia na escolha deste processo está relacionado à segurança de alimentos e menor custo de produção. Os produtos à base de cereais enriquecidos com farinhas de insetos, principalmente a farinha de larvas de *Tenebrio molitor*, são exemplos de formulação que melhoram a textura da matéria-prima a ser impressa e também melhoram a qualidade nutricional do produto final. Isso pode ser produzido utilizando uma quantidade menor de recursos ambientais e menor área de produção, pois as larvas de *Tenebrio molitor* possuem uma melhor relação de conversão de proteínas que outras fontes de proteína animal. Além disso, um protótipo de aplicativo destinado às impressoras 3D que auxiliam na construção de formulações específicas e tem potencial de popularizar a impressão 3D de alimentos foi apresentado. Por fim, a impressão 3D é uma tecnologia que está em fase de testes com vários tipos de produtos, incluindo formulações de cereais que incluem farinha de inseto ou não, demonstrando potencial para produção em escala industrial.

Palavras-chave: Impressão 3D de alimentos. Proteína alternativa. Entomofagia. *Tenebrio molitor*.

ABSTRACT

3D printing of materials, also known as additive or digital manufacturing, is a well-known field in prototype manufacturing for its versatility and ease in creating complex shapes. This review work will address the techniques known in 3D printing of food and will present the use of edible insect flour in formulations of cereal products for nutritional and technological purposes as an alternative source of nutrients. The physical properties of these masses during production and post-processing will also be addressed. In addition, the innovative 3D printing technologies of these products and their benefits to consumers will be discussed. The benefits reported with the use of 3D food printing technology include increased shelf life, diversity of forms and specific formulations. In this sense, 3D printing can be an ally in the solution of foods aimed at specific needs such as celiac and diabetics. Another factor that influences the choice of this process is related to food safety and lower production costs. Cereal-based products enriched with insect flours, mainly *Tenebrio molitor* larva flour, are examples of formulations that improve the texture of the raw material to be printed and also improve the nutritional quality of the final product. This can be produced using a smaller amount of environmental resources and a smaller production area, as the larvae of *Tenebrio molitor* have a better protein conversion ratio than other sources of animal protein. In addition, a prototype of an application for 3D printers that helps in the construction of specific formulations and has the potential to popularize 3D food printing was presented. Finally, 3D printing is a technology that is being tested with several types of products, including cereal formulations that include insect flour or not, demonstrating potential for industrial scale production.

Keywords: 3D printing of food. Alternative protein. Entomophagy. *Tenebrio molitor*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Impressão jato de tinta.....	19
Figura 2 - Impressão por extrusão.....	20
Figura 3 - Impressão por extrusão à quente.....	22
Figura 4: - Impressão por fusão das camadas no leito em pó através do aquecimento por laser.....	24
Figura 5 - Impressão por fusão das camadas no leito em pó através do aquecimento a ar.....	25
Figura 6 - Teor de proteínas em base seca de insetos (T. molitor, Z. morio, G. assimilis) em comparação com referências (Leite integral de vaca, ovo de galinha, carne bovina contra filé e soja).....	41
Figura 7 - Tela de acesso do protótipo de aplicativo para impressora 3D de alimentos	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Relação de pesquisas e resultados na formação de estruturas imprimíveis.....	26
Quadro 2 - Relação entre materiais géis com melhor impressão.....	28
Quadro 3 - Relação de pesquisas que utilizaram formulações à base de cereais e farinha de insetos.....	29
Quadro 4 - Relação de pesquisas e resultados na formação de estruturas mais imprimíveis..	33
Quadro 5 - Comparação estrutural e nutricional proteica dos snacks em relação à adição de insetos.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição centesimal de larvas de <i>Tenebrio molitor</i> , <i>Zophobas morio</i> e <i>Gryllus assimilis</i> adulto - (Base Úmida).....	40
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- 2D** Bidimensional
- 3D** Tridimensional
- 3DP** Impressão 3D por extrusão (3D extrusion print)
- 3DPF** Impressão 3D por extrusão por fusão (3D extrusion fusion print)
- AM** Manufatura aditiva (Additive manufacturing)
- BPF** Boas Práticas na Fabricação
- C-IJP** Impressão por jato de tinta contínua (Continuous impressive jet print)
- CaCl₂** Cloreto de Cálcio
- CANDYFAB** Equipamento de impressão 3D por ar aquecido em leite de açúcar.
- CHEFJET** Modelo de impressão 3D que imprime sobre o leite em pó
- DOD-IP** Impressão por jato de tinta por demanda (On-Demand Inkjet print)
- EFSA** Autoridade Europeia para Segurança de Alimentos (European Food Safety Authority)
- FAO** Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentos (Food and Agriculture Organization of the United Nations)
- FDM** Modelagem por deposição e fusão (Fused Deposition Modeling)
- GHG** Gases do Efeito Estufa (GreenHouse Gases)
- IJP** Impressão por jato de tinta (InkJet print)
- MICRO-CT** Micro tomografia computadorizada (Micro-computed microtomography)
- NH₃** Amônia ou NH₃OH Hidróxido de amônio, gás antropogênico (de atividades humanas)
- ONU** Organização das Nações Unidas
- POLYJET** Modelo de impressão 3D que utiliza jato de deposição de material
- RAIO-X** Equipamento que utiliza raios X de 0,01 a 10 nm
- SHASAM** Tecnologia de impressão 3D para aquecimento da base de açúcar
- SLA** Estereolitografia a laser (Stereolithography Laser Apparatus)
- SLS** Sinterização seletiva a laser (Sinterization laser selective)
- SMP** Leite em pó desnatado (Skim milk powdered)
- SSMP** Leite em pó semi desnatado (Semi skimmed milk powder)
- TPA** Análise de perfil de textura (Texture profile analysis)
- USDA** Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (United States Department Agriculture)
- UV** Luz no comprimento de onda ultravioleta (400 a 700 nm)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	TÉCNICAS PARA IMPRESSÃO EM 3D DE ALIMENTOS.....	17
2.1	IMPRESSÃO A JATO DE TINTA.....	18
2.2	IMPRESSÃO 3D POR EXTRUSÃO.....	19
2.2.1	Extrusão por fusão.....	20
2.2.2	Extrusão formadora de gel.....	22
2.3	IMPRESSÃO POR FUSÃO DAS CAMADAS DO LEITO EM PÓ.....	24
3	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE IMPRESSÃO E DAS PROPRIEDADES ESTRUTURAIS.....	26
4	IMPRESSÃO 3D PARA FORMULAÇÕES À BASE DE CEREAIS.....	28
5	FATORES QUE AFETAM A CAPACIDADE DE IMPRESSÃO DE FORMULAÇÕES A BASE DE CEREAIS.....	31
5.1	EFEITO DA FORMULAÇÃO.....	31
5.2	AGENTES DE LIGAÇÃO.....	33
6.	TECNOLOGIA PÓS-PROCESSAMENTO.....	36
6.1	PROPRIEDADES TEXTURAIS DE PRODUTOS À BASE DE CEREAIS IMPRESSOS EM 3D.....	37
7	FORMULAÇÕES ALIMENTARES INOVADORAS EM IMPRESSÃO 3D: PRODUTOS À BASE DE CEREAIS ENRIQUECIDOS COM INSETOS COMESTÍVEIS.....	38
7.1	PESQUISA ATUAL EM IMPRESSÃO 3D PARA OBTER PRODUTOS ENRIQUECIDOS COM INSETOS.....	45
8	PROTÓTIPO DE APLICATIVO PARA INTERFACE ENTRE FORMULAÇÃO E PRODUÇÃO.....	47
9	PERSPECTIVAS FUTURAS.....	49
10	CONCLUSÕES.....	52
	REFERÊNCIAS.....	53

1 INTRODUÇÃO

A impressão em 2D para alimentos é o tipo de impressão em que um equipamento de impressão utiliza jato de material líquido como uma tinta, por exemplo, para imprimir uma determinada forma bidimensional. É possível utilizar este tipo de impressão, em substituição à tinta, para aplicação de molhos, corantes comestíveis, iogurte grego, ketchup e outros produtos líquidos que são aplicados sobre alguma base comestível para lhe proporcionar algum tipo de acabamento, facilitando e melhorando o acabamento frente à aplicação convencional. A grande vantagem no processo é a boa resolução e padronização do processo em relação às formas manufaturadas (SUN *et al.*, 2015).

Ao imaginarmos o processo de impressão 2D sequencialmente, camada após camada, chegamos na impressão em 3D para alimentos, onde através da adição de camadas tem-se a construção de um objeto tridimensional. Este é o processo mais empregado para imprimir materiais com propriedades físico-químicas bem definidas, como chocolates e pastas. Ainda, é importante conhecer bem as propriedades reológicas dos materiais para que seja possível obter um produto com a estrutura desejada. Neste caso, matérias-primas como chocolate, queijos, carnes, farinhas e inclusive a farinha de insetos, podem ser utilizados com maior sucesso, estes últimos sendo comumente utilizados na forma de pastas extrudadas (SUN *et al.*, 2015). Alguns dos benefícios da tecnologia de impressão 3D podem ser resumidos da seguinte forma como, fabricação automatizada, capacidade de produzir produtos personalizados a custos relativamente baixos, grande variedade de aplicações e produtos, pouco ou nenhum desperdício de material além de velocidade e facilidade de design (BERMAN, 2012).

Com o aumento do interesse por alimentos saudáveis, há uma atenção constante para métodos inovadores de processamento de alimentos (HAMILTON *et al.*, 2018). A redução do tamanho e dos custos das impressoras 3D, está favorecendo e contribuindo para o crescimento desta tecnologia bem como a sua comercialização. A impressão 3D de alimentos possibilita a utilização das mais diversas matérias primas como a farinha de insetos (BALLETTI *et al.*, 2017).

A ONU prevê que a população mundial irá atingir 9,7 bilhões de pessoas em 2050, exigindo maneiras mais eficientes na produção e distribuição de alimentos, garantindo a segurança alimentar. O consumo de insetos se mostra como uma alternativa, pois a combinação de características como alto valor nutricional, menor impacto ambiental e baixos

custos de produção dão suporte para promover o uso de insetos como uma fonte sustentável de proteína animal (BISCONSIN-JUNIOR *et al.*, 2018).

Tendo isto em vista, a necessidade de fontes alternativas de proteínas é urgente. Segundo o USDA de 2016, em base seca, alguns insetos como o *Tenebrio molitor* tem em sua composição cerca de 48% de proteínas, Severini *et al.* (2018) também descreve valores próximos aos 50% de proteínas, base seca, em larvas de *Tenebrio molitor*. No caso de grilos adultos, esse valor pode chegar aos 77% de proteína, base seca (RAMOS-ELORDUY *et al.*, 1997, 2007; RAMOS-ELORDUY; MENZEL, 1998). A composição de alguns dos insetos mais consumidos mostra seu potencial como fonte de proteínas quando comparados aos alimentos convencionais (GHALY; ALKOAİK, 2009). A variação do teor de proteínas, em base seca, dos insetos analisados (36 a 61 g/100 g) é equivalente e até mesmo superior à alguns produtos proteicos populares entre os consumidores, como a soja (40 g/100 g), a carne bovina (60 g/100 g), o leite (28 g/100 g) e o ovo de galinha (53 g/100 g) (RAMOS-ELORDUY *et al.*, 2012; SCARLATO *et al.*, 2015; SEVERINI *et al.*, 2018). A Agência Europeia de Segurança Alimentar (EFSA) aprovou o uso do *Tenebrio molitor* como alimento humano, como o primeiro inseto seguro para o consumo humano na Europa. A decisão abre caminho para que as larvas sejam usadas inteiras e secas para diversas receitas e, inclusive, como farinha para fazer biscoitos, massas e pão (EFSA, 2021).

Considerando a aplicação no setor alimentício, nem todos os alimentos são compatíveis com todas as técnicas de impressão 3D. A partir disso, fica evidente a necessidade de escolher a tecnologia compatível com o tipo de formulação do alimento e o produto final (SEVERINI *et al.*, 2018). E ainda segundo Severini *et al.* (2018), esta tecnologia está na vanguarda, portanto há um campo imenso para estudos e experimentações. Neste sentido, Kim *et al.* (2015), Yang *et al.* (2018), Azam *et al.* (2018) e Lille *et al.* (2018), estudaram diferentes propriedades mecânicas na formação de géis imprimíveis, enquanto isso, Mantihal *et al.*, (2017) e a startup CandyFab, (2006), que estudaram diferentes componentes estruturais e sua relação com a estabilidade final do produto em alimentos feitos de carboidratos como açúcares e chocolates impressos. Além disso, segundo outros autores como Lipton (2017) e Severini *et al.* (2018), a tecnologia de impressão 3D é uma grande oportunidade de incorporar ingredientes igualmente inovadores e que são nutritivos, funcionais como as farinhas de insetos e que contribuirão imensamente com a segurança alimentar segundo a FAO (2013). Percebendo as vantagens da impressão 3D na produção de alimentos, esta revisão tem como objetivo apresentar e entender alguns diferentes processos,

equipamentos, formulações específicas com farinhas de insetos e características quando impressas.

2 TÉCNICAS PARA IMPRESSÃO EM 3D DE ALIMENTOS

A impressão 3D é a adição de camadas subsequentes de um determinado produto, líquido, sólido ou pastoso, impressos por um sistema de bicos injetores, controlados automaticamente e norteados por programa e modelagem, que se deslocam nos eixos X, Y e Z do plano cartesiano, formando assim, um objeto tridimensional. Os elementos básicos de uma impressora são uma base que geralmente se desloca no sentido Z do plano cartesiano, para cima e para baixo e os braços de sustentação do bico injetor, também conhecido como cabeça de impressão, o qual se move nos sentidos X e Y do plano cartesiano. Os movimentos da cabeça de impressão sobre a base, injetando material sobre ela sequencialmente, acaba por imprimir formas tridimensionais, se o material for comestível, trata-se de um alimento impresso em 3D (SUN *et al.*, 2015).

Existem algumas técnicas para a impressão tridimensional em alimentos que dependem bastante do tipo de material a ser impresso. Estas podem se basear em jatos de tinta (alimentos), extrusão ou fusão em leito de pó (GODOI *et al.*, 2016). O uso de ChefJet, atualmente, representa o mais complexo desenvolvimento de sistemas de impressão de alimentos usando jatos. Enquanto isso, a PolyJet usa jateamento de tinta para depositar diretamente o material que é então solidificado. Este processo permite que formas diferentes e complexas, impossíveis por métodos tradicionais, sejam possíveis de se construir. A empresa Biozoom Food Innovate, com o equipamento denominado de FoodJet, usou esta técnica para fazer alimentos à base de gelatina, processo que pode ser difícil de desenvolver para alimentos por conta das propriedades reológicas (GODOI *et al.*, 2016).

A tecnologia de extrusão consiste numa extrusora fixada num braço que se move nas coordenadas X, Y e Z, ao extrudar o material, move-se formando o objeto impresso. A impressão 3D baseada em extrusão foi introduzida pela primeira vez por Crump com seu modelo de deposição fundida de material (FDM) (CRUMP, 1991). Este método foi inicialmente usado para prototipagem de plástico ou metal, mas atualmente tem sido usado também no setor de alimentos (SUN *et al.*, 2018).

No processo de extrusão, um filamento fundido ou semi sólido de alimento escoava de um bico móvel pela força produzida por um pistão hidráulico, pela pressão causada por um compressor ou por um parafuso sem-fim. A ponta do bico se move em relação aos eixos, X e

Y, enquanto que a plataforma se move no eixo Z. Os movimentos do bocal permitem que os usuários construam, camada por camada, um modelo virtual 3D previamente projetado por um software de design auxiliado por computador (SUN *et al.*, 2018).

Os mecanismos de ligação entre os filamentos extrudados um sobre o outro, camada após camada, os quais permitem a criação de um objeto 3D, envolvem as propriedades físicas e químicas dos materiais, a solidificação após o resfriamento e a extrusão formadora de hidrogel também. A impressão 3D baseada em extrusão de alimentos tem algumas vantagens: automação do processo de preparação de alimentos, melhoria da eficiência do processo de produção e da qualidade estética e nutricional final dos alimentos, baixo custo de manutenção, poucos resíduos, personalização de forma e dimensão e possibilidade de uso de ingredientes alternativos e novos. Como desvantagem, a impressão 3D por extrusão apresenta escolhas limitadas de materiais e, às vezes, longo tempo de fabricação (GODOI *et al.*, 2016).

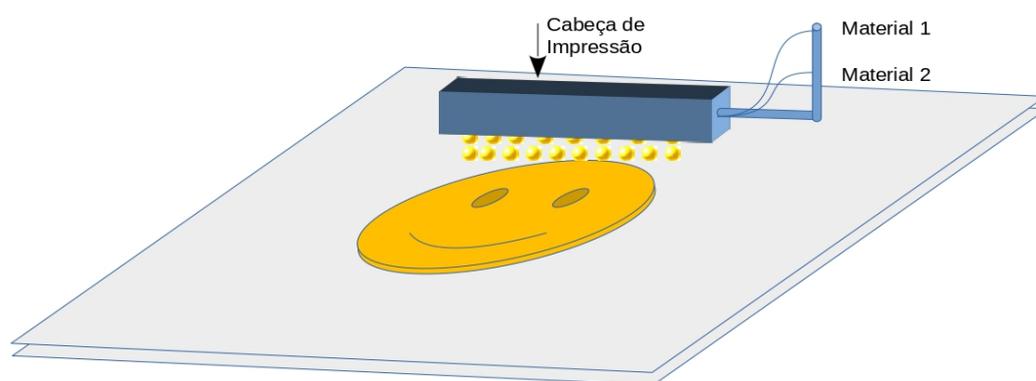
Por outro lado, a estereolitografia (SLA) é a técnica mais antiga e menos aplicável aos alimentos. Ela usa um laser para curar material sólido (GODOI *et al.*, 2016). A tecnologia de manufatura aditiva (AM), que utiliza impressão 2D sequencial de material sólido no leito em pó, formam figuras tridimensionais fundidas por calor ou aglutinando o material em camadas subsequentes. Além disso, o pó pode ser unido por um jato de líquido que é padronizado usando impressão a jato (GODOI *et al.*, 2016). A seguir, as aplicações das técnicas serão detalhadas.

2.1 IMPRESSÃO A JATO DE TINTA

Existem dois tipos de impressão jato de tinta para alimentos, a do tipo C-IJP (jato de tinta impresso continuamente) e a do tipo DoD-IP (jato de tinta impressa por demanda). Esta última trabalha com fluidos eletricamente condutores e de baixa viscosidade enquanto que a primeira, C-IJP, utiliza fluidos de baixa viscosidade, como por exemplo tintas comestíveis e molhos. As impressoras do tipo IJP encontram pouca aplicação na construção de estruturas alimentares complexas. Essa tecnologia é normalmente usada em decoração gráfica, preenchimentos, micro encapsulamento e, em extensão muito menor, construções 3D nano impressas (GODOI *et al.*, 2016). A tecnologia desenvolvida por Grood e Grood (2011) para dispensar um líquido em camadas pode ser classificada como deposição, essa tecnologia foi comercializada com o nome de impressão FoodJet e usa uma série de jatos de bocal de membrana pneumática que depositam pequenas gotas em um objeto em movimento (Figura 1). Várias patentes relatam o desenvolvimento de tintas em substratos comestíveis. A patente

depositada pela Mars Inc., por exemplo, relata o uso de cabeça de impressão piezoelétrica para imprimir em alta resolução imagens que podem ser compostas de gordura ou tintas comestíveis. O substrato, neste caso, pode imprimir imagens em confeitaria com superfícies não planas e hidrofóbicas e consegue atingir boas resoluções entre 100 a 300 dpi (GODOI *et al.*, 2019).

Figura 1 - Impressão jato de tinta.



Fonte: Imagem baseada em Sun *et al.* (2018).

2.2 IMPRESSÃO 3D POR EXTRUSÃO

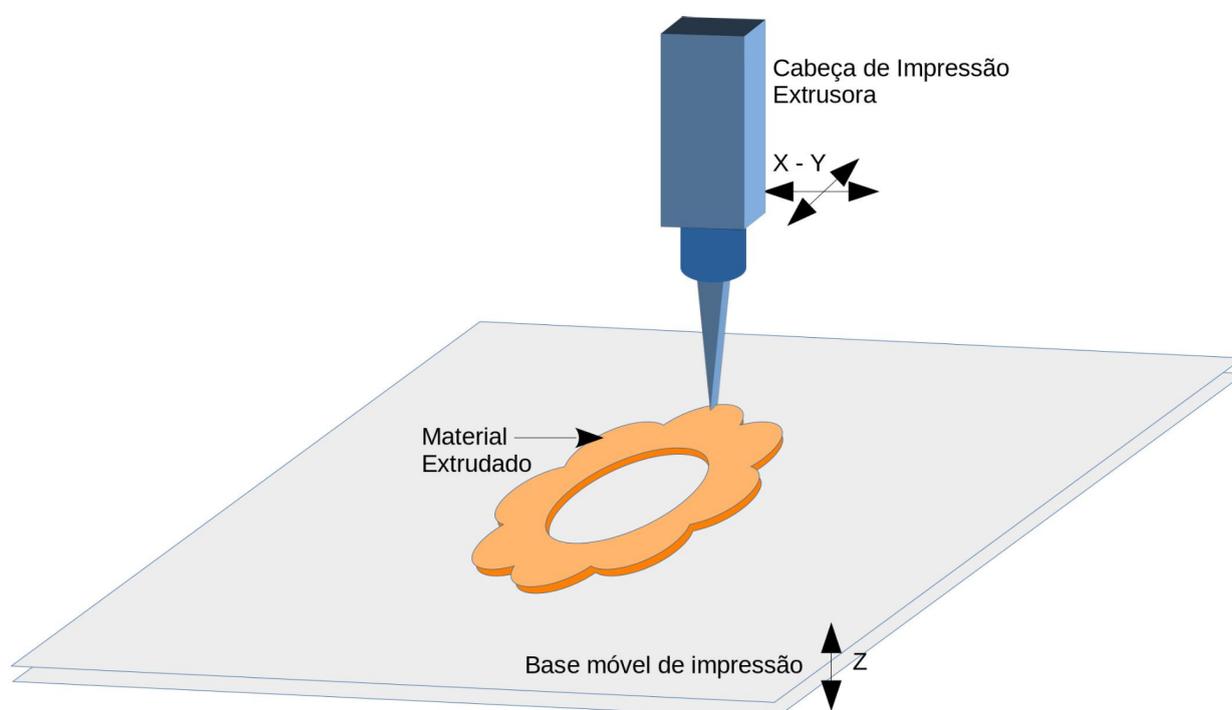
Diferentemente dos métodos DoD-IJP (jato de tinta), as técnicas baseadas em extrusão contam com o fluxo de uma tinta contínua camada por camada, que geralmente são tintas coloidais de diferentes concentrações, 5% a 50%, dependendo da capacidade do material em formar gel ou atingir a consistência da pasta (Figura 2). O material flui através do bico após a aplicação de um gradiente de pressão junto com o comprimento (LEWIS, 2002).

Métodos pneumáticos e mecânicos (pistão ou parafuso) são normalmente usados para extrudar materiais alimentícios para aplicações 3DP e 3DPF (3D extrusion print - impressão 3D por extrusão e extrusão por fusão). A configuração acionada por pistão geralmente permite controle mais direto sobre o fluxo de materiais viscosos através do bico, enquanto o sistema acionado por rosca sem fim, pode favorecer o controle espacial e pode ser benéfico para dispensar e misturar materiais com viscosidades mais altas. Como exemplo, o

sistema acionado por rosca sem fim usado por Mantihal *et al.* (2017) que possibilitou garantir a homogeneidade do chocolate ralado derretido durante a impressão 3DP.

Alguns agentes espessantes e aditivos podem ser utilizados, mas devem estar em conformidade com os padrões de segurança de alimento. A reologia é relevante na extrusão por fusão e extrusão formadora de gel; entretanto, as transições de fase que ocorrem durante a extrusão irão determinar a qualidade da construção final impressa (GODOI *et al.*, 2016).

Figura 2 - Impressão por extrusão.



Fonte: Imagem baseada em Sun *et al.* (2015).

2.2.1 Extrusão por fusão

Materiais adequados para extrusão por fusão (3DPF) podem ser apresentados em três formas: pasta, pó ou partículas sólidas e filamentos, bastante raro em aplicações alimentícias. O controle de temperatura durante a impressão 3D baseada em extrusão de pastas ricas em gordura ou açúcar, é essencial para garantir a capacidade de impressão. Por exemplo, os ácidos graxos com maior número de átomos de carbono apresentam um ponto de fusão mais alto (LIPTON *et al.* 2010). De forma oposta, um maior número de ligações duplas resulta em

menor ponto de fusão. Lipton *et al.* (2010) aprimorou a concentração da gordura da manteiga em receitas tradicionais de massa para evitar a liquefação da estrutura impressa quando assada (LIPTON *et al.*, 2010).

O chocolate é a matéria prima alimentícia mais comum de ser impressa usando a extrusão por fusão (3DPF) devido ao seu comportamento de fusão (SUN *et al.*, 2015). Esta matéria prima pode ser colocada no reservatório da impressora em seu estado fundido, pastoso, ou na forma de pó. Um estudo recente conduzido por Mantihal *et al.* (2017) usou chocolate ralado para imprimir formas complexas. As dimensões, espessura da parede, altura e diâmetro, peso, bem como propriedades físicas, propriedades de fusão, comportamento do fluxo do chocolate impresso em 3D foram avaliadas. A temperatura do bico antes da deposição foi mantida a 32° C para extrusão da amostra, pois as curvas de comportamento do fluxo indicaram que a fusão do chocolate ocorreu entre 28 e 30° C. A temperatura operacional adotada por Mantihal *et al.* (2017) estava dentro da faixa observada em estudos anteriores em que as temperaturas de 28 a 40° C foram empregadas (HAO *et al.*, 2010; SEWELL *et al.*, 2009). A formulação de camadas autoportantes de chocolate (que se suportam sem colapsar) é desafiadora devido ao complexo comportamento de cristalização exibido pela manteiga de cacau, o principal material estruturante em chocolate e confeitos. Seis diferentes polimorfos (diferentes formas cristalinas coexistentes) de cristal foram identificados para a manteiga de cacau (MARANGONI; MCGAULEY, 2003). A impressão do objeto produzido com chocolate deve respeitar as propriedades de fusão, textura e vida útil (Figura 3). A deposição de chocolate diretamente em um objeto 3D por meio de extrusão foi introduzida por pesquisadores da Universidade Cornell usando um sistema de fabricação Fab@home (SCHAAL, 2007). Seus estudos, no entanto, não analisaram as propriedades dos materiais e a precisão geométrica do extrudado. Hao *et al.* (2010) revelou que os fatores que influenciam a precisão geométrica da deposição do chocolate são:

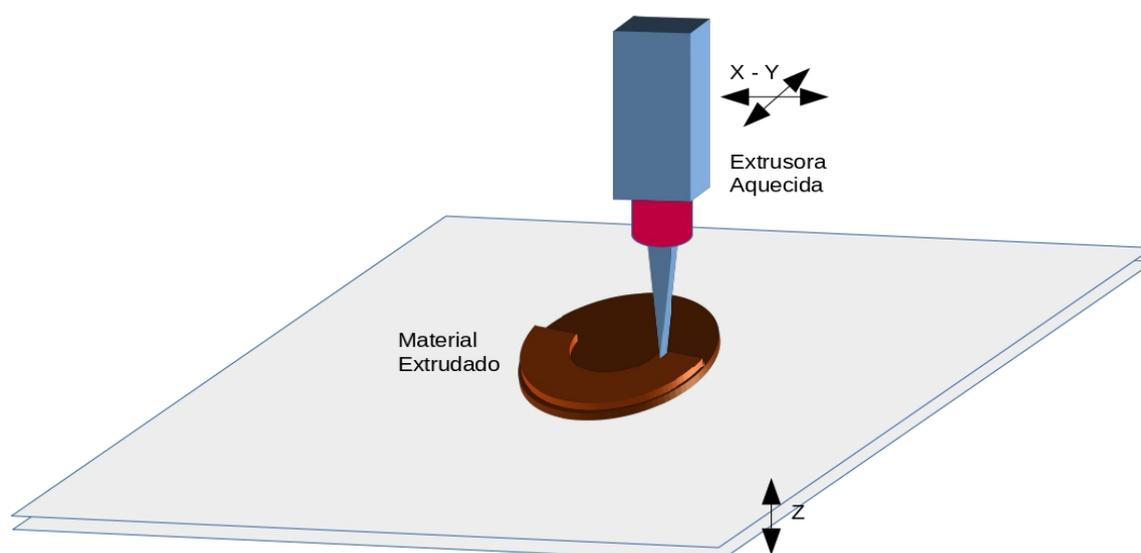
- Diâmetro da abertura do bico de impressão;
- Altura do bico de impressão em relação ao leito de formação;
- A extrusão e movimento dos eixos.

A experiência do grupo de pesquisa liderado por Hao, permitiu a fundação da ChocEdge Ltd, uma empresa *spin-off* (a partir de outra empresa já existente) da Universidade de Exeter (Inglaterra) que foi pioneira na comercialização de impressoras 3D de chocolate.

Por outro lado, a produção e impressão de filamentos comestíveis são raras. Para a aplicação em alimentos, dentro de uma gama limitada de ingredientes, acredita-se que os filamentos comestíveis ou de qualidade alimentar terão aplicação na confecção de embalagens

de alimentos. Apenas uma patente foi encontrada sobre a incorporação de um ingrediente ativo, como um extrato de óleo para sabor, odor ou benefício medicinal, em um filamento feito de polivinilpirrolidona, amido e agentes espessantes ou aglutinantes. O termofusível extrudido apresentado pela invenção apresenta 1,75 ou 3 mm de espessura. Quando impresso, o termoplástico tem boa resistência, rigidez e propriedades físicas, e pode ser impresso em 3D em qualquer formato (US20160066601A1, 2014) (HAO *et al.*, 2010).

Figura 3 - Impressão por extrusão à quente.



Fonte: Imagem baseada em Sun *et al.* (2015).

2.2.2 Extrusão formadora de gel

Neste processo de extrusão, o material gelatinoso, que podem ser materiais proteicos como gelatinas ou outros géis formados por carboidratos complexos como a pectina, é extrudado através do bico de impressão 3DP. Além das propriedades elásticas, devem ser levadas em consideração o controle dos mecanismos de gelatinização e gelificação para evitar a formação prematura do material dentro do bico, o tempo e a temperatura são fatores importantes neste tipo de impressão. Portanto, trata-se de um processo de impressão de produtos gelatinosos através de diferentes bicos de impressão. Segundo Godoi *et al.* (2016), podem ser classificados em cinco categorias: (1) Gelificação térmica; (2) Reticulação

química; (3) Reticulação ionotrópica; (4) Formação de coacervado complexo (proteínas envoltos por água); e (5) Reticulação enzimática (GODOI *et al.*, 2016).

Gelificação térmica: A gelatina é um material de impressão clássico onde a gelificação é induzida após o resfriamento devido à formação de junção por pequenos segmentos de cadeias polipeptídicas revertendo para a estrutura semelhante a hélice tripla de colágeno, geralmente dentro de 15 e 20° C, dependendo da matéria-prima e das condições de extração. O tempo e a temperatura de gelificação do gel, são fatores determinantes para ajustar a velocidade de impressão e a temperatura. Gelatina de alta floração mostra pontos de fusão e gelificação caracteristicamente mais altos com um tempo de gelificação mais curto. Este recurso pode ser usado para melhorar a capacidade de impressão de sistemas alimentares, conforme demonstrado anteriormente por Lipton *et al.* (2010).

Reticulação química: Esta é uma estratégia comum aplicada para promover estabilidade térmica em géis, como aqueles que utilizam a gelatina. Um exemplo é a metacrilção de gelatina para aplicações de bioimpressão, que é ainda reticulada por luz UV. A reticulação química, entretanto, é difícil de ser aplicada para impressão de alimentos, pois muitos reagentes de reticulação são prejudiciais e devem ser completamente removidos da estrutura projetada antes de serem consumidos (WANG *et al.*, 2017).

Reticulação ionotrópica: A reticulação ionotrópica tem sido amplamente aplicada pela indústria de alimentos, especialmente em processos de microencapsulação (CHING *et al.*, 2015). Na impressão 3D, os estudos realizados por Vancauwenberghe *et al.* (2018) são exemplos de reticulação ionotrópica. Seu trabalho relatou o uso de gel de pectina com baixo teor de metoxilação (LM) como uma tinta comestível promissora para aplicações em confeitaria. Os experimentos foram conduzidos em temperatura ambiente, e as propriedades elásticas na deposição foram desenvolvidas em uma faixa de concentração de 15 a 55 g/L. A solução de cloreto de cálcio foi usada para reticulação de gel seguindo duas estratégias: pós-imersão da construção 3D em solução de CaCl₂ (concentração 300 mM) (Vancauwenberghe *et al.*, 2018), e reticulação simultânea por extrusão coaxial (CaCl₂) do fluxo externo variando de 30 a 150 mM. A extrusão coaxial permitiu a geleificação da pectina durante a impressão e não exigiu nenhum tratamento após a impressão (VANCAUWENBERGHE *et al.*, 2018).

Formação de coacervado complexo: coacervados complexos são proteínas aglomeradas e envoltas por água, como pode acontecer com gelatinas. Nesta técnica, a goma xantana e gelatina têm sido impressas em conjunto com a finalidade de simular diferentes texturas. O coacervado complexo resultante formado pela mistura entre a goma xantana e

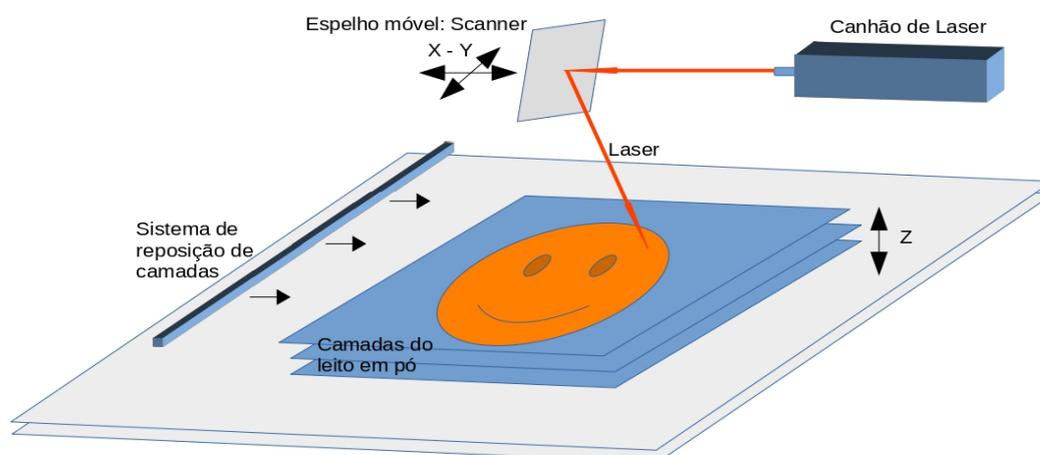
gelatina mostrou granularidade, textura que não foi observada quando os hidrocoloides isolados foram testados. Esse comportamento pode ser explicado pelo mecanismo de formação de hidrogel resultante da combinação entre um policátion, a goma-xantana, e um polímero anfotérico, a gelatina (COHEN *et al.*, 2009).

Reticulação enzimática: Schutyser *et al.* (2018) usou transglutaminase como agente de reticulação para aumentar a temperatura de gelificação do caseinato de sódio e, por sua vez, permitir a impressão de dispersões de caseinato de sódio de baixa concentração. O caseinato de sódio original (20% p/p) apresentou um ponto de gelificação inferior a 15° C. Observou-se que a reticulação enzimática promoveu um aumento significativo no ponto de gelificação de 15 e 20 ° C a 20% p/p. O tempo de incubação também afetou a temperatura de gelificação que representou uma tendência ascendente de 31,2 a 42,3° C, variando o tempo de 30 a 90 min, respectivamente (SCHUTYSER *et al.*, 2018).

2.3 IMPRESSÃO POR FUSÃO DAS CAMADAS NO LEITO EM PÓ

Este tipo de processo consiste em imprimir formas em material num leito de pó, utilizando algum método de fusão por calor das partículas do leito, seja laser ou ar aquecido, camada após camada, é possível criar um objeto tridimensional, como veremos na Figura 4 e 5, respectivamente (SUN *et al.*, 2015).

Figura 4 - Impressão por fusão das camadas no leito em pó através de aquecimento por laser.

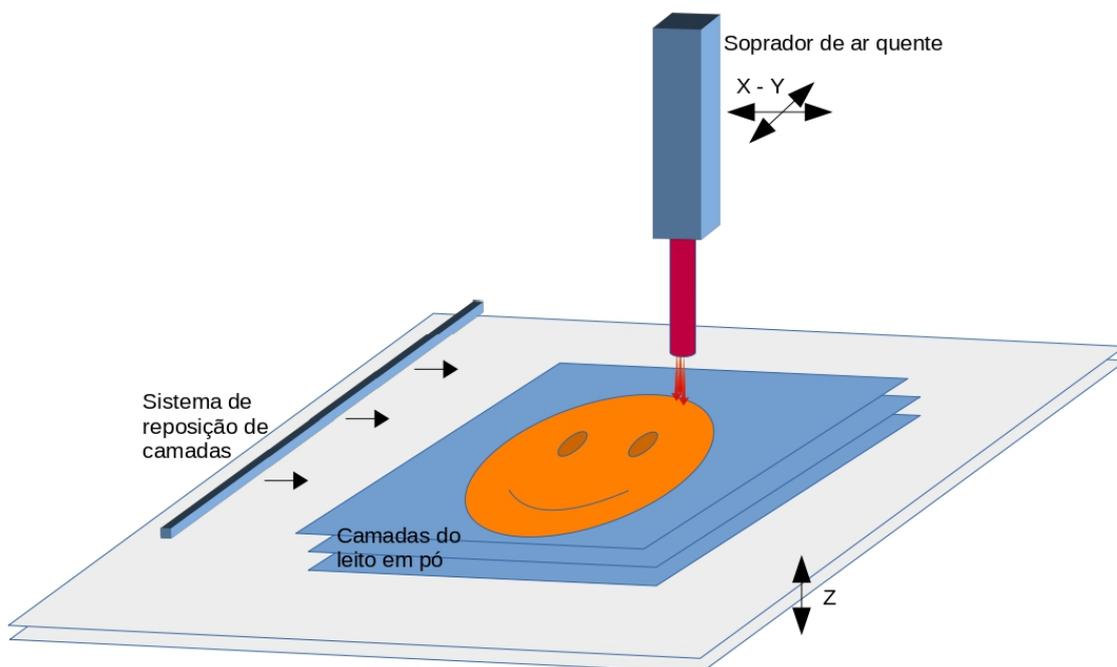


Fonte: Imagem baseada em Sun *et al.* (2015).

As máquinas CandyFab, um projeto da Evil Mad Scientist Laboratories (Califórnia, Estados Unidos), usam sinterização (fusão seletiva por laser) e fusão seletiva de ar quente (SHASAM) como tecnologia para imprimir objetos 3D à base de açúcar (CANDYFAB, 2006). A tecnologia SHASAM usa um feixe de ar quente estreito, direcionado e de baixa velocidade para fundir seletivamente açúcar em pó, criando uma imagem 2D a partir do pó fundido, em seguida, o processo se reinicia, camada após camada, até formar um objeto tridimensional.

Godoi *et al.* (2016) utilizaram esta técnica de impressão por fusão das camadas do leito em pó por aquecimento a laser (Figura 4), para imprimir biscoitos em formatos retangulares feitos com achocolatado em pó Nesquik. Ao realizar esta etapa novamente, um objeto 3D é gradualmente construído. Ao terminar o objeto 3D, a cama é trazida à sua posição inicial, desenterrando o modelo fabricado, enquanto o pó não utilizado é mantido para uso na construção do próximo objeto (CANDYFAB, 2006).

Figura 5 - Impressão por fusão das camadas no leito em pó por aquecimento a ar.



Fonte: Imagem baseada em Sun *et al.* (2015).

3 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE IMPRESSÃO E DAS PROPRIEDADES ESTRUTURAIS

A qualidade de impressão da construção 3D final pode ser avaliada por meio de dois parâmetros principais:

- Fidelidade da forma em comparação com as dimensões do projeto 3D,
- Propriedades mecânicas.

A fidelidade da forma é geralmente monitorada, bem como a resolução através do tamanho, formato e estrutura visual do objeto final em comparação com o desenho original, desenhado pelo *software* (HE *et al.*, 2016). O Quadro 1 apresenta alguns estudos e suas principais conclusões sobre os parâmetros que influenciam a impressão.

Quadro 1 - Relação de pesquisas e resultados na formação de estruturas imprimíveis.

Produto impresso	Técnica de impressão utilizada	Propriedade empregada	Conclusões	Pesquisador/ Empresa
Vegetais impressos	3DP	Adição de hidrocoloide, goma xantana e gelatina, muda elasticidade do gel	Menor elasticidade, melhor impressão	Kim <i>et al.</i> (2017)
Formas gelatinosas diversas	3DP	Adição de amido em suco de limão para formar gel	Melhorou dureza e a impressão	Yang <i>et al.</i> (2018)
Formas e linhas de gel diversas	3DP	Adição de amido em suco de laranja	Melhorou dureza e a força do gel, melhor impressão	Azzam <i>et al.</i> (2018)
Biscoitos em formatos variados	SLS	Adição de material proteico desidratado	Melhorou a estabilidade das formas impressas	Lille <i>et al.</i> (2018)
Estruturas impressas de chocolate	3DPF	Construção de estruturas de apoio para chocolates	Melhorou a estabilidade estrutural dos objetos de chocolates impressos	Manthial <i>et al.</i> (2017)
Estruturas de açúcar	SLS	Tecnologia de fusão de açúcar por calor	Forma estrutura duras e firmes	CandyFab (2006)

Fonte: O autor.

He *et al.* (2016) demonstraram que, além dos parâmetros de impressão, como taxa de alimentação, distância de impressão e pressão do ar, a distância da linha (D) e a área de uma rede (A) terá um impacto significativo na qualidade de impressão das redes de gel. Na interseção, foi observada a forma de haltere devido à difusão dos hidrogéis por gravidade. Comparando estruturas de gel impressas com D 5/4 mm e D 2/4 mm, foi observado uma forma de interseção com formato de halteres mais ampla para a condição de D 2/4. Isso significa que ao diminuir D, os cantos em forma de halteres tendem a se tornar mais próximos e, eventualmente, têm um efeito de sobreposição de área. Portanto, as propriedades do material, como o tempo de formação do gel e o comportamento viscoelástico, terão um papel significativo na determinação do D mínimo (HE *et al.*, 2016).

A análise de perfil de textura (TPA) é comumente utilizada para avaliação da qualidade mecânica de materiais semiduros e para o teste de firmeza de construções de alimentos sólidos. A TPA é medida usando um analisador de textura, este é um teste de deformação que foi aplicado em muitos trabalhos para avaliar as propriedades mecânicas de construções impressas em alimentos 3D feitas de materiais macios (por exemplo, géis ou purês). Os resultados obtidos podem ser correlacionados com atributos de textura que podem se manifestar em macro e/ou microestrutura. A força aplicada, a distância de trabalho da força e o tempo de deformação podem ser medidos para obter propriedades texturais, como mastigabilidade e gomosidade, que são importantes em balas de goma, por exemplo, devido às características dúcteis. A curva de força de dois picos pode ser obtida a partir da TPA utilizando o método de dupla penetração comumente aplicado a produtos alimentícios. Rosenthal (2010) e Kim *et al.* (2017) analisaram as propriedades mecânicas de uma gama de géis para aplicações de impressão 3D, incluindo goma de gel, metil celulose, goma guar, goma de feijão de locus, hidroxipropilmetilcelulose, goma xantana e gelatina. Eles observaram que a firmeza de todas as amostras aumentou significativamente com o aumento da concentração. A goma de gel e a gelatina mostraram um comportamento mais rígido (alta força do gel; no entanto, nenhuma informação foi fornecida sobre o florescimento [hidratação e intumescimento] da gelatina usada). A alta firmeza foi acompanhada por altos níveis de fraturabilidade nesses géis, o que é prejudicial durante a extrusão (KIM *et al.*, 2017).

O atributo de elasticidade em géis pode estar associado ao comportamento apresentado por certos polímeros em retornar após sua deformação. Kim *et al.* (2017) classifica como imprimíveis os géis com baixa elasticidade e ampla força do gel. O Quadro 2 mostra alguns materiais testados por Kim *et al.* (2017) considerados bons para impressão 3D.

Quadro 2 - Relação entre materiais géis com melhor impressão.

Material	Elasticidade do gel	Imprimível
Metilcelulose	0,85	Sim
Goma Xantana	0,87	Sim
Queijo	0,88	Sim

Fonte: Adaptado de Kim *et al.* (2017).

Lille *et al.* (2018) usaram um analisador de textura para medir a dureza (teste de corte) de formas impressas em 3D ricas em proteínas secas em estufa e secas por congelamento. Resumidamente, as amostras foram colocadas em uma inserção com fenda e cortadas no meio em toda a sua largura com lâmina de faca a uma velocidade de 1 mm/s. A dureza foi obtida registrando-se a força máxima do primeiro pico. Em ambas as condições de secagem, valores mais baixos de dureza foram observados com a substituição de parte do leite em pó semidesnatado por nanofibra de celulose. Lille *et al.* (2018) e Mantihal *et al.* (2017) estudaram a qualidade instantânea de estruturas de chocolate impressas em 3D. Seu trabalho relatou a influência de estruturas de apoios para manter a forma estrutural do material impresso, dificultando o colapso da forma impressa. Observou-se que as construções com o suporte cruzado exigiam uma força maior para quebrar a amostra e tinham uma alta qualidade de encaixe e textura mais firme em comparação com outros designs de amostra. As amostras construídas sem suporte interno exigiram menos força para quebrar (força de ruptura de 16 N, frente à 56 N com suporte estrutural). A estrutura de suporte cruzado permitiu manter o ângulo principal da geometria do chocolate, mantendo-o firme e estável em comparação com a amostra com suporte paralelo e sem suporte (MANTIHAL *et al.*, 2017).

4 IMPRESSÃO 3D PARA FORMULAÇÕES À BASE DE CEREAIS

Em relação à área de cereais, duas tecnologias principais têm sido amplamente aplicadas: impressão 3D por extrusão e fusão de camadas por leito em pó. O processo convencional de extrusão de alimentos (3DP) é totalmente digitalizado, e a manipulação da fabricação dos alimentos pode ocorrer em tempo real (SUN *et al.*, 2018). Por meio desse processo, vários produtos 3D à base de cereais foram desenvolvidos. Por exemplo, Lipton *et al.* (2015) desenvolveram biscoitos tradicionais através de uma formulação mais estável alterando a proporção convencional dos ingredientes. Os mesmos autores imprimiram uma

pizza em 30 min com um sistema de extrusão acionado por pressão de ar, depositando uma massa adicionada com água e um molho enriquecido com goma guar e goma xantana como espessante (LIPTON *et al.*, 2015).

Recentemente, a Organização Holandesa para Pesquisa Científica Aplicada colaborou com o fabricante de massas líder mundial, Barilla SpA, com o objetivo de produzir novos formatos de massa. Em 2015, apresentaram alguns formatos de massa impressa obtidos a partir de ingredientes tradicionais, como trigo duro e água (VAN DER LINDEN, 2015). O Quadro 3 apresenta a relação de pesquisas que utilizaram formulações à base de cereais, incluindo ou não farinha de insetos.

Quadro 3 - Relação de pesquisas que utilizaram formulações à base de cereais e farinha de insetos.

Técnica	Massa/Matéria-prima	Estudo	Autor
3DP	Biscoitos produzidos com diferentes composições de massas	Estudou o comportamento reológico modificando os componentes da massa	Lipton <i>et al.</i> (2010)
3DP	Massa e molho na fabricação de pizza	Imprimiu pizza com a massa e o molho de forma totalmente automatizada	Lipton <i>et al.</i> (2015)
3DP	Massa base feita de cereais	Estudou comportamento reológico e programação da impressora	Sun <i>et al.</i> (2015)
3DP	Massa de trigo duro e água para impressão	Estudou formatos de produtos feitos de massas impressos	Van der Linden, (2015)
3DP	Massas, géis e aditivos em pasta base de cereais	Estudou as vantagens da técnica frente ao método tradicional	Godoi <i>et al.</i> (2016)
SLS	Produtos a base de trigo enriquecido com farinha de insetos para impressão	Estudou farinha de insetos na composição de snacks impressos em 3D	Severini <i>et al.</i> (2016)
SLS	Farinhas de sêmola, trigo e mix de farinha de amido	Estudou a técnica fabricando biscoitos com diferentes tipos de farinhas	Agerawi <i>et al.</i> (2015)
3DP	Pastas alimentícias de cereais, proteínas de leite e feijão e fibras	Estudou a composição de pastas ricas em fibras e proteínas na melhora da estabilidade	Lille <i>et al.</i> (2018)

3DP	Massas diversas de cereais para impressão 3D	Estudou a impressão em tempo real de produtos de massas de cereais	Sun <i>et al.</i> (2018)
3DP	Massa de cereais como trigo enriquecida com farinha de larvas de <i>Tenebrio molitor</i>	Estudou a estabilidade estrutural de snacks feitos com farinha de insetos, o que melhorou a estabilidade da massa e do produto final	Severini <i>et al.</i> (2018)
3DP	Massas a base de cereais	Estudou propriedades texturais de massas de diferentes composições	Severini <i>et al.</i> (2021)

Fonte: O autor.

No entanto, alguns outros estudos foram realizados a fim de obter produtos à base de cereais por este processo (LILLE *et al.*, 2018; SEVERINI *et al.*, 2016), enquanto apenas um exemplo foi realizado com um tipo diferente de técnica 3D, como sinterização seletiva a laser (SLS) (AGERAWI *et al.*, 2015), SLS é o segundo método mais popular na impressão 3D de alimentos (GODOI *et al.*, 2016), e é um subtipo da grande categoria de fusão de ligação de pó. Ele usa um laser como fonte de sinterização de material alimentício em pó. O laser é conduzido por um espelho de varredura em um ponto do espaço pré-definido por um modelo 3D, a fim de fundir as camadas de partículas e criar uma estrutura sólida. Ao final do processo, uma etapa adicional é necessária para a remoção do material não fundido (BALLETTI *et al.*, 2017).

Esta técnica apresenta algumas vantagens, como a utilização de diversos materiais e não requer estrutura de suporte. Além disso, esta técnica se encaixa bem com a produção de várias camadas de matriz alimentar, cada uma contendo diferentes ingredientes alimentares (DIAZ *et al.*, 2014).

Agerawi *et al.* (2015) imprimiram, com a técnica SLS, alguns biscoitos confeccionados com diferentes tipos de farinha, como sêmola, farinha de trigo mole e um mix de farinha e amido. Além disso, eles usaram diferentes proporções de estrutura e diferentes proporções de aglutinante. Com relação aos biscoitos assados tradicionais, os impressos apresentaram menor espessura média de parede. O uso de semolina e farinha de trigo mole resultou em paredes mais grossas, em vez de uma mistura de farinha e amido. Finalmente, a relação da estrutura ligante teve um efeito desprezível na espessura da parede, enquanto a composição do ligante de 90:10 leva a paredes significativamente mais espessas. No futuro, a capacidade de obter produtos à base de cereais com outros processos 3D pode ser de grande interesse (GODOI *et al.*, 2016).

5 FATORES QUE AFETAM A CAPACIDADE DE IMPRESSÃO DE FORMULAÇÕES A BASE DE CEREAIS

A capacidade de impressão é definida como a propriedade de um material que permite suportar seu próprio peso e reter a estrutura é um parâmetro importante na impressão 3D, que está relacionado à viscosidade e às propriedades reológicas da matriz alimentar. Alguns fatores podem afetar a imprimibilidade de um filamento alimentar, portanto os ingredientes utilizados e suas interações têm papel fundamental na alteração do comportamento reológico da mistura (GODOI *et al.*, 2016).

5.1 EFEITO DA FORMULAÇÃO

A impressão do alimento depende muito da sua formulação, que neste caso é muito diversa e depende da proposta do alimento a ser fabricado (GODOI *et al.*, 2016). No estudo de Kim *et al.* (2018), os autores exploraram a capacidade de impressão de alguns materiais aumentando a concentração de hidrocoloides e, além disso, de alguns alimentos experimentais. Em particular, eles investigaram a estabilidade dimensional, o módulo de cisalhamento e as propriedades de manuseio de alimentos a base de cereais impressos em 3D para analisar a capacidade de impressão dos materiais. Enquanto os resultados dos materiais de referência foram semelhantes para todos os parâmetros investigados, o alimento impresso mostrou muitas diferenças. A razão de tal discrepância foi provavelmente devido ao fato de que os materiais de referência continham apenas um elemento, enquanto os materiais alimentares consistem em vários ingredientes e componentes com propriedades únicas e diferentes interações constituintes (KIM *et al.*, 2017), por exemplo, eles classificaram a massa de biscoito como difícil de extrudar, com base em suas propriedades reológicas e especificações mecânicas. Concluíram que a massa para biscoitos necessitava de extrusora de alto rendimento possibilitando a impressão apenas de modelos simples com baixa altura, pois a estrutura da massa não permite manter sua forma (KIM *et al.*, 2017).

Lipton *et al.* (2010) modificaram a proporção dos ingredientes de biscoitos para permitir a impressão 3D de uma receita de biscoitos. Em particular, eles descobriram que ao aumentar a quantidade de manteiga, a estabilidade da forma após a impressão diminuiu, enquanto adicionando mais gema de ovo à formulação, a estabilidade de largura e comprimento aumentou e a estabilidade de altura diminuiu. Isso provavelmente se deveu à menor viscosidade da massa à base de gema de ovo do que à massa à base de manteiga, o que

levou ao achatamento dos filamentos impressos e, como resultado, eles obtiveram um objeto 3D largo e curto (LIPTON *et al.*, 2010).

Gracia-Julia *et al.* (2015) estudaram os efeitos de diferentes composições em hambúrguer de carne bovina, massa de biscoito de queijo e massa de pizza durante a impressão 3D. Em relação ao efeito dos ingredientes, constataram que quantidades crescentes de sal e pimenta causavam a solubilização das proteínas miofibrilares do hambúrguer bovino, levando a uma diminuição da força necessária para a extrusão. Provavelmente, como acontece com outros produtos à base de proteínas, o sal poderia ter o mesmo efeito, modificando o pH e, por sua vez, provocando a desnaturação parcial das proteínas.

Em relação à gordura, uma má interação entre as camadas é ocasionada pela presença de espaços vazios entre as camadas, podendo provocar fraturas no objeto final e a indesejável migração de gordura nos canais vazios, sendo este um desafio a ser superado com alimentos impressos (GODOI *et al.*, 2016). Com o objetivo de avaliar melhor o papel das gorduras no processo de impressão 3D, Lille *et al.* (2018) investigaram os efeitos do leite em pó desnatado (SMP) e do leite em pó semidesnatado (SSMP) na viscosidade de amostras impressas. O SMP com um teor de sólidos de 50% formou uma pasta de alta viscosidade, que resultou em uma deposição irregular do material. Em vez disso, o aumento da concentração de SMP para 60% melhorou a viscosidade da pasta, possibilitando a impressão. Enquanto isso, a pasta SSMP também foi bem impressa na concentração de 60%, e a forma foi mantida muito bem também após a impressão. Provavelmente o maior teor de gordura do SSMP em relação ao SMP, que foi de 9% e 0,4%, respectivamente, foi responsável pelo efeito de plastificação ou lubrificação, tornando o material mais fácil de fluir (LILLE *et al.*, 2018).

O fator mais importante que afeta a formulação do material para a tecnologia de manufatura aditiva e as propriedades de uso final do material é a composição de triglicerídeos. Por exemplo, a composição de triglicerídeos regula o ponto de fusão das camadas depositadas e, portanto, as propriedades autossustentáveis dos materiais alimentares. Em particular, os ácidos graxos com maior número de átomos de carbono representam um ponto de fusão mais alto, enquanto um maior número de ligações duplas resulta em pontos de fusão mais baixos (GODOI *et al.*, 2016).

Esses dados podem ser úteis para o correto desenvolvimento de uma formulação alimentar adequada a um processo de impressão 3D, mas são necessários conhecimentos adicionais para um melhor desempenho dessa tecnologia, principalmente para produtos à base de cereais (GODOI *et al.*, 2016).

5.2 AGENTES DE LIGAÇÃO

As propriedades reológicas do material influenciam intrinsecamente nas propriedades físicas na impressão e pós-impressão, ou seja, a impressão e o formato final dependem da reologia do material a ser impresso. O Quadro 4 apresenta estudos que avaliaram a influência de agentes ligantes sobre a estrutura imprimível. Desde o fluxo no bico de impressão até o suporte da camada anterior que receberá nova impressão dependem desta característica (GODOI *et al.*, 2016).

Hidrocoloides, como goma xantana, gelatina e ágar, são polímeros hidrofílicos que são usados como espessantes e agentes gelificantes para soluções à base de água (KIM *et al.*, 2018). Cohen *et al.* (2009) usaram hidrocoloides com o objetivo de melhorar a capacidade de impressão e textura de material alimentar. Em particular, eles tentaram criar uma ampla gama de matrizes de sensação na boca adicionando dois hidrocoloides, goma xantana e gelatina, com diferentes concentrações. O estudo mostrou que adicionando 0,5% de gelatina, obteve-se uma textura de leite, enquanto aumentando a concentração de gelatina em 4% eles obtiveram uma textura de cogumelo. Outro resultado interessante foi que combinando os dois hidrocoloides, o material alimentar passou a possuir granularidade que aumentou com o aumento da relação xantana: gelatina (COHEN *et al.*, 2009).

Quadro 4 - Relação de pesquisas e resultados na formação de estruturas mais imprimíveis.

Produto	Técnica de impressão	Agente	Conclusão	Pesquisador
Formas diversas de pasta a base de vegetais	3DP	Adição de hidrocoloide goma xantana, agar e gelatina, em massas impressas	Menor elasticidade, melhor impressão	Kim <i>et al.</i> (2018)
Pizza impressa 3D desde a massa até o molho	3DP	Adição e manteiga e de gema de ovo	Manteiga diminuiu estabilidade e gema aumentou estabilidade	Lipton <i>et al.</i> (2010)

Snacks à base de cereais impressos e assados	3DP	Adição de NaCl em produtos cárneos impressos	Melhorou solubilização de proteínas diminuindo a pressão da impressão	Gracia-Julia <i>et al.</i> (2015)
Decoração de Donuts por InkJet, doces e biscoitos utilizando a técnica SLS e preenchimento de cavidades com 3DP	IJ, 3DP e SLS	Relacionou concentrações de carboidratos, proteínas e gorduras na impressão	Carboidratos aumentam força de ligação, gordura facilita mas é instável, proteína melhor estabilidade	Godoi <i>et al.</i> (2016)
Imprimiu formas de tartarugas e ratos para analisar a estabilidade	3DP	Adição de 4% de amido em purê de batata impresso	Melhoram a estabilidade do purê impresso	Liu <i>et al.</i> (2018)
Formas de coelho, coração e fios de chocolate	3DPF	Relação de tamanhos e ligações dos triglicerídeos com estabilidade do chocolate impresso	O tipo de TG afetam a qualidade da impressão de chocolate	Godoi <i>et al.</i> (2016)

Fonte: O autor.

Os hidrocoloides são usados geralmente como modificadores reológicos (LIU *et al.*, 2018), e muitas vezes são adicionados em alimentos que não são imprimíveis por natureza (SUN *et al.*, 2015).

Kim *et al.* (2018) usaram hidrocoloides como materiais de referência para avaliar a capacidade de impressão por extrusão dos alimentos à base de vegetais (brócolis, espinafre e cenoura) que foram analisados testando a estabilidade dimensional e as propriedades de manuseio. Eles investigaram sete tipos de hidrocoloides e, como resultado, selecionaram a metilcelulose como a mais adequada hidrocoloide que deve ser utilizada como material de referência, devido a sua versatilidade e estabilidade reológica. A metilcelulose apresentou melhora na estabilidade nos atributos de textura em comparação com os outros hidrocolóides investigados até 30 dias de armazenamento a 25° C (dados não mostrados) (KIM *et al.*, 2018).

Esses hidrocoloides, bem como a celulose microcristalina e carboximetilcelulose, são usados como agentes de preenchimento em formulações de alimentos e são altamente utilizados na indústria de alimentos devido ao seu baixo custo e grande disponibilidade (HOLLAND *et al.*, 2018). Além disso, a nanofibra de celulose foi usada na impressão 3D para melhorar a estabilidade da forma da estrutura impressa (pasta feita de amido, leite em pó, nanofibra de celulose, proteína de aveia concentrada e proteína de feijão concentrada) (LILLE *et al.*, 2018). Ainda, a concentração do material de referência estava diretamente relacionada aos valores do módulo de cisalhamento, que é um fator que caracteriza bem as propriedades reológicas e a estabilidade dimensional e, por sua vez, a capacidade de impressão de um material alimentício (KIM *et al.*, 2018).

A goma xantana é outro polissacarídeo frequentemente usado na indústria de alimentos porque, em baixas concentrações, exibe uma viscosidade muito alta (HOLLAND *et al.*, 2018). Lipton *et al.* (2015) adicionaram goma xantana em um molho de pizza para atuar como um espessante. A adição de pequenas quantidades de goma xantana e celulose pode reforçar os mecanismos de ligação, por isso podem ser favoráveis na impressão a jato de tinta. Eles podem agir sinergicamente e criar uma rede de partículas a fim de produzir uma estrutura 3D estável (HOLLAND *et al.*, 2018).

Lipton *et al.* (2010) examinaram o uso de dois aditivos alimentares, transglutaminase e ágar, para obter material alimentar para impressão, neste caso o autor imprimiu várias formulações de carne de peru, vieira, aipo e formulações de biscoitos. Em todos os casos, o uso desses aditivos levou à criação de geometrias complexas de alimentos e aumentou a estabilidade dimensional dos objetos impressos em 3D (LIPTON *et al.*, 2010), além disso, alterando as concentrações de aditivos, novas texturas, novos sabores e resistências de materiais podem ser produzidos (LIPTON *et al.*, 2010).

Vancauwenberghe *et al.* (2015) estudaram formulações à base de pectina com o objetivo de imprimir objetos comestíveis, os quais foram previamente incubados em solução de cloreto de cálcio, CaCl_2 , para solidificar a estrutura. Eles descobriram que CaCl_2 em baixa concentração pode causar o inchaço do objeto impresso, enquanto concentrações altas causam uma deposição irregular da pectina e filamento de gel, bem como uma adesão incompleta das camadas.

Outro aditivo usado por sua funcionalidade como agente espessante e gelificante, é o amido. Este, ajuda a reter a forma após a deposição e facilita a extrusão do material alimentar através do bico (LILLE *et al.*, 2018).

A partir da discussão anterior, é possível concluir que os hidrocolóides são úteis na tecnologia de impressão 3D devido às suas capacidades de atuar como agentes gelificantes, para melhorar as características reológicas de uma formulação alimentar e para aumentar a capacidade de impressão de uma massa. Mesmo que nenhuma dessas moléculas tenha sido aplicada em produtos à base de cereais, os hidrocolóides são geralmente usados em soluções à base de água. Assim, como a massa base de produtos cereais geralmente é preparada misturando-se farinha e água, os hidrocolóides também poderiam ser usados, por exemplo, em cereais com baixo teor de amido, que apresentam baixa viscosidade (GODOI *et al.*, 2016).

6 TECNOLOGIA PÓS-PROCESSAMENTO

Na impressão 3D de alimentos, especialmente os feitos a base de massas e cereais, frequentemente é necessário o pós-processamento, como cozinhar, assar, fritar, etc. Durante o processo de cozimento, muitas reações químicas, como reações de Maillard, desnaturação de proteínas, redução do teor de água e transformações físicas (por exemplo, mudança na cor, volume, textura) podem ocorrer (SUN *et al.*, 2018). Sendo assim, o ideal seria que as impressoras 3D integrassem o processo de impressão com o cozimento após a deposição, que atualmente está separado. Além disso, alguns pesquisadores levantaram a hipótese de métodos alternativos a serem usados no futuro para o cozimento pós-deposição. Por exemplo, uma radiação infravermelha instantânea para substituir o processo de cozimento foi sugerida por Sun *et al.*, (2018). Até o momento, nenhum desses métodos é empregado no pós-processamento, portanto, manter a forma 3D durante os processos de pós-cozimento pode ser considerado o desafio mais importante a ser superado. Alguns estudos foram realizados para investigar os efeitos do pós-processamento em objetos comestíveis impressos em 3D. Lipton *et al.* (2010) imprimiu uma receita de biscoito modificada e estudou a retenção da forma após o cozimento. Foi possível observar que o exterior do biscoito assado definiu um pouco, mas a geometria interna foi preservada com sucesso (LIPTON *et al.*, 2010).

Lille *et al.* (2018) investigaram os efeitos de dois métodos de desidratação em algumas pastas impressas compostas de uma mistura de ingredientes alimentícios ricos em proteínas, amido e fibras. Eles apontaram que a liofilização preservou melhor a estrutura impressa do que a secagem em forno a 100° C. Durante o processo de liofilização, o material é desidratado no estado congelado, e a estrutura foi bem resistente ao estresse, enquanto durante a secagem em forno convencional, o ar quente levou ao encolhimento das amostras (RATTI, 2001; MAYOR; SERENO, 2004). Um resultado interessante foi que aplicando

ambos os métodos de desidratação, as amostras com teor de matéria seca de pelo menos 45%, apresentaram a mesma retenção da estrutura. Isso foi provavelmente devido à menor quantidade de água removida e uma possível resistência estrutural inicial superior (LILLE *et al.*, 2018). Severini *et al.* (2016) estudaram as mudanças nas propriedades de dimensão, forma, microestrutura e textura de produtos alimentícios à base de trigo.

Neste estudo, eles observaram que o diâmetro experimental das amostras após o cozimento diminuiu como efeito da retirada de água. As diferenças entre as amostras cruas e cozidas, onde as imagens de micro-CT de raios-X da seção transversal de duas amostras impressas em 3D à base de trigo foram analisadas. Os efeitos do cozimento na microestrutura das amostras, os autores apontaram que os dados experimentais da porosidade na fração sólida das amostras cozidas foram superiores aos das amostras não cozidas. Esse efeito ocorreu devido ao vapor produzido durante o cozimento aumentar as dimensões dos poros pré-existentes e criava novos. O pós-processamento é, em alguns casos, uma etapa importante em um processo de impressão 3D. As propriedades químicas, reológicas e mecânicas são de extrema importância para o desenvolvimento de objetos alimentares 3D, que podem resistir aos métodos convencionais de pós-processamento (SEVERINI *et al.*, 2016).

6.1 PROPRIEDADES TEXTURAIS DE PRODUTOS À BASE DE CEREAIS IMPRESSOS EM 3D

A textura é a propriedade num alimento que utiliza os sentidos sensoriais para distinguir os alimentos uns dos outros, sendo um dos atributos mais importantes usados pelos consumidores para avaliar a qualidade do alimento (MCKENNA, 2003).

Em relação aos efeitos dos ingredientes utilizados na formulação alimentar e dos tratamentos pós-processamento sobre os atributos texturais, Lille *et al.* (2018) investigaram a firmeza de quatro diferentes amostras 3D enriquecidas com proteínas, após a utilização de dois métodos de secagem diferentes. Eles mostraram que as amostras de SSMP apresentaram maior dureza após a secagem em forno, enquanto as amostras de concentrado de proteína de feijão de fava apresentaram maior firmeza após a liofilização. Neste estudo, os autores demonstraram que a otimização da formulação e do método de secagem pode levar ao desenvolvimento de um produto com propriedades mecânicas desejadas (LILLE *et al.*, 2018).

Na tecnologia de impressão 3D, algumas variáveis de impressão podem afetar a textura dos produtos finais. Por exemplo, a resistência à ruptura de produtos à base de trigo diminuiu ao reduzir o nível de enchimento, mesmo se uma alta variação entre as amostras foi

observada (SEVERINI *et al.*, 2016). Le Tohid *et al.*, (2018) investigaram os efeitos do processo de impressão, bem como da velocidade de extrusão durante a impressão, na firmeza do queijo impresso. Os autores encontraram uma diminuição significativa da firmeza das amostras impressas quando comparadas com as não tratadas, enquanto a velocidade de extrusão não mostrou impacto na textura. Mesmo que este estudo não tenha sido direcionado a produtos de cereais, é interessante para a compreensão do efeito da tecnologia de impressão 3D nas propriedades de textura das amostras (LE TOHIC *et al.*, 2018).

A textura pode variar com a impressão de materiais, especialmente com o processo de extrusão, quando a estrutura dos materiais pode ser parcialmente rompida por conta do cisalhamento. Além disso, a textura pode ser controlada pela impressão em conjunto de materiais com texturas diferentes ou imprimindo os mesmos materiais em diferentes frações de ingredientes que resultam em diferentes propriedades mecânicas (GODOI *et al.*, 2016). Outro método alternativo para alterar a textura é imprimir o material alimentar em uma estrutura de grade; desta forma, os pontos de contato entre os fios de materiais são reduzidos, para que o ar possa facilmente infiltrar-se na estrutura, como exemplo, uma massa de milho foi impressa em 3D com muitos vazios dentro da estrutura tornando-se altamente porosa (BATCHELDER, 1995). No final do processo de impressão, a massa de milho consistia em uma rede semelhante a um fio (LIPTON; LIPSON, 2011).

No futuro, a produção de novas texturas a partir de alimentos seria possível tornando os materiais alimentares imprimíveis por meio da estrutura dos materiais e pela combinação de vários materiais (LIPTON *et al.*, 2015).

7 FORMULAÇÕES ALIMENTARES INOVADORAS EM IMPRESSÃO 3D: PRODUTOS À BASE DE CEREAIS ENRIQUECIDOS COM INSETOS COMESTÍVEIS

A ONU prevê que a população mundial irá atingir 9,7 bilhões de pessoas em 2050, exigindo maneiras mais eficientes na produção e distribuição de alimentos, a fim de garantir a segurança alimentar. O consumo de insetos, conhecido como entomofagia, se mostra uma alternativa e já é praticado por mais de 2 bilhões de pessoas em todo o mundo, principalmente na Ásia, África e América do Sul (DEFOLIART, 1997).

Os insetos são consumidos atualmente de diferentes formas por cerca de 2 bilhões de pessoas na África, Ásia, América Central e do Sul e Austrália, não apenas, mas também porque são uma fonte de alimento nutritivo e de baixo custo (KINYURU *et al.*, 2009;

RUMPOLD; SCHLUTER, 2015). Existem cerca de 1.500 a 2.000 espécies de insetos comestíveis registradas em todo o mundo, o que constitui uma mera fração das cerca de 1.000.000 de espécies de insetos descritas até hoje, segundo van Huis *et al.* (2013). Globalmente, os insetos mais comumente consumidos são aqueles que estão prontamente disponíveis como besouros (*Coleoptera*: 31%), lagartas (*Lepidoptera*: 18%), abelhas, vespas e formigas (*Hymenoptera*: 14%), gafanhotos e grilos (*Orthoptera*: 13%), cigarras, cigarrinhas, planthoppers, cochonilhas e percevejos verdadeiros (*Hemiptera*: 10%), térmitas (*Isoptera*: 3%), libélulas (*Odonata*: 3%), moscas (Diptera: 2%) e outros (5%) (VAN HUIS *et al.*, 2013).

Os insetos podem ser consumidos inteiros ou podem ser incorporados em diferentes pratos, como saladas, molhos, macarrão, biscoitos e outros produtos assados (VAN HUIS *et al.*, 2013).

Diversos aspectos dão suporte para promover o uso de insetos como uma fonte sustentável de proteína animal. Comparados aos animais de corte tradicionais, os insetos necessitam de menos espaço e água, apresentam maior fecundidade, melhor taxa de conversão alimentar e podem ser criados em resíduos orgânicos, contribuindo para a valorização da biomassa (OONINCX *et al.*, 2015). Além disso, em graus variados, de acordo com a espécie, o estágio metamórfico e a alimentação, alguns insetos contêm altos teores de proteínas e aminoácidos essenciais, tem alto teor de vitaminas e minerais, apresentam baixa concentração de colesterol comparado aos produtos de origem animal e exibem uma proporção favorável de ácidos graxos ômega 6/ômega 3 e ácidos graxos poliinsaturados/saturados (RUMPOLD; SCHLÜTER, 2013). A combinação de alto valor nutricional, menor impacto ambiental e baixos custos de produção tornam os insetos particularmente interessantes como mini rebanhos voltados para a alimentação humana (VAN HUIS *et al.*, 2013).

Jongema (2017) analisou mais de 2.000 espécies de insetos comestíveis, que diferem muito quanto à composição nutricional (Rumpold; Schluter, 2013). Vários estudos relatam o teor de nutrientes de diferentes espécies de insetos comestíveis, mas os resultados variam enormemente devido aos métodos usados para as análises, as espécies investigadas, a origem dos insetos, o tipo de criação, o estágio de seu ciclo de vida, o tipo da dieta de insetos, etc. (DOBERMAN *et al.*, 2017; KINYURU *et al.*, 2009; RUMPOLD; SCHLUTER, 2013, 2015). Em geral, os insetos comestíveis são uma boa fonte de energia, proteína, gordura, vitaminas e minerais (RUMPOLD; SCHLUTER, 2013). A composição dos insetos depende muito da espécie e da fase em que se encontram. Com base na Tabela 1, onde constam a composição centesimal em base úmida da larva de *Tenebrio molitor*, *Zophobas morio* e *Gryllus assimilis*

adulto, é possível perceber que no caso do grilo adulto, a composição de proteína é maior em relação a proporção de gordura (BISCONSIN-JUNIOR *et al.*, 2018).

Os insetos também requerem menos ração em comparação com a produção da quantidade equivalente de proteína de fontes convencionais de carne. Para produzir 1kg de carne, são necessários 7,7 kg de ração para bovinos, 6,3 kg para ovinos, 3,6 kg para carne de porco, 2,2 kg para frango e 1,7 kg para grilos (VAN HUIS, 2010), como observado na Figura 6. Sendo assim, os insetos devem servir como uma alternativa mais sustentável e ecologicamente correta para a produção de proteínas em relação às emissões de GHG e NH₃ (OONINCX *et al.*, 2010; STEINFELD *et al.*, 2006), uso da terra e da água, em comparação a carne bovina e o potencial de contribuir para a segurança alimentar (BISCONSIN-JUNIOR *et al.*, 2018).

Tabela 1 - Composição centesimal de larvas de *Tenebrio molitor*, *Zophobas morio* e *Gryllus assimilis* adulto - (Base Úmida).

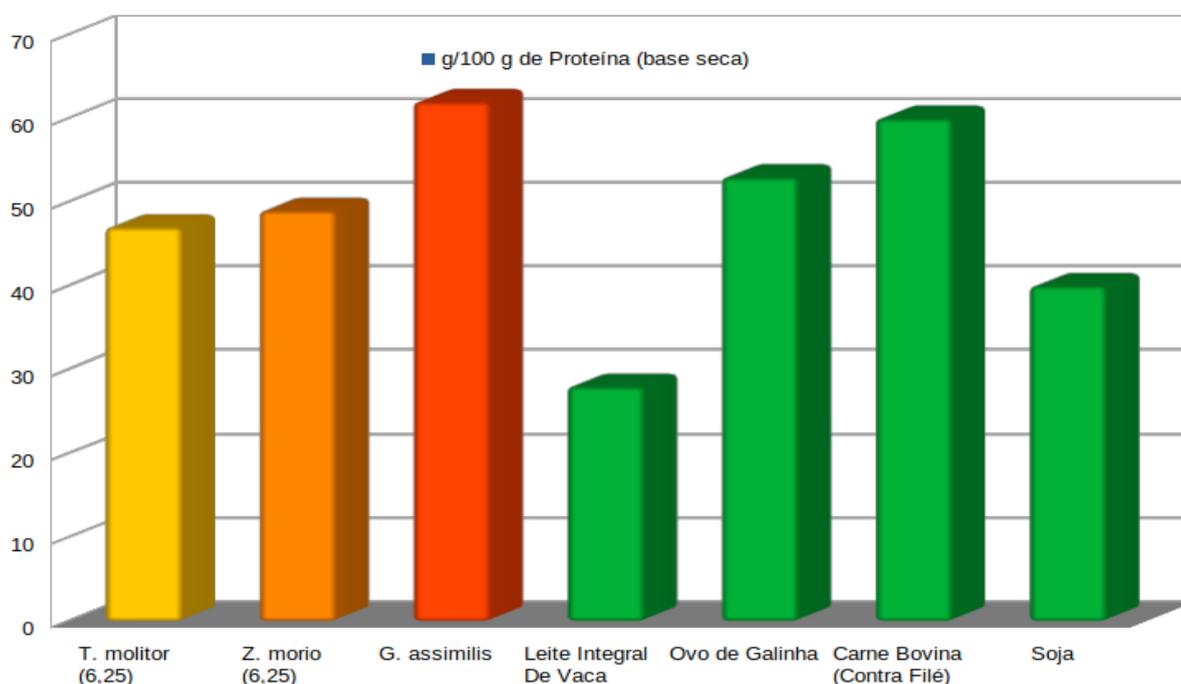
	<i>T. molitor</i>	<i>Z. morio</i>	<i>G. assimilis</i>
Valor energético (kj/100g)	852	862	533
Umidade (g/100g)	67,30	65,40	76,70
Proteínas (g/100g)	11,85	12,88	14,28
Lipídios (g/100g)	15,43	14,65	7,32
Cinzas (g/100g)	1,10	1,38	0,61
Carboidratos (g/100g)	4,21	5,68	1,12

Fonte: Adaptado de Bisconsin-Junior *et al.* (2018).

Severini *et al.*, (2018) estudaram a composição de massa a base de cereal enriquecido com farinha de insetos, para a produção de snacks impressos pelo processo 3DP. A massa de panificação foi feita com farinha de trigo e diferentes composições de farinha de insetos. Os insetos utilizados foram larvas de *Tenebrio molitor*, que foram secos e moídos. As proporções de farinha de trigo e farinha de insetos foi de 100:0; 90:10; 80:20, ou seja, adição de 0 a 20% de farinha de larvas de insetos. Os lanches foram impressos crus e depois assados por 22 minutos a 200° C (SEVERINI *et al.*, 2018).

O objetivo do estudo foi o de analisar as propriedades físicas e morfológicas, além de comparações com valor nutricional, digestibilidade de proteínas e aminoácidos, em relação aos lanches obtidos em diferentes níveis de substituição (SEVERINI *et al.*, 2018).

Figura 6 - Teor de proteínas em base seca de insetos ((T. molitor, Z. morio, G. assimilis) em comparação com referências (Leite integral de vaca, ovo de galinha, carne bovina contra filé e soja).



Fonte: Gráfico adaptado de Bisconsin-Junior *et al.* (2018).

Com relação às características, não houve uma alteração visual geral dos snacks com relação ao formato cilíndrico, porém houve uma mudança gradual na cor que ganhou gradualmente mais cor “marrom” conforme aumentou a concentração de farinha de insetos, cor característica da farinha de insetos (AZZOLLINI *et al.*, 2016). Também observou-se um aumento gradual no diâmetro das amostras, houve tendência ao aumento do diâmetro conforme se adiciona farinha de insetos na formulação, já que a textura da farinha de insetos é mais espessa (SEVERINI *et al.*, 2018).

No entanto, a adição de diferentes níveis de farinha de insetos modificou a capacidade de impressão da massa alterando propriedades morfológicas e microestruturais dos snacks crus. A massa enriquecida era mais macia, produzindo uma sobreposição durante a impressão resultando em um aumento de diâmetro, peso e em uma diminuição na altura.

Durante o cozimento, a diminuição do tamanho dos lanches foi causado principalmente pela perda de água, entretanto, o enriquecimento de massa com insetos reduz esse efeito. Observou-se uma melhora significativa do perfil de aminoácidos da farinha de trigo quando esta foi enriquecida com farinha de insetos. Portanto, os resultados indicam que junto com a farinha de trigo, a farinha da larva de *Tenebrio molitor* melhora os resultados de alimentos impressos em 3D à base de cereais. Novos estudos sobre as propriedades sensoriais e atitudes em relação ao consumo de lanches impressos em 3D contendo insetos comestíveis seriam garantia para confirmar a eficácia demonstrada de larvas de farinha amarelas como um novo ingrediente na impressão 3D de alimentos (SEVERINI *et al.*, 2018). A composição protéica dos snacks segue no Quadro 5.

Quadro 5 - Comparação estrutural e nutricional proteica dos snacks em relação à adição de insetos.

Composição da Farinha	Proteínas g/100g	Conclusões
100% trigo	32,5	
90% trigo e 10% insetos	38,2	Com aumento de proteína de insetos na massa, manteve forma, aumentou maciez e melhorou a qualidade nutricional
80% trigo e 20% insetos	41,3	Com aumento de proteína de insetos na massa, manteve forma, aumentou maciez e melhorou ainda mais a qualidade nutricional

Fonte: Adaptado de Severini *et al.* (2018).

Macedo *et al.* (2017) e Menozzi *et al.* (2017) reportaram que comer um produto alimentar à base de inseto pode apresentar efeitos nutricionais positivos ao consumidor e ao meio ambiente, e isso afeta significativamente as atitudes e a intenção de consumo de produtos baseados na entomofagia. Os insetos para consumo humano podem contribuir para a segurança alimentar e ser parte da solução para futuras carências de proteína animal. Eles também têm emissões mais baixas de gases de efeito estufa e requerem menos espaço, comida e água em comparação com seus homólogos vertebrados. Integrar dietas com insetos pode fornecer proteínas de qualidade e outros nutrientes, incluindo ácidos graxos essenciais, vitaminas, minerais e fibras para as populações humanas em crescimento. Embora nutricionalmente adequado, culturalmente aceitável (por muitos) e saudável, existem desafios associados ao seu uso como alimento. Mais importante ainda, os insetos têm o potencial de

contribuir para a segurança alimentar. Considerando as vantagens econômicas, nutricionais e ecológicas dos insetos como fonte tradicional de alimento, sua promoção merece mais atenção dos governos nacionais, programas de assistência (BERNARD; WOMENI, 2017) e recomendação na mídia e funcionários do governo (SRIVASTAVA, 2009; ALEMU *et al.*, 2017).

Por outro lado, os insetos também são vetores de doenças, bactérias patogênicas podem estar presentes em alimentos não processados com base nas condições de criação dos insetos e no substrato usado. Assim, sua presença em insetos deve ser avaliada. Avaliação do conteúdo microbiano intestinal de insetos frescos, processados e armazenados, incluindo *T. molitor*, *A. domesticus*, e *Braquitrupes* revelou a presença de vários tipos de *Enterobacteriaceae*, bactérias esporulantes (KLUNDER *et al.*, 2012). Valores altos (10^7 UFC/g) para as contagens de bactérias aeróbicas, anaeróbicas e *Enterobacteriaceae* foram relatadas em um estudo preliminar belga realizado em larvas de farinha (*T. molitor*), vermes morio (*Zophobas atratus*) e gafanhotos (*L. migratoria*) (FASFC, 2014). No entanto, foi observado que a secagem em forno (11 min a 90 ° C) de *T. molitor* e *L. migratoria* reduziu as contagens aeróbicas e de *Enterobacteriaceae* em 2-3 unidades logarítmicas e 3-5 unidades logarítmicas, respectivamente. Da mesma forma, o tratamento térmico por 8 min a 100° C também reduziu as contagens bacterianas (bactérias aeróbicas, anaeróbicas e *Enterobacteriaceae*) (FASFC, 2014). Megido *et al.* (2017), caracterizaram a carga microbiana de insetos comestíveis encontrados na Bélgica (ou seja, larvas de farinha e grilos domésticos de fazendas europeias e cupins e lagartas defumadas de um mercado tradicional congolês) e avaliou a eficiência de diferentes métodos de processamento. A análise revelou que os insetos processados de mercados ilegais estavam altamente contaminados com microrganismos (contagem de mesófilos aeróbios totais). Todas as amostras de insetos não tratados tiveram uma contagem aeróbia total superior ao limite para carne picada fresca (6,7 log UFC/g). Os tratamentos incluindo branqueamento, liofilização e esterilização foram eficazes na redução da contagem aeróbia total. Com base no exposto (VAN HUIS, 2016) todos os insetos requerem uma etapa de processamento antes do consumo, a fim de reduzir a carga microbiana (VAN HUIS, 2016). Além disso, é importante salientar que as boas práticas na fabricação (BPF), são protocolos que todos os produtores e fornecedores de alimentos devem seguir, isso garante a qualidade sanitária do local e dos alimentos ali comercializados. Estes protocolos são desenvolvidos especificamente para cada tipo de produção e/ou comercialização, portanto, no caso da impressão 3D de alimentos, haverá a necessidade de especificações relacionadas diretamente com o tipo de impressão, com o equipamento utilizado, as

recomendações dos fabricantes dos equipamentos bem como o tipo de matéria-prima a ser utilizada (VAN HUIS, 2016).

Além disso, de acordo com Bouvier (1945) o consumo de gafanhotos e gafanhotos com tarso (parte final da perna) pode causar obstrução intestinal. A quitina também é difícil de digerir em alguns indivíduos devido à falta de uma enzima, a quitinase, e também pode causar uma reação alérgica (EFSA, 2015). Todos os riscos associados à entomofagia aumentam a necessidade de maior regulação dos insetos para a produção de alimentos (LUPO, 2015). Muitos insetos podem causar reações alérgicas por contato direto, inalação ou consumo. Reações alérgicas devido ao contato foram relatadas em larvas de farinha (*T. molitor*) e menor na lagarta da farinha (*Alphitobius diaperinus*). Reações alérgicas foram relatadas devido ao contato com larvas de farinha (*T. molitor*) e lagarta da farinha (*Alphitobius diaperinus*), incluindo choque anafilático (FAO, 2013). As pessoas com maior risco de desenvolver reações alérgicas são aquelas que já são alérgicas a frutos do mar, como camarão, devido à presença de alérgenos comuns. Sendo assim, a regulamentações existentes para outros alimentos convencionais (alergênicos, padrões microbiológicos, limites para resíduos e contaminantes) também devem ser levadas em consideração quando da regulação e aprovação de uso desses animais como alimentos (FASFC, 2014).

Também há relatos de acúmulo de metais pesados em insetos adquiridos do solo ou de outros substratos. De acordo com Banjo *et al.* (2010), as concentrações de cádmio e chumbo, metais pesados, variam de 0,02 a 0,07 e 0,03 a 0,10 mg/kg de peso seco, respectivamente, em cinco diferentes espécies de insetos comestíveis. Como ainda não há regulamentação para metais pesados em insetos comestíveis, podemos associar os valores da literatura com um produto proteico de origem animal. Neste caso, a legislação brasileira estabelece que os limites para chumbo e cádmio para carnes são de 0,10 e 0,05 mg/kg respectivamente (BRASIL, 2021). Portanto, os valores encontrados se aproximam dos limites estabelecidos para produtos similares. Além disso, altos níveis de chumbo também foram relatados em chapulines do México (HANDLEY *et al.*, 2007). Sendo assim, um dos maiores desafios da entomofagia é obter a aprovação do governo para produtos à base de insetos para consumo humano. A aplicação deve ser apoiada por evidências científicas para a segurança do produto na saúde humana e no consumo. A lei exige que, para qualquer novo alimento, o potencial de riscos microbiológicos, químicos e físicos relacionados ao seu consumo deve ser explorado e listado (FASFC, 2014).

No ano de 2018, a Agência Europeia de Segurança Alimentar (EFSA) aprovou o uso do *Tenebrio molitor* como alimento humano, como o primeiro inseto seguro para o consumo

humano na Europa. A decisão abre caminho para que as larvas sejam usadas inteiras e secas para diversas receitas e, inclusive, como farinha para fazer biscoitos, massas e pão, ricas em proteínas, gorduras e fibras. Podem ser consumidas inteiras ou como ingrediente em pó em formulações de snacks, massas, biscoitos e pães. Serão os primeiros alimentos à base de farinha de *Tenebrio molitor* a serem comercializados em toda a UE através da regulamentação de “*novos alimentos*” (EFSA, 2021).

7.1 PESQUISA ATUAL EM IMPRESSÃO 3D PARA OBTER PRODUTOS ENRIQUECIDOS COM INSETOS

Os maiores atributos da utilização de insetos na alimentação são os econômicos e ambientais. A produção de proteína de insetos e a conversão de proteína é certamente muito mais vantajosa do que de outros meios animais. Com relação às proteínas vegetais, a de insetos é mais vantajosa no que se refere a biodisponibilidade, digestibilidade e sem as interferências dos fatores antinutricionais envolvendo os nutrientes de origem vegetal (SRIVASTAVA, 2009).

Por causa da aversão das pessoas ao consumo de insetos inteiros, conforme relatado por alguns estudos, enriquecer produtos tradicionais com insetos comestíveis, sobretudo com farinha de insetos como o de *Tenebrio molitor*, de uma forma a tornar mais apresentável aos olhos dos consumidores, pode ser uma estratégia útil para melhorar e impulsionar o uso de produtos à base de insetos (LE GOFF; DELARUE, 2017; HARTMANN; SIEGRIST, 2016). Devido ao novo interesse no uso de insetos comestíveis na nutrição humana, alguns pesquisadores estão prestando muita atenção ao desenvolvimento de produtos inovadores enriquecidos com insetos comestíveis com o uso de impressão 3D. Severini *et al.*, (2016) produziram lanches inovadores à base de trigo enriquecidos com pó de inseto (*Tenebrio molitor*) para melhorar a qualidade nutricional dos snacks tradicionais. Especificamente, eles aumentaram o conteúdo de proteína e o perfil de aminoácidos dos lanches obtidos com a adição de pó de inseto à farinha de trigo. Por outro lado, a substituição de insetos moídos até 20g/100g diminuiu a estabilidade da massa, levando a uma maior deposição da massa durante a impressão que aumentou ligeiramente a espessura do filamento de massa impresso. Além disso, a maior espessura do diâmetro do filamento da massa impressa, causou o aumento dos diâmetros dos lanches e a diminuição de sua altura (DEROSSI *et al.*, 2018).

O projeto “Insect Au Gratin” busca novas maneiras de consumir insetos combinando entomofagia e a emergente tecnologia de impressão 3D. A designer Susana Soares, em

colaboração com a London South Bank University e a University of West England, tratou da estética e do desenvolvimento de alguns protótipos de macarrão de inseto impresso em 3D pronta para cozinhar e comer. O macarrão era previamente preparado misturando farinha de inseto com manteiga de confeitiro, *creamcheese*, água e agente gelificante para atingir a consistência certa para passar pelo bico e evitar o colapso (SOARES, 2018).

Na Universidade de Wageningen, os pesquisadores também estão trabalhando em produtos formulados com insetos comestíveis para impressão 3D. Eles pré-processaram larvas de *Tenebrio molitor* secando e moendo para obter um pó, que pode ser misturado com farinha de cereais tradicionais para a obtenção de produtos impressos em 3D (AZZOLLINI; FOGLIANO, 2018). Outra forma de usar o pó de insetos é fracionar os diferentes componentes dos materiais, como proteínas solúveis e insolúveis, lipídios e fibras, que possibilitam a obtenção de alimentos com características diferentes a partir dos mesmos materiais. Por exemplo, é possível obter novos formatos de alimentos suportados por reticulação de proteínas, sistemas alimentares de multicamadas ou gelificação por transição de estado de proteínas gelificantes (DEROSSI *et al.*, 2018).

A maioria das técnicas de fabricação de alimentos é desenvolvida para customização em massa, enquanto o design de alimentos, em termos de novas formas, estruturas, sabores e composição nutricional, geralmente é deixado em segundo plano. A impressão tridimensional é uma tecnologia que permite à indústria alimentar e aos consumidores obter alimentos personalizados em todos os atributos mencionados (SEVERINI *et al.*, 2019).

Até o momento, foram realizados alguns estudos de pesquisa sobre a impressão 3D de alimentos, mas novos estudos precisam ser realizados para um melhor entendimento deste processo (SEVERINI *et al.*, 2019). Em particular, alguns aspectos precisam ser considerados:

1. Tipos de ingredientes e compostos nutricionais têm um forte impacto sobre propriedades reológicas de uma formulação alimentar, que por sua vez afetam a capacidade de impressão de uma massa.
2. A textura é um atributo importante para determinar as propriedades sensoriais e da qualidade de um produto, portanto, ao modificar as características texturais de um produto alimentício, graças ao uso da impressão 3D, será bem aceito pelos consumidores.
3. Alguns materiais alimentares não são imprimíveis por natureza, adicionando assim alguns agentes de textura, a capacidade de impressão ideal de uma formulação alimentar poderia ser obtida.

4. A compreensão das variáveis de impressão é essencial para a otimização do processo.

5. Por fim, existem alguns estudos sobre produtos impressos em 3D com cereais e insetos também. A maioria deles forneceu informações escassas e ainda preliminares, portanto, para perspectivas futuras, esperamos mais incentivo a pesquisa e desenvolvimento neste campo (SEVERINI *et al.*, 2018).

O uso da impressão 3D para a obtenção de produtos comestíveis à base de insetos pode aumentar a aceitabilidade dos consumidores. Vários estudos relataram que, geralmente, os consumidores rejeitam a ideia da alimentação com insetos inteiros por conta de sua aparência e aspectos culturais. Porém, quando apresentados em formulações tradicionais, como com a farinha de insetos, isso poderia reduzir as percepções negativas e aumentar sua aceitação. Esses relatórios sugerem que criar produtos atraentes em termos de forma, textura e design com insetos incorporados é uma boa estratégia para aumentar o consumo de insetos comestíveis, o processamento de produtos enriquecidos com proteínas de inseto, também é uma estratégia para apresentar ao consumidor mais opções de alimentos proteicos (LE GOFF; DELARUE, 2017; HARTMANN; SIEGRIST, 2016).

8 PROTÓTIPO DE APLICATIVO PARA INTERFACE ENTRE FORMULAÇÃO E PRODUÇÃO

A elaboração de um aplicativo de interface para que o usuário, médico, nutricionista, cientista de alimentos, ou qualquer outro profissional da área de alimentos, traria certamente facilidade e opções na hora de formular um produto, ainda mais se for específico para algum tipo de necessidade (PALLOTTINO *et al.*, 2016).

Além disso, é possível que estes aplicativos tornem a tecnologia mais amigável para o consumidor final, facilitando em muito a divulgação da tecnologia e levando muito conhecimento para eles (PALLOTTINO *et al.*, 2016).

Para criar alimentos digitais personalizados existem duas opções:

1. Utilizar um conjunto de ingredientes, grande o suficiente para satisfazer as necessidades de todos os consumidores;
2. Empregar um conjunto pequeno de ingredientes que podem ser combinados em proporções variáveis.

A segunda opção vem sendo a mais utilizada, pois a primeira oferece desvantagem em relação à capacidade limitada do *hardware*, especialmente em impressoras de pequena escala (PALLOTTINO *et al.*, 2016).

Conforme Lam *et al.* (2012), o processo de impressão de alimentos é semelhante ao funcionamento de uma impressora jato de tinta, porém equipada para operar com alimentos como açúcar, amidos e/ou proteínas. Em essência, a impressão de alimentos envolve camadas minúsculas e sobrepostas, contendo partículas de ingredientes semiprocessados, que resultam em novos alimentos. Apesar das impressoras 3D de alimentos ainda não terem se popularizado, existem alguns modelos disponíveis no mercado, atendendo aos projetos de chocolates, macarrão, biscoitos, gomas gelatinosas com sabor de frutas, balas, doces, entre outros itens comestíveis (LAM *et al.*, 2016).

Na constituição do alimento digital, a textura pode determinar o controle da matéria-prima no processo de impressão, o desenvolvimento de novos alimentos impressos ou mesmo alterações em suas formulações. Além disso, o desenho do objeto formado e os padrões formados pelo alimento, podem ser previamente estudados e escolhidos, conforme a necessidade essenciais ou padrões puramente estéticos, o que em muitos casos facilitaria a ingestão de nutrientes importantes por crianças, por exemplo (LEANDRO, 2016).

Leandro (2016) desenvolveu um protótipo de aplicativo para ser usado em associação a impressoras 3D de alimentos como vemos na Figura 7. Quando o aplicativo é inicializado, as opções do menu inicial são visualizadas. Entre as opções disponíveis estão o perfil do usuário, definir refeição, consumo recomendado, histórico, favoritos e configurações. Alguns dos termos utilizados no aplicativo são de cunho popular, genéricos, como essência, por exemplo, para designar aroma. Isso facilita a compreensão do usuário comum (LEANDRO, 2016).

O aplicativo armazena a quantidade de cálcio, calorias, carboidratos, ferro, fibras, gorduras, proteínas e sódio requeridos nas refeições previstas para um determinado dia. Ele ainda oferece a possibilidade de gerar e imprimir um relatório de um período correspondente. Oferece ainda, conforme mostrado nas figuras, muitas outras funcionalidades. Portanto, com aplicativos como este, será possível construir um alimento baseando-se nas necessidades do consumidor, desde as mais essenciais como necessidades nutricionais para diabéticos, celíacos, portadores de alguma necessidade especial, pessoas com dificuldades em consumir determinadas texturas. Além destes, terá um público que certamente utilizará o aplicativo para atribuir características mais estéticas e possivelmente mais divertidas, este contato através do aplicativo proporcionará mais intimidade, conhecimento e interesse pelo alimento, tornará a

alimentação um ato divertido, isso certamente contribuirá nutricionalmente, e até mesmo politicamente (LEANDRO, 2016).

Figura 7 - Tela de acesso do protótipo de aplicativo para impressora 3D de alimentos.



Fonte: Imagem feita utilizando o programa NinjaMock, baseado em Leandro (2016).

9 PERSPECTIVAS FUTURAS

A impressão tridimensional de alimentos é fortemente dependente das propriedades do material e dos mecanismos de ligação entre os ingredientes. Nos últimos anos, grandes esforços têm sido feitos com o objetivo de alcançar propriedades finais de construtos 3D com propriedades de uso final alinhadas ou mais vantajosas do que aquelas obtidas através do método de fabricação tradicional. No entanto, ainda existem muitas barreiras a serem superadas para que o 3DP seja incorporado em nichos de mercado que requerem personalização (GODOI *et al.*, 2016).

Nos últimos anos, houve um rápido aumento nas pesquisas relacionadas à impressão 3D de alimentos, e espera-se que essa tendência continue nos próximos 5 e 10 anos com

maior integração entre impressoras 3D profissionais, novos materiais alimentícios, design e processos de impressão 3D.

Há uma preocupação crescente sobre como alimentar mais pessoas, sendo que a impressão 3D de alimentos pode ser o criador de alimentos chave do futuro. A tecnologia evita o desperdício de alimentos, utilizando frutas e vegetais perecíveis e subprodutos de baixo valor, como aparas de carne para criar produtos alimentares saudáveis e saborosos. Espera-se que a bioimpressão 3D imprimirá frutos do mar e carnes de células com sabor e textura comparáveis aos reais, o que ajudará a eliminar a crise alimentar mundial sem crueldade com os animais, desperdiçando água ou emitindo carbono para o meio ambiente (GODOI *et al.*, 2016).

Os alimentos à base de cereais normalmente precisam ser processados após a impressão para melhorar as propriedades nutricionais, o sabor e a sua segurança. A retenção da forma e da estrutura durante as etapas de processamento posterior, como congelamento, tratamento térmico ou radiação, também são temas importantes de pesquisa e desenvolvimento. O design do alimento antes da impressão pode considerar todas essas possibilidades. Em outras disciplinas da impressão 3D, as mudanças esperadas de materiais pós-impressão são contempladas como impressão 4D quando a construção 3D não é realmente um produto final (GODOI *et al.*, 2016).

Apesar das muitas vantagens oferecidas pela tecnologia de impressão 3D de alimentos, a indústria enfrenta uma série de desafios tanto do ponto de vista tecnológico quanto social. Do ponto de vista tecnológico, a impressão 3D requer aumento de escala com maior velocidade, o que chamaria a atenção da indústria de alimentos. Além disso, dependendo do alimento a ser impresso, o controle preciso da temperatura no sistema de alimentação, na tremonha, no bocal (único ou múltiplo) e na plataforma do sistema de impressora 3D pode ser necessário. A estabilidade microbiana e a segurança alimentar também precisam ser abordadas durante a impressão dos alimentos (LIU *et al.*, 2018).

A impressão 3D de alimentos pode ser considerada como impressão 4D, já que o produto acabado pode ter que ser cozido ou tratado antes do consumo, e as mudanças de formato e tamanho durante a pós-impressão deverão ser consideradas durante o projeto do produto. O termo impressão 5D, entretanto, surgiu do desenvolvimento de máquinas. O desenvolvimento da impressão em cinco dimensões foi impulsionado pela conveniência de não ser necessário imprimir estruturas de suporte em designs complexos. A impressão tridimensional pode ser definida como uma impressora 3D de cinco eixos em vez da impressora tridimensional usada na impressão 3D convencional. Uma impressora 3D do

VEAXIS, essencialmente constrói o objeto de múltiplas direções (X, Y, Z com movimentos de rotação e translação), produzindo peças mais fortes do que a impressão 3D normal (ETHEREAL-HALO, 2018).

Certamente haverá um aumento nas pesquisas relacionadas ao uso de impressão camada por camada para personalizar alimentos com baixo teor de sal, gordura e açúcar, o que garante menos doenças relacionadas ao estilo de vida. A tecnologia tem a capacidade de servir comida personalizada e controlar o tamanho da porção (LIPTON *et al.*, 2015).

10 CONCLUSÕES

A utilização da tecnologia de impressão 3D de alimentos trará avanço tecnológico e poderá colaborar com o avanço social e ambiental. Como demonstrado nos trabalhos apresentados, a tecnologia está associada a novas práticas de produção e principalmente a novas formulações. Os produtos à base de cereais enriquecidos com farinhas de insetos, principalmente a farinha de larvas de *Tenebrio molitor*, são exemplos de formulações que melhoram a textura da matéria-prima a ser impressa e também melhoram a qualidade nutricional do produto final. Isso tudo utilizando uma quantidade menor de recursos ambientais e menor área de produção, pois as larvas de *Tenebrio molitor* possuem uma melhor relação de conversão de proteínas que outras fontes de proteína animal. Os desafios da segurança de alimentos produzidos com insetos e farinhas de insetos perpassam por avaliação de fatores microbiológicos, químicos e físicos que deverão ser controlados assim como ocorre com outros produtos de origem animal. Portanto, questões relacionadas à legislação, fiscalização, boas práticas de fabricação, ambientes específicos para produção, manejo dos insetos e produção da farinha, bem como tratamentos que garantem a segurança do alimento, deverão ser adequadamente observados.

REFERÊNCIAS

AGERAWI, W.; VERBONEN, P.; VANCAUWENBERGHE, V.; BONGAERS, E.; VAN DER EIJNDEN, E.; VAN BOMMEL, K.; DIAZ, J.; NICOLAI, B. Structural-mechanical analysis of cookies produced by conventional and 3D printing techniques. In: **Proceedings of the 29th EFFoST International**, Athens, Greek. 2015. ISBN: 978-618-82196-1-8.

ALEMU, M. H.; OLSEN, S. B.; VEDEL, S. E.; PAMBO, K. O.; OWINO, V. O. Product combined attributes with recommendation and purchase location attributes to assess consumer preferences for insect-based food products. **Food Quality and Preference**. v .55, p. 45–57. 2017. doi:10.1016/j.foodqual.2016.08.009.

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Brasil. **RDC nº 275, de 21 de outubro de 2002**. Estabelecer procedimentos de Boas Práticas para serviços de alimentação a fim de garantir as condições higiênico-sanitárias do alimento preparado. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2004/res0216_15_09_2004.html. Acesso em: 03 abril 2021.

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Brasil. **RDC nº 216 de 15 de setembro de 2004**. Estabelecer procedimentos de Boas Práticas para serviços de alimentação a fim de garantir as condições higiênico-sanitárias do alimento preparado. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2004/res0216_15_09_2004.html. Acesso em: 03 abril 2021.

AZZOLLINI, D.; DEROSI, A.; FOGLIANO, V.; LAKEMON, C. M. M.; SEVERINI, C. Effects of formulation and process conditions on the microstructure, texture and digestibility of extruded insect-enriched snacks. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v.45, p.344–353. 2018. doi:10.1016/j.ifset.2017.11.017.

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, p. 233–243. 2016. doi.org/10.3920/JIFF2016.0001.

BALLETTI, C.; BALLARIN, M.; GUERRA, F. 3D printing: state of the art and future perspectives. **Journal of Cultural Heritage**, v. 26, p. 172-182. 2017. doi.org/10.1016/j.culher.2017.02.010.

BANJO, A.; LAWAL, O.; FASUNWON, B.; ALIMI, G. Alkali and heavy metal contaminants from selected edible arthropods in southwestern Nigeria. **Eurasian Journal Toxicol Science**. v.2, p.25–29. 2010. ISSN 2079-2050.

BATCHELDER, JOHN S. A method of making a three dimensional object by depositing material in a predetermined pattern on a receiving surface, and introducing a predetermined porosity into the object being formed by positioning the deposited material so as to introduce pockets of air or other fluid into the part, and by adjusting the rate at which the material is dispensed from the dispenser. **United States Patent, N°.US5653925A**. 1995.

BERMAN, B. Impressão 3D: The new industrial revolution. **Business Horizons**, v.55, p.155-162. 2012. doi.org/10.1016/j.bushor.2011.11.003.

BERNARD, T.; WOMENI, H. M. Entomophagy: insects as food. In Shields, VDC (Ed.). *Insect Physiology and Ecology*. **InTech**. 2017. Doi: 10.5772/67384.

Disponível em:

www.intechopen.com/books/insect-physiology-and-ecology/entomophagy-insects-as-food.

Acesso em: 03 abril 2021.

BISCONSIN-JUNIOR, ANTONIO; JANUARIO, LORENA AURORA; MARIA NETTO, FLÁVIA; MARIUTTI, LILIAN REGINA BARROS. Composição de Insetos Comestíveis. **Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, SP, Brasil, 2018.

BLÖSSNER, M.; ONIS, MERCEDES; PRÜSS-ÜSTÜN, ANNETTE; CAMPBELL-LENDRUM, DIARMID; CORVALÁN, CARLOS; WOODWARD, ALISTAIR. World Health Org. Malnutrition: Quantifying the Health Impact at National and Local Levels 1. **Environmental Burden of Disease Series**, v. 12. 43 p. 2005.

ISBN 92 4 159187 0. Disponível em:

www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/MalnutritionEBD12.pdf. Acesso em: 03 abril 2021.

BOUVIER, G. Quelques questions d'entomologie vétérinaire et lutte contre surs arthropodes en Afrique tropicale. **National Library of Medicine, Acta Trop**. v. 2, p. 42–59. 1945.

BRASIL. Instrução Normativa - IN nº 88, e 26 de março de 2021. Estabelece os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos. **Diário Oficial da União**. Publicado em : 31/03/2021, Edição: 61, Seção: 1. 2021

CANDYFAB, 2006. The CandyFab Project. <https://candyfab.org/>. The present invention relates generally to printing processes. In particular the invention relates to processes for printing with edible inks. An aspect of the invention relates to printing an edible ink onto a material using an inkjet printing device. The material may be an edible material. The ink may comprise a colourant, at least 30% water, at least 25% carbohydrate sweeteners and be free from both diols and triols. A further aspect of the invention is a printed foodstuff obtainable by the process of printing edible ink onto a material. **United States Patent, US20160021907A1**. 2013.

CHING, S. H.; BHANDARI, B.; WEBB, R.; BANSAL, N. Visualizing the interaction between sodium caseinate microgel particles and calcium alginate. **Food hydrocolloids**. v. 43, p. 165-171. 2015. doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.05.013.

CRUMP, S. S. Fast, Precise, Safe Prototypes with Fusion Deposition Modeling. American Society of Mechanical Engineers. **Production Engineering Division**. v. 82, p. 36-38. 1992. dx.doi.org/10.18063/IJB.2015.01.006.

DANAIE, G.; DING, E. L.; MOZAFFARIAN, D.; TAYLOR, B.; REHM, J. The preventable causes of death in the United States: comparative risk assessment of dietary, lifestyle, and metabolic risk factors. **Journal PLoS Medicine**, v.6. 2009. Disponível em:

DANKAR, IMAN; HADDARAH, AMIRA; FAWAZ, E. L.; FRANCESC, OMAR SEPULCRE; PUJOLÀ, MONTSERRAT. **3D printing technology: The new era for food customization and elaboration**. Lebanese University, Doctoral School of Science and Technology, EDST, Hadath, Lebanon. Departament d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia, Universitat Politècnica de Catalunya, BarcelonaTECH, Spain, v. 75, p. 231-42. 2018. doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.018.

DAVENPORT, C. December 21, 2015. Elon Musk's SpaceX returns to flight and pulls off dramatic, historic landing. **The Washington Post**. Disponível em: www.washingtonpost.com/news/the-switch/wp/2015/12/21/elon-musks-spacex-pulls-off-dramatic-historic-landing/. Acesso em: 03 abril 2021.

DEFOLIART, G. An overview of the role of edible insects in preserving biodiversity. **Ecology of Food and Nutrition**, v. 36, p. 109–132. 1997. doi.org/10.1080/03670244.1997.9991510.

DERMODY, J.; CHATTERJEE, I. **Food Glorious food, fried bugs and mustard! Exploring The radical idea of entomophagy in advancing sustainable consumption to protect the planet**. 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/pub>. Acesso em: 03 abril 2021.

DEROSSI, A.; CAPORIZZI, R.; AZZOLLINI, D.; SEVERINI, C. Application of 3D printing for customized food. A case on the development of a fruit-based snack for children. **Journal of Food Engineering**, v. 220, p. 65-75. 2018. doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.05.015.

DIAZ, J. V.; VAN BOMMEL, K. J. C.; NOORT, M. W.; HENKET, J.; BRIER, P. Preparing edible product, preferably food product including bakery product, and confectionary product, involves providing edible powder composition, and subjecting composition to selective laser sintering. **Nederlandse Org Toegepast Natuurwetensch**. 2014.

DICK, ARIANNA; BHANDARI, BHESH; PRAKASH, SANGEETA. **3D printing of meat**. School of Agriculture and Food Sciences, The University of Queensland, St Lucia, QLD 4072, Australia, 2019. doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.03.005.

EFSA - EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY. The 2013 European Union report on pesticide residues in food. **EFSA Journal**, v. 13, p. 169. 2013. doi:10.2903/j.efsa.2015.4038.

EFSA - EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY. Safety of dried yellow mealworm (*Tenebrio molitor* larva) as a novel food pursuant to regulation (EU) **2015/2283**. **EFSA-Q-2018-00262**. 2021.

ENDRES, B .A. “GMO:” genetically modified organism or gigantic monetary obligation? The liability schemes for GMO damage in the United States and the European Union. **Loyola of Los Angeles International and Comparative Law Review**, v. 22, p. 453. 2000.

ETHEREAL-HALO. **The Ethereal Halo machines 3D Printer**. Disponível em: <https://www.etherealmachines.com/>. Acesso em 03 abril 2021.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Dietary protein quality evaluation in human nutrition: report of an FAO Expert Consultation. **Food and Nutrition Paper**; v. 92. Rome. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i3124e/i3124e.pdf>. Acesso em 02 abril 2021.

FASFC - COMITÊ CIENTÍFICO BELGA DA AGÊNCIA FEDERAL PARA A SEGURANÇA DA CADEIA ALIMENTAR. Food security aspects of insects intended for human consumption. **Joint Council of the Belgian Scientific Committee of the Federal Agency for the Safety of the Food Chain and of the Superior Health Council (SHC)**. 2014. Disponível em: http://www.favv-afsca.fgov.be/scientificcommittee/advice/_documents/ADVICE14-2014_ENG_DOSSIER2014-04.pdf. Acesso em 03 abril 2021.

GHALY, A. E.; ALKOAİK, F. N. **The yellow mealworm as a novel source of protein. American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, v.4, p.319-331. 2009.

GODOI, F.C.; PRAKASH, S.; BHANDARI, B.R.; 2016. 3D printing technologies applied for food design: status and prospects. **Journal of Food Engineering**, v. 179, p. 44-54. doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.01.025.

GODOI, F. C.; PRAKASH, S.; BHANDARI, B. R.; ZHANG, MIN. **Fundamentals of 3D food printing and applications**. Tessengerlo Innovation Center and Tessengerlo Group, Tessengerlo, Belgium. School of Agriculture and Food Sciences, University of Queensland, Brisbane, QLD, Australia. State Laboratory of Food Science and Technology, University Jiangnan, Wuxi, China, 2019. doi.org/10.1016/B978-0-12-814564-7.00001-8.

GORMAN, L. Economic explanations of increased obesity. **The National Bureau of Economic Research**. 2006. Disponível a partir de: www.nber.org/digest/apr06/w11584.html. Acesso em 03 abril 2021.

GRACIA-JULIA, A., HURTADO-PNOL, S., LEUNG, A., CAPELLAS, M. Extrusion behavior of food materials in a 3D Food Printer. Pectin based bio-ink formulations for 3-D printing of porous foods. **Proceedings of the 29th EFFoSt International**, Athens, Greek. 2015.

GROOD, J. P .W.; GROOD, P. J. Device and method for dispensing a liquid, comprising a liquid container; a plurality of dispensing openings connecting to the liquid container for controlled dispensing of the liquid to a substrate, and at least one membrane which connects onto the dispensing openings and which is displaceable between a first sealing position, in which the dispensing openings are covered by the membrane, and a second opened position in which the dispensing openings are left clear by the membrane, which device is also provided with a medium-filled control system which connects to the membrane such that the membrane is displaceable between the first and the second position by means of pressure variation on the medium. Grood, J.P.W., Grood, P.J. De, 2013. **United States Patent. US8556392B2**. 2013.

HAMILTON, C. A.; ALICI, G.; HET PANHUIS, M. 3D print vegemite and marmite: “Breadboards”. **Journal of Food Engineering**. v. 220, p. 83-88. 2018. doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.01.008.

HANDELSMAN, J. Precision Medicine: Improving Health and Treating Disease. **White House Blog**. 2015. Disponível em: www.whitehouse.gov/blog/2015/01/21/precision-medicine-improvinghealth-and-treating-disease. Acesso em 03 abril 2021.

HANDLEY, M. A.; HALL, C.; SANFORD, E.; DIAZ, E.; GONZALEZ-MENDEZ, E.; DRACE, K.; WILSON, R.; VILLALOBOS, M.; CROUGHAN, M. Globalization, binational communities and risks of imported food: results of an investigation of an outbreak of lead poisoning in the County of Monterey, California. **American Journal Public Health**, v. 97, p. 900–906. 2007. doi:10.2105/ajph.2005.074138.

HAO, L., MELLOR, S., SEAMAN, O., HENDERSON, J., SEWELL, N., SLOAN, M. Material characterization and development of processes for manufacturing layers of chocolate additives. **Virtual and Physical Prototyping** v. 5, p. 57-64. 2010. doi.org/10.1080/17452751003753212.

HE, Y., YANG, F., ZHAO, H., GAO, Q., XIA, B., FU, J. Research on the printability of hydrogels em bioimpressão 3D. **Scientific Reports**, v. 6. 2016. doi.org/10.1038/srep29977.

JONGEMA, Y. **Lista mundial de insetos comestíveis registrados**. 2017. Disponível em: https://www.wur.nl/upload_mm/8/a/6/0fdfc700-3929-4a74-8b69-f02fd35a1696_Worldwide%20list%20of%20edible%20insects%202017.pdf. Acesso em 03 abril 2021.

KIM, H. W.; BAE, H.; PARK, H. J. Classification of the printability of selected foods for 3D printing: development of an evaluation method using hydrocolloids as reference material. **Journal of Food Engineering** v. 215, p. 23-32. 2017. doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2017.07.017.

KIM, H. W.; LEE, J. H.; PARK, S. M.; LEE, M. H.; LEE, I. W.; DOH, H. S.; PARK, H. J. Effect of Hydrocolloids on Rheological Properties and Printability of Vegetable Inks for 3D Food Printing. **Journal of Food Science**. v. 83. 2018. doi:10.1111/1750-3841.14391.

KINYURU, J. N.; KENJI, G. M.; NJOROGE, M. S. Development of processes, nutrition and sensory qualities of wheat breads enriched with edible termites (*Macrotermes subhylanus*) from the Lake Victoria region, Kenya. **African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development**, v. 9, p. 1739-1750. 2009.

KLUNDER, H. C.; WOLKERS-ROOIJACKERS, J. KORPELA, J. M.; NOUT, M. J. R. Microbiological aspects of processing and storing edible insects. **Food Control**, v. 26, p. 628–631. 2012. doi:10.1016/j.foodcont.2012.02.013.

KOBA, M. World May Not Have Enough Food by 2050: Report. **CNBC**. Disponível em: www.cnbc.com/2014/10/15/world-may-not-have-enough-food-to-eat-by-2050-report.html. Acesso em 03 abril 2021.

KRIER, J. E.; GILLETTE, C. P. The uneasy case for technological optimism. **Michigan Law Review** v. 84, p. 405. 1985.

KURUTZ, S. A factory on your kitchen counter. **The New York Times**. 2013. Disponível em: www.nytimes.com/2013/02/21/garden/the-3-d-printer-may-be-the-home-appliance-of-the-future.html. Acesso em 03 abril 2021.

LAM, C. X. F.; MO, X. M.; TEOH, S. H.; HUTMACHER, D. W. Scaffold Development Using 3D printing with a starch-based polymer. **Material Science Engineering Journal**, v. 20, n. 1-2, p. 49–56, 2012. doi:10.1016/s0928-4931(02)00012-7.

LEANDRO, SANDRA MARIA. Protótipo de aplicativo para dispositivos móveis compatível com uma impressora 3D de alimentos. Doutorado de Pós-Graduação em Biotecnologia na Universidade Federal de São Carlos, UFSCar. São Carlos, São Paulo. **Embrapa Instrumentação Agropecuária**, São Carlos, São Paulo. 2016.

LE GOFF, G.; DELARUE, J. Non-verbal evaluation of acceptance of insect-based products using a simple and holistic analysis of facial expressions. **Food Quality and Preference** v. 56, p. 285-293. 2017. doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.01.008.

LE TOHIC, CAMILLE; O'SULLIVAN, JONATHAN J.; DRAPALA, KAMIL P.; CHARTRIN, VALENTIN; CHAN, TONY; MORRISON, ALAN P.; KERRY, JOSEPH P.; KELLY, ALAN L. **Effect of 3D printing on the structure and textural properties of processed cheese**. School of Food and Nutritional Sciences, University College Cork, Cork, Ireland, 2017. dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.02.003.

LE TOHIC, C.; O'SULLIVAN, J. J.; DRAPALA, K. P.; CHARTRIN, V.; CHAN, T.; MORRISON, A. P. Effect of 3D printing on the structure and textural properties of processed cheese. **Journal of Food Engineering** v. 220, p. 56-64. 2018. doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.02.003.

LEWIS, J. A. Assembly of direct writing of ceramics from colloidal paints. **Current Opinion on Solid State and Materials Science**. v. 6, p. 245-250. 2002. doi.org/10.1016/S1359-0286(02)00031-1.

LILLE, M.; NURMELA, A.; NORDLUND, E.; METSÄ-KORTELAINEN, S.; SOZER, N. Applicability of food materials rich in proteins and fibers in 3D printing based on extrusion. **Journal of Food Engineering**. v. 220, p. 20-27. 2018. doi.org/10.1016/j.jfoodeng.20.

LIPTON, J. **Printable food: the technology and its application in human health**, v. 44, p. 198-201. 2017. dx.doi.org/10.1016/j.copbio.2016.11.015.

LIPTON, J. I; CUTLER, M.; NIGL, F.; COHEN, D.; LIPSON, H. Manufacture of additives for the food industry. **Trends in Food Science and Technology** v. 43, p. 114-123. 2015. doi.org/10.1016/j.tifs.2015.02.004.

LIPTON, J. I; LIPSON, H. Technologies are provided herein for fabricating foamed structures using a three dimensional fabricator. In particular, the present disclosure provides systems and methods of producing foamed structures using foamed materials, lattice foamed materials, and/or layer deposition employing the concept of viscous thread instability. **United States Patent. N° US 20120241993A1**. 2011.

LIPTON, J.; ARNOLD, D.; NIGL, F.; LOPEZ, N.; CHOEN, D.; NOREN, N.; LIPSON, H. Multimaterial food printing with complex internal structures suitable for conventional post-processing. **Proceedings of the 21st Solid Freeform Fabrication Symposium**, Austin, USA. 2010.

LIU, Z.; ZHANG, M.; BHANDARI, B.; YANG, C. Impact of rheological properties of mashed potatoes on 3D printing. **Journal of Food Engineering**, v. 220, p. 76-82. 2018. doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.017.

LUPO, L. Eating insects. Overcome the western yuck factor to reap benefits. **Quality Guarantee and food safety**. 2015. Disponível em: <http://www.qualityassurancemag.com/article/qa0815-eatin>. Acesso em 03 abril 2021.

MACEDO, I. M. E; VELOSO, R. R; MEDEIROS, H. A. F; PADILHA, M. R. F; FERRIERA, G. S. F; SHINOHARA, N. K. S. Entomofagia em diferentes culturas alimentares. **Revista Geama**. v. 3, p. 58–62. 2017.

MANTihal, S.; PRAKASH, S.; GODOI, F. C.; BHANDARI, B. Optimization of 3D chocolate printing correlating thermal and flow properties with 3D structure modeling. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. University of Queensland, Australia. v. 50, p. 386-399. 2017. doi.org/10.1016/j.ifset.2017.09.012.

MAPA. **MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/@@search>. Acesso em 03 abril 2021.

MAYOR, L.; SERENO, A.M. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. **Journal of Food Engineering** v. 61, p. 373-386. 2004. doi:10.1016/s0260-8774(03)00144-4.

MCKENNA, B. M. **Texture in Food**. Woodhead Publishing, Cambridge, England. Development of whole grain wheat flour extruded cereal and process impacts on color, expansion, and dry and bowl-life texture. Food Science and Technology. 1st ed. v. 75, p. 261-270. 2003. doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.064.

MEGIDO, R. C; DESMEDT, S.; BLECKER, C.; BÉRA, F.; HAUBRUGE, E.; ALABI, T.; FRANCIS, F. **Microbiological load of edible insects found in Belgium insects**, v. 8, p. 12. 2017. doi.org/10.3390/insects8010012.

MENOZZI, D.; SOGARI, G.; VENEZIANI, M.; SIMONI, E.; MORA, C. Eating novel foods: and application of the Theory of Planned Behavior to predict the consumption of an insect-based product. **Food Quality and Preference**, v. 59, p. 27–34. 2017. doi:10.1016/j.foodqual.2017.02.001.

NAUHEIM, D. A. Comment, food labeling and the consumer's right to know: give the people what they want. **Liberty University Law Review**, v. 4, p. 97. 2009.

NinjaMock. **NinjaMock** - Programa de construção de aplicativos. Disponível em: <https://ninjamock.com/>. Acesso em 03 abril 2021.

OONINCX, D. G. A. B; VAN DER POEL, A. F. B. Effects of diet on the chemical composition of migratory locusts (*Locusta migratoria*). **Zoo Biology**, v. 30, p. 9–16. 2011. doi.org/10.1002/zoo.20308.

OONINCX, D. G. A. B; VAN ITTERBEECK, J.; HEETKAMP, M.J.W; VAN DEN BRAND, H.; VAN LOON, J. J. A; VAN HUIS, A. An exploration of the production of greenhouse gases and ammonia by insect species suitable for animal or human consumption. **Journals PLoS One**, v. 5, e14445. 2010. doi.org/10.1371/journal.pone.0014445.

OMS – **ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE**. Disponível em:
<https://www.who.int/eportuguese/countries/bra/pt/>. Acesso em 03 abril 2021.

PALLOTTINO, F.; HAKOLA, L.; COSTA, C.; ANTONUCCI, F; FIGORILLI, S. SEISTO, A; MENESATTI, P. Printing on Food or Food Printing: a Review. **Food Bioprocess Technol**, v. 9, n. 5, p. 725-733, 2016. doi:10.1007/s11947-016-1692-3.

RAMOS-ELORDUY, J. The importance of edible insects in the nutrition and economy of people of the rural areas of Mexico. **Ecology of Food and Nutrition**, v. 36, p. 347–366. 1997. doi:10.1080/03670244.1997.9991524.

RAMOS-ELORDUY, J.; GONZALEZ, E. A.; HERNANDEZ, A. R.; PINO, J. M. Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to recycle organic waste and as feed for broilers. **Journal of Economic Entomology**. v. 95, p. 214–220. 2002. doi.org/10.1603/0022-0493-95.1.214.

RAMOS-ELORDUY, J.; COSTA NETO, E. M.; PINO, J. M.; CORREA, M. S .C.; GARCIA-FIGUEROA, J.; ZETINA, D.H. Knowledge about useful entomofauna in the municipality of La Purisima Palmar de Bravo, Estado de Puebla, México. **Biotemas**, v. 20, p. 121–134. 2007. doi.org/10.5007/%25x.

RATTI, C. Hot-air and freeze-drying of high value foods: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 311-319. 2001. doi:10.1016/s0260-8774(00)00228-4.

RUMPOLD, B. A.; SCHLÜTER, O. K. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 57, p. 802-823. 2013. doi:10.1002/mnfr.201200735.

RUMPOLD, B. A.; SCHLÜTER, O. K. Insect-based protein sources and their potential for human consumption: Nutritional composition and processing. **Animal Frontiers**, v. 5, p. 20–24. 2015. doi:10.2527/af.2015-0015.

SADIA, M.; SOSNICKA, A.; ARAFAT, B.; ISREB, A.; AHMED, W.; KELARAKIS, A.; ALHNAN, M. A. Adaptation of pharmaceutical excipients for 3D FDM printing for the manufacture of personalized immediate-release tablets for the patient. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 513, 659-668. 2016. doi.org/10.1016/j.ijpharm.2016.09.050.

SCARLATO, R. C; MIRANDA, N. G. M; COSTA, R. S, SIMÕES, K. M. A. Determinação do teor de proteínas e carboidratos totais em suplementos tipo Whey Protein. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 75, p. 1701. 2015.

SCHUTYSER, M. A. I; HOULDER, S.; DE WIT, M.; BUIJSSE, C. A. P; ALTING, A. C. Molten deposition dispersion modeling of sodium caseinate. **Journal of Food Engineering**. p. 203-218. 2018. doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.02.004.

SEVERINI, C.; DEROSI, A.; AZZOLLINI, D. Variables affecting the printability of foods: preliminary tests on cereal-based products. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 38, p. 281-291. 2016. doi.org/10.1016/j.ifset.2016.10.001.

SEVERINI, C.; DEROSI, A.; RICCI, I.; CAPORIZZI, R.; FIORE, A. Printing a blend of fruit and vegetables. New advances on critical variables and shelf life of 3D edible objects. **Journal of Food Engineering**, v. 220, p. 89-100. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.08.025>.

SOARES, S. Insects Au Gratin - An Investigation into the Experiences of Developing a 3D Printer that uses Insect Protein Based Flour as a Building Medium for the Production of Sustainable Food. **International conference on engineering and product design education**. University of Twente, the netherlands. 2014, p. 426-431. ISBN: 978-1-904670-56-8.

SRIVASTAVA, S. K.; BABU, N.; PANDEY, H. Practices of entomophagy and entomotherapy by members of the Nyishi and Galo tribes, two ethnic groups of the state of Arunachal Pradesh (North-East India). **Indian Journal Tradit. Knowl**, v. 8, p. 485-494. 2009. doi:10.1186/1746-4269-7-5.

STEINFELD, H.; GERBER, P.; WASSENAAR, T.; CASTEL, V.; ROSALES, M.; DE HAAN, C. **Livestock's. Long Shadow**: environmental issues and options. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Book. Roma, 390 p. 2006.

SUN, J.; PENG, Z.; ZHOU, W.; FUH, J. Y. H.; HONG, G. S.; CHIU, A. A review on 3D printing for customized food fabrication. **Procedia Manufacturing**, v. 1, p. 308-319. 2015. doi.org/10.1016/j.promfg.2015.09.057.

SUN, J.; ZHOU, W.; YAN, L.; HUANG, D.; LIN, L. Extrusion-based food printing for digitalized food design and nutrition control. **Journal of Food Engineering**, v. 220, p. 1-11. 2018. doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.02.028.

UNITED NATIONS. UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, POPULATION DIVISION. World Population Prospects, **The 2017 Revision**, Volume I: Comprehensive Tables. 2017. Disponível em: https://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/WPP2017_Volume-I_Comprehensive-Tables.pdf. Acesso em 02 abril 2021.

USDA. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE. **National Nutrient Database for Standard Reference, Release 28**. 2016. Disponível em: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/>. Acesso em 25 abril 2021.

USDA. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE. **National Nutrient Database for Standard Reference, Release 28**. Contains data for all food items but not all nutrient values--starch, fluoride, betaine, vitamin D2 and D3, added vitamin E, added vitamin B12, alcohol, caffeine, theobromine, phytosterols, individual amino acids, individual fatty acids, or individual sugars are not included. These data are presented per 100 grams, edible portion. Up to two household measures are also provided, allowing the user to calculate the values per household measure, if desired. Disponível em: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/>. Acesso em 02 abril 2021.

VAN DER LINDEN, D. **3D Food Printing. Creating Shapes and Textures Review**. 2015. Disponível em: https://www.tno.nl/media/5517/3d_food_printing_march_2015.pdf. Acesso em 03 abril 2021.

VANCAUWENBERGHE, V.; KATALAGARIANAKIS, L.; WANG, Z.; MEERTS, M.; HERTOOG, M.; VERBOVEN, P. Pectin-based food ink formulations for 3-D printing of customizable porous food simulators. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 42, p. 138-150. 2017. doi:10.1016/j.ifset.2017.06.011.

VANCAUWENBERGHE, V.; DELELE, M. A.; VANBIERVLIET, J.; AREGAWI, W.; VERBOVEN, P.; LAMMERTYN, J.; NICOLAÏ, B. Model-based design and validation of food texture of 3D printed pectin-based food simulants. **Journal of Food Engineering**, v. 231, p. 72–82. 2018. doi:10.1016/j.jfoodeng.2018.03.010.

VAN HUIS, A. Opinion: bugs can solve the food crisis. **The Scientist**, Sept, 2010. Disponível em:<http://www.thescientist.com/?articles.view/articleNo/29292/title/Opinion--Bugs-cansolve-food-crisis/>. Acesso em 02 abril 2021.

VAN HUIS, A. Potential of insects as food and feed to ensure food security. **Annual Reviews Entomology**, v. 58, p. 563–583. 2013. doi: 10.1146/annurev-ento-120811-153704.

VAN HUIS, A.; VAN ITTERBEECK, J.; KLUNDER, H.; MERTENS, E.; HALLORAN, A.; MUIR, G.; VANTOMME, P. **Edible insects. Future prospects for food and animal security**. FAO. Roma. 2013. 201 p. ISBN 978-92-5-107595-1.

VAN HUIS, A. Edible insects are the future? Proceedings of the Nutrition Society. **Conference on The future of animal products in the human diet: health and environmental concerns**, v. 75, p. 294–305. 2016. doi:10.1017/s0029665116000069.

WANG, L., ZHANG, M., BHANDARI, B.; YANG, C. Investigation on fish surimi gel as promising food material for 3D printing. **Journal of Food Engineering**, v. 220, p. 101–108. 2018. doi:10.1016/j.jfoodeng.2017.02.029.

WANG, X.; AO, Q.; TIAN, X.; FAN, J.; TONG, H.; HOU, W.; BAI, S. Gelatin-Based Hydrogels for Organ 3D Bioprinting. **Polymers**, v. 9, p. 401. 2017. doi:10.3390/polym9090401.

WOMENI, H. M.; LINDER, M.; TIENCHEU, B.; MBIAPO, F. T.; VILLENEUVE, P.; FANNI, J.; PARMENTIER, M. Oils of insects and larvae consumed in Africa: potential sources of polyunsaturated fatty acids. *Oléagineux, Corps Gras, Lipides. Nutrition Santé*, v. 16, p. 230–235. 2009. doi:10.1051/ocl.2009.0279.

YANG, F.; ZHANG, M.; BHANDARI, B.; LIU, Y. Research on lemon juice gel as a food material for 3D printing and optimization of printing parameters. **LWT - Food Science and Technology**, v. 87, p. 67-76. 2018A. doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.054.

YANG, F.; ZHANG, M.; PRAKASH, S.; LIU, Y. Physical properties of the 3D printed baking dough were affected by different compositions. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. 2018B. doi.org/10.1016/j.ifset.2018.01.001.