

UFU – UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

CURSO DE NUTRIÇÃO

MONIQUE FABRICIO REZENDE

**AVALIAÇÃO DE POSSÍVEIS INGREDIENTES FONTES DE PROTEÍNAS PARA
IMPRESSÃO 3D DE ALIMENTOS**

UBERLÂNDIA - MG
2024

MONIQUE FABRICIO REZENDE

Avaliação de Possíveis Ingredientes Fontes de Proteínas Para Impressão 3D de Alimentos

Artigo de Revisão apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Nutrição à banca examinadora da Universidade Federal de Uberlândia, sob a orientação da Prof.^a Dr.^a Vivian Consuelo Reolon Schmidt.

UBERLÂNDIA - MG
2024

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois é Ele que me deu e me dá forças todos os dias para que eu siga Seus caminhos e Seus propósitos em minha vida. Espero que um dia eu faça por Ele o meu propósito na Terra. Agradeço pela família que me deu, pela vida abençoada e por me proteger de todo o mal.

Agradeço a minha família, pois sem eles não sou nada. Obrigada Mãe e Pai por nunca saírem do meu lado e por investirem tanto na minha educação, por me permitir sonhar com tudo que eu almejo ser um dia dentro da minha profissão. Vocês são meus exemplos.

As minhas irmãs, por me ajudar tanto e me escutar sempre, obrigada por terem feito parte da minha infância e continuarem sendo minhas melhores amigas durante a vida, sem dúvidas não existem pessoas melhores que poderiam crescer comigo. Vocês são um pedaço em mim.

Ao meu namorado, Arthur, que sempre me apoiou em todas as minhas ideias e esteve ao meu lado em todo o processo de crescimento ao longo da minha faculdade, sonhando junto comigo.

A minha orientadora, professora Doutora Vivian Consuelo Reolon Schmidt, que acompanhou meu crescimento ao longo desses 5 anos de formação, me auxiliando sempre que precisei e sendo um exemplo para mim. Obrigada pela paciência ao longo desse processo e por ter compartilhado tanto comigo, não só de conhecimentos como de experiências de vida e ensinamentos.

Agradeço aos meus professores, espero ter transmitido o respeito que sinto por vocês e o orgulho que tenho por ter tido vocês como meus mentores, dei meu máximo para absorver e aprender todos os ensinamentos que vocês me deram. Foram fundamentais não só para que eu me tornasse a profissional que serei, mas me ensinaram sobre a vida.

Agradeço ao meu mentor, Victor Maffei, por enxergar e me mostrar meu potencial, acreditando e confiando sempre em mim. Obrigada por ser uma inspiração profissional diária.

Aos meus amigos, que me acompanharam em toda essa jornada, que tiraram minhas risadas mais sinceras e que trouxe leveza em todo o processo. Obrigada por me mostrarem luz quando eu só enxergava o escuro. Vocês são meu porto seguro.

Aos meus avós, origens da minha família, honro e respeito vocês. Obrigada por serem raízes tão fortes e serem tão presentes não só no sangue como na vida. Agradeço especialmente a minha Vó Ana, a matriarca da minha família. Perder você durante o processo desse trabalho foi muito difícil para nós, mas tenho certeza de que foi você que me deu forças ai de cima para que eu conseguisse finalizar.

Aos meus padrinhos, meus segundos pais, por me acompanharem nessa jornada e se disponibilizarem sempre que eu precisasse.

A minha cadelinha Nina, por ter sido meu apoio emocional por tantos anos. Ter visto você crescer junto comigo foi incrível, obrigada por tudo que me ensinou, te perder nesse processo foi muito difícil.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma se fizeram presentes na minha vida ao longo do desenvolvimento desse trabalho, me mostrando como sou forte e capaz de realizar meus objetivos, me ajudando a encerrar mais uma jornada.

“A vida é como andar de bicicleta. Para manter o equilíbrio, você deve continuar se movendo.”

(Albert Einstein)

RESUMO

O objetivo deste estudo é o levantamento bibliográfico da inserção dos alimentos 3D na rotina da população mundial. Iniciada na China e em constante crescimento para os demais países do mundo. Diante de cenários ambientais, culturais e econômicos desafiadores, os alimentos 3D tendem a ser inseridos no cotidiano da população como os grandes substitutos da proteína animal. Neste artigo foram abordados possíveis fontes de proteína alternativas a proteína da carne, como proteína de soja, de leguminosas, grãos, leite, insetos, algas marinhas, folhas, biomassa e cogumelos. Além disso, é apresentado a possibilidade da união desses alimentos para formar novos alimentos. Assim, com novas pesquisas surgindo e a nova geração Z crescendo, o estudo mostra que a possibilidade de avanços com a tecnologia de alimentos impressos em 3D torna-se cada vez mais real. Por fim, é concluído que a impressão 3D de alimentos poderá impactar diretamente na saúde do meio ambiente e do ser humano, trazendo novos caminhos e esperanças para que o futuro aconteça de forma segura e nutritiva.

Palavras-chaves: Alimentos 3D; Proteínas alternativas; Meio ambiente; Nova revolução industrial; Insetos e alimentação.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. METODOLOGIA.....	8
3. DESAFIOS NA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS 3D.....	11
4. A INTRODUÇÃO DOS ALIMENTOS 3D COMO ALTERNATIVA À PROTEÍNA ANIMAL	13
5. INGREDIENTES PARA A IMPRESSÃO 3D	14
6. OS IMPACTOS E DESAFIOS DA ALIMENTAÇÃO 3D NA SOCIEDADE.....	20
7. CONCLUSÃO.....	22
8. REFERÊNCIAS	22

1. INTRODUÇÃO

A impressão tridimensional (impressão 3D) é um processo em que estruturas criadas por meio de softwares são enviadas para uma impressora que as reproduz em um modelo tridimensional, sobrepondo camadas de materiais utilizados como base de impressão. Esta tecnologia permite a individualização das necessidades do consumidor ao personalizar suas demandas, e abrange, inclusive, o mercado de alimentos. Com isso, é criado um alimento através da impressão 3D sem que o tempo e a natureza atuem para seu surgimento acontecer, sendo este próprio para consumo humano (DONG, H., 2022). O alimento impresso nada mais é do que um alimento pronto preparado por meio de uma base de massa em pó ou em pasta e por biotintas que são elaborados com micro e macronutrientes de outros alimentos que, em conjunto, formam um novo alimento (LV,Y. et al., 2023).

O alimento 3D impresso é caracterizado por ser feito a partir de pigmentos alimentícios que podem ser constituídos de diversos tipos de fontes, como amido, gelatina, alginato de sódio etc., que compõem uma matriz para impressão, com ênfase nos nutrientes faltantes para cada indivíduo. (DONG, H., 2022).

A procura por alimentos 3D vêm crescendo, se tornando uma opção para dietas especiais ou para consumo de proteínas alternativas às presentes na carne. Esses alimentos podem ser feitos para atender públicos específicos, como dietas que pedem uma concentração maior de proteínas ou para atingir uma composição de macronutrientes específicos. Além disso, podem ser produzidas para fins específicos como alimentos aeroespaciais, nutrição enteral e parenteral ou para alguns tipos de distúrbios nutricionais (DEMEI, K. et al., 2022).

Diversos ingredientes podem ser utilizados como matéria-prima para a elaboração da massa e da tinta do alimento 3D, dentre eles os principais são a soja, ervilha, grão de bico, arroz, trigo, lentilha, batata, leite, folhas, insetos, algas marinhas e cogumelos. Todos possuem composições interessantes, que trazem textura, cor, sabor e nutrientes para o alimento que será produzido (KUMAR, P., 2022).

Os principais países produtores de alimentos impressos em 3D são a China, o Reino Unido, o Canadá, a Espanha, os Estados Unidos e a Polónia, estes países já estão avançados nos estudos sobre o tema e, atualmente, estão em fase de regularização de produto (BAIANO, A., 2022). Ademais, esse mercado vem se expandindo para inúmeros outros países, incluindo o Brasil, que já presenciou feiras gastronômicas, como a *Printer Chefé* para apresentar esse

produto ao país na 15ª edição do evento *Campus Party* Brasil em 2023 (CHARELLI, L., 2023).

O Alimento 3D, além de potencialmente nutritivo, é capaz de evitar os impactos que a produção em massa dos alimentos vem causando no mundo atual, como por exemplo o desperdício e a consequente geração de lixos orgânicos, o consumo excessivo de água no mercado agropecuário e a liberação de gases danosos ao meio ambiente (DONG, H., 2022). As empresas vêm se mostrando preocupadas com a preservação da natureza, e o mercado tende a dar maior destaque a esses negócios a partir de agora (LEE, K. H. et al., 2021).

Apesar de toda a inovação, o medo/receio de um alimento novo ou desconhecido pela população deve aumentar conforme a tecnologia avança, mostrando que a impressão 3D de alimentos é, ainda, um objeto estranho que deve ser discutido diante de crenças populares sem qualquer embasamento científico (LEE, K. H. et al., 2021).

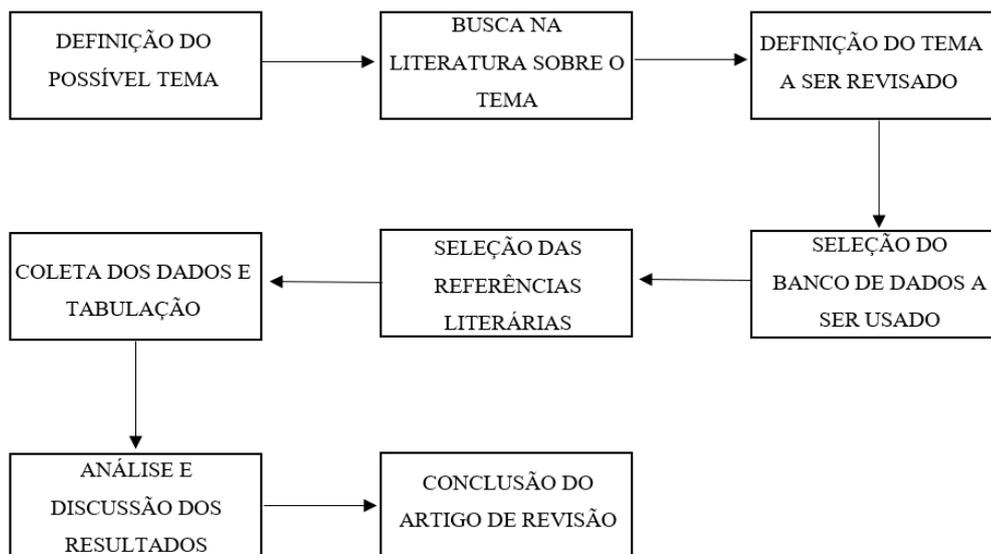
O intuito desta pesquisa é realizar um levantamento bibliográfico sobre possíveis ingredientes fontes de proteínas para impressão 3D de alimentos, sendo demonstrado como podemos avançar na alimentação utilizando a tecnologia, criando alimentos com substratos que aumentem seu valor nutricional em questão proteica. Assim, pode-se ajudar a sociedade com novas opções para diminuir ou eliminar o consumo de carne sem perder seus nutrientes essenciais na alimentação.

2. METODOLOGIA

A revisão bibliográfica é uma importante metodologia de estudo, pois analisa pesquisas anteriores para comprovar hipóteses, adquirindo novos conhecimentos sobre o assunto pesquisado (SILVA DE SOUSA, A. et al., 2021). Por isso, o planejamento desta pesquisa foi delineado de acordo com a Figura 1.

A metodologia utilizada foi a pesquisa bibliográfica em artigos selecionados das bases de dados PUBMED, ELSEVIER e ESCOPUS utilizando as seguintes palavras chaves: *3D food print AND alternative proteins*. A Figura 2 apresenta como foram selecionados os artigos. Foram achados 47 artigos, sendo 13 da base de dados ELSEVIER, 32 do PUBMED e apenas 2 do ESCOPUS. Todos os artigos foram publicados a partir de 2019. Em 2023, os artigos relacionados tiveram maior volume de publicação.

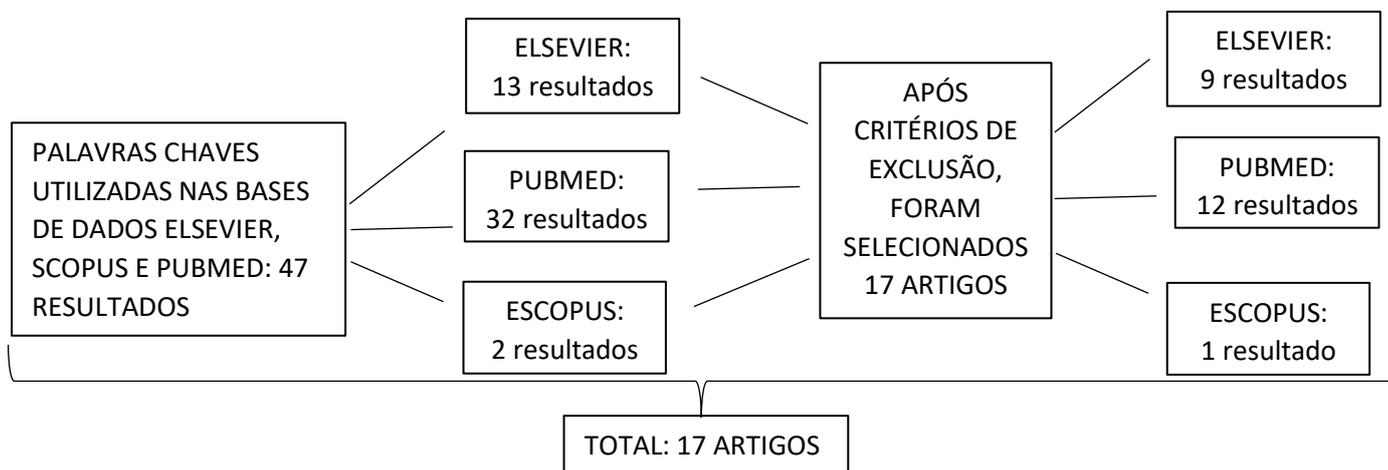
Figura 1: Fluxograma da revisão bibliográfica



Fonte: Própria autora.

Dentre os 47 artigos, foram aplicados critérios de exclusão, utilizando apenas aqueles que fossem de acesso gratuito e que tivessem o título relacionado ao tema. Por fim, alguns artigos se repetiam nos bancos de dados, sendo selecionados apenas 17 artigos, conforme apresentado na tabela 1.

Figura 2. Estratégia de busca e seleção de artigos nas bases de dados.



Fonte: Própria autora.

Tabela 1. Caracterização dos artigos incluídos no estudo.

BANCO DE DADOS	ARTIGO	Referência
SCIENCEDIRECT	Toward the design of functional foods and biobased products by 3D printing: A review	Stéphane Portanguen, et al., 2019
PUBMED	3D printing of milk-based product	Cheng Pau Lee, et al., 2020
PUBMED	Plant-Based Seafood Analogs	Meital Kazir and Yoav D. Livney, 2021
PUBMED	Technological interventions in improving the functionality of proteins during processing of meat analogs	Pavan Kumar, et al., 2022
PUBMED	Consumer acceptance of new food trends resulting from the fourth industrial revolution technologies: A narrative review of literature and future perspectives	Abdo Hassoun and Janna Cropotova, et al., 2022
PUBMED E SCIENCEDIRECT	Structural characterization and fluidness analysis of lactose/whey protein isolate composite hydrocolloids as printing materials for 3D printing	Fanghui Fan, et al., 2022
SCIENCEDIRECT	Systematic Engineering approach for optimization of multi-component alternative protein-fortified 3D printing food Ink	Yi Zhang, et al., 2022
SCIENCEDIRECT	Promising perspectives on novel protein food sources combining artificial intelligence and 3D food printing for food industry	Manuela Gallón Bedoy, et al., 2022
PUBMED	Developments in Plant Proteins Production for Meat and Fish Analogues	Malgorzata Nowacka, et al., 2023
PUBMED	Nordic Crops as Alternatives to Soy—An Overview of Nutritional, Sensory, and Functional Properties	Jaqueline Auer, et al., 2023
PUBMED E SCIENCEDIRECT	3-D printed meat alternatives based on pea and single cell proteins and hydrocolloids: Effect of paste formulation on process-induced fibre alignment and structural and textural properties	Alex Calton, et al., 2023
PUBMED E SCIENCEDIRECT E SCOPUS	3D printable vegan plant-based meat analogue: Fortification with three different mushrooms, investigation of printability, and characterization	Evren Demircan, et al., 2023
PUBMED E SCIENCEDIRECT	Effect of compositions and physical properties on 3D printability of gels from selected commercial edible insects: Role of protein and chitin	Weiwei Zhang, et al., 2023

Fonte: Própria Autora.

Tabela 1. Caracterização dos artigos incluídos no estudo (continuação).

BANCO DE DADOS	ARTIGO	Referência
SCIENCEDIRECT	Shape transformation of 4D printed edible insects triggered by thermal dehydration	Susita Noree, et al., 2023
PUBMED	Reducing meat consumption in Central Asia through 3D printing of plant-based protein—enhanced alternatives—a mini review	Ulanbek Auyeskhana, et al., 2024
PUBMED	Development of Healthy Snacks Incorporating Meal from <i>Tenebrio molitor</i> and <i>Alphitobius diaperinus</i> Using 3D Printing Technology	Francisco Madail Herdeiro, et al., 2024
SCIENCEDIRECT	Drying technologies of novel food resources for future foods: Progress, challenges and application prospects	Qing Guo, et al., 2024

Fonte: Própria Autora.

Para análises dos dados das publicações incluídas e sua síntese final, foram levados em consideração os objetivos, resultados e conclusões de cada estudo. As principais informações relativas aos estudos foram sistematizadas em um quadro-síntese que destaca autoria, ano de publicação, base de dados, delineamento do estudo, objetivos e os efeitos colaterais/consequências descritas. Assim, os artigos foram distribuídos em 4 categorias: Contexto histórico; Introdução da alimentação 3D como alternativa à proteína animal; alimentos utilizados como matéria prima para impressão 3D; os impactos e desafios da alimentação 3D na sociedade.

3. DESAFIOS NA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS 3D

Os desafios globais alcançam níveis sociais, ambientais e econômicos. No âmbito alimentar os impactos não são diferentes. Os alimentos estão ficando cada vez mais caros, o meio ambiente precisa ser preservado e a demanda por novas fontes de nutrientes e proteínas está cada vez mais latente (HASSOUN, A. et al., 2022).

A criação de gado para alimentação, por exemplo, causa significativamente mais poluição, como a utilização da água e do solo, emissões de gases com efeito de estufa e perda de biodiversidade do que o cultivo de plantas. Os gases de efeito estufa são, em 37%, causados pela fabricação de alimentos. Dentre a fabricação de alimentos, a produção de alimentos de origem animal é responsável por 57% desses gases (XU, X. et al., 2021).

Os sistemas de produção alimentar, principalmente a produção de alimentos de origem animal, têm contribuído significativamente para as alterações climáticas e para o desenvolvimento insustentável. Por razões de saúde humana e de recursos naturais, um sistema alimentar sustentável que direcione a população mundial para menos alimentos de origem animal e mais alimentos alternativos é potencialmente benéfico. Padrões alimentares ricos em grãos integrais minimamente processados, vegetais, frutas, nozes e legumes têm sido recomendados para aumentar a sustentabilidade e a saúde humana (RAMACHANDRAIAH, K., 2021).

O grupo de vegetarianos e veganos também vêm aumentando conforme a preocupação com o meio ambiente se torna cada vez mais urgente e a ética mais presente. Foi observado que nos EUA (Estados Unidos da América), a composição dessa vertente aumentou em 500% o número de pessoas em 3 anos (entre 2014-2017) (ALCORTA, A. et al., 2021).

É importante ressaltar que alguns países podem ter o número aumentado do uso de alimentos alternativos aos de origem animal por conta da desvalorização da moeda, e não apenas por questões éticas e ambientais (LIU, F. et al, 2023).

Importante destacar que 80% do valor comercial pago pelos alimentos se refere a sua fase de produção, fazendo com que a busca dos novos alimentos traga consigo também a facilitação do desenvolvimento destes, garantindo um menor custo, mas com qualidade e baixo impacto ambiental (GARCIA, G. et al., 2021).

O avanço da tecnologia será um importante fator para a manutenção da população futura, uma vez que estudos mostram uma perspectiva de 10 bilhões de habitantes na terra até 2050, ou seja, um aumento de 25% em relação à população atual de 8 bilhões de pessoas no mundo (AZIZ, U., 2024).

Com o aumento da população, da poluição, do desmatamento e do valor dos alimentos nos supermercados mundiais, a população tende a sofrer com restrições ao acesso de alimentos, principalmente da carne, o que ocasionará a busca por alternativas para complementar as proteínas e os aminoácidos essenciais, como as vitaminas do complexo B, essenciais para a qualidade de vida do ser humano (LIU, F. et al, 2023).

Por isso, medidas começaram a ser tomadas para que um futuro alimentar mais saudável e sustentável a longo prazo seja desenvolvido. Para isso, métodos de produção alternativos, capazes de proporcionar alimentos com menor destruição ambiental e serem mais acessíveis, além de possuírem características nutricionais e sensoriais semelhantes ou até

melhores que as dos produtos de origem animal passaram a ser construídos (LIU, F. et al., 2023).

4. A INTRODUÇÃO DOS ALIMENTOS 3D COMO ALTERNATIVA À PROTEÍNA ANIMAL

Os alimentos 3D impressos estão sendo estudados e desenvolvidos para serem inseridos ao cotidiano alimentar humano mundial como alternativa ao alimento de origem animal, tendo em vista sua baixa necessidade de uso de terra e água, a não produção de gases com efeito de estufa, a garantia de melhoria do bem-estar animal e a melhor qualidade alimentar dos seres humanos (CHRIKI, S., HOCQUETTE, J., 2020).

O consumo da proteína animal possui várias vantagens, no entanto, as desvantagens devem ser observadas. Apesar de ser um alimento completo para o ser humano, contendo uma alta concentração de proteínas e todos os aminoácidos essenciais, muitos dos cortes contém uma grande quantidade de colesterol, uma gordura que não é recomendada o consumo para a saúde do ser humano (GUO, Z. et al., 2020).

Além disso, de acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), a carne processada é classificada no primeiro grupo de risco cancerígeno, seguido pelas carnes *in natura*, classificadas como prováveis causadoras de câncer quando consumidas em excesso. Assim, a redução do consumo de proteínas de origem animal vem se mostrando necessária, tendo como recomendação uma alimentação composta essencialmente de vegetais, contribuindo para a saúde pública (AIKING, H., 2020).

A impressão 3D de alimentos, conhecida também como fabricação rápida, prototipagem rápida, fabricação livre e fabricação sólida de forma livre, contribuem significativamente para essa recomendação. Assim, é possível criar diversos pratos e alimentos que contenham características das proteínas animais, utilizando diversos compostos alimentares diferentes da carne para desenvolverem refeições com as proteínas e nutrientes necessários para uma dieta humana balanceada (JANDYAL, M. et al., 2011).

De acordo com um estudo realizado por Lei Sha e Youling L Xiong para a revista *Trends in Food Science & Technology* em 2020, é possível utilizar soja, leguminosas, vegetais, folhas, algas, cogumelos, insetos e diversas outras matérias primas para se produzir um alimento 3D com os compostos nutricionais que substituem a carne para consumo humano.

Essa técnica permite a produção de alimentos sob demanda, com complexos vitamínicos e nutrientes customizados e individualizados para cada necessidade. Além disso, permite a customização de alimentos com base nas necessidades nutricionais, consumo de calorias, textura, formato, sabor ou cor precisos, auxiliando, ainda, na introdução alimentar de pessoas com forte resistência às texturas de alimentos específicos, além de permitir o consumo de “carnes” de origem não animal por veganos e vegetarianos, aumentando a carga de proteínas na dieta dessas pessoas (LE-BAIL, A. et al., 2020).

5. INGREDIENTES PARA A IMPRESSÃO 3D

As principais aplicações alimentares 3D baseiam-se na utilização de ingredientes alternativos, incluindo diferentes isolados de microrganismos, insetos, resíduos alimentares e algas (RAMACHANDRAIAH, K., 2021). A tendência é que as proteínas totais em 2040 seja 60% de fontes alternativas à carne animal (SHA, L., XIONG, Y. L., 2020), por isso, é importante que estudos de alimentos diversos sejam realizados para compor a produção dos alimentos 3D.

Soja

A proteína de soja, atualmente, já é conhecida popularmente por conseguir suprir e substituir a carne, principalmente em dietas restritas em carne. Além disso, a soja possui diversos tipos de manipulação (como o uso da farinha de soja ou do leite de soja), aumentando sua aceitação dentro de diversos grupos sociais e podendo ser usada também como fonte de alimento proteico, suplementação e fibra (KUMAR, P., 2022).

Os principais produtos proteicos da soja são farinha de soja (40% de teor de proteína), farinha/flocos de soja desengordurados (44-54% de teor de proteína), concentrado de proteína de soja (SPC, 65-70% de teor de proteína) e isolados de proteína de soja (SPI, 85–90% de conteúdo de proteína) (NOWACKA, M. et al., 2023).

Dentro da impressão 3D, suas propriedades estruturais e nutricionais também chamam a atenção, sendo um ótimo produto a ser manipulado, contendo todos os aminoácidos essenciais, ou seja, todos aqueles que precisamos ingerir porque nosso corpo não é capaz de produzir ou não produz em quantidades necessárias. Alimentos à base de soja impressos em 3D podem exibir características aprimoradas, como dureza, resiliência, coesão, elasticidade e mastigabilidade (NOWACKA, M. et al., 2023).

Proteínas de Leguminosas

As leguminosas são comumente utilizadas na dieta da população mundial, uma vez que é um alimento nutritivo com grandes quantidades de aminoácidos essenciais, com fibras. Ademais, podem apresentar macronutrientes em maiores concentrações, como é o caso da proteína, que pode atingir até 30% do peso seco (BESSADA, S. M. F. et al., 2019).

As leguminosas estão sendo usadas para produzir análogos de carne à base de proteínas vegetais, principalmente por serem isentos de glúten e possuírem baixo teor alergênico, com melhores atributos texturais e nutricionais. Além disso, são uma fonte rica em fibras alimentares, vitaminas, minerais e são pobres em gorduras saturadas. Entretanto, cada leguminosa pode apresentar diferentes concentrações de cada nutriente, mostrando a necessidade de combiná-los nas refeições. Alguns legumes são bastante interessantes para a impressão 3D de alimentos, tais como ervilhas, grão de bico e lentilha (BESSADA, S. M. F. et al., 2019).

As ervilhas possuem alto valor nutricional e adaptabilidade, com poder de aumentar em mais de 20% o teor proteico de alimento. É um ótimo ingrediente de manipulação por apresentar diversas texturas e estabilidades, além de serem hipoalérgicas. São muito frequentemente utilizadas com outros materiais vegetais porque têm a capacidade de complementar as suas funções nutricionais (BOUKID, F., 2021).

O grão de bico também possui todos os aminoácidos essenciais em boa quantidade, além de possuir concentrações de outros micronutrientes importantes para a imunidade. Outro fator é a concentração proteica, que pode chegar até 70% do peso seco/farinha. Seus principais efeitos negativos são a inativação de enzimas digestivas e a hipersecreção de líquido pancreático (GOLDSTEIN, N., REIFEN, R., 2022).

Por fim, as lentilhas são ricas em proteína e fibras, podem ser utilizadas com diversas estruturas, como em pó ou pasta e possuem sabor personalizável (ALROSAN, M. et al., 2022).

Proteínas de Cereais

As proteínas advindas dos grãos são obtidas a partir de cereais, sendo os três principais o glúten, a zeína (proteína do milho) e a proteína do arroz.

A proteína do trigo possui propriedades estruturais interessantes para a impressão 3D, porém não possui um valor nutricional considerável (YULIARTI, O. et al., 2021). O glúten é a principal proteína de armazenamento do trigo, que é composto por centenas de proteínas,

sendo a gliadina e a glutenina responsáveis por 85 a 90% da proteína total do trigo e a albumina e a globulina por 10 a 15% da proteína total. O glúten é conhecido por suas propriedades funcionais, mas não pode ser consumido por pessoas com doença celíaca ou sensibilidade ao glúten (BOUKID, F. et al., 2021).

O trigo sarraceno é isento de glúten e altamente nutritivo, sendo atrativo para a impressão 3D por sua incrível capacidade de aplicação, sendo considerado um ingrediente único e especial. É rico em proteínas e fibras, antioxidantes e reduz o nível de colesterol. É um material abundante em vitamina B6, magnésio, zinco e outros minerais (LIANGKUI, LI. et al., 2018).

Já a proteína do arroz possui alguns aminoácidos essenciais, com 10-20% de proteína no peso seco, e sua digestibilidade é consideravelmente boa. É uma opção hipoalergênica e pode ser consumida por qualquer pessoa (AMAGLIANI, L. et al., 2017).

O milho possui de 8 a 11% de proteína, conhecida como zeína. Ela pode ser usada para gerar fibras, complementar os valores nutricionais dos demais ingredientes e estabilizar a massa a ser usada para imprimir o alimento 3D (KUMAR, P., 2022).

Alguns cereais grossos, como aveia e quinoa, também podem ser utilizados, pois além de serem ótimos ingredientes para fortificar os alimentos, são fontes de fibras e ajudam a reduzir as doenças do século, como diabetes e hipertensão, regulando os indicadores sanguíneos (SUN, J. et al., 2023).

Leite

O leite possui diversas estruturas que contribuem com a impressão 3D, como o pó ou o creme. Porém, altas temperaturas podem interferir nos nutrientes que compõem esse alimento, sendo eles sensíveis. As diferentes estruturas podem ser utilizadas como aditivos para facilitar a impressão, ajudando a reproduzir alimentos análogos a carne (LEE, C. P. et al., 2020). Porém, alguns grupos alimentares não incluem essa proteína animal em sua alimentação, como os veganos, podendo afunilar o público.

Insetos

Os insetos têm sido uma pauta importante no mundo atual, onde compreendem o maior grupo de animais na Terra, e que fornecem uma alta concentração de proteínas entre 9 e 85%, dependendo da espécie e tipo de criação/manipulação. Os países que mais consomem os insetos, de acordo com a FAO estão localizados mais em zonas tropicais, apesar de que alguns

países da zona temperada como a China, Japão e México possuem a entomofagia muito presente (ARNOLD VAN, H., 2013). Além disso, possuem todos os aminoácidos essenciais, e sua digestibilidade alcança entre 76 e 98% (VAUTERIN, A. et al., 2021). Apesar de serem nutricionalmente atraentes, a entomofobia (medo/receio de consumir insetos) ainda é muito presente.

Alguns exemplos, como o grilo, apresentam 75,25% de proteína bruta, a pupa de abelha apresenta 65,81%, o gafanhoto 70%, a minhoca apresenta 36,23% e o escorpião 46,16% de proteína bruta (ZHANG, W. et al., 2024).

Apesar de o uso de insetos in natura não serem amplamente aceitos como alimentos devido a estigmas e preconceitos sociais, os insetos em pó estão sendo amplamente utilizados por sua fácil aceitabilidade, aplicação na impressão 3D e manipulação. Além disso, essa forma de manipulação garante qualidade, ajuda a manter as propriedades nutricionais dos insetos e conserva maior segurança para o consumo desse alimento (VLAHOVA, D., 2023).

Algas Marinhas

As algas marinhas são uma ótima substituição a proteína da carne do peixe, uma vez que possui cheiro e sabor de peixe. Vários pontos positivos englobam a utilização da alga, como a não utilização de terra e nem de água doce para ser adquirida; seu ciclo de manipulação é curto; é uma fonte alimentar altamente sustentável para os seres humanos, possuindo lipídios, polissacarídeos, antioxidantes, vitaminas, polifenóis e fitosteróis (KUSMAYADI, A. et al., 2021). Outro macronutriente interessante é o seu potencial proteico, que é bem significativo, sendo 5 a 30% do peso seco (KUSMAYADI, A. et al., 2021).

Elas são antioxidantes, anti-hipertensivas, imunomoduladoras, anticancerígenas, anticoagulantes e possuem atividades probióticas e antipatogênicas. Apesar das inúmeras vantagens, não são produtos com boa estrutura para aplicação na impressão 3D, porém, combinadas a outros ingredientes, podem resultar em uma biotinta de boa manipulação (TOMASEVIC, I. et al., 2021).

Folhas

Outra fonte alternativa são as folhas, como as folhas de jaca, a planta aquática jacinto-de-água, folha de abóbora, amaranto e folha de amoreira, que, de acordo com alguns estudos, possuem entre 15 e 20% de proteínas do peso seco. Além disso, possuem atividade antioxidante e apresentam boas propriedades funcionais (boa solubilidade e capacidade de

formar e estabilizar espumas) para serem usadas como pó para a massa e para a biotinta na produção do alimento 3D (BEDOYA, M. G. et al., 2022).

Biomassa

A biomassa microbiana de bactérias, leveduras e algas também podem ser uma fonte de proteína, apresentando até 83% de proteína no peso seco. Foi verificado que o rendimento de proteína obtido de microrganismos é 10 vezes maior que o rendimento de proteína da produção de carne. Além disso, podem ser realizadas com poucos recursos e baixo impacto ambiental, tendo em vista que bactérias e fungos podem utilizar resíduos de atividades agroindustriais, pecuárias e humanas e ocupam pouco espaço para se reproduzirem. O uso de diferentes espécies de microrganismos pode produzir fontes de proteína maiores que as proteínas da soja e do soro do leite (BEDOYA, M. G. et al., 2022).

Cogumelos

Por fim, os cogumelos são ingredientes comumente aplicados na fabricação de alimentos para emulsificar carnes e iogurtes. Eles ganham destaque como matéria prima na alimentação 3D, uma vez que melhora as estruturas do alimento fabricado (DAS, A. K. et al., 2021).

Os cogumelos também são fontes alternativas de proteínas, tendo em vista que, de acordo com suas diferentes espécies, uma média aproximada de 30% do seu peso seco é proteico, além de possuir uma boa concentração de aminoácidos essenciais, são benéficos para a saúde, sendo anti-inflamatórios e imunomoduladores (KALAC, P. A., 2012).

Este ingrediente está sendo amplamente utilizado na impressão 3D e possui ótimas características estruturais para essa manipulação, por isso são fortes candidatos para substituir a carne animal, pois, além de possuírem vantagens em quesito de sabor em relação aos vegetais, podem ser utilizadas diversas espécies para se chegar em uma textura apropriada e alcançar nutrientes necessários para diversos fins (DEMIRCAN, E. et al., 2023).

6. Resultados Dos Ingredientes Utilizados Na Impressão Do Alimento 3D

Diferentes tipos de proteínas, carboidratos e gorduras são utilizados na produção de análogos de carne. Intensificadores de sabor, agentes de ligação e texturização e agentes

corantes são outros ingredientes suplementares para a fabricação de alternativas à carne (DEMIRCAN, E. et al., 2023).

Em um recente estudo, realizado na Turquia, foi observado que os alimentos 3D produzidos com a finalidade de replicar a carne são compostos de estimadamente 50-80% de água, 15-25% de proteína, 15% de gordura, 10% de aromatizantes, 1 a 5% de agentes de ligação e 0 a 0,5% de agentes corantes. Cada um desses compostos possui propriedades que incorporam esse análogo, trazendo suculência, emulsificação, plasticidade, hidratação, gelificação, texturização, solubilidade, formação de espuma, viscosidade, ligação, liberação e realce de sabor, formação de massa, maciez, sensação na boca, consistência, estabilidade, formato, aparência em todas as etapas, levando a um aumento de aceitação do produto pelo consumidor (DEMIRCAN, E. et al., 2023).

Neste estudo, formulações análogas à carne foram preparadas usando diferentes fontes de proteína através de três diferentes tipos de cogumelos: *Ganoderma lucidum* (GL); *Lactarius deliciosus* (LD); e *Pleurotus ostreatus* (PO), que foram impressos com sucesso e projetados para se assemelharem a produtos animais em termos de sabor, aparência e textura. Após o cozimento, os análogos de carne demonstraram bons resultados. A fortificação da produção com os cogumelos melhorou o valor nutricional e contribuiu para a liberação de aminoácidos umami, trazendo todas as vantagens citadas anteriormente (DEMIRCAN, E. et al., 2023).

Em outra pesquisa desenvolvida em Portugal, foram criados lanches 3D com insetos *Tenébrio Molitor* e *Alphitobius diaperinus*. Esse estudo evidenciou um aumento na concentração de proteínas, redução da umidade e aumento de gordura e outros minerais como potássio, magnésio, fósforo, enxofre, cobre e zinco nos produtos desenvolvidos. (HERDEIRO, F. M. et al., 2024).

Após a análise dos diversos estudos citados, foi possível verificar que a produção dos alimentos 3D já está sendo realizada em níveis elevados de qualidade, nutrição e segurança. A implementação desse cardápio alternativo e altamente tecnológico no dia a dia da população mundial está próxima de acontecer (LV, Y. et al., 2023). A alimentação 3D pode ser uma excelente alternativa para o enfrentamento dos desafios ambientais, sociais e econômicos mundiais, além de trazer produtos nutritivos, com alto teor de proteínas, aminoácidos essenciais e gorduras para a população, combinado com qualidade na suculência, sabor, textura e cor do alimento produzido.

7. OS IMPACTOS E DESAFIOS DA ALIMENTAÇÃO 3D NA SOCIEDADE

As tecnologias de impressão 3D de alimentos estão produzindo produtos baseados na demanda dos indivíduos que os consomem. Alguns alimentos, inclusive, podem tratar doenças relacionadas à alimentação, como diabetes e obesidade, e se adaptar às dietas que possuem hábitos nutricionais pessoais, como os vegetarianos e veganos (ESCALANTE, A. et al.). As tecnologias de impressão 3D de alimentos também podem ter um papel na produção de produtos alimentícios customizados, eliminando substâncias indesejáveis e tornando esses alimentos mais agradáveis ao consumidor (ESCALANTE, A. et al., 2021).

Outra participação que a impressão 3D pode ter é na gastronomia, uma vez que podem ser produzidos diversos pratos com mais nutrientes aplicados, utilizando robôs chefs, também ajudando na padronização do alimento (ROGERS, H.; SRIVASTAVA, M., 2021).

A impressão 3D de alimentos está sendo abordada por diversos autores atualmente e vem aumentando conforme o meio ambiente pede uma trégua da poluição e a tecnologia avança. Os resíduos orgânicos produzidos pelos seres humanos compreendem 33% dos alimentos produzidos para o consumo (PORTANGUEN, S. et al.). Este percentual não inclui apenas aqueles alimentos que não são considerados para a alimentação, mas também alimentos em perfeito estado de conservação, mas que não foram consumidos, são descartados. Por isso, o impacto ambiental da alimentação 3D possui extrema relevância; ela reduz desperdícios, reduz o consumo de água, de carne animal, de emissão de gases e poluição (PORTANGUEN, S. et al., 2019).

Além disso, o mundo atual não possui mais o tempo que tinha para se dedicar a alimentação e seu tempo de preparo, trazendo assim a necessidade de acelerar o tempo de processamento dos alimentos no dia a dia. Com o avanço da tecnologia nos últimos anos, a busca por snacks, alimentos práticos, mas com base nutricional eficiente são procurados, assim, a tendência é que a procura pelos alimentos práticos cresça. Com a impressão 3D, não só é possível construir snacks de diversas formas, mas também compor ele de diversos nutrientes essenciais (BEDOYA, M. G. et al., 2022).

A impressão 3D de alimentos atende a percepção atual do consumidor por buscar alimentos minimamente processados ou *in natura*, com o mínimo ou zero de aditivos alimentares e rótulos limpos. Além de oferecer esse benefício, a impressão de alimento 3D oferece meios alternativos de consumo à proteína animal, mas com valor nutritivo, sabor e textura semelhantes. A geração nascida nos anos 2000, criada no mundo da tecnologia e seus

avanços, traz uma esperança maior na aceitabilidade, diminuindo a quantidade de pessoas com neofobia alimentar, além de contribuir para a disseminação de informação dessa nova tecnologia nas redes sociais. Um a cada dois jovens entre 18 e 24 anos comeriam, futuramente, alimentos produzidos pela impressora 3D de alimentos (PORTANGUEN, S. et al., 2019).

Apesar de ser considerada uma alternativa promissora, ainda existem muitos desafios associados à produção de alimentos impressos. Entre eles, a aparência incomum dos alimentos 3D é uma grande preocupação, conseqüentemente, a aceitabilidade desses alimentos também é um desafio importante que deve ser enfrentado (AYLA, B. 2022) .

Outro desafio consiste na limitação da lista de alimentos imprimíveis, o que contribui para o alto valor gasto na produção do alimento 3D. As matérias primas ainda estão em testes e tendem a ampliar. No entanto, a fabricação do alimento 3D ainda é realizada por tentativa e erro, mostrando que vários testes devem ser realizados com diversos tipos de mistura de ingredientes e nutrientes, ou seja, um amplo leque de possibilidades ainda será testado. Além disso, é necessário produzir metodologias mais eficazes para diminuir a quantidade de erros, prevendo resultados mais desejáveis e evitando perda de recursos e tempo (MOHAMAD SAID, K. A.; MOHAMED AMIN, M.A., 2016).

Além disso, os aspectos de segurança dos alimentos impressos em 3D ainda estão em desenvolvimento e precisam ser aprimorados, tendo em vista que para o seu desenvolvimento é necessário processos de resfriamento e aquecimento de matérias primas, o que torna os alimentos mais suscetíveis ao desenvolvimento de meios microbianos (DEMEI, K. et al., 2022).

Esse método de fabricação de alimentos deve ter uma minuciosidade em questão de vigilância sanitária, uma vez que se trata de um alimento altamente processado e manipulado, podendo trazer inseguranças alimentares, desconfiança dos consumidores nestes produtos, alteração da composição ou degradação nutricional do alimento, requisitando rótulos limpos, eficiência de fabricação, implementação de limites, além de incorporação compensatória de micronutrientes nos alimentos proteicos análogos a carne (PORTANGUEN, S. et al., 2019).

Por ser um alimento novo, sua manipulação ainda não possui regulamentos técnicos e de vigilância sanitária específica. A falta de padronização do processamento dos ingredientes pode trazer complicações em nível de qualidade e segurança, o que dificulta a inclusão do alimento 3D no cardápio da população (GUO, Q. et al., 2024).

Alguns dos benefícios da fabricação do alimento 3D podem ser citados: redução da quantidade de matéria-prima na cadeia de fornecimento; redução da necessidade processos

que consomem muita energia e água; flexibilidade para o design eficiente dos componentes do processo, otimização do desempenho operacional; preservação do meio ambiente e aumento do potencial nutricional nos alimentos produzidos (ROGERS, H.; SRIVASTAVA, M., 2021).

8. CONCLUSÃO

A impressão 3D de alimentos tem a capacidade de suprir a escassez proteica e nutricional para a alimentação do ser humano, mas sem que o meio ambiente seja igualmente agredido e que as questões éticas, sociais, econômicas e culturais possam ser levadas em consideração. Com isso, um público muito maior de consumidores é atingido, como por exemplo os vegetarianos e suas vertentes, religiões que possuem restrição alimentar e outros como grupos de pessoas que possuem alergias. Não só esses, como também outros grupos como idosos, crianças, gestantes e populações com síndromes como a disfagia, podem usufruir dos benefícios da alimentação 3D.

9. REFERÊNCIAS

AIKING, H.; DE BOER, J. The next protein transition. **Trends in food science & technology**, v. 105, p. 515–522, 2020.

AIKING, H. Future protein supply. **Trends in food science & technology**, v. 22, n. 2–3, p. 112–120, 2011.

Aiking H, de Boer J. The next protein transition. **Trends Food Sci Technol**, 2020.

ALCORTA, A. et al. Foods for plant-based diets: Challenges and innovations. **Foods (Basel, Switzerland)**, v. 10, n. 2, p. 293, 2021.

ALROSAN, M. et al. Recent updates on lentil and quinoa protein-based dairy protein alternatives: Nutrition, technologies, and challenges. **Food chemistry**, v. 383, n. 132386, p. 132386, 2022.

AMAGLIANI, L. et al. The composition, extraction, functionality and applications of rice proteins: A review. **Trends in food science & technology**, v. 64, p. 1–12, 2017.

ARNOLD VAN HUIS. **Edible insects : future prospects for food and feed security**. Rome: Food And Agriculture Organization Of The United Nations, 2013.

AUER, J. et al. Nordic crops as alternatives to soy-an overview of nutritional, sensory, and functional properties. **Foods (Basel, Switzerland)**, v. 12, n. 13, 2023.

AUYESKHAN, U. et al. Reducing meat consumption in Central Asia through 3D printing of plant-based protein-enhanced alternatives-a mini review. **Frontiers in nutrition**, v. 10, p. 1308836, 2023.

AYALA, B. **Impressão 3D de alimentos para pessoas com disfagia**. Disponível em: <https://www.wemindcluster.com/wp-content/uploads/2022/03/Brains03_Business_Impression-alimentos.pdf>. Acesso em: 9 out. 2024.

AZIZ, U. **População mundial atingirá 10,3 bilhões em meados da década de 2080**. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2024/07/1834411>>. Acesso em: 9 out. 2024.

BAIANO, A. 3D printed foods: A comprehensive review on technologies, nutritional value, safety, consumer attitude, regulatory framework, and economic and sustainability issues. **Food reviews international**, v. 38, n. 5, p. 986–1016, 2022.

BEDOYA, M. G. et al. Promising perspectives on novel protein food sources combining artificial intelligence and 3D food printing for food industry. **Trends in food science & technology**, v. 128, p. 38–52, 2022.

BESSADA, S. M. F.; BARREIRA, J. C. M.; OLIVEIRA, M. B. P. P. Pulses and food security: Dietary protein, digestibility, bioactive and functional properties. **Trends in food science & technology**, v. 93, p. 53–68, 2019.

BOUKID, F. Boukid Plant-based meat analogues: From niche to mainstream. **Eur. Food Res. Technol**, v. 247, p. 297–308, 2021.

BRUNO, S. F. et al. Green and innovative techniques for recovery of valuable compounds from seafood by-products and discards: A review. **Trends in food science & technology**, v. 85, p. 10–22, 2019.

CALTON, A.; LILLE, M.; SOZER, N. 3-D printed meat alternatives based on pea and single cell proteins and hydrocolloids: Effect of paste formulation on process-induced fibre alignment and structural and textural properties. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, v. 174, n. Pt 2, p. 113633, 2023.

Carnes vermelhas. Disponível em: <<https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/causas-e-prevencao-do-cancer/alimentacao/carnes-vermelhas>>. Acesso em: 31 jul. 2024.

CHARELLI, L. **Printer Chef - A primeira competição de gastronomia 3D do Brasil**. Disponível em: <<https://www.bioedtech.com.br/post/printer-chef-a-primeira-competi%C3%A7%C3%A3o-de-gastronomia-3d-do-brasil>>.

CHRIKI, S.; HOCQUETTE, J.-F. The myth of cultured meat: A review. **Frontiers in nutrition**, v. 7, p. 7, 2020.

DAS, A. K. et al. Edible Mushrooms as Functional Ingredients for Development of Healthier and More Sustainable Muscle Foods: A Flexitarian Approach. **Molecules**, v. 26, n. 9, p. 2463, 23 abr. 2021.

DEMEI, K. et al. 3D food printing: Controlling characteristics and improving technological effect during food processing. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, v. 156, n. 111120, p. 111120, 2022.

DEMIRCAN, E. et al. 3D printable vegan plant-based meat analogue: Fortification with three different mushrooms, investigation of printability, and characterization. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, v. 173, n. Pt 1, p. 113259, 2023.

DE SOUSA, A. S.; DE OLIVEIRA, G. S.; ALVES, L. H. A **PESQUISA BIBLIOGRÁFICA: PRINCÍPIOS E FUNDAMENTOS**. Disponível em: <<https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/cadernos/article/view/2336/1441>>. Acesso em: 9 out. 2024.

DONG, H. **3D printing based on meat materials: Challenges and opportunities**. *Current Research in Food Science* Elsevier B. [s.l.: s.n.].

ESCALANTE-ABURTO, A. et al. Advances and prospective applications of 3D food printing for health improvement and personalized nutrition. **Comprehensive reviews in food science and food safety**, v. 20, n. 6, p. 5722–5741, 2021.

FAN, F. et al. Structural characterization and fluidness analysis of lactose/whey protein isolate composite hydrocolloids as printing materials for 3D printing. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, v. 152, n. 110908, p. 110908, 2022.

GARCIA-GARCIA, G.; AZANEDO, L.; RAHIMIFARD, S. Embedding sustainability analysis in new food product development. **Trends in food science & technology**, v. 108, p. 236–244, 2021.

GOLDSTEIN, N.; REIFEN, R. The potential of legume-derived proteins in the food industry. **Grain & Oil Science and Technology**, v. 5, n. 4, p. 167–178, 2022.

Grain proteins: Challenges and solutions in developing consumer-relevant foods. **Cereal foods world**, v. 65, n. 6, 2020.

GUO, Q. et al. Drying technologies of novel food resources for future foods: Progress, challenges and application prospects. **Food bioscience**, v. 60, n. 104490, p. 104490, 2024.

GUO, Z. et al. Effects of material characteristics on the structural characteristics and flavor substances retention of meat analogs. **Food hydrocolloids**, v. 105, n. 105752, p. 105752, 2020.

HASSOUN, A. et al. Consumer acceptance of new food trends resulting from the fourth industrial revolution technologies: A narrative review of literature and future perspectives. **Frontiers in nutrition**, v. 9, p. 972154, 2022.

HERDEIRO, F. M. et al. Development of Healthy Snacks Incorporating Meal from *Tenebrio molitor* and *Alphitobius diaperinus* Using 3D Printing Technology. **Foods (Basel, Switzerland)**, v. 13, n. 2, 2024.

HOOI CHUAN WONG, G. et al. 3D food printing– sustainability through food waste upcycling. **Materials today: proceedings**, v. 70, p. 627–630, 2022.

HUDA, M. N. et al. Treasure from garden: Bioactive compounds of buckwheat. **Food chemistry**, v. 335, n. 127653, p. 127653, 2021.

Impresión 3D de alimentos, ¿qué es y con qué se come? Disponível em: <<https://tecscience.tec.mx/es/divulgacion-ciencia/impresion-3d-de-alimentos-que-es-y-con-que-se-come/>>. Acesso em: 1 aug. 2024.

JANDYAL, M. et al. 3D printing of meat: a new frontier of food from download to delicious: a review. **Int J Curr Microbiol Appl Sci**, [s.d.].

KALÁČ, P. A review of chemical composition and nutritional value of wild-growing and cultivated mushrooms. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 2, p. 209–218, 21 nov. 2012.

- KAZIR, M.; LIVNEY, Y. D. Plant-based seafood analogs. **Molecules (Basel, Switzerland)**, v. 26, n. 6, p. 1559, 2021.
- KUMAR, P. et al. Technological interventions in improving the functionality of proteins during processing of meat analogs. **Frontiers in nutrition**, v. 9, p. 1044024, 2022.
- KUMAR, P. **Technological interventions in improving the functionality of proteins during processing of meat analogs. Frontiers in nutrition.** [s.l: s.n.].
- KUSMAYADI, A. et al. Microalgae as sustainable food and feed sources for animals and humans - Biotechnological and environmental aspects. **Chemosphere**, v. 271, n. 129800, p. 129800, 2021.
- LE-BAIL, A.; MANIGLIA, B. C.; LE-BAIL, P. Recent advances and future perspective in additive manufacturing of foods based on 3D printing. **Current opinion in food science**, v. 35, p. 54–64, 2020.
- LEE, C. P.; KARYAPPA, R.; HASHIMOTO, M. 3D printing of milk-based product. **RSC advances**, v. 10, n. 50, p. 29821–29828, 2020.
- LEE, K. H. et al. 3D printed food attributes and their roles within the value-attitude-behavior model: Moderating effects of food neophobia and food technology neophobia. **Journal of hospitality and tourism management**, v. 48, p. 46–54, 2021.
- LI, L.; LIETZ, G.; SEAL, C. Buckwheat and CVD risk markers: A systematic review and meta-analysis. **Nutrients**, v. 10, n. 5, p. 619, 2018.
- LIPTON, J. I. et al. Additive manufacturing for the food industry. **Trends in food science & technology**, v. 43, n. 1, p. 114–123, 2015.
- LIU, F. et al. Future foods: Alternative proteins, food architecture, sustainable packaging, and precision nutrition. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 63, n. 23, p. 6423–6444, 2023.
- LV, Y. et al. The research progress of physical regulation techniques in 3D food printing. **Trends in food science & technology**, v. 133, p. 231–243, 2023.
- MOHAMAD SAID, K. A.; MOHAMED AMIN, M. A. Overview on the response Surface Methodology (RSM) in extraction processes. **Journal of Applied Science & Process Engineering**, v. 2, n. 1, 2016.
- NIEMI, C. et al. Rapid and accurate determination of protein content in North Atlantic seaweed by NIR and FTIR spectroscopies. **Food chemistry**, v. 404, n. Pt B, p. 134700, 2023.
- NOREE, S. et al. Shape transformation of 4D printed edible insects triggered by thermal dehydration. **Journal of food engineering**, v. 358, n. 111666, p. 111666, 2023.
- NOWACKA, M. et al. Developments in plant proteins production for meat and fish analogues. **Molecules (Basel, Switzerland)**, v. 28, n. 7, p. 2966, 2023.
- NOYA, P.; MANUEL, V. **Creación de un modelo de negocio de alimentos impresos en 3D para las personas con disfagia.** [s.l: s.n.].
- PENG, T. Analysis of energy utilization in 3D printing processes. **Procedia CIRP**, v. 40, p. 62–67, 2016.
- PORTANGUEN, S. et al. Toward the design of functional foods and biobased products by 3D printing: A review. **Trends in food science & technology**, v. 86, p. 188–198, 2019.

- RAMACHANDRAIAH, K. Potential development of sustainable 3D-printed meat analogues: A review. **Sustainability**, v. 13, n. 2, p. 938, 2021.
- ROGERS, H.; SRIVASTAVA, M. Emerging Sustainable Supply Chain Models for 3D Food Printing. **Sustainability**, v. 13, n. 21, p. 12085, 2 nov. 2021.
- SAKARIKA, M. et al. Impact of substrate and growth conditions on microbial protein production and composition. **Bioresource technology**, v. 317, n. 124021, p. 124021, 2020.
- SHA, L.; XIONG, Y. L. Plant protein-based alternatives of reconstructed meat: Science, technology, and challenges. **Trends in food science & technology**, v. 102, p. 51–61, 2020.
- SINGH, M. et al. Plant-based meat analogue (PBMA) as a sustainable food: a concise review. **European Food Research and Technology**, v. 247, n. 10, p. 2499–2526, 2021.
- SUN, J. et al. Precooking technology and product development of coarse cereals. **Die Starke**, v. 75, n. 11–12, 2023.
- TOMAŠEVIĆ, I. et al. 3D printing as novel tool for fruit-based functional food production. **Current opinion in food science**, v. 41, p. 138–145, 2021.
- VAUTERIN, A. et al. The potential of insect protein to reduce food-based carbon footprints in Europe: The case of broiler meat production. **Journal of cleaner production**, v. 320, n. 128799, p. 128799, 2021.
- VLAHOVA-VANGELOVA, D. et al. EFFECT OF DRYING REGIMES ON THE QUALITY AND SAFETY OF ALTERNATIVE PROTEIN SOURCE (*Tenebrio molitor* L.) [pdf]. **Acta scientiarum polonorum. Technologia alimentaria**, v. 22, n. 2, p. 217–225, 2023.
- XU, X. et al. Global greenhouse gas emissions from animal-based foods are twice those of plant-based foods. **Nature food**, v. 2, n. 9, p. 724–732, 2021.
- YULIARTI, O.; KIAT KOVIS, T. J.; YI, N. J. Structuring the meat analogue by using plant-based derived composites. **Journal of food engineering**, v. 288, n. 110138, p. 110138, 2021.
- ZHANG, W. et al. Effect of compositions and physical properties on 3D printability of gels from selected commercial edible insects: Role of protein and chitin. **Food chemistry**, v. 433, n. 137349, p. 137349, 2024.
- ZHANG, Y. et al. Systematic Engineering approach for optimization of multi-component alternative protein-fortified 3D printing food Ink. **Food hydrocolloids**, v. 131, n. 107803, p. 107803, 2022.