

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE MEDICINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE**

Eveline Bittencourt Barreto

**Impressão 3D de alimentos baseada em extrusão de tinta comestível contendo
probióticos para pacientes idosos com disfagia**

**Juiz de Fora
2023**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE MEDICINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE**

Eveline Bittencourt Barreto

**Impressão 3D de alimentos baseada em extrusão de tinta comestível contendo
probióticos para pacientes idosos com disfagia**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saúde, da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saúde. Área de concentração: Inovação Tecnológica.

Orientadora: Prof^a Dr^a Nádia Rezende Barbosa Raposo

Juiz de Fora
2023

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Bittencourt , Eveline .

Impressão 3D de alimentos baseada em extrusão de tinta comestível contendo probióticos para pacientes idosos com disfagia / Eveline Bittencourt . -- 2023.

66 p.

Orientadora: Nádia Rezende Barbosa Raposo
Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Medicina. Programa de Pós-Graduação em Saúde Brasileira, 2023.

1. Impressão 3D. 2. Nutrição do idoso. 3. Disfagia. 4. Manufatura aditiva. 5. Probióticos. I. Raposo, Nádia Rezende Barbosa , orient. II. Título.

Eveline Bittencourt Barreto

Impressão 3D de alimentos baseada em extrusão de tinta comestível contendo probióticos para pacientes idosos com disfagia

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saúde, da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saúde. Área de concentração: Inovação Tecnológica.

Aprovada em 04 de agosto de 2023

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Nádia Rezende Barbosa Raposo – Orientadora
Universidade Federal de Juiz de Fora

Profa. Dra. Ana Lúvia de Oliveira
Universidade Federal de Juiz de Fora

Profa. Dra. Laura de Andrade Junqueira

AGRADECIMENTOS

Gostaria de aproveitar este momento para expressar meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que contribuíram para a realização deste projeto de mestrado.

Gostaria de expressar minha eterna gratidão à minha orientadora, Dra. Nádia Raposo, pela sua dedicação e orientação ao longo desta pesquisa, bem como pelo acolhimento que recebi durante todo o meu percurso no mestrado. Um exemplo de pessoa e pesquisadora, sempre disposta a nos inspirar, auxiliar e prestigiar no caminho da educação.

Além disso, gostaria de agradecer à equipe do NUPICS, em especial à Laura, por sua grande assistência no uso dos equipamentos de laboratório e na produção do artigo científico. Agradeço também ao Francisco, pela paciência e dedicação em me ensinar a utilizar a impressora 3D, que foi uma ferramenta essencial para a realização de experimentos nesta pesquisa.

Agradeço à UFJF pelo apoio financeiro concedido através da bolsa, o qual foi fundamental para possibilitar a continuidade dos meus estudos. Além disso, não posso deixar de agradecer à equipe da UFV, responsável pelas análises microbiológicas, de textura e reológicas. Sua precisão na execução dessas análises foi fundamental para a obtenção de resultados confiáveis e significativos.

Agradeço especialmente ao meu esposo e à minha família. Seu apoio incondicional, encorajamento constante e compreensão foram essenciais para que eu pudesse me dedicar a este trabalho com tranquilidade. Sou profundamente grata por todo o suporte que me deram ao longo dessa jornada.

Por fim, gostaria de agradecer a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram indiretamente para este trabalho. Suas palavras de incentivo, apoio emocional e compreensão foram extremamente valiosas ao longo dessa jornada. Sou profundamente grata a cada um de vocês.

RESUMO

A população idosa possui uma demanda nutricional maior e pode apresentar disfagia. Para esses pacientes, alimentos pastosos são frequentemente indicados. No entanto, sua baixa atratividade pode causar uma adesão pobre à dieta. A impressão de alimentos em 3D é uma ferramenta inovadora que pode ser utilizada para melhorar a aparência e o conteúdo nutricional de uma refeição. Assim, este trabalho teve como objetivo desenvolver e imprimir em 3D uma tinta à base de vegetais enriquecida com probióticos para pacientes idosos com disfagia. Inicialmente, produzimos uma tinta alimentar composta de purê de batata com a adição de probióticos. Em seguida, a tinta foi utilizada para a impressão 3D das refeições. Por fim, ela foi avaliada quanto ao seu valor nutricional e energético, viabilidade dos microorganismos, textura e propriedades reológicas. A tinta foi utilizada com sucesso para imprimir refeições com diferentes designs. Os resultados demonstram que 100 g de tinta apresentavam 10,71 g de carboidratos, 1,08 g de proteínas, 0,82 g de lipídios e uma energia de 54,60 Kcal. Além disso, foi demonstrado que 100 g de tinta apresentavam $3,24 \times 10^7$ UFC de probióticos lácticos após o processo de impressão. A textura da tinta foi adequada e segura para pacientes com disfagia nível 4 e a adição de probióticos não afetou as características reológicas. Em conclusão, foi possível desenvolver uma tinta fortificada que pode ser usada para personalizar refeições que são fáceis de engolir e visualmente agradáveis.

Palavras-chave: impressão 3D; manufatura aditiva; nutrição do idoso; disfagia; probióticos

ABSTRACT

The elderly population has greater nutritional demand and may present dysphagia. For these patients, pasty foods are often indicated. However, their low attractiveness may cause poor diet adherence. 3D food printing is an innovative tool that can be used to improve the appearance and nutritional content of a meal. Thus, this work aimed to develop and 3D print a vegetable-based ink enriched with probiotics for elderly patients with dysphagia. Initially, we produced a food ink that was composed of potato puree with the addition of probiotics. Next, the ink was used for the 3D printing of meals. Finally, it was evaluated regarding their nutritional and energy value, microorganisms' viability, texture, and rheological properties. The ink was successfully used to print meals with different designs. The results demonstrate that 100 g of the ink presented 10.71 g of carbohydrates, 1.08 g of proteins, 0.82 g of lipids, and an energy of 54.60 Kcal. Moreover, it has been shown that 100 g of ink presented 3.24×10^7 CFU of lactic acid probiotics after the printing process. The ink texture was adequate and safe for patients with dysphagia level 4 and the addition of probiotics did not affect the rheological characteristics. In conclusion, it was possible to develop a fortified ink that can be used to customize meals that are easy to swallow and visually pleasing.

Keywords: 3D printing; additive manufacturing; elderly nutrition; dysphagia; probiotics

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquematização das condições para capacidade alimentar.....	15
Figura 2 - Esquematização da manufatura aditiva por extrusão por modelagem por deposição fundida (FDM).	26
Figura 3 - Esquematização da manufatura aditiva por sinterização seletiva a laser.	28
Figura 4 - Esquematização da manufatura aditiva por sinterização seletiva a ar quente.	28
Figura 5 - Esquematização da manufatura aditiva por jato de aglutinante.	29
Figura 6 - Esquematização da manufatura aditiva por impressão a jato de tinta.	31
Figura 7 - Formatos definidos para impressão da food ink.	40
Figura 8 - Impressora 3D Ender 3 - PCyes adaptada para bioimpressão.	41
Figura 9 - Exemplo de teste de pressão do garfo.....	42
Figura 10 - Exemplo de teste de gotejamento do garfo.....	43
Figura 11 - Exemplo de teste de inclinação da colher.....	43
Figura 12 - Food ink impressa pelo método de extrusão.	47
Figura 13 - Níveis de textura estabelecidos pela IDDSI.	48
Figura 14 - Teste de pressão do garfo estabelecido pela IDDSI.	49
Figura 15 - Teste de gotejamento do garfo estabelecido pela IDDSI.	49
Figura 16 - Teste de inclinação da colher estabelecido pela IDDSI.	50
Figura 17 - Tensão de cisalhamento (σ , Pa) versus Taxa de deformação ($\dot{\gamma}$, s ⁻¹) a 10 °C das amostras de food ink controle (F1) e food ink teste (F2).	52
Figura 18 - Viscosidade aparente das amostras de food ink controle (F1) e food ink teste (F2) a 10°C em função da taxa de deformação.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição da <i>food ink</i>	39
Tabela 2 - Informações nutricionais e de calorias da <i>food ink</i> formulada.....	46
Tabela 3 - Análise do perfil de textura das formulações.....	51
Tabela 4 - Propriedades reológicas das amostras de food ink controle (F1) e food ink teste (F2) avaliadas a 10°C.....	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO DA LITERATURA	13
2.1 FISIOLOGIA E NECESSIDADES NUTRICIONAIS DO ENVELHECIMENTO.....	13
2.1.1 Fisiologia do envelhecimento	13
2.1.2 Necessidades nutricionais no envelhecimento	17
2.2 MANUFATURA ADITIVA.....	18
2.2.1 Requisitos para impressão	21
2.2.2 Tecnologias mais utilizadas para manufatura aditiva de alimentos	24
2.2.2.1 <i>Extrusão de material</i>	25
2.2.2.2 <i>Sinterização seletiva a laser ou ar quente e derivadas</i>	26
2.2.2.3 <i>Jato de aglutinante (binder jetting)</i>	29
2.2.2.4 <i>Impressão a jato de tinta (Inkjet)</i>	30
2.2.3 Softwares utilizados para design	31
2.2.3.1 <i>Creality Slicer</i>	32
2.2.3.2 <i>Geomagic</i>	32
2.2.3.3 <i>Softwares da Autodesk</i>	33
2.2.3.4 <i>Sketchup</i>	33
2.3 TINTA COMESTÍVEL (<i>FOOD INK</i>) PROPOSTA PARA IDOSOS COM DISFAGIA	34
2.3.1 Base vegetal de batata inglesa	34
2.3.2 Incorporação de probióticos	35
3 OBJETIVOS	37
3.1 GERAL	37
3.2 ESPECÍFICOS	37
4 MATERIAL E MÉTODOS	38

4.1 PREPARO DA TINTA COMESTÍVEL (<i>FOOD INK</i>).....	38
4.2 VALORES NUTRICIONAL E ENERGÉTICO	39
4.3 PROCESSO PRODUTIVO EM IMPRESSORA 3D	40
4.4 ANÁLISE MICROBIOLÓGICA.....	41
4.5 ANÁLISE DE TEXTURA ESTABELECIDADA PELA IDDSI.....	42
4.6 ANÁLISE DO PERFIL DE TEXTURA.....	44
4.7 ANÁLISE REOLÓGICA.....	44
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1 PREPARO DA TINTA COMESTÍVEL (<i>FOOD INK</i>).....	45
5.2 VALORES NUTRICIONAL E ENERGÉTICO	46
5.3 PROCESSO PRODUTIVO EM IMPRESSORA 3D	46
5.4 ANÁLISE MICROBIOLÓGICA.....	47
5.5 ANÁLISE DE TEXTURA ESTABELECIDADA PELA IDDSI.....	48
5.6 ANÁLISE DO PERFIL DE TEXTURA.....	50
5.7 ANÁLISE REOLÓGICA.....	51
6 CONCLUSÃO	55
REFERÊNCIAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

A nutrição é uma necessidade fisiológica inerente a todo ser humano, sendo essencial considerar as necessidades individuais para alcançar uma alimentação adequada (MAHAN; ESCOTT-STUMP, 2018). De acordo com a literatura especializada, a nutrição adequada é definida por quatro princípios básicos: quantidade, qualidade, harmonia e adequação. É importante enfatizar que esses princípios devem ser integrados de forma abrangente e personalizados para garantir uma nutrição ótima e equilibrada (ESCUDERO, 1937).

No que se refere ao Brasil, o envelhecimento populacional já é uma realidade e, de fato, é algo a ser esperado devido às melhorias nas condições de vida da população. Em 1940, a expectativa de vida ao nascer no Brasil era de 45,5 anos e, essa expectativa vem subindo desde então, até chegar a 76,2 anos em 2018. Com isto, podemos observar a maior longevidade da população, com consequente inversão da pirâmide populacional, onde a população jovem diminui enquanto a população idosa começa a sobressair (IBGE, 2018). Com a inversão da pirâmide populacional, o público idoso começa a predominar e abre-se uma grande demanda geral e nutricional para esta população. Nesse sentido, é fundamental destacar a importância da nutrição adequada para a promoção da saúde e qualidade de vida dos idosos. Além dos quatro princípios básicos da nutrição - quantidade, qualidade, harmonia e adequação - é preciso considerar as particularidades nutricionais desse público, como a necessidade de maior ingestão de proteínas, vitaminas e minerais específicos.

É de suma importância destacar a relevância da nutrição na vida dos idosos, visto que desempenha um papel fundamental no seu envelhecimento saudável e na prevenção de condições comuns associadas ao processo de envelhecimento, tais como diabetes, hipertensão e osteoporose, conforme abordado no Guia de Cuidados para a Pessoa Idosa (Ministério da Saúde, 2023). Considerando a importância da adequada ingestão de nutrientes para a saúde e bem-estar dos idosos, é preocupante o fato de que a anorexia, ou inapetência alimentar, é uma condição comum nesse público (MAHAN; ESCOTT-STUMP, 2018). Além disso, a necessidade nutricional de micronutrientes é ainda maior em idosos do que em adultos, tornando a alimentação

adequada uma prioridade. No entanto, diversos obstáculos podem dificultar a nutrição adequada nesse grupo, incluindo doenças crônicas e polifarmácia (SARKAR, 2019).

Um dos principais obstáculos para a alimentação dos idosos é a disfagia, uma condição em que há dificuldade em engolir alimentos. Isso pode levar à desnutrição, à perda de peso e a uma série de outras complicações de saúde (DE SIRE et al., 2022). Nesse contexto, a manufatura aditiva de alimentos pode ser uma aliada na promoção e manutenção da nutrição adequada em idosos com disfagia.

A manufatura aditiva, também chamada de impressão tridimensional (3D), é uma tecnologia emergente que tem sido aplicada inicialmente para prototipagem, mas atualmente apresenta várias outras aplicações (IZDEBSKA, 2016). Entre elas, destacam-se a capacidade de produzir alimentos personalizados, adequados tanto nutricionalmente quanto esteticamente para cada indivíduo, além de aprimorar o processo de produção, reduzindo a demanda de mão de obra e permitindo o uso de matérias-primas alternativas. Ademais, a manufatura aditiva de alimentos também pode permitir a criação de mensagens através dos alimentos impressos, promovendo um maior vínculo social, além de ser uma tecnologia ambientalmente amigável (DANKAR et al., 2018). Considerando os aspectos mencionados, é possível afirmar que a utilização da manufatura de alimentos oferece uma série de benefícios. Além de permitir a criação de refeições mais atraentes visualmente, conforme apontado por Severini e colaboradores (2018), essa técnica também possibilita a criação e a personalização de texturas mais adequadas para idosos com problemas de deglutição. Ainda, é possível a suplementação de vitaminas, de minerais e de compostos bioativos que auxiliam na redução e no tratamento de doenças crônicas (SEIXAS, 2015). Essa tecnologia também pode ser utilizada em ambiente hospitalar para a criação de refeições personalizadas para pacientes com disfagia, auxiliando na promoção e manutenção da nutrição adequada (PANT et al., 2021).

Vale ressaltar que a manufatura aditiva já vem sendo empregada em ambientes hospitalares para a produção de próteses, artigos cirúrgicos e outros dispositivos médicos (HURST, 2016). Nesse sentido, a utilização da manufatura aditiva de alimentos poderia representar uma ferramenta tecnológica útil para a preparação personalizada de refeições de pacientes hospitalizados, auxiliando na promoção e manutenção da nutrição adequada em um ambiente em que essa questão é particularmente crítica (XING et al., 2022).

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma tinta comestível à base de purê de batatas e suplementada com probióticos e o uso da manufatura aditiva como tecnologia assistiva, visando contribuir para a melhoria da sua apresentação e receptividade pelos pacientes idosos com disfagia.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Esta seção de revisão de literatura aborda três tópicos distintos: fisiologia e necessidades nutricionais do envelhecimento, manufatura aditiva e a proposta de uma tinta comestível (*food ink*) para idosos com disfagia.

2.1 FISIOLOGIA E NECESSIDADES NUTRICIONAIS DO ENVELHECIMENTO

Esta seção aborda importantes tópicos relacionados ao envelhecimento, incluindo a fisiologia e as necessidades nutricionais específicas dessa fase da vida.

2.1.1 Fisiologia do envelhecimento

A nutrição humana é uma necessidade fisiológica fundamental para todos os indivíduos, e uma alimentação apropriada deve levar em consideração as necessidades individuais (MAHAN; ESCOTT-STUMP, 2018). A ingestão de micronutrientes é especialmente importante para os idosos, uma vez que suas demandas nutricionais são maiores do que as dos adultos. Além disso, o processo de inapetência alimentar tende a ser mais acentuado nesse público, tornando a preocupação com a ingestão adequada de alimentos uma prioridade (MAHAN; ESCOTT-STUMP, 2018). Ademais, é preciso levar em consideração o processo de transição demográfica da população mundial, o qual alerta para o crescimento de demandas sociais e nutricionais para esta população idosa crescente (suplementação de vitaminas e minerais, além de compostos bioativos, as quais auxiliem na redução e no tratamento de doenças crônicas) (UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, 2022; SEIXAS, 2015).

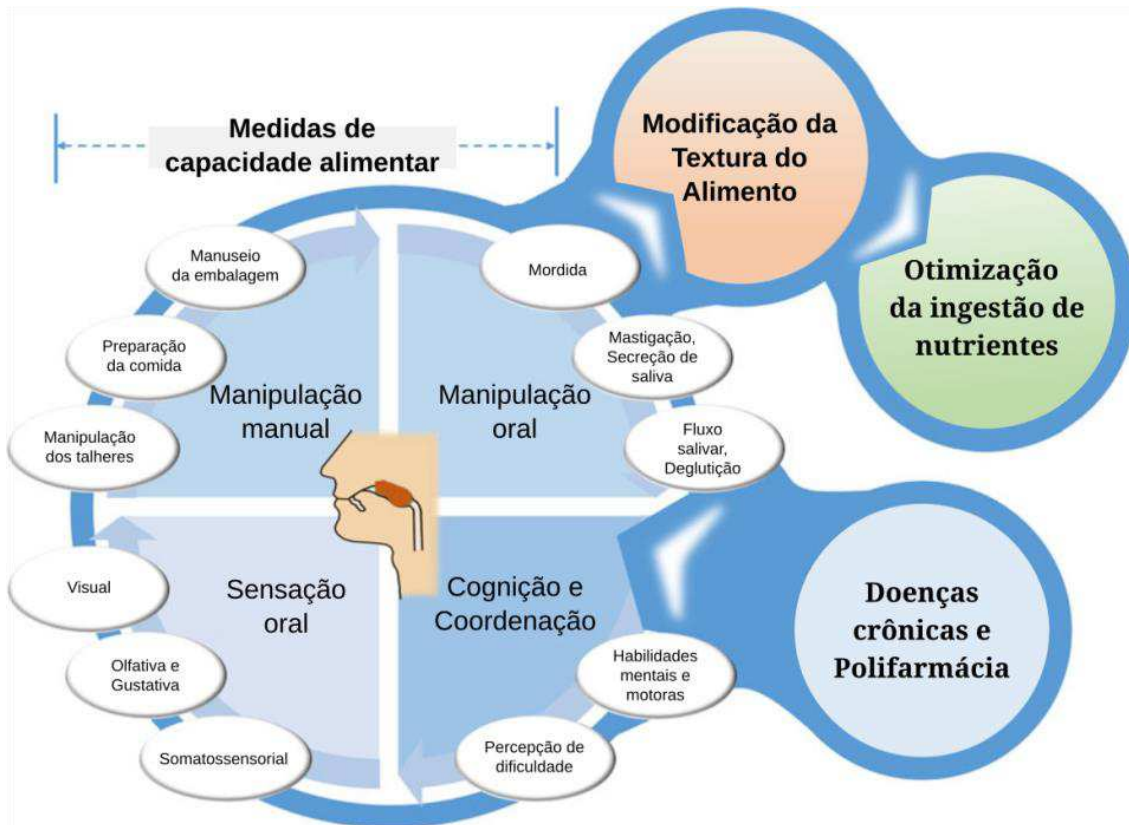
Em relação à composição corporal, é possível observar um processo natural de perda de massa muscular e aumento da massa de gordura, incluindo a visceral. Esse processo é conhecido como sarcopenia, que pode aumentar o risco de quedas e reduzir a força nos idosos. Embora seja um processo natural, pode ser acelerado em indivíduos sedentários em comparação com aqueles que praticam musculação regularmente (MAHAN; ESCOTT-STUMP, 2018).

Outros aspectos relevantes a serem considerados são as mudanças no paladar e no olfato. A diminuição do olfato (hiposmia) e as alterações no paladar (disgeusia) são comuns no processo de envelhecimento, mas podem ser agravadas por fatores ambientais, genéticos e pelo uso de múltiplos medicamentos. Essas mudanças, assim como a xerostomia (boca seca), influenciam diretamente as escolhas alimentares do indivíduo e sua ingestão adequada de nutrientes. Indivíduos com maior comprometimento nessas variáveis podem ter dificuldade em se alimentar adequadamente e recorrer a alimentos inadequados (SARKAR et al., 2019).

A imunocompetência diminui com o processo de senescência e diversos fatores como estilo de vida, tabagismo, etilismo e genética são relacionados a essa diminuição no sistema imunológico. A função dos linfócitos T pode ser prejudicada, o que aumenta os riscos de inflamações, infecções e doenças, incluindo o câncer. Embora várias vias metabólicas tenham sido descobertas e indicadas como responsáveis por essas alterações na imunidade do idoso, é possível que ainda existam inúmeras outras vias não estudadas (MAHAN; ESCOTT-STUMP, 2018).

A capacidade alimentar de um idoso é definida por fatores endógenos (manipulação das mãos e oral, sensação oral, cognição e coordenação) e exógenos (apresentação, consistência da comida), como observados na Figura 1.

Figura 1 - Esquemática das condições para capacidade alimentar.



Fonte: Adaptado de Sarkar e colaboradores (2019).

No entanto, alguns empecilhos (doenças crônicas e polifarmácia) podem dificultar a nutrição adequada pelos idosos (LEE, 2021). Durante o envelhecimento, a diminuição da capacidade de deglutição adequada dos alimentos; denominada disfagia; pode resultar na ingestão alimentar inadequada e menos calórica para o indivíduo, com conseqüente risco de quedas e perda de força, ocasionando baixa qualidade de vida para o idoso (SARKAR et al., 2019). Segundo Pereira e colaboradores (2021), a baixa atratividade dos alimentos em pasta indicados para dietas de pacientes com disfagia é um fator determinante para baixa adesão alimentar. Para contornar esse problema, a tecnologia de manufatura aditiva de alimentos vem sendo utilizada como ferramenta de preparo de refeições customizadas, aumentando sua atratividade (MANTIHAL et al., 2019; ANUKIRUTHIKA et al., 2020; JONKERS et al., 2020). A manufatura aditiva (muitas vezes referida como impressão 3D) já vem sendo utilizada no setor da saúde para outras diferentes finalidades, como produção individualizada de medicamentos (JUNQUEIRA, 2022, JUNQUEIRA et al., 2019; DÍAZ-TORRES et al., 2022), desenvolvimento de dispositivos médicos

(BARCZEWSKI et al., 2022; MOHAMDEEN et al., 2022; SOMMER et al., 2019), bioimpressão para regeneração de tecidos (ŞEKER et al., 2022), diagnóstico precoce de doenças (KUMARI et al., 2022). A impressão 3D de alimentos também pode ser utilizada como ferramenta tecnológica para auxiliar o preparo personalizado de refeições nutricionais e esteticamente atrativas aos pacientes (MA & ZHANG, 2022).

Esta tecnologia emergente, capaz de fabricar estruturas únicas camada por camada de objetos 3D codificados em um arquivo CAD (SEOANE-VIAÑO et al., 2021), pode ser uma aliada na promoção e na manutenção da nutrição adequada, principalmente após a recente pandemia da COVID-19 (DEROSSO, 2021) e a turbulência no fornecimento de suprimentos, pois o processo produtivo requer menor mão de obra; possibilita a utilização de matéria-prima alternativa para o preparo das formulações; facilita a criação de mensagens através dos alimentos impressos gerando maior vínculo social e de preparações com texturas distintas e acessíveis para idosos com problemas de deglutição (SEVERINI et al., 2018). Estudos que desenvolveram tintas comestíveis (*food inks*) compostas por vegetal fresco acrescido de aditivo melhorador de textura (PANT et al., 2021) e carne (DICK et al., 2020) já são encontrados na literatura, com foco em pacientes disfágicos, bem como a incorporação de probióticos à formulação (LIU et al., 2020).

Ao longo da vida, o microbioma intestinal humano é mutável e influenciado por aspectos ambientais, de comportamento, dieta e estado de saúde (GHAISAS et al., 2016) e é essencial para a manutenção dos sistemas digestivo, imunológico e nervoso (COLONETTI et al., 2018; HUTCHINSON et al., 2021). Em idosos, caracteriza-se pela redução do número de bifidobactérias, de *Clostridium cluster XIV* e *Faecalibacterium prausnitzii*, gerando um quadro de disbiose intestinal (POCIDONI et al., 2019). A disbiose intestinal é caracterizada por um desequilíbrio existente entre as bactérias que povoam o intestino, e podem levar a quadros de diarreia, constipação, incapacidade de absorção adequada de nutrientes, além de prejuízo à saúde óssea (LIU et al., 2019). Outras doenças mais graves como, diverticulite, doença de Crohn e até câncer, já foram intimamente ligados ao quadro disbiótico (JAYANAMA et al., 2020). O uso de probióticos para a população idosa auxilia na regulação da microbiota intestinal, na regulação do peso corporal, na melhoria da tolerância à glicose, na redução da prevalência e duração de diarreia, insuficiência cardíaca, redução de doenças crônicas através da melhora da saúde intestinal (TSAI et al., 2021), além de melhorar as consequências do uso prolongado de antibióticos (ALE et al., 2021). Os

produtos mais comuns contêm cepas de lactobacilos, bifidobactérias ou misturas dessas cepas (DUDECK-WICHER et al., 2020). Muitas vezes os probióticos são administrados como formas farmacêuticas sólidas de uso oral, entretanto, para os idosos que apresentam dificuldades de deglutição e são polimedicados, a ingestão de mais um comprimido pode ser um problema (LOGRIPPO et al., 2017; DRUMOND; STEGEMANN, 2020). Assim, a administração de probióticos de forma alternativa às tradicionais cápsulas, pode ser benéfica para idosos com disfagia. De acordo com Lorenz e colaboradores (2022), a impressão 3D pode ser uma ferramenta promissora para incorporação de ingredientes funcionais, tais como os probióticos, em formulações alimentares, e impulsionará o mercado da nutrição projetada digitalmente.

Como demonstrado, a aplicação da tecnologia de impressão 3D na área de alimentos apresenta um elevado potencial, mas ainda pouco explorado. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi utilizar a impressão 3D de extrusão para o preparo e impressão de uma tinta comestível à base de purê de batatas e enriquecida com probióticos para pacientes idosos com disfagia, de modo a aumentar a atratividade da refeição e facilitar a ingestão dos probióticos.

2.1.2 Necessidades nutricionais no envelhecimento

Devido ao processo fisiológico de redução da massa magra durante a senescência, a taxa metabólica basal, que é o mínimo de energia necessário para o corpo funcionar adequadamente, diminui em relação aos adultos, e conseqüentemente, a necessidade calórica também é reduzida (SILVA et al., 2019).

Quando se trata dos macronutrientes, que são proteínas, lipídios e carboidratos, as necessidades variam de acordo com a presença ou ausência de doenças associadas. Para idosos saudáveis, a ingestão mínima de proteínas deve ser de 0,8 g/kg, carboidratos devem compor entre 45% e 65% das calorias totais e lipídios entre 20% e 35% das calorias totais. Em indivíduos possivelmente doentes, as necessidades proteicas podem se alterar principalmente quando associadas à doença renal aguda ou crônica, enquanto as quantidades de carboidratos e lipídios devem ser ajustadas de acordo com doenças pré-existentes, como diabetes e doenças cardiovasculares (MAHAN; ESCOTT-STUMP, 2018).

Na população idosa, a monitoração e ajuste de micronutrientes são imprescindíveis. A vitamina B12, por exemplo, pode apresentar um risco maior de deficiência, devido à diminuição de ingestão de carnes e também à diminuição da absorção causada pela redução de ácido gástrico. Já a vitamina D pode ter um risco aumentado de deficiência, devido à menor capacidade da pele e à menor exposição solar. Além disso, os rins possuem capacidade menor de converter a forma 25(OH)D para 1,25(OH)₂D, que é a forma ativa do hormônio. A demanda por cálcio também pode ser aumentada, devido à menor absorção que o indivíduo idoso apresenta (LIMA et al., 2019).

2.2 MANUFATURA ADITIVA

A manufatura aditiva, também conhecida como impressão 3D ou prototipagem rápida, é uma tecnologia avançada que permite a criação de objetos em diversos materiais conforme a necessidade. Para isso, um modelo tridimensional é criado digitalmente por meio de software de desenho assistido por computador (CAD). Posteriormente, o arquivo é convertido em formato STL. Este arquivo contém informações detalhadas sobre a geometria do objeto, definindo sua forma tridimensional. Pode ser necessário ajustar o *design* para garantir que ele seja adequado para impressão em 3D (SEVERINI et al., 2016).

Após, um arquivo G-code é gerado contendo os parâmetros para impressão. Este arquivo inclui detalhes como a definição da altura da camada, espessura da camada, densidade de preenchimento, velocidade de extrusão, temperatura, diâmetro da ponteira e outros fatores que influenciam na qualidade do resultado. A partir disso, a impressora reconhece o modelo 3D através do arquivo STL e imprime o objeto de acordo com os parâmetros do arquivo G-code (DANKAR et al., 2018).

Atualmente, a manufatura aditiva é amplamente explorada em diversas áreas de pesquisa, incluindo o setor farmacêutico, onde é utilizada para a produção de comprimidos personalizados com a dosagem exata de medicamentos para cada indivíduo (JUNQUEIRA et al., 2022). Essa abordagem permite uma maior precisão na dosagem e, conseqüentemente, uma melhor efetividade do tratamento.

Sendo um método exclusivo que permite a personalização dos alimentos de acordo com as necessidades de cada indivíduo, essa tecnologia emergente pode contribuir significativamente para uma melhoria na alimentação humana, oferecendo

uma maior oferta de nutrientes e até mesmo, alimentos esteticamente atraentes (YU et al., 2023). Desta forma, pode gerar maior lucratividade para a empresa que fornece o alimento, devido ao interesse maior dos clientes. Entretanto, por ser uma tecnologia recente e com alimentos impressos ainda em escala experimental, mecanismos de pré e pós-processamento podem ser necessários para a execução correta do processo (JONKERS et al., 2020).

Diversas vantagens são atribuídas à impressão de alimentos, como menor desperdício na produção, redução de tempo, maior precisão e eficiência no processo (CHEN et al., 2019). Essas vantagens estão relacionadas a alguns dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), como agricultura sustentável, saúde e bem-estar, trabalho decente, indústria, inovação e infraestrutura. Além disso, a manufatura aditiva de alimentos possibilita a personalização das formulações, permitindo a construção de preparações exclusivas para atender às necessidades de cada indivíduo. Recentemente, surgiu a possibilidade de imprimir alimentos enriquecidos com probióticos utilizando essa tecnologia (LIU et al., 2019). No entanto, os autores destacam a importância de se avaliar a qualidade e durabilidade das amostras impressas para garantir a segurança e eficácia desses alimentos. A impressão 3D de alimentos oferece um grande potencial para a melhoria da alimentação humana e pode contribuir para o alcance dos ODS da ONU, além de oferecer novas possibilidades para a indústria alimentícia.

Outra vantagem do emprego da manufatura de alimentos é a possibilidade de elaborar alimentos com melhor apresentação e formulação mais funcionais em termos de estrutura, textura e sabor, quando comparados a uma dieta convencional. Uma das vantagens mais notáveis desta tecnologia é a sua capacidade de fornecer nutrição adequada para pacientes desnutridos (AZAM, 2018). Dessa forma, a manufatura aditiva de alimentos possibilita a personalização para uma nutrição especializada, o que pode gerar melhor desempenho no tratamento de indivíduos com necessidades nutricionais específicas. Além disso, a inserção de impressoras 3D de alimentos no ramo de eletrodomésticos pode possibilitar a personalização a nível doméstico (DEROSSI, 2019). Esse processo também apresenta vantagens em relação à sustentabilidade, uma vez que, ao evitar o desperdício de alimentos, é possível contribuir para a diminuição da fome no mundo.

A manufatura aditiva de alimentos pode ser uma alternativa interessante para formulação de pastas à base de carne, especialmente para pacientes com problemas

de mastigação e deglutição. Uma revisão recente avaliou os tipos de carnes que foram impressas com esta tecnologia, além dos requisitos reológicos, de temperatura e de segurança (DICK et al., 2019). Apesar de poucos estudos terem sido realizados até o momento, a maioria dos tipos de carne utilizados na impressão 3D foi de frango, peru, porco e peixe. É necessária a realização de mais pesquisas para que a impressão 3D de carne possa ser considerada como uma alternativa viável para pacientes com dificuldade de mastigação e deglutição (DICK et al., 2019).

Em 2020, Anukiruthika e colaboradores conduziram um estudo sobre a possibilidade de impressão de ovos, dada sua alta densidade nutricional e propriedades funcionais, embora a forma *in natura* do ovo não possa ser impressa diretamente. Para contornar esse desafio, foi adicionada farinha de arroz para manter a estrutura do ovo durante a impressão. Ainda, a manufatura aditiva de alimentos pode levar a uma redução no impacto ambiental, pois possibilita a incorporação de alimentos incomuns na nutrição humana, como algas e insetos, que possuem baixa emissão de carbono e menor impacto ambiental. A inclusão de subprodutos de carne, frutos do mar e proteínas vegetais nas formulações, com sabor e textura semelhantes aos originais, é um aspecto relevante para a produção de alimentos de alta qualidade e com menor impacto ambiental (DEROSSI, 2019).

Vale ressaltar que essa tecnologia também permite a criação de purês elaborados a partir desses subprodutos alimentares, os quais são posteriormente utilizados como ingredientes para as formulações a serem impressas por meio da impressão 3D. Após o processo de impressão, esses purês podem passar por um estágio adicional de cocção ou desidratação, resultando em deliciosos alimentos crocantes e de longa duração (BERGO, 2018). Dessa forma, a tecnologia não apenas contribui para reduzir o desperdício de alimentos, mas também oferece uma maneira inovadora de transformar subprodutos em produtos finais altamente palatáveis.

Um estudo de revisão realizado por Derossi (2021) avaliou as possíveis vantagens do emprego da manufatura aditiva de alimentos no contexto dos impactos nutricionais ocasionados pela pandemia. Dentre os principais aspectos negativos levantados no estudo, destacam-se a crise alimentar decorrente da pandemia, a possibilidade da cadeia alimentar se tornar um veículo de transmissão do vírus SARS-CoV-2, e a necessidade de novas tecnologias de apoio para mitigar os riscos de insegurança alimentar provenientes da pandemia, sendo a manufatura aditiva um potencial auxiliador.

A manufatura aditiva alimentos tem sido objeto de estudos para sua utilização em longas missões espaciais. Enquanto a alimentação atual no espaço é limitada, a impressão 3D de alimentos poderia ser uma opção mais atraente e agradável para os astronautas, além de proporcionar maiores benefícios nutricionais e formatos mais interessantes (TERFANSKY et al., 2013). Além disso, essa tecnologia pode ser útil para a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), que atualmente faz uso de alimentos em pó, devido a sua maior validade microbiológica (IZDEBSKA, 2016). Esta nova tecnologia também pode ser útil para personalizar alimentos para militares, para uso em hospitais e até mesmo em clínicas veterinárias (TRAN, 2016).

Como mostrado, a aplicação da manufatura aditiva é crescente e tem potencial para revolucionar a indústria farmacêutica, a hospitalar, a alimentícia e, futuramente, até mesmo ser utilizada em casa, dada a possibilidade de produção de suplementos e medicamentos personalizados. De acordo com Croitoru-Sadger e colaboradores (2019), o uso impressão 3D promete trazer novas possibilidades e melhorias significativas para a saúde e o bem-estar das pessoas.

2.2.1 Requisitos para impressão

A produção de alimentos *in natura* através da tecnologia de impressão 3D é atualmente muito limitada, e restrita em sua maioria a produtos como glacês, chocolates e queijos (MA & ZHANG, 2022). Para obter resultados satisfatórios na impressão de alimentos, é necessário realizar pré ou pós processamentos no material utilizado, bem como desenvolver formulações específicas com aditivos alimentares. A elaboração dessas formulações é um processo complexo que demanda testes rigorosos para garantir a adequada impressão dos alimentos (DEMEI et al., 2022). A obtenção de características de impressão adequadas depende tanto dos ingredientes selecionados quanto da manipulação dos parâmetros da impressora 3D, representando os principais desafios na produção de alimentos impressos atualmente (HE et al., 2020). Além disso, é necessário que o produto final apresente uma aparência atrativa para o consumidor, destacando a importância do pós processamento para adicionar texturas e melhorar a aparência das formulações (HE et al., 2020).

Para a tecnologia de manufatura aditiva de alimentos se tornar amplamente acessível, é fundamental que os parâmetros para a impressão dos materiais estejam

adequados e que as condições reológicas dos materiais impressos sejam verificadas (SEVERINI, 2016). No entanto, a escassez de estudos científicos sobre a qualidade e a estabilidade dos alimentos impressos tem sido um obstáculo para o desenvolvimento dessa tecnologia (DANKAR, 2018). Ao imprimir alimentos com uma impressora 3D, é necessário avaliar parâmetros como formulações básicas, assepsia do local e dos equipamentos, diâmetro do bico de impressão, tempo de impressão, temperatura do alimento, propriedades reológicas e *design* das preparações.

A impressão de alimentos *in natura* por meio de impressoras 3D nem sempre é uma tarefa simples, e geralmente requer prévio preparo antes da extrusão. Para que a impressão seja bem-sucedida, é essencial que o material seja facilmente extrusado pela ponteira da impressora e possua a consistência necessária para manutenção do formato escolhido (PEREIRA et al., 2021). As análises reológicas e de textura dos alimentos, incluindo aqueles que contenham suplementos alimentares, são cruciais para que a manufatura aditiva de alimentos avance em direção à indústria e se torne uma tecnologia amplamente utilizada (PÉREZ et al., 2019).

A qualidade da impressão de alimentos por meio de impressoras 3D é influenciada por todos esses fatores citados, e diversos estudos têm sido conduzidos com o objetivo de estabelecer as qualidades reológicas adequadas para o material impresso (CHANG et al., 2018). Para cada novo alimento ou formulação impressa, é necessária viscosidade apropriada para suportar e manter a forma definida previamente, sem fissuras ou rachaduras após o término da impressão, bem como em eventuais processamentos pós-impressão (DAI et al., 2019).

A manufatura aditiva de alimentos tem sido cada vez mais explorada e o chocolate é um alimento amplamente utilizado nesta técnica (LANARO et al., 2019). Diversas tecnologias são empregadas na impressão 3D do chocolate, como a extrusão camada por camada, a sinterização com chocolate em pó e a impressão a jato de tinta para decoração em 2D (SUZUKI et al., 2019). Para melhorar a fluidez do chocolate durante a impressão 3D, alguns aditivos em pó, como o estereato de magnésio e o esteroil vegetal, são adicionados ao chocolate ralado. Estes aditivos não interferem nas propriedades térmicas do chocolate, o que permite que as propriedades estruturais do chocolate sejam mantidas como no chocolate sem adição (MANTHAL et al., 2019).

De acordo com Kim e colaboradores (2018), a goma xantana é uma opção promissora de hidrocolóide para ser adicionada em pastas destinadas à impressão

3D de alimentos. Essa substância é particularmente útil em preparações com grande volume em pó, pois além de melhorar o valor nutricional da preparação, também apresenta propriedades de extrusão e resolução adequadas para a impressão. Portanto, a incorporação de goma xantana pode ajudar a melhorar a qualidade das preparações de alimentos impressos, tornando-os mais nutritivos e esteticamente atraentes.

Esses avanços na manufatura aditiva de alimentos são promissores para a indústria alimentícia, já que esta técnica permite criar formas e texturas diferentes de alimentos, além de permitir uma maior personalização dos produtos, atendendo às necessidades individuais dos consumidores.

Dankar e colaboradores (2019) avaliaram as propriedades mecânicas e reológicas de um purê de batata com a adição de diferentes ingredientes, como ágar, alginato, manteiga, azeite e cenoura, submetidos a dois métodos de cozimento: aquecimento por micro-ondas e ebulição. Os resultados mostraram que o método de cozimento por micro-ondas gerou aumentos (até cinco vezes) nas propriedades mecânicas e reológicas do purê, quando comparado ao método de ebulição. Além disso, a adição de manteiga foi capaz de aumentar a estabilidade da preparação, mantendo a rigidez das redes de amido.

Outras técnicas também são utilizadas para aumentar a gama de ingredientes disponíveis para a impressão 3D. Maniglia e colaboradores (2019) propuseram o uso de aquecimento a seco para modificar a estrutura física do amido de mandioca e torná-lo acessível para a manufatura aditiva. Este tratamento físico propiciou a obtenção de hidrogéis de amido de mandioca com melhores texturas e capacidade de impressão, aprimorando este ingrediente para ser melhor impresso em formato tridimensional.

No que se refere às formulações, a maior parte dos estudos utiliza como base das preparações, os tubérculos, os queijos e diversos chocolates (MA & ZHANG, 2022). É importante avaliar o alimento a ser usado para impressão, já que alguns alimentos como carne, peixes, frutos do mar, frutas e vegetais frescos são difíceis de manipular e permanecerem adequados para consumo após o preparo (DICK et al., 2019). Como a manufatura aditiva de alimentos é recente em meio acadêmico, ainda é escassa a gama de alimentos utilizada em pesquisas.

O tempo para o término da impressão assim como a resolução do produto final são fatores intimamente ligados ao diâmetro do bico de impressão e da consistência da preparação. Segundo Liu e colaboradores (2018), o diâmetro do bico de impressão

é um fator determinante para o tempo de impressão e a resolução do objeto, sendo o de 1 mm o ideal para uma formulação a base de batatas. Ainda segundo os autores, diâmetros maiores propiciaram redução do tempo e da resolução, e um diâmetro menor que o ideal, aumentou tanto a resolução quanto o tempo de impressão.

Outro ponto a avaliar é a assepsia durante o processo, com vistas a garantir segurança alimentar do material final a ser impresso, já que algumas amostras ao serem armazenadas em temperatura ambiente apresentaram elevada contagem microbiana (SEVERINI, 2018). É importante que haja adequada higiene durante o processo, e segundo Liu e colaboradores (2019), em uma formulação a base de batata, foi sugerido que os alimentos perecíveis utilizados na formulação fossem submetidos a luz ultravioleta (LUV) por 45 minutos. Além disso, os instrumentos foram esterilizados em autoclave a 121°C por 15 minutos e as superfícies utilizadas desinfetadas com solução de etanol a 70%. No entanto, para uso específico e altamente personalizado, além do uso doméstico, algumas destas condições de assepsia são inviáveis e precisariam ser repensadas.

2.2.2 Tecnologias mais utilizadas para manufatura aditiva de alimentos

Nessa seção são abordados os principais métodos de impressão 3D de alimentos atualmente utilizados, sendo eles: extrusão de material, sinterização seletiva a laser ou ar quente e derivadas, jato de aglutinante e impressão a jato de tinta (SUN et al., 2015).

2.2.2.1 Extrusão de material

A manufatura aditiva de alimentos é um campo de pesquisa crescente que está se desenvolvendo rapidamente em todo o mundo. Entre as várias tecnologias utilizadas na impressão de alimentos, a extrusão de material é uma das mais comuns e amplamente utilizadas. Isso se deve em grande parte à sua capacidade de imprimir uma ampla gama de materiais alimentícios, incluindo chocolates, queijos, pastas compostas por vegetais e muitos outros (LIU et al., 2018). Alguns tipos de queijos, glacês e hummus são naturalmente extrusados e não necessitam de processamento térmico prévio para derretimento (COHEN et al., 2009).

As impressoras alimentares projetadas com base nesse método de extrusão geralmente são compactas e acessíveis em termos de manutenção. No entanto, há limitações em relação a alguns tipos de materiais que podem ser impressos (SUN et al., 2015).

Dentro do princípio de extrusão de material, um processo muito utilizado é o de modelagem por deposição fundida (MDF; em inglês: *food deposition modeling* – FDM), também conhecido como extrusão de fusão a quente, que foi descrito pela primeira vez há duas décadas (KRISTIAWAN et al., 2021). Neste processo, um polímero alimentar é aquecido e extrusado através de um cabeçote móvel, camada por camada, seguindo o desenho previamente definido em um programa de computador assistido por desenho (DAC; em inglês: *computer aided design* – CAD). Na Figura 2 está ilustrado o esquema da manufatura aditiva por extrusão por modelagem por deposição fundida (FDM).

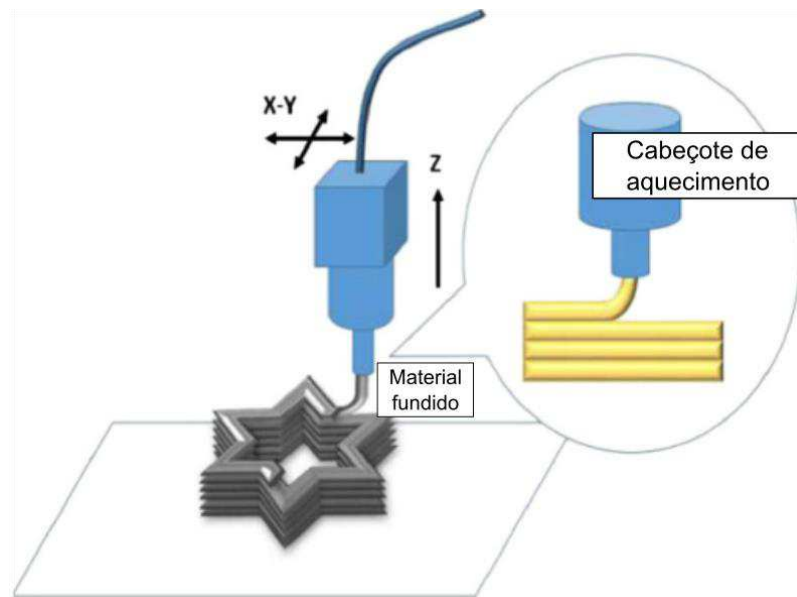
O método de modelagem por deposição fundida geralmente contribui para a boa estruturação final do material impresso. Um estudo indica que uma metodologia baseada em mecânica de fratura pode contribuir para a medição da resistência e adesão entre linhas dos materiais impressos (ALIHEIDARI et al., 2017).

Quando se trata de impressão de alimentos, é importante que as receitas fiquem bem estruturadas no final do processo de impressão. Para garantir isso, é necessário melhorar/ajustar a receita ou utilizar aditivos químicos que garantam a estabilidade final da estrutura, especialmente se a receita passar por pós-processamento (COHEN et al., 2009).

Géis gelificantes têm sido amplamente utilizados em diversos estudos (CHEN et al., 2019; HOLLAND et al., 2018; HUANG et al., 2019; LIU et al., 2019; MANTIHAL et

al., 2019) com a intenção de promover uma boa estrutura do material. Gomas xantana e carragena são exemplos de espessantes alimentares que têm sido empregados em diversas receitas, como purês de batata e outros vegetais, para melhorar a estrutura da pasta no final do processamento.

Figura 2 - Esquemática da manufatura aditiva por extrusão por modelagem por deposição fundida (FDM).



Fonte: (SUN et al., 2015).

2.2.2.2 Sinterização seletiva a laser ou ar quente e derivadas

Uma das primeiras tecnologias a serem utilizadas para a impressão 3D foi introduzida por Charles Hull na década de 80, embora seja possível que essa tecnologia já fosse empregada em meados da década de 70. A sinterização seletiva a laser é uma tecnologia que também depende de um software assistido por computador (CAD) para focar o laser na construção do desenho desejado (HURST et al., 2016).

Amplamente utilizada para fins industriais, a sinterização seletiva a laser é empregada principalmente em materiais em pó, de preferência metais, que se juntam formando uma liga quando aquecidos, executando assim a prototipagem rápida de componentes metálicos ou peças que foram pretendidas (HURST et al., 2016).

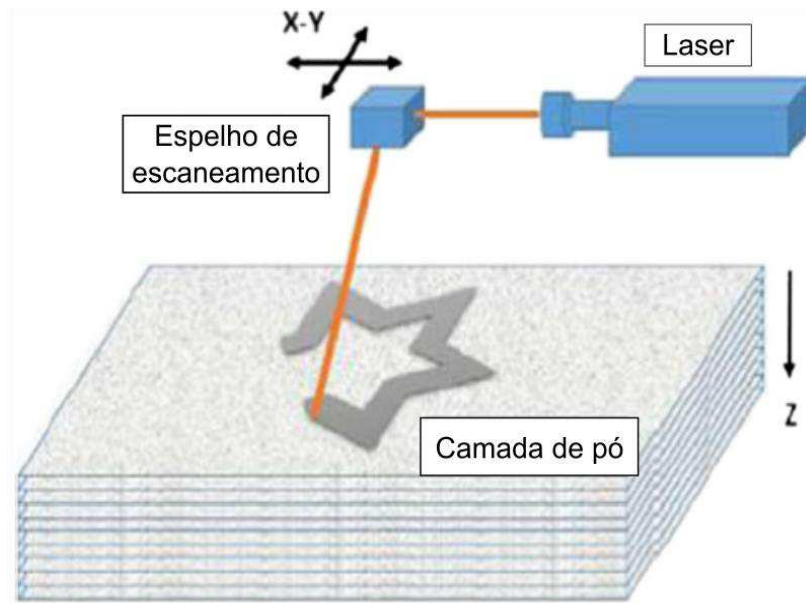
Quando aplicada ao setor alimentício, a sinterização seletiva a laser tem como objetivo transformar alimentos em pó em forma sólida, utilizando laser ou ar quente. Ambos os processos envolvidos na sinterização seletiva possibilitam a construção rápida e sem necessidade de pós-cura. Entretanto, os melhores alimentos para serem utilizados neste processo são aqueles com base em açúcar ou gordura, pois seus pontos de fusão são baixos (SUN et al., 2015).

Embora não seja muito comum na indústria alimentar para a construção de alimentos, este método pode ser utilizado para diminuir o desperdício de alimentos. Isso porque é possível reciclar os resíduos de óleos vegetais utilizados em cozinhas industriais em um tipo de resina para impressão 3D (BRANCIFORTI et al., 2019).

Existem outras tecnologias similares à sinterização seletiva. O processamento de luz digital é um processo semelhante ao da sinterização seletiva a laser, mas utiliza outro tipo de luz. Como é possível utilizar menos material para a fabricação do objeto 3D, esta tecnologia diminui a produção de resíduos de subprodutos e é considerada uma técnica mais rápida do que a sinterização seletiva a laser. O derretimento seletivo a laser também é semelhante ao da sinterização, mas utiliza um laser de alta potência para fundir ou derreter o pó em vez de sinterizá-lo, resultando em um modelo 3D mais resistente (HURST et al., 2016).

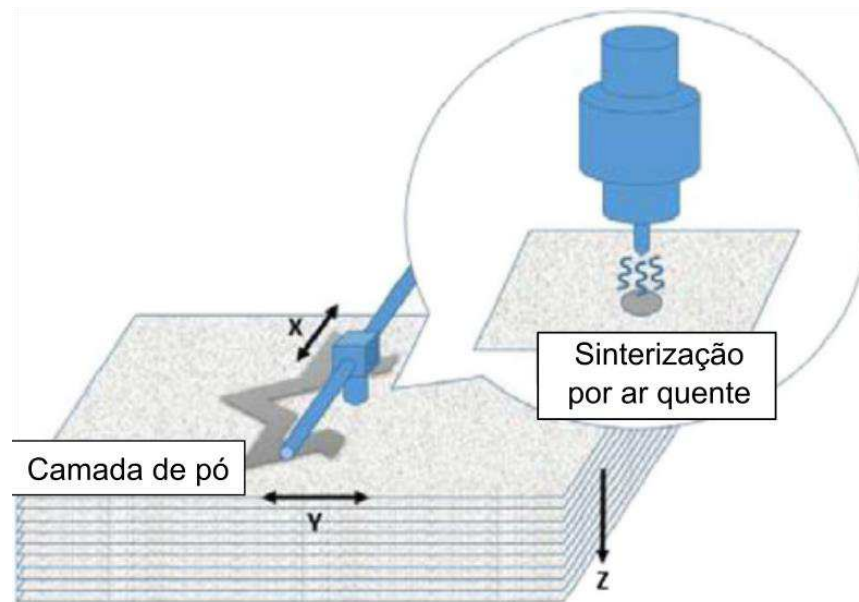
Nas Figuras 3 e 4 estão ilustrados os esquemas da manufatura aditiva por sinterização seletiva a laser e a ar quente, respectivamente.

Figura 3 - Esquematização da manufatura aditiva por sinterização seletiva a laser.



Fonte: (SUN et al., 2015).

Figura 4 - Esquematização da manufatura aditiva por sinterização seletiva a ar quente.



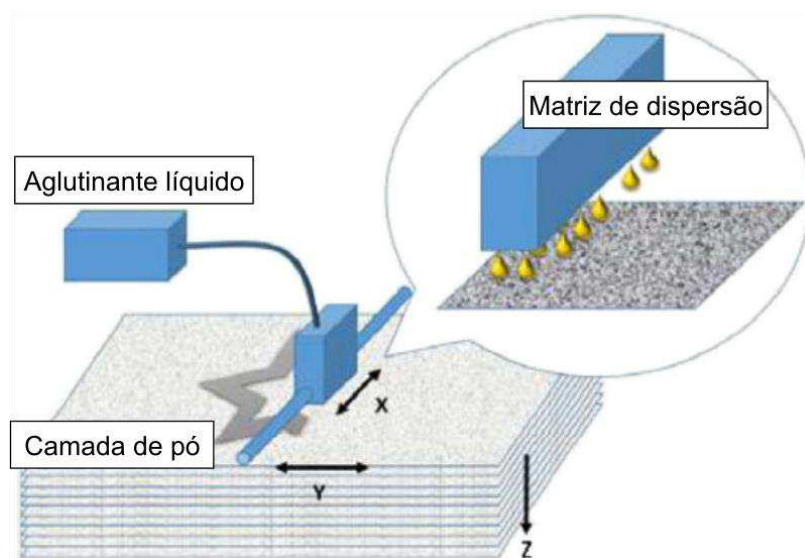
Fonte: (SUN et al., 2015).

2.2.2.3 Jato de aglutinante (*binder jetting*)

O processo de impressão 3D por jato de aglutinante líquido em *spray* é executado a partir da deposição de camadas de pó, seguido pelo jato de aglutinante líquido com o objetivo de unir as camadas consecutivamente. Contudo, antes da liberação do aglutinante, é aplicada uma camada de névoa de água que tem como propósito estabilizar as moléculas de pó, melhorando assim a estabilidade do material durante a aplicação do aglutinante (SUN et al., 2015). Tal processo está ilustrado na Figura 5.

Embora o uso do processo de jato aglutinante na área de alimentos seja frequentemente limitado pela necessidade de material em pó, e seu emprego se torne mais comum em contextos de entretenimento, um estudo recente investigou a viabilidade da impressão 3D por jato de aglutinante líquido na área de alimentos. Nessa pesquisa, a goma xantana foi utilizada como aglutinante para a celulose amorfa, o que resultou em resultados promissores para criação de estruturas lúdicas na área alimentícia. Essa abordagem abre possibilidades interessantes para a aplicação dessa técnica na produção de alimentos, como destacado por Holland e colaboradores (2018).

Figura 5 - Esquemática da manufatura aditiva por jato de aglutinante.



Fonte: (SUN et al., 2015).

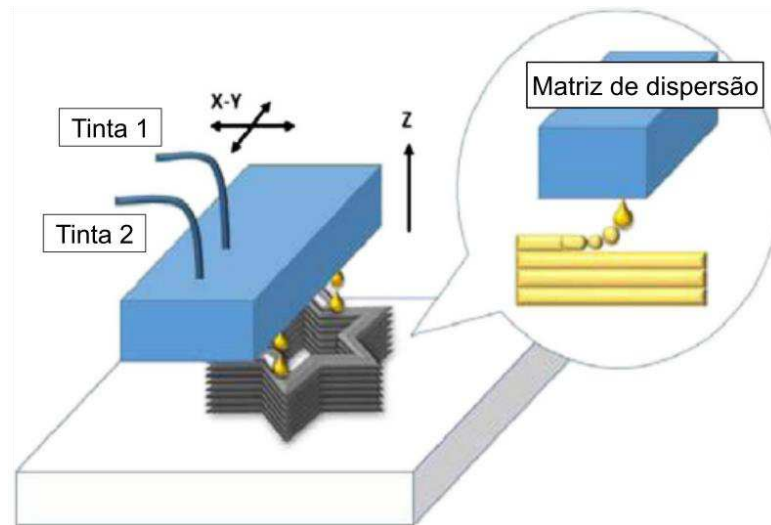
2.2.2.4 Impressão a jato de tinta (*Inkjet*)

A impressão 3D de alimentos é realizada através da dispensação de gotas por meio de uma seringa ou outro dispositivo acoplado ao cabeçote de impressão. Essa técnica é amplamente utilizada para a decoração de alimentos, tais como bolos, pizzas e biscoitos (SUN et al., 2015). No entanto, como o processo de impressão a jato de tinta consiste em duas fases independentes, as propriedades do material requerem maior calibração com o cabeçote para evitar uma impressão disforme (GHOLAMIPOUR-SHIRAZI et al., 2020). Portanto, a precisão é fundamental para evitar desperdícios de materiais e garantir um produto final satisfatório.

Embora a impressão 3D de alimentos seja uma técnica emergente, ainda é mais utilizada para decoração 2D ou preenchimento de superfície do que para criar objetos comestíveis tridimensionais. Por isso, essa técnica é mais bem classificada como uma técnica de impressão 2D do que de impressão 3D, que permitiria a criação livre de objetos tridimensionais (HURST et al., 2016). No entanto, a impressão a jato de tinta foi amplamente aprovada pela *Food and Drug Administration* (FDA) para *design* e decoração de alimentos comerciais (GHOLAMIPOUR-SHIRAZI et al., 2020). Com a evolução tecnológica, acredita-se que em breve essa técnica poderá ser aprimorada para permitir a criação de objetos tridimensionais comestíveis.

Além disso, outro processo similar ao de impressão a jato de tinta é a impressão de múltiplos jatos, que oferece a capacidade de imprimir objetos em várias cores e em alta resolução. No entanto, essa tecnologia ainda é emergente no mercado, e poucas impressoras apresentam essa capacidade (HURST et al., 2016). A impressão de múltiplos jatos é uma técnica promissora para a criação de objetos tridimensionais comestíveis em alta resolução e com cores variadas, o que pode agregar valor ao produto final e torná-lo mais atraente ao consumidor. Na Figura 6 é possível observar o esquema de impressão por este processo.

Figura 6 - Esquemática da manufatura aditiva por impressão a jato de tinta.



Fonte: (SUN et al., 2015).

2.2.3 Softwares utilizados para design

Esta seção aborda os diversos softwares utilizados na impressão 3D, como o *Creativity Slicer*, o *Geomagic*, os softwares da *Autodesk* e o *SketchUp*. Essas ferramentas desempenham um papel fundamental no processo de criação e preparação dos modelos tridimensionais para impressão. O *Creativity Slicer*, por exemplo, é amplamente utilizado para fatiar os modelos em camadas e gerar os arquivos G-codes necessários para a impressão (CREALITY, 2020). Já o *Geomagic* oferece recursos avançados de escaneamento e modelagem 3D, permitindo a criação de modelos precisos e detalhados (3D SYSTEMS, 2021). Os softwares da *Autodesk*, como *Revit* e o *AutoCAD*, são conhecidos por sua ampla gama de recursos e capacidade de integração com outros programas de design (AUTODESK, 2021). O *SketchUp*, por sua vez, é reconhecido por sua interface intuitiva e acessibilidade, sendo uma escolha popular entre os iniciantes na impressão 3D (SKETCHUP, 2021). Esses softwares desempenham um papel essencial na viabilização e aprimoramento das capacidades da tecnologia de impressão 3D.

2.2.3.1 *Creality Slicer*

Creality Slicer é um *software* de fatiamento desenvolvido pela empresa chinesa *Creality*, amplamente utilizado no segmento de impressão 3D. O *software* é compatível com uma ampla variedade de impressoras 3D, incluindo as da própria *Creality*, e oferece recursos avançados de fatiamento, como controle de temperatura, velocidade de impressão e orientação do modelo. O *Creality Slicer* tem uma interface intuitiva e fácil de usar, com opções para ajustar as configurações do modelo antes de iniciar o processo de impressão. O *software* também permite que os usuários visualizem uma simulação do processo de impressão, permitindo que eles identifiquem problemas potenciais antes de iniciar a impressão (CREALITY, 2020).

Uma das principais vantagens do *Creality Slicer* é a sua compatibilidade com uma ampla variedade de formatos de arquivo, permitindo que os usuários importem modelos de uma ampla variedade de fontes. O *software* também oferece suporte para modelos complexos, incluindo aqueles com suportes de impressão, tornando o processo de impressão mais fácil e eficiente. Outro recurso útil do *Creality Slicer* é a capacidade de gerar códigos G, usados para controlar a impressora 3D durante o processo de impressão. Isso permite que os usuários personalizem suas configurações de impressão para atender às suas necessidades específicas e maximizem a qualidade da impressão final (3D LAB, 2022).

2.2.3.2 *Geomagic*

Geomagic é um *software* de engenharia reversa e modelagem 3D desenvolvido pela 3D Systems. É uma ferramenta poderosa que permite aos usuários criar modelos 3D a partir de dados digitalizados e nuvens de pontos, além de fornecer uma ampla variedade de ferramentas de design e análise. Ele permite a criação de modelos 3D a partir de imagens digitalizadas e também ajuda na preparação do modelo para impressão, como a realização de reparos de malhas, a criação de suportes e a definição de parâmetros de impressão. O *Geomagic* é uma ferramenta valiosa para a indústria, engenharia, *design* e muitas outras áreas que utilizam impressão 3D para prototipagem rápida e até a produção em massa. Além de disponibilizar *softwares* específicos pra a área de manufatura aditiva, a empresa também disponibiliza impressoras 3D (3D SYSTEMS, 2021).

2.2.3.3 Softwares da Autodesk

A construção de objetos ou alimentos impressos em 3D requer a utilização de *softwares* que permitam a criação estética da forma tridimensional desejada para a impressão do objeto. Embora os *softwares* de desenho assistido por computador (CAD) existam há anos no campo da engenharia e arquitetura, é necessário treinamento para a sua utilização efetiva (HURST et al., 2016).

Desde sua fundação em 1982, o *software* Autodesk tem sido amplamente utilizado na indústria da engenharia e arquitetura, oferecendo plataformas populares como AutoCAD e Revit. Entre as diversas opções disponíveis, a plataforma gratuita Autodesk 123D é uma escolha popular para indivíduos projetarem suas próprias criações. Além de fornecer ferramentas poderosas para modelagem e design em 3D, o *software* também possui uma interface amigável e intuitiva, tornando-o acessível a uma ampla gama de usuários (AUTODESK, 2021).

Há ainda outra opção de *software* para modelagem tridimensional, o *Tinkercad*, que também se destaca por ser online e gratuito. Desenvolvido pela *Autodesk*, o programa oferece uma interface simples e fácil de usar, além de permitir que os usuários armazenem seus dados em nuvem para fácil acesso em qualquer lugar. Dessa forma, o *Tinkercad* se mostra uma alternativa viável e acessível para aqueles que desejam criar modelos 3D sem precisar de conhecimentos técnicos avançados (TINKERCAD, 2021).

2.2.3.4 Sketchup

Lançado em 2000 e disponível em versões gratuitas e dependentes de licença, hoje em parceria com a Google, o *SketchUp* é um *software* de modelagem 3D amplamente utilizado na indústria de *design* e arquitetura. Embora o *software* não tenha sido desenvolvido especificamente para a impressão 3D de alimentos, pode ser utilizado para projetar objetos tridimensionais, incluindo moldes de alimentos. Com o uso de *plug-ins*, como o *SketchUp* STL, é possível exportar arquivos em formato compatível com impressoras 3D (SKETCHUP, 2021).

2.3 TINTA COMESTÍVEL (*FOOD INK*) PROPOSTA PARA IDOSOS COM DISFAGIA

Esta seção aborda dois tópicos principais: a utilização da base vegetal de batata inglesa e a incorporação de probióticos. São exploradas as características e benefícios da base de batata inglesa como alternativa vegetal na confecção de alimentos. Além disso, discute-se a importância da inclusão de probióticos na formulação, destacando seus potenciais efeitos positivos na saúde intestinal e bem-estar geral. A seção busca fornecer uma visão abrangente sobre a utilização da base de batata e a suplementação com probióticos na produção de alimentos 3D.

2.3.1 Base vegetal de batata inglesa

A batata inglesa tem sido amplamente utilizada na manufatura aditiva de alimentos devido às suas características nutricionais e tecnológicas. Como mencionado anteriormente, a batata é uma excelente alternativa para a base de uma *food ink*, por apresentar uma cadeia de amido que permite uma boa estruturação final da impressão (LIU et al., 2019). Além disso, a batata inglesa é uma excelente fonte de carboidratos, vitaminas e minerais, além de apresentar baixo teor de gordura, o que a torna um ingrediente de destaque na manufatura aditiva de alimentos. Ademais, as propriedades tecnológicas da batata, como viscosidade e textura, podem ser exploradas em vários processos de impressão 3D para criar alimentos com diferentes formas e texturas, tornando a batata uma escolha ideal para formulações de alimentos impressos em 3D (DANKAR et al., 2019).

Outros fatores importantes a serem considerados são a ampla disponibilidade e o baixo custo da batata inglesa, sendo estes fatores que a tornam uma alternativa promissora para a produção de alimentos impressos em 3D, que apresentam grande potencial no mercado de alimentos. Esses alimentos podem ser adaptados para atender às necessidades específicas de diferentes grupos de consumidores, incluindo idosos e indivíduos com restrições alimentares, como a disfagia. A batata inglesa é uma opção viável para produzir alimentos impressos em 3D (LIU et al., 2018) sem a necessidade de uso de aditivos, garantindo uma impressão eficiente e uma formulação saudável. Portanto, a utilização da batata inglesa na manufatura aditiva de alimentos é uma alternativa atraente que apresenta grande potencial para a produção de alimentos saudáveis e personalizados.

2.3.2 Incorporação de probióticos

A disbiose intestinal é uma condição em que há um desequilíbrio na microbiota intestinal, ou seja, as bactérias benéficas que habitam naturalmente o intestino são reduzidas em número e as maléficas são aumentadas. Esse desequilíbrio pode ser causado por diversos fatores, como dieta inadequada, uso indiscriminado de antibióticos, estresse, entre outros (KINASHI et al., 2021). Quando ocorre a disbiose intestinal, há uma redução da diversidade bacteriana, o que pode afetar a digestão e absorção de nutrientes, além de diminuir a produção de substâncias benéficas para a saúde, como vitaminas e ácidos graxos de cadeia curta. Isso pode levar a uma série de problemas de saúde, como síndrome do intestino irritável, obesidade, diabetes e doenças autoimunes (WIEËRS et al., 2020).

No envelhecimento, a homeostase da microbiota intestinal pode ser afetada por diversos fatores adversos, como a baixa ingestão alimentar, a sarcopenia, a inatividade física, a polifarmácia e a vulnerabilidade intestinal (STRASSER et al., 2021). Esses fatores estão relacionados com o desenvolvimento da disbiose intestinal em idosos, uma condição caracterizada por alterações na composição e função da microbiota intestinal que pode contribuir para o surgimento de diversas doenças. No entanto, a utilização de probióticos pode auxiliar no manejo adequado do quadro de disbiose, contribuindo para a manutenção da saúde intestinal, melhoria da qualidade de vida e prevenção da fragilidade do envelhecimento (JAYANAMA et al., 2020).

Outro aspecto relevante dos probióticos para a saúde dos idosos é relacionado à memória. Um estudo recente avaliou o uso do ProBiotic-4 (*Bifidobacterium lactis*, *Lactobacillus casei*, *Bifidobacterium bifidum* e *Lactobacillus acidophilus*) no eixo intestino-cérebro, utilizando camundongos monitorados molecularmente (YANG et al., 2020). Os autores observaram melhora no déficit de memória, redução das lesões neuronais e sinápticas, ativação glial e melhora na composição da microbiota fecal. Esses resultados sugerem que o uso de probióticos pode ser uma terapia de apoio para melhorar a função cognitiva em idosos.

Os probióticos são frequentemente administrados em formas farmacêuticas sólidas para uso oral. No entanto, idosos que apresentam determinados graus de disfagia além da polifarmácia, podem enfrentar dificuldades adicionais ao ter que ingerir mais um comprimido ou cápsula (DRUMOND; STEGEMANN, 2020). Portanto,

a utilização de alternativas para a administração de probióticos em cápsulas ou comprimidos pode ser uma opção benéfica para idosos com disfagia, evitando possíveis complicações no processo de deglutição e aumentando a adesão ao tratamento. De acordo com Liu e colaboradores (2019), algumas dessas alternativas podem incluir a utilização de alimentos fortificados com probióticos impressos em 3D.

3 OBJETIVOS

Esta seção aborda os objetivos geral e específicos da pesquisa.

3.1 GERAL

Utilizar a manufatura aditiva de alimentos como tecnologia assistiva para o desenvolvimento de uma tinta comestível (*food ink*) visualmente atrativa, nutricionalmente adequada e suplementada com probióticos, para pacientes idosos com disfagia.

3.2 ESPECÍFICOS

- Elaborar uma tinta comestível com desenhos tridimensionais atrativos;
- Avaliar possibilidade de inserção de probióticos na formulação base; visando a consistência final adequada para o processo produtivo;
- Realizar análises microbiológicas, de textura e reológicas da tinta comestível.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Esta seção consiste em seis subseções. A primeira subseção descreve o processo de preparo da tinta comestível (*food ink*). A segunda subseção aborda os valores nutricionais e energéticos da tinta comestível. A terceira subseção explora o processo produtivo utilizando uma impressora 3D. A quarta subseção detalha a análise microbiológica realizada para avaliar a qualidade do produto. A quinta subseção foca na análise de textura da tinta, buscando compreender suas características sensoriais. Por fim, a sexta subseção concentra-se na análise reológica, que investiga as propriedades de fluxo e viscosidade da tinta comestível. Essas subseções fornecem informações essenciais, permitindo uma compreensão mais completa do processo de desenvolvimento e avaliação da tinta comestível.

4.1 PREPARO DA TINTA COMESTÍVEL (*FOOD INK*)

A adequação das características de impressão, desde os ingredientes escolhidos até a manipulação da impressora 3D são os maiores desafios atuais para o desenvolvimento de comida 3D (HE et al., 2020). Por isso, para o preparo da *food ink* foram realizados testes prévios para melhor adequação da printabilidade da tinta comestível. Foram utilizados alimentos naturais minimamente processados, os quais foram adquiridos em mercado do município de Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil. Já a suplementação proposta para *food ink* foi adquirida numa farmácia magistral local.

Como alimento-base para a preparação, foi escolhido um alimento fonte de carboidratos, a batata inglesa, devido à facilidade de manuseio e modelagem deste alimento para o preparo da *food ink*. Os ingredientes da *food ink* foram constituídos por 99 g de batata inglesa cozida, 1 g de manteiga com sal e uma cápsula contendo a formulação de probióticos (Tabela 1).

Para o preparo da *food ink*, as batatas foram cozidas em panela de pressão por 10 minutos e descascadas após o cozimento. Posteriormente, foram homogeneizadas em processador (Philips Walita RI7630) por 5 minutos (velocidade 2), acrescentadas de manteiga até dar o ponto de purê. Após o preparo e resfriamento da tinta até temperatura ambiente, foi incorporada a cápsula de probióticos contendo 4×10^9 unidades formadoras de colônia (UFC). Metade desta formulação foi constituída por lactobacilos e a outra metade por bifidobactérias, tendo como base um estudo atual

que propôs o uso do ProBiotic-4 (*Bifidobacterium lactis*, *Lactobacillus casei*, *Bifidobacterium bifidum* e *Lactobacillus acidophilus*), como terapia de apoio para melhora da função cognitiva de idosos (YANG et al., 2020).

A amostra controle para as análises reológicas e microbiológicas foram realizadas da mesma forma, sem o acréscimo da cápsula de probióticos.

Tabela 1 - Composição da *food ink*.

Composição	Quantidade
Batata cozida	99g
Manteiga	1g
Sal	1g
<i>Bifidobacterium lactis</i>	1 bilhão UFC
<i>Lactobacillus casei</i>	1 bilhão UFC
<i>Bifidobacterium bifidum</i>	1 bilhão UFC
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	1 bilhão UFC
Excipientes (aerosil, estearato de magnésio, silicato de magnésio e microcelulose)	191,86 mg

UFC – unidade formadora de colônia

Fonte: a autora (2023).

4.2 VALORES NUTRICIONAL E ENERGÉTICO

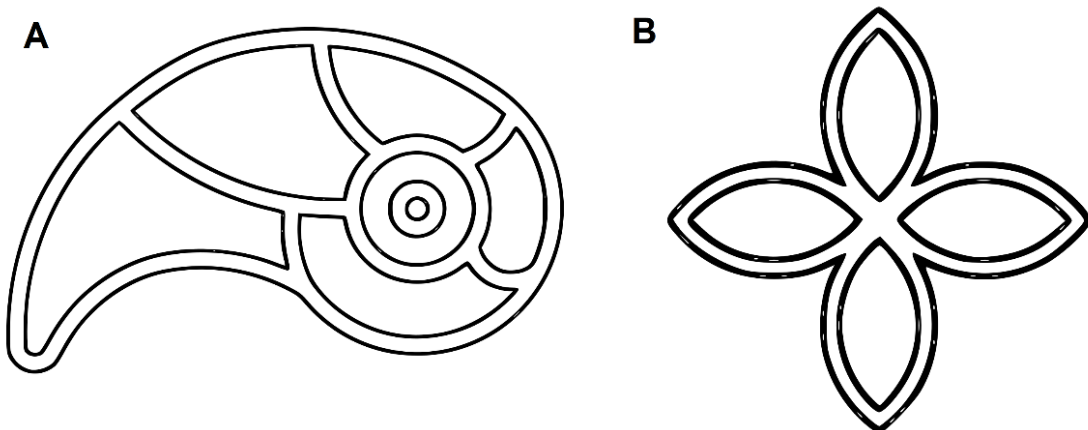
Para calcular a densidade calórica das receitas, foram pesados separadamente todos os ingredientes utilizados para a fabricação da mesma. Posteriormente, os ingredientes foram computados em uma tabela, na qual foi conferida as quantidades de macronutrientes presentes: carboidratos, lipídeos e proteínas. Após este processo, foi realizado o cálculo calórico da *food ink*, bem como o desenvolvimento da sua tabela nutricional, empregando para isso os dados provenientes da Tabela TACO (PHILLIP, 2011).

4.3 PROCESSO PRODUTIVO EM IMPRESSORA 3D

Os desenhos produzidos para a impressão da *food ink* (Figura 7 A e B) foram definidos de modo a demonstrar as possibilidades de customização do alimento e foram criados com auxílio do software de desenho assistido por computador, *Creativity Slicer*, para o dimensionamento e criação dos formatos de interesse e utilizando o processo de extrusão para impressão dos mesmos. Em seguida, o desenho foi convertido para o arquivo.STL, para a impressora 3D reconhecê-lo e imprimi-lo no formato 3D. A impressora utilizada é uma Ender 3 - PCyes adaptada para bioimpressão (Figura 8) disponibilizada pela empresa Bioedtech, no Brasil.

Para diminuir a formação de bolhas de ar na pasta, a *food ink* foi inserida em seringa de 10 mL, centrifugada (Eppendorf 5810 R) por 5 minutos a 1000 rotações por minuto (rpm) à temperatura ambiente e, posteriormente, acoplada na impressora para extrusão no formato de design pré-definido. Os parâmetros utilizados para impressão foram: 6 camadas de impressão, altura da camada de 0,2 mm, espessura da camada de 0,8mm, densidade de preenchimento de 10%, velocidade de extrusão de 80 mm/s, temperatura ambiente (24°C), ponteira (Cellink) constituída de polipropileno e com diâmetro de 32 mm.

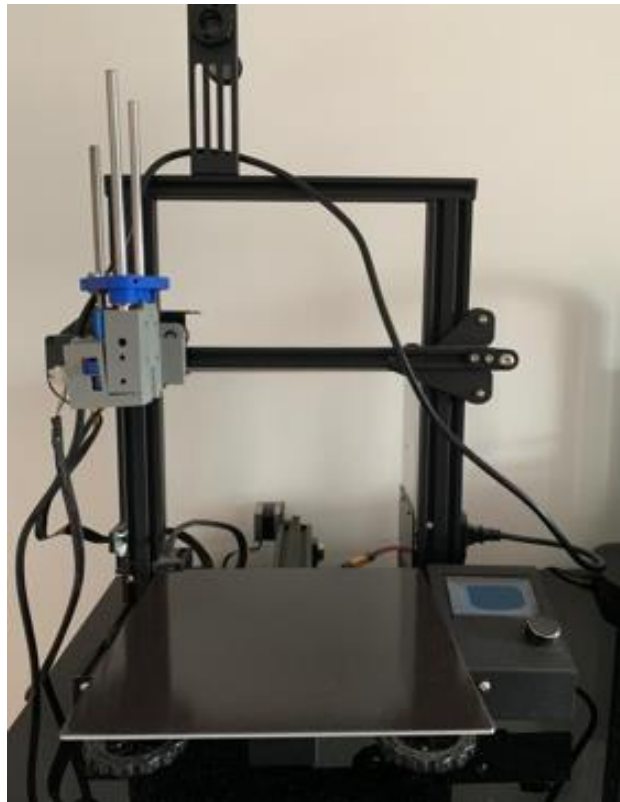
Figura 7 - Formatos definidos para impressão da *food ink*.



Fonte: a autora (2023).

A = camarão e B = estrela

Figura 8 - Impressora 3D Ender 3 - PCyes adaptada para bioimpressão.



Fonte: a autora (2023).

4.4 ANÁLISE MICROBIOLÓGICA

Para averiguar a viabilidade dos probióticos lácteos após o processamento da amostra, foi realizada a contagem de micro-organismos da mesma. Para isso, a amostra de *food ink* foi centrifugada e impressa sob os mesmos parâmetros utilizados para a impressão 3D.

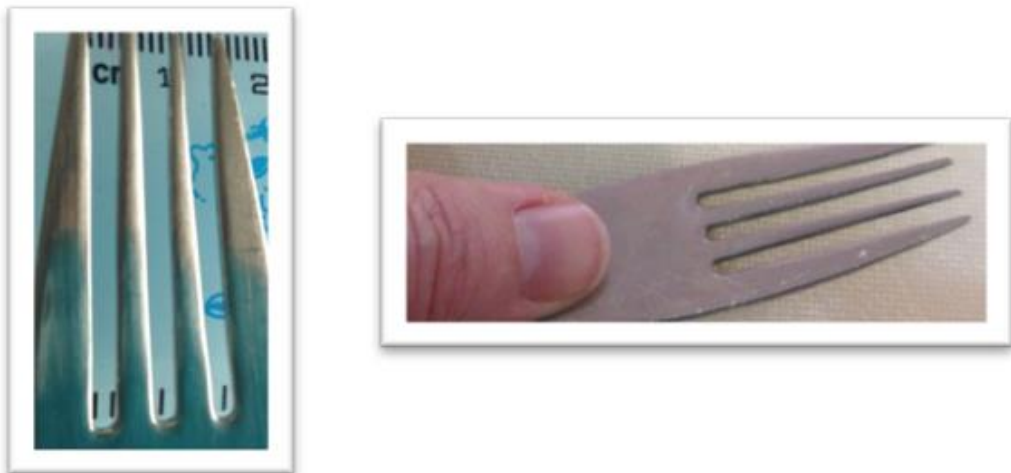
Para a realização da análise, 25 g da amostra foram dissolvidos em 225 mL de solução salina peptonada (0,85% cloreto de sódio e 0,1% de peptona) e homogeneizados em *stomacher* (estomagueira ou peitilho) por 2 minutos. As amostras foram diluídas em série na mesma solução e 1 mL de cada diluição foi plaqueado em duplicata em ágar De Man, Rogosa e Sharpe (MRS) (NERO et al., 2006). As placas foram incubadas em condições de microaerofilia a temperatura de 30 ± 1 °C por 72 horas.

4.5 ANÁLISE DE TEXTURA ESTABELECIDADA PELA IDDSI

A *food ink* foi criada para pacientes com disfagia que demandam consistência em nível 4, seguindo as normas da Iniciativa Internacional de Padronização de Dietas para Disfagia (IDDSI) de 2019. A IDDSI visa padronizar alimentos para pacientes com diferentes níveis de disfagia, independentemente da faixa etária ou do país em que se encontram. O IDDSI descreve cada nível de textura e utiliza testes manuais, como o teste de pressão do garfo, o teste de gotejamento do garfo e o teste de inclinação da colher, para verificar a segurança do alimento para um determinado grau de disfagia (CICHERO et al., 2017).

Para a avaliação usando o teste de pressão do garfo é aconselhável que você pressione a amostra de alimento com o polegar sobre a base do garfo (logo abaixo dos dentes), empregando uma força até que o branqueamento do leito ungueal seja observado conforme demonstrado na Figura 9. No entanto, é importante notar que garfos podem não estar prontamente disponíveis em algumas regiões do mundo. Uma alternativa útil pode ser aplicar pressão utilizando a base de uma colher de chá.

Figura 9 - Exemplo de teste de pressão do garfo.



Fonte: IDDSI (2016).

Para avaliar bebidas espessas e alimentos nos níveis 3 e 4, é possível realizar um teste observando se eles passam pelas fendas ou dentes de um garfo e, em seguida, comparar os resultados com as descrições detalhadas de cada nível. No

nível 4, os alimentos devem ficar empilhados acima dos dentes, e uma pequena quantidade pode escorrer entre eles mas sem fluir de maneira contínua (Figura 10).

Figura 10 - Exemplo de teste de gotejamento do garfo.



Fonte: IDDSI (2016).

O teste de inclinação da colher serve para determinar a consistência da amostra (adesividade) e sua habilidade em manter-se coesa. Este teste é predominantemente usado para avaliar amostras nos níveis 4 e 5. Para ser apropriada para nível 4, a amostra deve ser coesa o suficiente para manter sua forma na colher. Quando a colher é inclinada, virada de lado ou agitada levemente, uma colherada cheia deve escorregar facilmente da colher, com pouco alimento deixado na colher, evitando que a amostra seja pegajosa. Além disso, a amostra pode se espalhar ou cair muito ligeiramente em um prato (Figura 11).

Figura 11 - Exemplo de teste de inclinação da colher.



Fonte: IDDSI (2016).

4.6 ANÁLISE DO PERFIL DE TEXTURA

A análise do perfil de textura (TPA - do inglês *Texture Analyse Profile*) é uma ferramenta amplamente utilizada para analisar e comparar características texturais em várias amostras e, assim, obter percepções sobre as variações existentes. Para conduzir esta análise, foram coletadas amostras de tinta comestível contendo probióticos (*food ink* teste) e amostras de tinta comestível sem probióticos (*food ink* controle), a fim de investigar se possuíam características texturais distintas. Essas amostras foram cuidadosamente preparadas e submetidas à TPA, que avalia diversos parâmetros, como firmeza, adesividade, mastigabilidade, gomusidade e resiliência.

Os valores obtidos na análise do perfil de textura (TPA - do inglês *Texture Analyse Profile*) foram resultados da média de sete repetições para cada amostra. A análise foi obtida usando um analisador de textura - TAXT express (Stable Micro Systems), com probe cilíndrica de 0,5 mm (SMS P/0,5) com os seguintes parâmetros de trabalho: dupla compressão com intervalo de 10 s entre cada, 50 % de compressão, velocidade de teste 2,0 mm/s em cápsulas de aproximadamente 2,5 x 2,5 cm (altura x diâmetro) e força de gatilho de 1,0 g (LIU et al., 2019).

4.7 ANÁLISE REOLÓGICA

A avaliação reológica das amostras de *food ink* controle (F1) e *food ink* teste (F2) foi realizada a 10 °C utilizando um reômetro rotacional de cilindro concêntrico (Brookfield, modelo R/S plus SST 2000, com interface acoplada a microcomputador conectado ao software RHEOCALC V1.1) de acordo com os procedimentos descritos por Paula e colaboradores (2018). As curvas de fluxo foram realizadas utilizando um sensor CC14 com taxa de cisalhamento variando de 0 a 300 s⁻¹, submetendo-os a quatro rampas de fluxo (subida, descida, subida e descida) por 2 minutos cada e com medidas a cada 2 segundos a fim de eliminar o efeito da tixotropia e avaliar o comportamento reológico dos produtos.

Durante os experimentos, as amostras foram mantidas a 10 °C ± 0,1. Todos os ensaios foram realizados em triplicata. Os dados foram ajustados ao modelo de Herschel-Bulkley, de acordo com a Equação 1, usando o software Curve Expert Professional 2.2.0. Os valores de σ_0 , K e n foram usados para calcular a viscosidade

aparente (η , Pa·s) das amostras em função da taxa de deformação (taxa de cisalhamento).

$$\sigma = K(\dot{\gamma})^n + \sigma_0 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde σ : é a tensão (Pa), K: é o índice de consistência (Pa·sn), $\dot{\gamma}$: é a taxa de deformação (s⁻¹), σ_0 (Pa) é a tensão residual e n: é o índice de comportamento de fluxo (adimensional).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta seis subseções, fornecendo informações importantes sobre a pesquisa realizada. A primeira subseção traz os resultados relacionados ao preparo da tinta comestível, detalhando os ingredientes e o processo utilizado. A segunda subseção discute os valores nutricionais e energéticos da tinta, analisando seu potencial para atender às necessidades dietéticas. A terceira subseção apresenta os resultados do processo produtivo em impressora 3D, destacando a eficiência e a qualidade da impressão. A quarta subseção discute os resultados da análise microbiológica, avaliando a manutenção dos probióticos pós impressão. A quinta subseção aborda os resultados da análise de textura, discutindo a consistência e a adequação para o nível de consistência proposto. Por fim, a sexta subseção apresenta os resultados da análise reológica, explorando as propriedades de fluxo e viscosidade da tinta. Esses resultados são discutidos à luz da literatura existente e das metas estabelecidas para o estudo, oferecendo *insights* importantes para a compreensão e aprimoramento da *food ink*.

5.1 PREPARO DA TINTA COMESTÍVEL (*FOOD INK*)

A produção da *food ink* teve início com o planejamento e criação do produto, visando sua nutrição, aporte adequado de energia e suplementação com probióticos. Essa escolha foi baseada em estudos que indicam a eficácia dos probióticos na melhora da microbiota intestinal e da memória dos pacientes (YANG et al., 2019; HUTCHINSON et al., 2021; ALE et al., 2021).

Além disso, os alimentos que compõem a *food ink* e as quantidades otimizadas propiciaram viscosidade adequada para dar sustentação à impressão 3D (em seis camadas) da *food ink* e para a estabilidade da mesma por duas horas após o processo de impressão, antes de começar a perder auto-sustentação e iniciar o processo de deformação.

5.2 VALORES NUTRICIONAL E ENERGÉTICO

O cálculo nutricional da *food ink* foi realizado considerando 4 kcal/g para carboidratos e proteínas e 9 kcal/g para lipídeos, além dos quantitativos de macronutrientes disponibilizados pela Tabela TACO (PHILLIP, 2011). As informações nutricionais e de calorias da *food ink* estão descritas na Tabela 2.

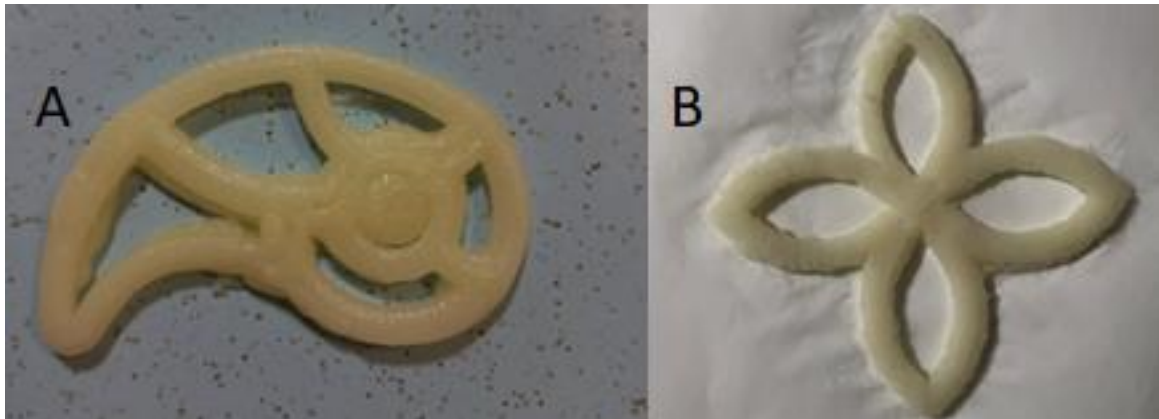
Tabela 2 - Informações nutricionais e de calorias da *food ink* formulada.

Amostra (100 g)	Carboidratos (g)	Proteínas (g)	Lipídeos (g)	Energia (Kcal)	Fibra alimentar (g)	Magnésio (mg)
<i>Food ink</i>	10,71	1,08	0,82	54,60	1,3g	5mg

5.3 PROCESSO PRODUTIVO EM IMPRESSORA 3D

Os parâmetros de extrusão mais adequados para o design escolhido foram definidos com base em estudos já existentes com *food ink* de base alimentícia semelhante (DANKAR et al., 2019; LIU et al., 2020) e, otimizados com testes prévios para garantir boa capacidade de resolução e manutenção da forma do material. Após esse processo, foi realizada a extrusão da *food ink*, gerando uma forma estável, com boa capacidade de auto-sustentação e boa resolução da imagem pré-definida (Figura 12). A quantidade de *food ink* impressa correspondeu a 10 gramas, sendo necessário o consumo de 100 g diários para atender a quantidade proposta de probióticos.

Figura 12 - *Food ink* impressa pelo método de extrusão.



Fonte: a autora (2023).

A = camarão e B = estrela

5.4 ANÁLISE MICROBIOLÓGICA

Foi contabilizada a quantidade total de probióticos lácticos da amostra após o processamento da mesma, resultando em $3,24 \times 10^7$ UFC em 100 g de um total de 2×10^9 UFC em 100 g de *food ink*. A partir desse resultado, é possível perceber que houve redução dos micro-organismos lácteos viáveis após o processamento da amostra, sendo um resultado compatível com a literatura que também obtiveram redução no número de micro-organismos viáveis. Tal fato pode ser decorrente de vários fatores, tais como taxa de cisalhamento, tempo de estocagem, diâmetro de extrusão (LIU e et al., 2020; ZHANG et al., 2018). No entanto, não é possível aqui definir qual(is) deles influenciaram na perda. Segundo Yoha e colaboradores (2021), a tecnologia de encapsulamento de probióticos se mostra eficaz para redução da perda de micro-organismos viáveis após processamento de impressão 3D, indicando um possível avanço para a área alimentícia.

Apesar da diminuição de probióticos viáveis da amostra, há estudos que sugerem que microorganismos não viáveis também proporcionam benefícios à saúde, devido a terem o mesmo potencial de adesão na mucosa intestinal que os probióticos viáveis. Portanto, a redução dos microorganismos viáveis não é um fator determinante para comprovar os benefícios da *food ink* proposta (LAHTINEM, 2012; IACONELLI et al., 2015). Uma limitação deste estudo consistiu no fato de que probióticos de origem não láctea não foram contabilizados nesta análise microbiológica, devido à restrição laboratorial para execução da análise (não foi encontrado parceiro científico que

executasse esta análise específica nas cidades circunvizinhas), impossibilitando a mensuração real da quantidade final de microorganismos viáveis.

5.5 ANÁLISE DE TEXTURA ESTABELECIDA PELA IDDSI

De acordo com a padronização dos níveis de texturas estabelecidas pelo IDDSI (Figura 13), a *food ink* produzida no estudo é classificada no nível 4, correspondente à textura de purê. Para garantir a segurança da sua ingestão por pacientes com disfagia, foram realizados três tipos de testes estabelecidos pela IDDSI para este tipo de textura: teste de pressão do garfo, teste de gotejamento do garfo e teste de inclinação da colher.

Figura 13 - Níveis de textura estabelecidos pela IDDSI.



Fonte: (IDDSI, 2016).

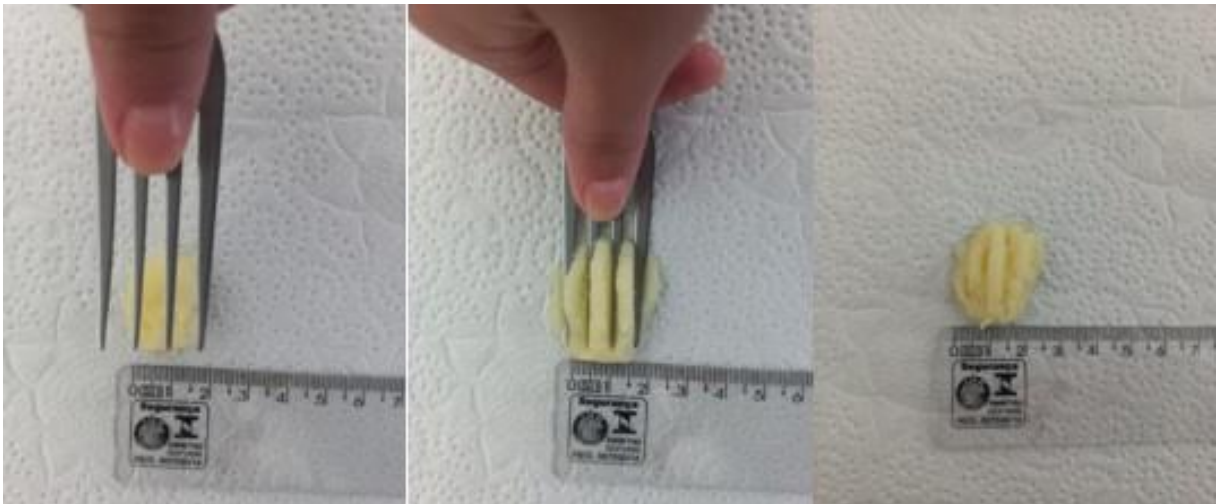
No teste de pressão do garfo, a amostra se mostrou sem grumos e manteve a forma do garfo ao ser submetida à uma pressão suave, conforme demonstrado na Figura 14. Já no teste de gotejamento do garfo, a amostra ficou coesa em cima do garfo sem escorrer entre os dentes do mesmo, conforme demonstrado na Figura 15.

E por fim, no teste de inclinação da colher a amostra ficou coesa em cima da colher, caiu com facilidade sob ligeira inclinação, deixando poucos resíduos na colher, conforme demonstrado na Figura 16.

Estes resultados demonstraram que a *food ink* atende aos critérios de textura e escoamento estabelecidos pela IDDSI, tornando-se uma opção adequada e segura para pacientes com disfagia de nível 4, que necessitam de alimentos com textura semelhante à de purê.

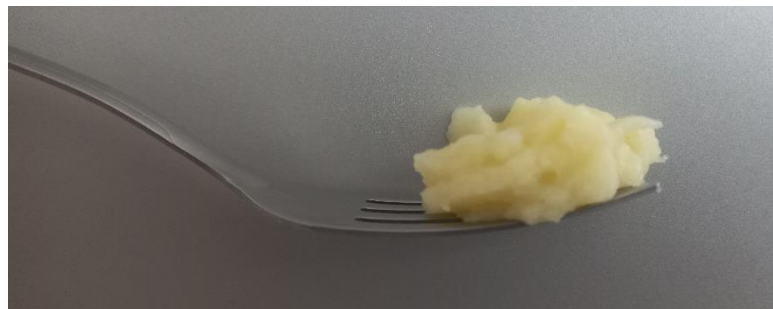
A padronização dos níveis de textura estabelecidos pela IDDSI tem se mostrado eficaz na garantia de uma deglutição com menor efeito colateral, uma vez que os alimentos são classificados de acordo com o nível de textura tolerado pelo paciente com disfagia (LAM et al., 2017; SU et al., 2018).

Figura 14 - Teste de pressão do garfo estabelecido pela IDDSI.



Fonte: a autora (2023).

Figura 15 - Teste de gotejamento do garfo estabelecido pela IDDSI.



Fonte: a autora (2023).

Figura 16 - Teste de inclinação da colher estabelecido pela IDDSI.



Fonte: a autora (2023).

5.6 ANÁLISE DO PERFIL DE TEXTURA

Após a conclusão da análise, os resultados revelaram que não houve diferença estatisticamente significativa ($p > 0,05$) nos parâmetros de textura entre as amostras (Tabela 3). Isso significa que, com base na análise estatística realizada, as amostras apresentam características texturais semelhantes ou que qualquer diferença observada não é estatisticamente relevante. Este resultado é relevante, uma vez que sugere que a incorporação de probióticos não exerce impacto sobre as características texturais analisadas. Esse achado tem implicações significativas, especialmente para a aplicação da tinta comestível para fins industriais.

Tabela 3 - Análise do perfil de textura das formulações.

Amostra	Resultados				
	Firmeza (J)	Adesividade (g.s ⁻¹)	Mastigabilidade	Gomusidade	Resiliência
<i>Food ink</i> controle (F1)	51,70	-150,10	37,75	38,43	0,02
<i>Food ink</i> teste (F2)	64,00	-185,10	50,60	51,48	0,02

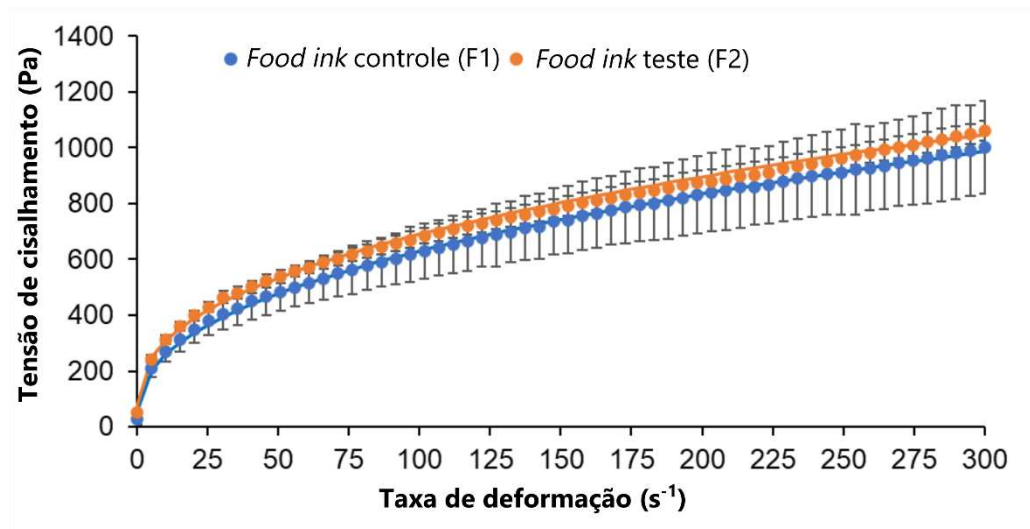
Fonte: a autora (2023).

5.7 ANÁLISE REOLÓGICA

As propriedades reológicas são parâmetros fundamentais para o desempenho de sustentação da *food ink* após processo de impressão (LIU et al., 2020). Assim sendo, a Figura 17 mostra a relação entre a tensão de cisalhamento (σ , Pa) e a taxa de deformação ($\dot{\gamma}$, s⁻¹) das amostras de *food ink* controle (F1) e *food ink* teste (F2) a 10 °C.

A partir do perfil das curvas obtidas é verificado um aumento não linear da tensão de cisalhamento com o aumento da taxa de deformação independente da amostra, representando um comportamento de fluidos não newtonianos, e estando de acordo com a Hu e colaboradores (2022) que relacionaram tensão de cisalhamento com a capacidade de manutenção da forma após impressão.

Figura 17 - Tensão de cisalhamento (σ , Pa) versus Taxa de deformação ($\dot{\gamma}$, s⁻¹) a 10 °C das amostras de *food ink* controle (F1) e *food ink* teste (F2).



Fonte: a autora (2023).

Círculos são os dados experimentais obtidos e as linhas são os dados obtidos pelo modelo de Herschel-Bulkley.

Os dados experimentais ajustaram-se adequadamente ao modelo Herschel-Bulkley, com valores de coeficientes de determinação (R^2) maiores que 0,999 (Tabela 4).

Os parâmetros reológicos do modelo [tensão residual (σ_0), índice de consistência (K) e o índice de comportamento do fluxo (n)] das amostras são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Propriedades reológicas das amostras de *food ink* controle (F1) e *food ink* teste (F2) avaliadas a 10°C.

Modelo de Herschel-Bulkley					
Amostra	Tensão residual, σ_0 (Pa)	Índice de consistência, k (Pa.sⁿ)	Índice de comportamento de fluxo, n	Coefficiente de determinação, R²	Viscosidade aparente (Pa.s) em $\dot{\gamma}$ a 100 s⁻¹
<i>Food ink</i> controle (F1)	42,6±19,1 ^a	80,5±13,9 ^a	0,43±0,02 ^a	0,999	6,30±0,97 ^a
<i>Food ink</i> teste (F2)	69,8±13,5 ^a	92,1±18,5 ^a	0,41±0,03 ^a	0,999	6,82±0,30 ^a

$\dot{\gamma}$: taxa de deformação. Letras diferentes representam diferença significativa entre as amostras para cada parâmetro avaliado ($p > 0,05$). A taxa de deformação de 100 s⁻¹ foi escolhida por estar dentro da faixa de valores de taxa de deformação encontradas na boca e no processamento de alimentos, por exemplo, ao escoar o fluido por meio de tubos e/ou submetidos à agitação.

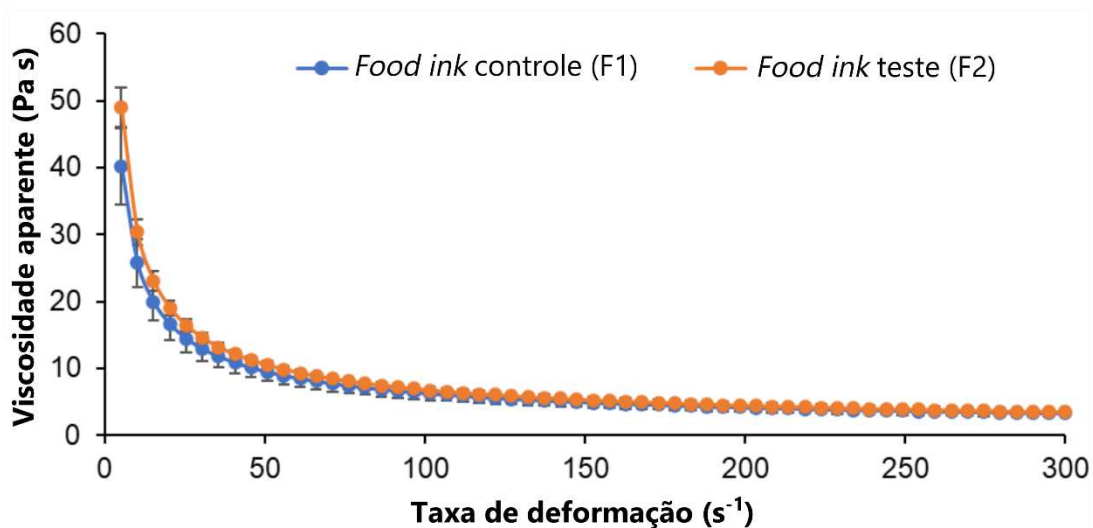
Foi verificado que a 10 °C, as amostras apresentaram tensão residual (σ_0) (comportamento característico de fluido do tipo Herschel-Bulkley). Isto é, para que ocorresse o escoamento destas amostras é necessário a aplicação de uma tensão (“força”). Entretanto, baseado na avaliação estatística, não há diferença na tensão residual entre as amostras ($p > 0,05$). Ou seja, a força necessária para as amostras escoarem a 10 °C é similar. Este dado está de acordo com a literatura, uma vez que quanto menor a temperatura em relação ao ambiente, maior a força a ser aplicada para escoamento da amostra (MARTÍNEZ-MONZÓ et al., 2019).

Em relação ao índice de consistência (K), todos os valores encontrados estavam acima de zero, enquanto os valores de n variaram entre 0,41 e 0,43. Com isso, como $n > 0$, $K > 0$ e $\sigma_0 > 0$, ratifica-se um comportamento não newtoniano (característico de fluido Herschel-Bulkley) para as amostras avaliadas, como já observado anteriormente.

Além das amostras terem apresentado comportamento reológico similar (classificadas como fluido Herschel-Bulkley), não foram verificadas diferenças em relação ao índice de consistência e à viscosidade aparente (Tabela 4) ($p > 0,05$). Esse resultado é interessante, uma vez que a adição do microrganismo probiótico na formulação não afetou as características reológicas do produto.

Para confirmar essas informações, a Figura 18 apresenta a viscosidade aparente das amostras de *food ink* controle (F1) e *food ink* teste (F2) a 10 °C em função da taxa de deformação. Com base no perfil da curva é observado um decréscimo na viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação, apresentando uma relação não linear característica de um comportamento não newtoniano de um fluido Herschel-Bulkley, que se deve aos fenômenos de quebra da rede e alinhamento das cadeias no sentido do campo de cisalhamento. Novamente, na avaliação comparativa entre as amostras, é possível perceber que em diferentes taxas de deformação, as amostras não apresentaram diferença entre si.

Figura 18 - Viscosidade aparente das amostras de *food ink* controle (F1) e *food ink* teste (F2) a 10°C em função da taxa de deformação.



Fonte: a autora (2023).

Em suma, os resultados indicam que não existem diferenças estatisticamente significativas nos parâmetros reológicos avaliados a 10°C entre as amostras adicionadas de probióticos e as amostras controle. Isso sugere que a adição dos probióticos no purê não afetou suas propriedades reológicas, quando mantidas sob refrigeração.

6 CONCLUSÃO

A análise conjunta dos dados permite concluir que foi possível a elaboração de uma tinta comestível à base de purê de batatas e enriquecida com probióticos, a qual exibiu características reológicas e de textura que permitiram sua impressão em dois formatos lúdicos pela tecnologia de impressão 3D por extrusão. Tais resultados demonstraram a versatilidade desta ferramenta tecnológica para auxiliar o preparo personalizado de refeições nutricionais e esteticamente atrativas aos pacientes.

Além disso, o estudo abre portas para a criação de novas formulações (*food inks*) que apresentem em sua composição vitaminas, minerais, compostos bioativos, insumos farmacêuticos ativos e pré e/ou outros probióticos, bem como a apresentação em outros formatos esteticamente agradáveis, de modo a aumentar a atratividade da refeição e facilitar a ingestão dos probióticos e/ou compostos de interesse.

Portanto, a tecnologia de manufatura aditiva de alimentos se apresenta como uma opção inovadora e eficaz para a produção de uma comida impressa digitalmente para pacientes com disfagia.

REFERÊNCIAS

- 3D LAB. Creality Slicer ou Cura? Qual é o melhor fatiador?. Disponível em: <<https://www.3dlab.com.br/creality-slicer/>>. Acesso em: 4 jun. 2023.
- 3D SYSTEMS. Geomagic *Design X*. Versão 2021. Disponível em: <<https://www.3dsystems.com>>. Acesso em: 4 jun. 2023.
- ALE, E. C.; BINETTI, A. G. Role of probiotics, prebiotics, and synbiotics in the elderly: Insights into their applications. **Frontiers in Microbiology**, v. 12, p. 631254, 2021.
- ALIHEIDARI, N. et al. Optimizing fused deposition modeling 3D printing process for fracture resistance. In: **75th Annual Technical Conference and Exhibition of the Society of Plastics Engineers, SPE ANTEC Anaheim 2017**. Society of Plastics Engineers, 2017. p. 89-93.
- ANUKIRUTHIKA, T.; MOSES, J. A.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. 3D printing of egg yolk and white with rice flour blends. **Journal of Food Engineering**, v. 265, p. 109691, 2020.
- AUTODESK. Software de modelagem 3D. Versão 2021. Disponível em: <<https://www.autodesk.com>>. Acesso em: 4 jun. 2023.
- AZAM, Roknul SM et al. Effect of different gums on features of 3D printed object based on vitamin-D enriched orange concentrate. **Food Biophysics**, v. 13, p. 250-262, 2018.
- BARCZEWSKI, B. F. et al. Applications of additive manufacturing in ophthalmology. **Revista Brasileira de Oftalmologia**, v. 81, 2022.
- BERGO, P. L. S. et al. Transformando desperdício de alimentos em indulgência com o uso de novas tecnologias. 2019.
- BRANCIFORTI, Diego Savio et al. Visible light 3D printing with epoxidized vegetable oils. **Additive Manufacturing**, v. 25, p. 317-324, 2019.
- Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção Primária à Saúde. Departamento de Gestão do Cuidado Integral. Guia de cuidados para a pessoa idosa. Brasília: Ministério da Saúde, 2023.

CASTRO, Josué de. O problema alimentar brasileiro. Prefácio, Pedro Escudero. São Paulo: Companhia Editora Nacional. 1937

CHANG, Jinke et al. Advanced material strategies for next-generation additive manufacturing. **Materials**, v. 11, n. 1, p. 166, 2018.

CHEN, Jingwang et al. Application of soy protein isolate and hydrocolloids based mixtures as promising food material in 3D food printing. **Journal of Food Engineering**, v. 261, p. 76-86, 2019.

CICHERO, J. AY. et al. Development of international terminology and definitions for texture-modified foods and thickened fluids used in dysphagia management: the IDDSI framework. **Dysphagia**, v. 32, n. 2, p. 293-314, 2017.

COHEN, Adir et al. Mandibular reconstruction using stereolithographic 3-dimensional printing modeling technology. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology**, v. 108, n. 5, p. 661-666, 2009.

COLONETTI, K.; ROESCH, L. F.; SCHWARTZ, I. V. D. The microbiome and inborn errors of metabolism: Why we should look carefully at their interplay?. **Genetics and Molecular Biology**, v. 41, p. 515-532, 2018.

CREALITY. Creality Slicer. Versão 2020. Disponível em: <<https://www.creality.com>>. Acesso em: 4 jun. 2023.

CROITORU-SADGER, T. et al. Two-component cross-linkable gels for fabrication of solid oral dosage forms. **Journal of Controlled Release**, v.303, p. 274-280, jun. 2019.

DAI, Lei et al. 3D printing using plant-derived cellulose and its derivatives: A review. **Carbohydrate polymers**, v. 203, p. 71-86, 2019.

DANKAR, I. et al. 3D printing technology: The new era for food customization and elaboration. **Trends in Food Science and Technology**, v.75, p. 231-242, mai. 2018.

DANKAR, I. et al. Assessing Mechanical and Rheological Properties of Potato Puree: Effect of Different Ingredient Combinations and Cooking Methods on the Feasibility of 3D Printing. **Foods**, p. 9-21, dez. 2019.

DE SIRE, Alessandro et al. Sarcopenic dysphagia, malnutrition, and oral frailty in elderly: a comprehensive review. **Nutrients**, v. 14, n. 5, p. 982, 2022.

DEMEI, Kong et al. 3D food printing: Controlling characteristics and improving technological effect during food processing. **Food Research International**, p. 111120, 2022.

DEROSSO, A. et al. Could 3D food printing help to improve the food supply chain resilience against disruptions such as caused by pandemic crises?. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 56, n. 9, p. 4338-4355, 2021.

DEROSSO, Antonio et al. Critical variables in 3D food printing. In: **Fundamentals of 3D food printing and applications**. Academic Press, 2019. p. 41-91.

DÍAZ-TORRES, E. et al. Integrating pressure sensor control into semi-solid extrusion 3D printing to optimize medicine manufacturing. **International Journal of Pharmaceutics: X**, v. 4, p. 100133, 2022.

DICK, A. et al. Feasibility study of hydrocolloid incorporated 3D printed pork as dysphagia food. **Food Hydrocolloids**, v. 107, p. 105940, 2020.

DICK, Arianna; BHANDARI, Bhesh; PRAKASH, Sangeeta. 3D printing of meat. **Meat science**, v. 153, p. 35-44, 2019.

DRUMOND, N; STEGEMANN, S. Better Medicines for Older Patients: considerations between patient characteristics and solid oral dosage form designs to improve swallowing experience. **Pharmaceutics**, v. 13, n. 1, p. 32-56, 2020.

DUDEK-WICHER, R. et al. Clinical trials of probiotic strains in selected disease entities. **International Journal of Microbiology**, v. 2020, 2020.

GHAISAS, S.; MAHER, J.; KANTHASAMY, A. Gut microbiome in health and disease: Linking the microbiome–gut–brain axis and environmental factors in the pathogenesis of systemic and neurodegenerative diseases. **Pharmacology & therapeutics**, v. 158, p. 52-62, 2016.

GHOLAMIPOUR-SHIRAZI, A. et al. How to Formulate for Structure and Texture via Medium of Additive Manufacturing-A Review. **Foods**, v.9, p. 497, abr. 2020.

HE, C.; ZHANG, M.; FANG, Z. 3D printing of food: pretreatment and post-treatment of materials. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 60, n. 14, p. 2379-2392, 2020.

HOLLAND, Sonia et al. Design and characterisation of food grade powders and inks for microstructure control using 3D printing. **Journal of Food Engineering**, v. 220, p. 12-19, 2018.

HU, L. et al. Effect of enzymatic-ultrasonic hydrolyzed chitooligosaccharide on rheology of gelatin incorporated yogurt and 3D printing. **Food Hydrocolloids**, p. 107851, 2022.

HUANG, Meng-sha; ZHANG, Min; BHANDARI, Bhesh. Assessing the 3D printing precision and texture properties of brown rice induced by infill levels and printing variables. **Food and Bioprocess Technology**, v. 12, p. 1185-1196, 2019.

HURST, E.J. 3D Printing in Healthcare: Emerging Applications. **Journal of Hospital Librarianship**, v.16, n.3, p.255-267, jul. 2016.

HUTCHINSON, A. N. et al. The effect of probiotics on health outcomes in the elderly: a systematic review of randomized, placebo-controlled studies. **Microorganisms**, v. 9, n. 6, p. 1344, 2021.

IACONELLI, C. et al. Drying process strongly affects probiotics viability and functionalities. **Journal of biotechnology**, v. 214, p. 17-26, 2015.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; 2018. Disponível em <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/18318-piramide-etaria.html>. Acesso em: 15 de out. de 2019.

IZDEBSKA, J. 3D food printing – facts and future. **Agro FOOD Industry Hi Tech**, v.27. n.3, p. 35-40, abr. 2016.

JAYANAMA, K.; THEOU, O. Effects of probiotics and prebiotics on frailty and ageing: a narrative review. **Current clinical pharmacology**, v. 15, n. 3, p. 183-192, 2020.

JONKERS, N. et al. Experimental characterization and modeling of the mechanical behavior of brittle 3D printed food. **Journal of Food Engineering**, v. 278, ago. 2020.

JUNQUEIRA, L. A. et al. Coupling of fused deposition modeling and inkjet printing to produce drug loaded 3D printed tablets. **Pharmaceutics**, v. 14, n. 1, p. 159, 2022.

JUNQUEIRA, L. A. et al. Fabrication Of Oral Low-Dose Minoxidil Printlets Using A Novel Single-Step Process. **J. Multidiscip. Eng. Sci. Technol**, v. 6, p. 10466-10470, 2019.

KIM, W. K. et al. Effect of Hydrocolloids on Rheological Properties and Printability of Vegetable Inks for 3D Food Printing. **Journal of Food Science**, dez. 2018.

KINASHI, Yusuke; HASE, Koji. Partners in leaky gut syndrome: intestinal dysbiosis and autoimmunity. **Frontiers in immunology**, v. 12, p. 673708, 2021.

KRISTIAWAN, Ruben Bayu et al. A review on the fused deposition modeling (FDM) 3D printing: Filament processing, materials, and printing parameters. **Open Engineering**, v. 11, n. 1, p. 639-649, 2021.

KUMARI, G. et al. A voyage from 3D to 4D printing in nanomedicine and healthcare: part II. **Nanomedicine**, v. 17, n. 4, p. 255-270, 2022.

LAHTINEN, S. J. Probiotic viability—does it matter?. **Microbial ecology in health and disease**, v. 23, n. 1, p. 18567, 2012.

LAM, P. et al. The international dysphagia diet standardisation initiative (IDDSI) framework: The Kempen pilot. **British Journal of Neuroscience Nursing**, v. 13, n. Sup2, p. S18-S26, 2017.

LANARO, Matthew; DESSELLE, Mathilde R.; WOODRUFF, Maria A. 3D printing chocolate: Properties of formulations for extrusion, sintering, binding and ink jetting. In: **Fundamentals of 3D food printing and applications**. Academic Press, 2019. p. 151-173.

LEE, J. A 3D Food Printing Process for the New Normal Era: A Review. **Processes**, v. 9, n. 9, p. 1495, 2021.

LIMA, Eveline Fontes Costa et al. Ingestão alimentar de cálcio e vitamina D em idosos: Food intake of calcium and vitamin D in elderly. **Revista Enfermagem Atual In Derme**, v. 87, n. 25, 2019.

LIU, Y. et al. Effects of Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics on Calcium Homeostasis and Bone Health With Aging: A Systematic Review. **Worldviews on Evidence-Based Nursing**, v. 16, n. 6, p. 478-484, 2019.

LIU, Z. et al. Creation of internal structure of mashed potato construct by 3D printing and its textural properties. **Food Research International**, v.111, p.534-543, set. 2018.

LIU, Z. et al. Effect of gums on the rheological, microstructural and extrusion printing characteristics of mashed potatoes. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.117, p.1179-1187, out. 2018.

LIU, Z.; BHANDARI, B.; ZHANG, M. Incorporation of probiotics (*Bifidobacterium animalis* subsp. *Lactis*) into 3D printed mashed potatoes: Effects of variables on the viability. **Food Research International**, v. 128, p. 108795, 2020.

LOGRIPPO, S. et al. Oral drug therapy in elderly with dysphagia: between a rock and a hard place!. *Clinical Interventions In Aging*, , v. 12, p. 241-251, 2017.

LORENZ, T. et al. 3D Food Printing Applications Related to Dysphagia: A Narrative Review. **Foods**, v. 11, n. 12, p. 1789, 2022.

MA, Yizhou; ZHANG, Lu. Formulated food inks for extrusion-based 3D printing of personalized foods: a mini review. **Current Opinion in Food Science**, v. 44, p. 100803, 2022.

MAHAN, L. Kathleen. *Krause alimentos, nutrição e dietoterapia/L. Kathleen Mahan, Janice L. Raymond*;[tradução Verônica Mannarino, Andréa Favano].— 2018.

MANIGLIA, Bianca C. et al. Hydrogels based on ozonated cassava starch: Effect of ozone processing and gelatinization conditions on enhancing 3D-printing applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 138, p. 1087-1097, 2019.

MANTHAL, S. et al. Effect of additives on thermal, rheological and tribological properties of 3D printed dark chocolate. **Food Research International**, v. 119, p. 161-169, 2019.

MARTÍNEZ-MONZÓ, J.; CÁRDENAS, J.; GARCÍA-SEGOVIA, P. Effect of temperature on 3D printing of commercial potato puree. **Food Biophysics**, v. 14, n. 3, p. 225-234, 2019.

MOHAMDEEN, Y. M. G. et al. Development of 3D printed drug-eluting contact lenses. **Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v. 74, n. 10, p. 1467-1476, 2022.

NERO, Luis Augusto et al. Comparison of Petrifilm aerobic count plates and de Man–Rogosa–Sharpe agar for enumeration of lactic acid bacteria. **Journal of Rapid Methods & Automation in Microbiology**, v. 14, n. 3, p. 249-257, 2006.

PANT, Aakanksha et al. 3D food printing of fresh vegetables using food hydrocolloids for dysphagic patients. **Food Hydrocolloids**, v. 114, p. 106546, 2021.

PAULA, D. A. et al. Increased thermal stability of anthocyanins at pH 4.0 by guar gum in aqueous dispersions and in double emulsions W/O/W. **International Journal of Biological Macromolecules**, v, 117, p. 665-672. 2018.

PEREIRA, Tatiana; BARROSO, Sónia; GIL, Maria M. Food texture design by 3D printing: A review. **Foods**, v. 10, n. 2, p. 320, 2021.

PÉREZ, B. et al. Impact of macronutrients printability and 3D-printer parameters on 3D-food printing: A review. **Food Chemistry**, v. 287, p.249-257, jul. 2019.

POCIDONI, J. B. N. et al. Supplementation for diarrhea control in hospitalized geriatric patients on enteral nutrition. **Geriatrics, Gerontology and Aging**, v. 13, n. 1, p. 28-35, 2019.

SARKAR, Anwesha. Oral processing in elderly: Understanding eating capability to drive future food texture modifications. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 78, n. 3, p. 329-339, 2019.

SEIXAS, D. Compostos bioativos dos alimentos. **Editora: VP, São Paulo**, 2015.

ŞEKER, Şükran; ELÇİN, Ayşe Eser; ELÇİN, Yaşar Murat. Advances in Regenerative Medicine and Biomaterials. In: **Gene, Drug, and Tissue Engineering**. New York, NY: Springer US, 2022. p. 127-152.

SEOANE-VIAÑO, I. et al. Translating 3D printed pharmaceuticals: From hype to real-world clinical applications. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 174, p. 553-575, 2021.

SEVERINI, C. et al. 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, mar. 2018.

SEVERINI, Carla; DEROSI, Antonio; AZZOLLINI, Domenico. Variables affecting the printability of foods: Preliminary tests on cereal-based products. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 38, p. 281-291, 2016.

SILVA, Laura Mata de Lima et al. Disfagia e sua relação com o estado nutricional e ingestão calórico-proteica em idosos. **Revista Cefac**, v. 21, 2019.

SKETCHUP. Sketchup. Versão 2021. Disponível em: <<https://www.sketchup.com>>. Acesso em: 4 jun. 2023.

SOMMER, A. C.; BLUMENTHAL, E. Z. Implementations of 3D printing in ophthalmology. **Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology**, v. 257, n. 9, p. 1815-1822, 2019.

STRASSER, Barbara et al. The effects of lifestyle and diet on gut microbiota composition, inflammation and muscle performance in our aging society. **Nutrients**, v. 13, n. 6, p. 2045, 2021.

SU, Mingsong et al. Clinical applications of IDDSI framework for texture recommendation for dysphagia patients. **Journal of texture studies**, v. 49, n. 1, p. 2-10, 2018.

SUN, Jie et al. An overview of 3D printing technologies for food fabrication. **Food and bioprocess technology**, v. 8, p. 1605-1615, 2015.

SUZUKI, Yuya; TAKAGISHI, Kensuke; UMEZU, Shinjiro. Development of a high-precision viscous chocolate printer utilizing electrostatic inkjet printing. **Journal of food process engineering**, v. 42, n. 1, p. e12934, 2019.

TACO. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. Versão 4. Unicamp, São Paulo, 2011

TERFANSKY, Michelle L.; THANGAVELU, Madhu. 3D printing of food for space missions. In: **AIAA SPACE 2013 Conference and Exposition**. 2013. p. 5346.

TINKERCAD. Tinkercad. Versão 2021. Disponível em: <<https://www.tinkercad.com>>. Acesso em: 4 jun. 2023.

TRAN, Jasper L. 3D-printed food. **Minn. JL Sci. & Tech.**, v. 17, p. 855, 2016.

TSAI, Y. et al. Gerobiotics: Probiotics targeting fundamental aging processes. **Bioscience of microbiota, food and health**, v. 40, n. 1, p. 1-11, 2021.

United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2022). World Population Prospects 2022: Summary of Results. UN DESA/POP/2022/TR/NO. 3.

WIEËRS, Grégoire et al. How probiotics affect the microbiota. **Frontiers in cellular and infection microbiology**, v. 9, p. 454, 2020.

XING, Xuebing et al. Development of black fungus-based 3D printed foods as dysphagia diet: Effect of gums incorporation. **Food Hydrocolloids**, v. 123, p. 107173, 2022.

YANG, Shengjie et al. Gut microbiota-dependent marker TMAO in promoting cardiovascular disease: inflammation mechanism, clinical prognostic, and potential as a therapeutic target. **Frontiers in pharmacology**, v. 10, p. 1360, 2019.

YANG, X. et al. Probiotics modulate the microbiota–gut–brain axis and improve memory deficits in aged SAMP8 mice. *Acta Pharmaceutica Sinica B*, v. 10, n. 3, p. 475-487, 2020.

YOHA, K. S. et al. 3D printing of encapsulated probiotics: Effect of different post-processing methods on the stability of *Lactiplantibacillus plantarum* (NCIM 2083) under static in vitro digestion conditions and during storage. **LWT**, v. 146, p. 111461, 2021.

YU, Xiliang et al. Hydrophilic colloids (Konjac gum/Xanthan gum) in 3D printing of transitional food from fish paste. **Food Hydrocolloids**, v. 137, p. 108333, 2023.

ZHANG, L.; LOU, Y.; SCHUTYSER, M. A. 3D printing of cereal-based food structures containing probiotics. **Food structure**, v. 18, p. 14-22, 2018.