

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA**

**PROPOSTA DE UM MODELO PARA REFEIÇÕES DIGITAIS**

Tese de doutorado apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Biotecnologia da Universidade Federal  
de São Carlos.

Orientada: Sandra Maria Leandro  
Orientador: Prof. Dr. José Dalton Cruz Pessoa

**2017**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia

---

**Folha de Aprovação**

---

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Tese de Doutorado da candidata Sandra Maria Leandro, realizada em 18/12/2017:

---

Prof. Dr. José Dalton Cruz Pessoa  
Embrapa

---

Prof. Dr. Henrique Cezar Alves  
USP

---

Profa. Dra. Lucimara Aparecida Forato  
Embrapa

---

Prof. Dr. Jonas de Carvalho  
USP

---

Prof. Dr. Cintia Alessandra Matucci Pereira  
UNICEP

Dedico,  
à minha amada filha Julia Leandro  
Koizimi, luz da minha vida e renovação  
das minhas forças, pelo amor  
incondicional e paciência.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, pela presença constante, guiando e iluminando os meus passos.

Aos meus pais, Maria Aparecida e Julio (*in memorian*), que me deram a vida e me ensinaram a vive-la com dignidade, sabedoria, respeito e humildade.

À minha filha Julia, minha vida, sempre compreensiva com as minhas ausências durante os períodos mais críticos nesses anos de estudo e renúncias.

Ao Fábio por ser meu referencial de paciência durante o desenvolvimento da tese, doutor na ciência do companheirismo e mestre na sabedoria de vida.

À minha prima Roseli, sempre me incentivando a prosseguir com paciência e otimismo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Dalton Pessoa pelos conhecimentos, disponibilidade, incentivo e confiança ao fazer desse trabalho científico um exercício de realização profissional e pessoal.

À Sandra, analista de Propriedade Intelectual na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Instrumentação) pela disponibilidade e ajuda.

À Claudia Pastega pelo acolhimento, prontidão, amizade e profissionalismo.

Aos professores do curso pelos ensinamentos e pelo comprometimento que desempenham suas funções.

Aos meus familiares e amigos pela torcida.

Muito obrigada a todos que me acompanharam nessa trajetória, vocês possuem um lugar especial no meu coração.

*“Any sufficiently advanced technology is  
indistinguishable from magic.”*

Arthur C. Clarke

## RESUMO

Inovar é uma demanda imperativa no setor alimentício, uma vez que o segmento precisa atender com rapidez ou mesmo antever as novas exigências dos consumidores. A manufatura aditiva é uma abordagem disruptiva que permite criar refeições personalizadas, introduzindo conveniências e praticidade. O problema prático que motiva a realização dessa pesquisa é responder à seguinte questão: “como definir uma refeição digital?”. As refeições digitais correspondem a um campo de conhecimento em construção na literatura científica. Conseqüentemente, existe a necessidade de criar terminologias e um modelo para sistematizar alguns conceitos. Visando preencher essa lacuna, nesta tese propõe-se um modelo para definir uma refeição digital que inclua as especificações sensoriais, organolépticas e nutricionais do indivíduo. Também são analisados alguns ingredientes comuns no processamento de alimentos para identificar as possibilidades e limitações da fabricação de forma livre e sólida (*Solid Freeform Fabrication*). A partir dessas análises é proposta uma impressora para refeições e uma interface para dispositivos móveis, *tablets* e *smartphones*, capaz de simular as etapas que definem e antecedem a personalização de uma refeição digital. A avaliação dos resultados indica que a manufatura aditiva de refeições pode exercer influência significativa sobre os indivíduos, introduzindo novos *designs*, texturas, aromas, cores e experiências alimentares personalizadas. As refeições digitais não irão sanar todas as necessidades nutricionais e muito menos substituir as técnicas de processamento de alimentos já existentes, mas tendem a complementar a nossa ingestão diária.

**Palavras-chaves:** manufatura aditiva de refeições, modelo, refeição digital, dispositivos móveis.

## ABSTRACT

Innovation is an imperative demand in the food sector, since the segment needs to respond quickly or even anticipate the new demands of consumers. Additive manufacturing food is a disruptive approach that allows to create personalized foods, introducing convenience and practicality. The problem that motivates this research is to answer the following question: "how to define a digital food?". Digital foods correspond to a field of knowledge under construction in the scientific literature. Consequently there is a need to create terminologies and a model to systematize some concepts. In order to fill this gap, this thesis proposes a digital food model that includes the sensorial, organoleptic and nutritional specifications of the individual. Some common cooking materials are also analyzed to identify the possibilities and limitations of solid freeform fabrication (SFF). From these analyzes is proposed a printer for foods and an interface for mobile devices, tablets and smartphones, able to simulate the steps that define and precede the customization of a digital food. The evaluation of results indicates that additive manufacture food can exert significant influence on individuals by introducing new designs, textures, flavor, colors and personalized eating experiences. Digital foods will not solve all nutritional and does not replace the existing food processing techniques, but tend to complement the daily intake.

**Key words:** additive manufacturing food, model, digital food, mobile devices.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Curva de adoção da manufatura aditiva no mercado.....	3
Figura 2 – Etapas para a impressão de refeições personalizadas. ....	4
Figura 3 – Universidades que lideram o depósito de patentes, utilizando as palavras-chaves “3D” e “ <i>third dimension</i> ”, indexados na base de dados Espacenet, do Escritório Europeu de Patentes.....	8
Figura 4 – Patentes relacionados às áreas do conhecimento, com a estratégia de busca Ti=(“3d” and food and printing), depositadas na base Derwent. ....	9
Figura 5 – Personalização virtual de Donuts.....	16
Figura 6 – Domino’s Pizza’s .....	17
Figura 7 – Presentes personalizados. ....	17
Figura 8 – Evolução das impressoras de refeições.....	22
Figura 9 – Principais <i>players</i> no mercado da manufatura aditiva de alimentos.....	23
Figura 10 – Empresas que utilizam a manufatura aditiva na fabricação de alimentos. ....	24
Figura 11 – Planejamento do processo de impressão 3D de um alimento. ....	26
Figura 12 – Representação de um arquivo .STL.....	26
Figura 13 – Exemplo de fatiamento e trajeto do bico extrusor. ....	27
Figura 14 – Elemento dos de uma refeição digital. ....	28
Figura 15 – Conceito de refeição digital.....	29
Figura 16 – Sinterização seletiva. A: Ar quente. B: Laser. ....	32
Figura 17 – Sinterização a laser aplicado em açúcares e pós Nesquik®.....	33
Figura 18 – <i>Powder bed binder jetting</i> .....	35
Figura 19 – Impressão jato de tinta. ....	36
Figura 20 – Crescimento comestível. ....	38
Figura 21 – Matriz bidimensional de alimentos, classificados de acordo com os parâmetros da textura. ....	42
Figura 22 – Combinações de hidrocolóides e suas respectivas concentrações. ....	45
Figura 23 – Peças do projeto “ <i>Simple-paste-extruder</i> ”. A: Suporte para encaixe seringa (horizontal). B: A: Suporte para encaixe seringa (vertical).....	51



Figura 24 – Base extrusora de deposição de materiais. 1 – Base 1; 2 – Base 2; 3 – Base 3; 4 – Haste Exterior; 5 – Haste Interior; 6 – Base superior; 7 – Suporte trava seringa superior.....	52
Figura 25 – Deposição do bolo de caneca. A: deposição em forma livre de um coração. B: amostra antes de cozer.....	54
Figura 26 – Deposição da bolacha de morango. A: deposição em forma livre de um trevo. B: amostra antes de cozer.....	55
Figura 27 – Deposição da bolacha de morango. A: bico com vários orifícios do kit para confeitaria. B: início da deposição. C: simulando movimentos da impressora 3D. D: amostra antes de cozer. ....	57
Figura 28 - Extrusora para a deposição de materiais adaptada para a geleificação.	60
Figura 29 – Extrusão de material viscoso. ....	63
Figura 30 – Extrusora para a deposição de materiais, simulando os eixos X e Y de uma impressora 3D. ....	65
Figura 31 – Espaguete de pêsego.....	67
Figura 32 – Espaguete de pêsego imerso em temperatura 0,5 °C.....	67
Figura 33 – Parâmetros para definir refeições digitais. ....	70
Figura 34 – Aromas alimentícios disponíveis no mercado para as refeições.....	72
Figura 35 – Sistema de coordenadas cartesianas nos eixos X -Y- Z.....	73
Figura 36 – Geometria do <i>cupcake</i> ; A: Parte inferior. B: Parte superior.....	74
Figura 37 – Representação tridimensional do <i>cupcake</i> . A: malha de polígonos. B: volume.....	75
Figura 38 – Diagrama de classes que descreve o modelo para definir refeições digital.....	78
Figura 39 – Visão geral do aplicativo ePronto.....	79
Figura 40 – <i>Splash Screen</i> do aplicativo e-Pronto. ....	80
Figura 41 – A: autenticação. B: cadastro de usuários.....	81
Figura 42 – Menu inicial do aplicativo móvel ePronto. ....	82
Figura 43 – Perfil Usuário. A: cadastrar dados. B: mensagem alerta.....	83
Figura 44 – Consumo recomendado.....	85
Figura 45 – Etapa 1: definir o tipo e o gosto da refeição. A: escala do gosto na posição inicial.....	87
Figura 46 – Etapa 2: personalizar a cor da refeição. A: natural. B: personalizada....	88

Figura 47 – Espaço de cor RGB.....	89
Figura 48 – Valor da intensidade de cada componente para compor a cor da refeição. ....	89
Figura 49 – Etapa 3: escolher forma da refeição digital. A: pesquisar forma e desenhar forma. B: pesquisar forma. C: escolher forma. D: forma escolhida. ....	91
Figura 50 – Etapa 3: definir forma da refeição digital. A: desenhar refeição. B: refeição desenhada.....	92
Figura 51 – Etapa 5: definir textura da refeição. A: escala da textura na posição inicial. B: escala da textura na posição escolhida. ....	93
Figura 52 – Etapa 5: definir o aroma. A: refeição digital com um aroma. B: refeição digital com dois aromas. C: refeição digital com três aromas. ....	94
Figura 53 – Refeições digitais favoritas. A: busca por palavra-chave. B: sugestão de refeições digitais.....	95
Figura 54 – Histórico de consumo diário. ....	96
Figura 55 – Tela de opções do ePronto. ....	97
Figura 56 – Informações sobre o app ePronto. A: Termos de uso. B: janela sobre. .	98
Figura 57 – Bolo de caneca após a cocção. A: amostra assada. B: lado inferior da amostra. ....	100
Figura 58 – Bolacha de morango após cocção. A: amostra assada. B: lado inferior da amostra. ....	102
Figura 59 – Bolacha de morango v.2 após cocção. A: amostra assada. B: lado inferior da amostra. ....	103
Figura 60 – Esferas de goiaba imersas no óleo de soja.....	105
Figura 61 – Morfologia das esferas de goiaba. ....	105
Figura 62 – Esferas de goiaba e maçã v.2. A: Imersas do óleo de soja. B: Esferas geleificadas. ....	107
Figura 63 – Esferas de goiaba e maçã v.3. A: Imersas no óleo de soja. B: Esferas geleificadas. ....	108
Figura 64 – Brigadeiro v.2 resfriado em temperatura ambiente. ....	109
Figura 65 – Arruela da extrusora danificada.....	111
Figura 66 – Espaguete de pêssego.....	112
Figura 67 – Proposta da impressora para refeições.....	113

Figura 68 – Impressora 3D para refeições: 1 – Reservatório de água; 2 – Carrossel giratório para armazenar os aditivos; 3 – Mangueira flexível; 4 – Manopla de fechamento com agulha retrátil embutida; 5 – Gaveta para cápsula; 6 – Câmara misturadora; 7 – Pás em formato de disco com encaixe perpendicular; 8 – Bico; 9 – Mesa de deposição. ....	114
Figura 69 – Agulha retrátil para perfurar e injetar água no interior da cápsula.....	115
Figura 70 – A: suporte para a cápsula; B: saída da pasta semissólida. ....	116
Figura 71 – Cápsulas recarregáveis, com lacre de silicone. ....	116
Figura 72 – Dinâmica de personalização das refeições digitais. ....	117

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo entre os parâmetros utilizados nos experimentos 4 e 5. ...106

Tabela 2 – Comparativo entre os parâmetros utilizados nos experimentos 5 e 6. ...107

Tabela 3 – Comparativo entre os parâmetros utilizados nos experimentos 7 e 8. ...110

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Patentes relativas à área Ciência da Computação até o dia 26/01/17, depositadas na base Derwent. ....	9
Quadro 2 – Resumo dos projetos conceituais de impressora 3D de alimentos. ....	20
Quadro 3 – Comparativo entre as tecnologias de impressão 3D de refeições. ....	37
Quadro 4 – Comparativo entre as tecnologias e plataformas das impressoras 3D para refeições. ....	41
Quadro 5 – Origem, propriedades e usos mais comuns dos principais hidrocolóides. ....	47

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>ACELBRA</b>	Associação dos Celíacos do Brasil
<b>ASBAI</b>	Associação Brasileira de Alergia e Imunologia
<b>ASTM</b>	<i>American Society for Testing and Materials</i> (Sociedade Americana para Ensaios e Materiais)
<b>cP</b>	Centipoise
<b>CJP</b>	<i>Color Printing Jet (Colorjet)</i>
<b>CSIRO</b>	<i>Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation</i>
<b>DCNT</b>	Doenças crônicas não transmissíveis
<b>DII</b>	<i>Derwent Innovations Index</i>
<b>DRIs</b>	<i>Dietary Reference Intake</i>
<b>EPO</b>	Escritório Europeu de Patentes
<b>FAO</b>	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
<b>FLM</b>	<i>Food Layered Manufacture</i>
<b>GPL</b>	<i>General Public License</i>
<b>GUI</b>	<i>Graphical User Interface</i>
<b>ICC</b>	<i>International Color Consortium</i>
<b>IDA</b>	Ingestão Diária Aceitável
<b>INPI</b>	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
<b>IoT</b>	<i>Internet of Things</i>
<b>IPC</b>	<i>International Patent Classification</i> (Classificação Internacional de Patentes)
<b>ITAL</b>	Instituto de Tecnologia de Alimentos
<b>JECFA</b>	<i>Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives</i>
<b>MEMS</b>	Microeletromecânicos

<b>MIT</b>	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
<b>NASA</b>	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
<b>NBR</b>	Norma Brasileira aprovada pela ABNT
<b>ONU</b>	Organização das Nações Unidas
<b>RBC</b>	Revista da Sociedade Brasileira de Computação
<b>SBD</b>	Sociedade Brasileira de Diabetes
<b>SBH</b>	Sociedade Brasileira de Hipertensão
<b>SI</b>	Sistema Internacional de Unidades
<b>SFF</b>	<i>Solid Freeform Fabrication (fabricação de forma livre e sólida)</i>
<b>TNO</b>	<i>Netherlands Organisation for Applied Scientific Research</i>
<b>UML</b>	Linguagem de Modelagem Unificada ( <i>Unified Modeling Language</i> )

## SUMÁRIO

RESUMO.....	VI
ABSTRACT.....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE QUADROS.....	XIII
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	XIV
SUMÁRIO .....	XVI
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Manufatura aditiva.....	2
1.2 Apresentação do problema .....	5
1.3 Relevância da manufatura aditiva de refeições.....	7
1.4 Oportunidades.....	10
1.5 Objetivo geral .....	13
1.6 Objetivos específicos.....	13
1.7 Estrutura da tese .....	13
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>15</b>
2.1 Projetos pioneiros e tendências .....	15
2.2 Modelagem 3D .....	25
2.3 Conceitos e elementos das refeições digitais .....	27
2.4 Tecnologias de impressão 3D de refeições .....	31
2.4.1 <i>Selective sintering technology / Hot Air Sintering</i> .....	32
2.4.2 <i>Hot melt-extrusion</i> .....	33
2.4.3 <i>Powder bed binder jetting</i> .....	34
2.4.4 Impressão jato de tinta ( <i>Inkjet printing</i> ) .....	35
2.4.5 Crescimento comestível ( <i>Edible Growth</i> ) .....	38



2.4.6 Esferificação ( <i>Spherification</i> ).....	39
<b>2.5 Materiais comestíveis para impressão .....</b>	<b>42</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>50</b>
3.1 Conceitos utilizados no modelo para definir as refeições digitais .....	50
3.2 Modelo para definir uma refeição digital (diagrama de classes) .....	50
3.3 Interface para dispositivos móveis, <i>tablets</i> e <i>smartphones</i> .....	50
3.4 Projeto da extrusora para a deposição de materiais.....	51
3.5 Análise de parâmetros físicos.....	53
3.6 Proposta da impressora para refeições .....	68
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>69</b>
4.1 Modelagem 3D de uma refeição digital .....	73
4.2 Modelo de uma refeição digital (diagrama de classes).....	75
4.3 Interface para dispositivos móveis, <i>tablets</i> e <i>smartphones</i> .....	79
4.4 Análise de parâmetros físicos.....	98
4.5 Proposta da impressora para refeições .....	112
<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>119</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>121</b>
<b>ANEXO A – ANÁLISE COMPARATIVA DOS ESTUDOS SOBRE AS TENDÊNCIAS DE CONSUMO MUNDIAL, ELABORADA POR PESQUISADORES E INSTITUTOS DE REFERÊNCIAS.....</b>	<b>131</b>
<b>APÊNDICE A – PRINCIPAIS FUNÇÕES DOS ADITIVOS ALIMENTARES.....</b>	<b>132</b>
<b>APÊNDICE B – DEFINIÇÕES DOS PARÂMETROS MECÂNICOS DA TEXTURA. ....</b>	<b>133</b>
<b>APÊNDICE C – ALIMENTOS PERMITIDOS E PROIBIDOS PARA OS CELÍACOS .....</b>	<b>135</b>

# 1. INTRODUÇÃO

Inovar é uma demanda imperativa no setor alimentício, uma vez que o segmento precisa atender com rapidez ou mesmo antever as novas exigências dos consumidores.

De acordo com o Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL), no passado as substituições de hábitos alimentares levavam anos ou até mesmo décadas para que fossem capazes de produzir alterações substanciais na alimentação dos consumidores. Atualmente, as mudanças são muito mais rápidas, motivadas por diversos fatores, influenciadas principalmente pelo ritmo de vida nos centros urbanos e pelas mudanças na estrutura familiar (ITAL, 2010). Diante dessas mudanças, acredita-se que o desafio do setor alimentício está em identificar nichos mais específicos, em termos de novos hábitos de consumo.

Baseando-se em uma análise de relatórios, elaborados por pesquisadores e institutos de referência (ANEXO A), as recentes exigências e tendências de consumo mundial podem ser agrupadas em cinco categorias: i) conveniência e praticidade; ii) sensorialidade e prazer; iii) confiabilidade e qualidade; iv) saudabilidade e bem-estar; v) sustentabilidade e ética (ITAL, 2010).

A partir dessa análise das tendências, a saudabilidade e bem-estar originam-se das descobertas científicas que vinculam determinadas dietas a doenças, ao envelhecimento, bem como à renda e à vida nas cidades grandes, influenciando a busca de um estilo de vida mais saudável (ITAL, 2010).

Os alimentos se tornaram mais que produtos para saciarem a fome, fornecem ao organismo a energia e diversas substâncias destinadas à formação e a manutenção das células, ao mesmo tempo regulam o funcionamento dos órgãos (GAVA, 2010).

Além disso, os alimentos são veículos que ajudam a prevenir doenças crônico-degenerativas como câncer, doenças cardiovasculares, osteoporose, artrite e degeneração macular relacionada à idade (HASLER, 2000).

Uma alimentação equilibrada é aquela que fornece a quantidade suficiente de nutrientes para o bom funcionamento do organismo, mantendo a saúde e o estado de bem-estar. Os nutrientes que o ser humano necessita são as proteínas, carboidratos, vitaminas, sais minerais, gorduras, fibras e água (GAVA, 2010).

Conforme a Organização das nações unidas para a alimentação e a agricultura (FAO, do inglês *Food and Agriculture Organization of the United Nations*), o corpo humano necessita da energia fornecida pelos alimentos para o metabolismo de descanso, síntese de tecidos (crescimento, manutenção, gravidez e lactação), atividades físicas, processos de excreção e para manter o equilíbrio térmico (GAVA, 2010).

Pesquisadores apontam que as chamadas doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) são influenciadas pela alimentação incorreta, caracterizada pelo consumo frequente de álcool e alimentos com alto teor de gorduras, sal e açúcar, substâncias que têm papel central na epidemia mundial de obesidade (FREIRE et al., 2012).

## **1.1 Manufatura aditiva**

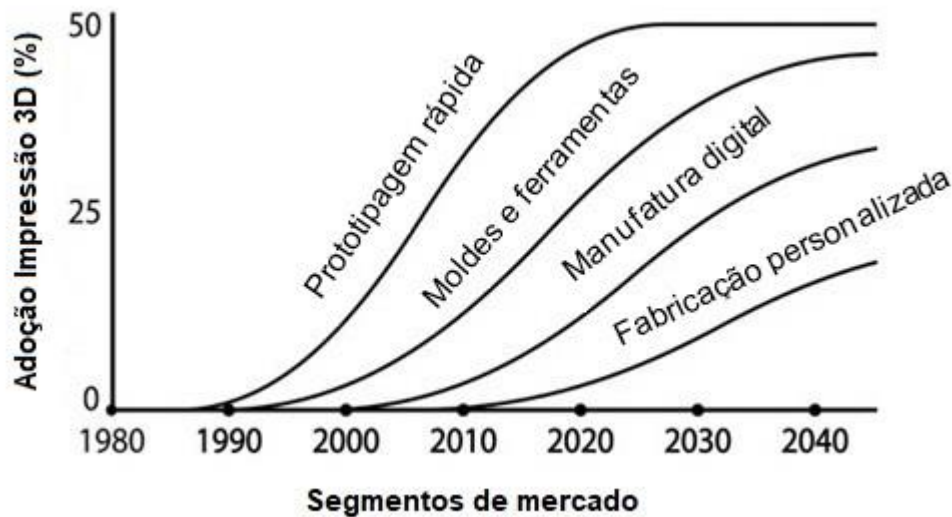
O termo manufatura aditiva teve origem no ano de 1987 quando era mais conhecida como prototipagem rápida (do inglês, *rapid prototyping*) e não fazia uso de um ferramental específico (GIBSON et al., 2010). Em 2010, um comitê técnico adotou a nova terminologia, por ser mais abrangente, e a Sociedade Americana para Ensaio e Materiais (ASTM), definiu a manufatura aditiva como o processo de deposição de materiais em camadas sucessivas, a partir de modelos computacionais tridimensionais (NORMA ASTM, 2012).

Atualmente a manufatura aditiva é uma abordagem disruptiva que pode ir além do mercado de nicho. Além disso, muitas áreas e aplicações podem ser potencialmente beneficiadas com a tecnologia, utilizando diferentes materiais e composições químicas.

Conforme Barnatt (2014), a tecnologia tem potencial para superar as limitações da manufatura tradicional e impactar nos processos produtivos, pois atende a quatro mercados distintos, em diferentes estágios de maturação (Figura 1). A produção de protótipos lidera o mercado da manufatura aditiva, seguido dos moldes e outras ferramentas a partir das quais os produtos finais são manufaturados. No ano de 2000, a adoção da impressão 3D abrange a fabricação digital direta para produzir produtos finais ou suas partes. Em 2010 iniciou-se um novo mercado, atendendo a fabricação personalizada. A fabricação personalizada é

um processo de customização, adequação ou adaptação de um produto ou serviço, de acordo com as necessidades, características e requisitos dos consumidores.

Figura 1 – Curva de adoção da manufatura aditiva no mercado.



Fonte: BARNATT, 2014; adaptada.

De acordo com Petrovic (2011), as principais vantagens da manufatura aditiva são: i) Redução do *Time-to-Market* devido à alta velocidade do processo; ii) Personalização do produto com flexibilidade completa em termos da sua construção e design; iii) Economia de materiais; iv) Dispensa o uso de ferramentas e moldes.

Segundo Sun et al. (2015), a manufatura aditiva pode aumentar a eficiência da produção personalizada e reduzir os custos operacionais na fabricação de alimentos, minimizando os desperdícios industriais. Diferenciando-se das tecnologias industriais automatizadas, projetadas para eliminar os processos manuais e otimizar a produção tradicional de alimentos em massa (SUN et al., 2015b). Em geral, o custo para produzir refeições personalizadas é significativamente alto. Para alcançar a personalização em massa, de maneira econômica, é necessário um método inovador (SUN et al. 2015).

Conforme Wegrzyn et al. (2012), a fabricação de refeições em camadas (FLM, do inglês *Food Layered Manufacture*) integra a manufatura aditiva e as técnicas da gastronomia digital e pode ser uma das alternativas potenciais para personalizar as refeições digitais. O conceito de gastronomia digital introduzido pelo Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) será descrito na seção 2.1.

Conforme Sun et al. (2015b), a gastronomia digital favorece que os ingredientes sejam determinados de acordo com as informações *on-line* sobre o perfil nutricional, as preferências pessoais e sociais de um indivíduo.

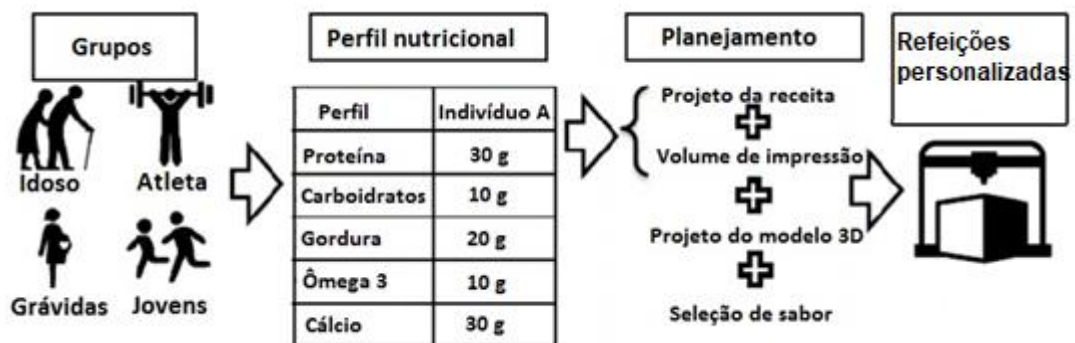
Essencialmente, o estado nutricional de um indivíduo é caracterizado por um dinamismo que decorre do equilíbrio entre três fatores: i) composição da alimentação; ii) necessidades do organismo em energia; iii) nutrientes e eficiência do aproveitamento biológico dos alimentos (GAVA, 2010).

Os efeitos dos nutrientes sobre o metabolismo e a saúde variam entre os indivíduos. O conceito de nutrição personalizada visa adequar a dieta às condições de saúde individuais; as técnicas de processamento de alimentos existentes não atendem as demandas nutricionais específicas (ZORAN; COELHO, 2011).

A *Netherlands Organisation for Applied Scientific Research* (TNO) sugeriu a personalização de refeições para idosos, atletas e gestantes, com diferentes níveis de nutrientes, proteínas e gorduras (SUN, et al. 2015).

A figura 2 descreve um diagrama esquemático das etapas para a impressão de refeições personalizadas.

**Figura 2 – Etapas para a impressão de refeições personalizadas.**



Fonte: SUN et. al, 2015; adaptada.

O capítulo 1 desta tese descreve o cenário atual da manufatura aditiva de refeições e suas vantagens, os objetivos gerais e específicos da tese, expondo as oportunidades de desenvolvimento.

## 1.2 Apresentação do problema

O prazer em alimentar-se não é satisfeito somente com refeições tradicionais e requintadas. Os consumidores mantêm o desejo de ingerir diferentes guloseimas, *snacks*, como forma de escape do cotidiano, para se auto agraciar ou simplesmente pela praticidade, predisposição e curiosidade de experimentar refeições diferenciadas, com novos sabores e texturas.

Em diversos países os consumidores estão valorizando as artes culinárias e as experiências gastronômicas. Os apaixonados por refeições (*foodies*, do inglês) formam um grupo de consumo representativo, principalmente nos países desenvolvidos. Somente nos Estados Unidos são mais de 30 milhões de consumidores aficionados por novos produtos e experiências em torno da alimentação. Esses consumidores também apreciam produtos com sabores exóticos, além de optar por refeições que proporcionam prazer e escape do cotidiano (ITAL, 2010).

Muitos fabricantes acham difícil aumentar a variedade de produtos por não terem *know-how* para atender as mudanças rápidas nas demandas dos consumidores em relação aos formatos, cores, tamanhos, texturas e embalagens (WANG, 2011).

Conforme o ITAL (2010), existem algumas tendências mundiais de consumo que não podem ser negligenciadas, pois representam as demandas dos consumidores:

- i. Consumo por indulgência: muitos indivíduos desejam se alimentar com refeições gostosas que trazem momentos de conforto (*me-time*), sem culpa. Essa tendência vem requerendo adequações nas refeições, isto é, a possibilidade de transformá-las em porções reduzidas, com controle de calorias que introduzem novos ingredientes ou as opções que não contém açúcar, glúten, lactose, baixo teor de sódio e gordura em suas composições.
- ii. Sensorialidade e prazer: demonstram o interesse dos consumidores pela harmonização das refeições, novas texturas e sabores. Por outro lado, é uma tendência que dissemina receitas e valoriza a socialização em torno dos alimentos, tornando a refeição um importante elo entre os indivíduos, como forma de lazer e

entretenimento, dentro e fora dos lares. De modo geral, os *foodies*, promovem a demanda por produtos que sejam saborosos, mas saudáveis.

- iii. Saudabilidade e bem-estar: o sobrepeso e obesidade nas populações, de vários países, estimula os produtos para dietas, refeições com redução e/ou eliminação de substâncias calóricas, adicionalmente a uma nova categoria de produtos com ingredientes específicos para queimar calorias e saciar o apetite.
- iv. Conveniência e praticidade: são fatores que estimulam a demanda por refeições prontas, semi-prontas e de fácil preparo, pois permitem a economia de tempo e esforços dos consumidores. Os *snacks* abrangem uma variedade de refeições que possibilitam o consumo em diferentes lugares e momentos, além de proporcionarem redução do tempo de consumo ou eliminação da necessidade de utensílios tradicionais, já que podem ser consumidos com as mãos, no lar, ambiente de trabalho ou mesmo em trânsito.

Conforme Boland (2008), há um número crescente de consumidores que necessitam de uma nutrição personalizada, com o objetivo de atingir um estilo de vida saudável e estão dispostos a comprar refeições inovadoras (COHEN et al, 2009; HENDRY, 2010).

A atração pelas experiências gastronômicas tem estimulado a imaginação dos consumidores. Porém, para que a manufatura aditiva de refeições seja uma realidade, deve-se considerar as exigências do conjunto de matérias-primas comestíveis compatíveis à tecnologia utilizada.

O conjunto de matérias-primas comestíveis compatíveis à manufatura aditiva de refeições, para utilizar a fabricação de forma livre e sólida (SFF, do inglês *solid freeform fabrication*), pode representar um obstáculo. Normalmente, um material muito macio, por exemplo, tende a deformar sob as forças que estão sendo usadas durante o processo de deposição. Assim, ao sobrepor as camadas, o material será deformado sob seu próprio peso. Como consequência, exigirá um material de suporte, como hidrogéis viscoelásticos, naturais e comestíveis, que podem contribuir com a SFF por serem autossustentáveis (LIPTON et al. 2010), mantendo a geometria das refeições digitais, predefinidas a partir de modelos 3D.

Outro aspecto envolvido na manufatura de refeições se refere à compatibilidade dos materiais com as tradicionais técnicas de cozinha, como grelhar, cozer ou fritar (LIPTON et al, 2010). Conforme Shibamoto e Bjeldanes (2014) essas técnicas de cozimento melhoram a estabilidade e a digestibilidade dos alimentos, além de eliminar patógenos e desativar as substâncias tóxicas que estão presentes na forma de inibidores enzimáticos.

Normalmente, esses procedimentos envolvem diferentes níveis de processamento térmico e resultam em texturas não uniformes (SUN et al., 2015b). Segundo Shibamoto e Bjeldanes (2014) alguns métodos de processamento de refeições podem alterar a forma ou a natureza dos alimentos como aminoácidos, proteínas, açúcares, carboidratos, vitaminas e lipídios, provocados pela aplicação de calor intenso. Os autores apontam consequências da aplicação de calor intenso relacionada a formação de algumas substâncias tóxicas como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, pirolisatos de aminoácidos ou N-nitrosaminas.

Observa-se que a maior parte das iniciativas de impressoras 3D para refeições, disponíveis no mercado, são capazes de produzir refeições de alto valor calórico e baixa quantidade de nutrientes. Conforme Lipton et al. (2010), as pesquisas existentes utilizam alimentos tradicionais não modificados, no processo de manufatura aditiva das formas finais, onde o único pós-processamento requerido tem sido o resfriamento, tendo como exemplo a impressão de chocolates.

### **1.3 Relevância da manufatura aditiva de refeições**

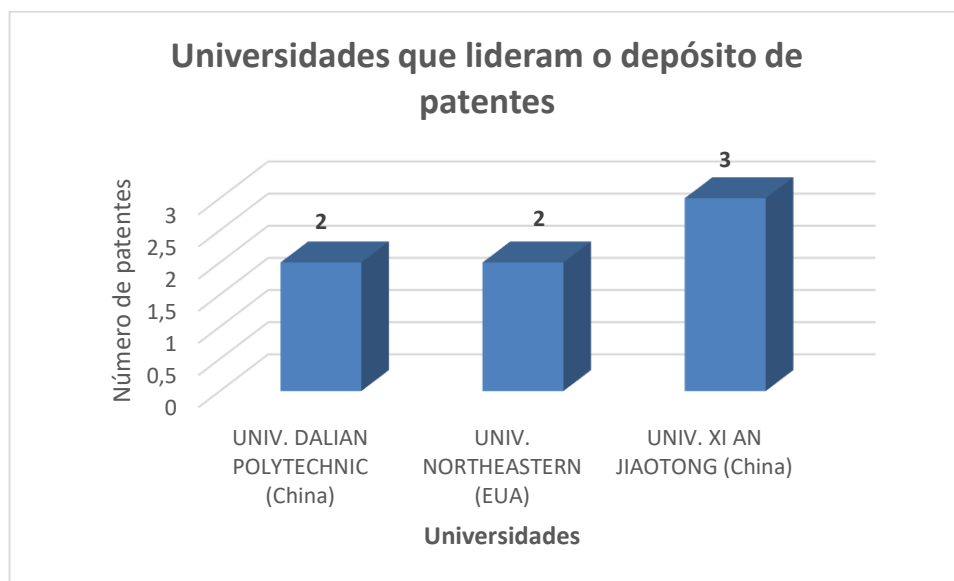
Foram encontrados 51 documentos de patentes indexados na base de dados Espacenet, do Escritório Europeu de Patentes (EPO), até o dia 26 de janeiro de 2017. Utilizando-se a opção de busca completa e a base de dados Worldwide com acesso a mais de 90 países, com as palavras-chave no título “3D” e “*third dimension*”, separadas pelo operador “*or*” somadas ao campo resumo contendo as palavras-chave *printing and food*.

As patentes recuperadas foram classificadas utilizando o site do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), versão 2016.1, que adota a Classificação Internacional de Patentes (IPC, na sigla em inglês), utilizando o campo de busca “símbolo atual”, no idioma português e modo de exibição completo.



Considerando os principais depositantes, das 51 patentes, 14 (27,45%) foram depositadas por 15 universidades (29,40%). A figura 3 ilustra as três universidades que lideram o depósito de patentes.

**Figura 3 – Universidades que lideram o depósito de patentes, utilizando as palavras-chaves “3D” e “third dimension”, indexados na base de dados Espacenet, do Escritório Europeu de Patentes.**

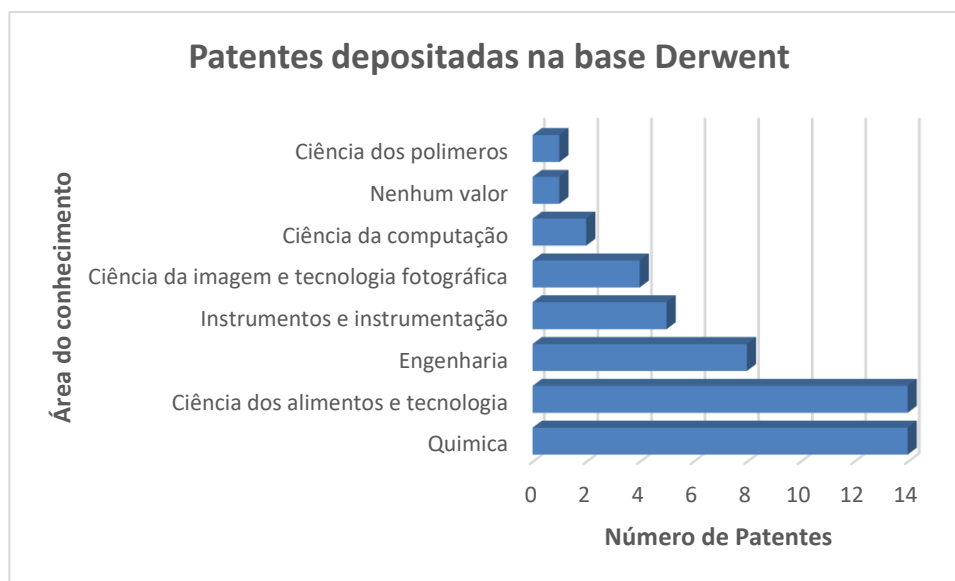


**Fonte: EPO, 2017; adaptada.**

As principais empresas depositantes estão na China, seguidas dos Estados Unidos, República da Coreia e Países Baixos. O levantamento feito demonstra que o Brasil não aparece na relação dos países considerados referência em manufatura aditiva de refeições.

As áreas de conhecimento com maior e menor domínio tecnológico em relação aos documentos de patente depositados foram mapeadas pela base comercial Derwent Innovations Index (DII), por oferecer uma série de funcionalidades, com a estratégia de busca  $Ti=(“3d” \text{ and } food \text{ and } printing)$ . Em meio a 49 documentos de patentes, disponibilizados pela base de dados, a Química e a Ciência dos alimentos e tecnologia estão à frente das áreas de conhecimento, apresentando maior domínio tecnológico, seguida da Engenharia, Instrumentos e instrumentação, Ciências da imagem e tecnologia fotográfica, Ciência da computação e Ciência dos polímeros. A informação “nenhum valor” corresponde a uma patente depositada sem informação de classificação sobre a área de conhecimento (Figura 4).

**Figura 4 – Patentes relacionados às áreas do conhecimento, com a estratégia de busca Ti=(“3d” and food and printing), depositadas na base Derwent.**



**Fonte: DERWENT INNOVATIONS INDEX, 2017.**

Refinando-se a pesquisa pela área de conhecimento Ciência da computação foram recuperados 2 documentos de patentes, até o dia 26 de janeiro de 2017 (Quadro 1).

**Quadro 1 – Patentes relativas à área Ciência da Computação até o dia 26/01/17, depositadas na base Derwent.**

Título	Número da publicação	Data da publicação	Inventores	Depositante
Method for printing three-dimensional (3D) decorative food product involves generating print commands that include first and second set of print commands for applying first and second treatment to printable base media, respectively	US2016278426-A1	29/09/2016	DAVILA C A, BROBST T, WAHLIN D, GLOVER E, BOYSEN D, ANDERSON J R, WHITTEN K D, SCHNOEBEL A	DECOPAC INC (DECO-Non-standard)
Food 3D printing device, has local cooling system provided with supporting plate, semiconductor refrigerating system, fan and semiconductor refrigeration system, and supporting frame module provided with bottom plate four side plates	CN105982342-A	05/10/2016	HAN K, HE J, HONG J, RUAN H, WANG H, WANG X, YANG W, ZHANG J, ZHU X	WUHAN GAOWEI INTELLIGENT WUHAN TECHNOLOGY CO LTD (WUHA-Non-standard)

**Fonte: DERWENT INNOVATIONS INDEX, 2017.**

A primeira patente (Quadro 1) se refere a um método de impressão 3D para produtos alimentícios decorativos. Os usos desse método incluem, mas não se limitam a *cookies*, bolos, pizzas, *cupcakes*, barrinhas doces, *waffles*, tatuagens comestíveis, barrinhas de cereal, panquecas e bolos de sorvete. Uma imagem 3D é recebida por meio do modelo de Interface Gráfica do Usuário (GUI, *Graphical User Interface*). Por meio dessa interação, os usuários podem selecionar projetos com imagens, aplicar o sistema de correção de cores no formato definido pelo Consórcio Internacional de Cores (ICC, *International Color Consortium*), sem utilizar várias janelas. O sistema também impede o uso de imagens licenciadas, evitando que sejam reutilizadas, editadas, armazenadas localmente, de forma não-autorizada.

A segunda patente (Quadro 1) propõe uma impressora 3D para refeições e revela um método que uniformiza as funções de aquecimento dos alimentos, controle de temperatura, refrigeração com circulação local e nivelamento automático da mesa. Todos os módulos estão integrados, melhorando a eficiência e qualidade da manufatura aditiva de refeições. O periférico é adequado especialmente para a produção de refeições em grande escala.

## 1.4 Oportunidades

As refeições digitais correspondem a um campo de conhecimento em construção na literatura científica. Conseqüentemente, existe a necessidade de criar terminologias e um modelo para sistematizar alguns conceitos. É importante ressaltar que as refeições digitais não irão sanar todas as necessidades nutricionais e muito menos substituir as técnicas de processamento de alimentos já existentes, mas tendem a complementar a nossa ingestão diária.

O segmento *better-for-you* (“melhor para você”) tem apresentado um maior crescimento nos últimos anos, em relação aos *snacks* tradicionais, devido à maior preferência por produtos em versões sem açúcar, baixos teores de gordura, sódio e porções reduzidas com calorias controladas (ITAL, 2010).

As refeições digitais têm condições de assumir um novo *status* perante o consumidor, passando a ser percebida como forma de “comida-ingrediente”, ou

seja, pequenas porções de alimentos cujos benefícios podem compor as necessidades e desejos personalizados.

Sendo assim, o uso assertivo da manufatura aditiva como possibilidade de personalização pode ampliar as possibilidades no preparo de refeições simples ou esmeradas, sem ter, necessariamente, que dominar a culinária, além de promover a contenção ao desperdício dos ingredientes.

Além das propriedades sensoriais, a manufatura aditiva pode contribuir com o apelo lúdico visual, através de *softwares* interativos capazes de proporcionar entretenimento e distração aos adultos e crianças, durante o processo de definição da refeição ao explorar a possibilidade de cores e formas variadas.

As refeições como arroz, carnes, frutas e vegetais, consumidas diariamente não são imprimíveis por natureza (SUN et al., 2015).

Para criar refeições digitais personalizadas existem duas opções: i) utilizar um conjunto de ingredientes, grande o suficiente para satisfazer as necessidades de todos os consumidores; ii) empregar um conjunto pequeno de ingredientes que podem ser combinados em proporções variáveis. A segunda opção vem sendo a mais utilizada, pois a primeira também oferece desvantagem em relação à capacidade limitada do periférico, especialmente em impressoras para produção em pequena escala (PALLOTTINO et al., 2016).

Por essas razões muitas pesquisas propõem o uso de aditivos, adaptações das receitas tradicionais, mostrando a possibilidade de criar refeições com geometrias complexas, a partir de matérias-primas comuns, a fim de obter um produto com características personalizadas.

Os aditivos são:

“[...] todo e qualquer ingrediente adicionado intencionalmente aos alimentos sem o propósito de nutrir, com o objetivo de modificar as características físicas, químicas, biológicas ou sensoriais, durante a fabricação, processamento, preparação, tratamento, embalagem, acondicionamento, armazenagem, transporte ou manipulação de um alimento” (BRASIL, 1997, item 1.2 da portaria SVS/MS 540).

Entre as vantagens das refeições digitais destacam-se: i) personalização da composição dos alimentos; ii) refeição adaptada à dieta individual, sem os desperdícios decorrentes do processo industrial; iii) uso de novas matérias-primas, não utilizadas ou não populares entre os consumidores; iv) praticidade na preparação das refeições; v) personalização estética e funcional

podem ser alcançadas simultaneamente; vi) alimentos com novas texturas; vii) vida útil maior; viii) facilidade no transporte, mesmo para os lugares mais remotos ou para o espaço; ix) novas oportunidades para criar refeições, com concepções artísticas; x) capacidade de projetar seu próprio alimento como um *designer* de alimentos; xi) técnica econômica e eficiente para personalização de refeições em massa (IZDEBSKA; ŻOŁEK-TRYZNOWSKA, 2016).

Pesquisadores do *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation* (CSIRO) da Austrália estão investigando as possibilidades de como as refeições digitais podem auxiliar pacientes com disfagia. Distúrbios alimentares como a disfagia podem causar desidratação, desnutrição e a morte. A impressão de refeições pode transformar purês e substâncias similares, que não requerem mastigação, em refeições nutritivas, mais palatáveis, adaptadas às necessidades específicas do paciente (por exemplo, deficiências de ferro, baixo teor de cálcio etc). Outra vantagem, é a possibilidade de economizar tempo ou custos nos processamentos dos hospitais. Por outro lado, também pode potencialmente economizar custos de transporte, pois muitos hospitais, com a infraestrutura menor, tendem a não ter as instalações adequadas para moer e processar os alimentos, dependendo assim de fornecedores (3D PRINTING.COM, 2017).

As inovações não se limitam ao processo de personalização de refeições. Outro conceito emergente são despensas digitais (do inglês, *digital pantries store*). As despensas digitais armazenam receitas *online* a partir de um número limitado de ingredientes; estas receitas podem ser recriadas por outros usuários com um toque de um botão (LIN, 2015).

Uma das principais inovações tecnológicas dos últimos tempos é a computação em nuvem. De acordo com Almeida (2015), o mercado de computação em nuvem deve alcançar mais de 120 bilhões de dólares em 2018 (FORBES, 2015 apud ALMEIDA, 2015), o que se justifica facilmente ao se imaginar os 44 zettabytes (trilhões de gigabytes) de dados manipulados diariamente no mundo em 2020 (EMC.COM, 2014 apud ALMEIDA, 2015).

Estima-se que até 2025, 75% dos dispositivos domésticos estarão conectados à Internet (VERMESAN; FRIESS, 2011). Vislumbra-se que as possibilidades de aplicações novas sejam crescentes, devido ao seu potencial de uso nas diversas áreas das atividades humanas, facilitando a vida das pessoas.

Neste contexto, o mundo físico e o digital convergem, uma vez que as refeições sob demandas personalizadas poderão ser definidas remotamente, via dispositivos móveis, em ambientes inteligentes, sem exigir nenhuma experiência técnica ou culinária do usuário.

## 1.5 Objetivo geral

Nesta tese pretende-se responder à seguinte questão: “como definir uma refeição digital?”

Assim, o objetivo principal é desenvolver um modelo para definir uma refeição digital personalizada que inclua as especificações sensoriais, organolépticas e nutricionais do indivíduo.

## 1.6 Objetivos específicos

1. Desenvolver uma interface para dispositivos móveis, *tablets* e *smartphones*, capaz de simular as etapas que definem e antecedem a personalização de uma refeição digital.
2. Propor uma impressora para refeições.
3. Analisar diferentes ingredientes comuns no processamento de alimentos para identificar as possibilidades e limitações da fabricação de forma livre e sólida.

## 1.7 Estrutura da tese

A tese foi dividida em 5 capítulos, conforme as fases da metodologia de pesquisa apresentada.

No capítulo 1 o tema é justificado e são apresentados os objetivos e o escopo desta tese.

Em relação ao referencial teórico, no capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica relacionada à fundamentação do projeto e identificado o estado da arte para o desenvolvimento do modelo para definir uma refeição digital.

No capítulo 3 são discutidos os materiais, métodos empregados e o planejamento dos experimentos realizados. Os tópicos abordados foram divididos em: i) conceitos e elementos das refeições digitais; ii) modelo para definir uma refeição digital (diagrama de classes); iii) interface para dispositivos móveis, *tablets* e

*smartphones*, capaz de simular as etapas que definem e antecedem a personalização de uma refeição digital; iv) análise de ingredientes comuns no processamento de alimentos para identificar as possibilidades e limitações da fabricação de forma livre e sólida; v) proposta da impressora para refeições.

O capítulo 4 apresenta a discussão e análise dos resultados das pesquisas de fundamentação delineadas no capítulo 3.

No capítulo 5 são abordadas as considerações finais e algumas sugestões para trabalhos futuros.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Os tópicos abordados ao longo desse capítulo relacionam os principais conteúdos levantados ao longo da pesquisa bibliográfica e o estado da arte. Entre estes são listados: projetos pioneiros sobre a manufatura aditiva de refeições e as principais tendências; conceitos e elementos das refeições digitais; levantamento das principais tecnologias de impressão 3D de refeições; principais ingredientes comuns no processamento de alimentos para identificar as possibilidades e limitações da fabricação de forma livre e sólida.

### 2.1 Projetos pioneiros e tendências

O conceito primário de um "Sintetizador de alimentos", uma impressora para refeições, é descrito no filme *Star Trek: The Original Series*, na década de 1960. Apresenta-se uma "máquina de replicação" que poderia sintetizar refeições, com base nos requisitos do usuário. O conceito revela o desejo das pessoas em personalizar refeições instantâneas e replicar desenhos atraentes.

A primeira geração de projetos e protótipos de impressoras de alimentos 3D foram conduzidas a partir de projetos de pesquisa conceituais utilizando a extrusão e deposição de materiais (SUN et al., 2015).

Fell (1979) registrou uma patente que descreve a composição de tinta adequada para impressão a jato de tinta, em uma variedade de materiais e particularmente em produtos alimentares.

Young (2000) registrou a patente de uma máquina adaptada para imprimir uma imagem pré-definida sobre uma superfície de um material comestível e um método de impressão. O equipamento inclui uma cabeça de impressora jato de tinta, e um recipiente para um corante alimentício líquido.

Em 2001, a empresa americana Nanotek Instruments Inc. patenteou um método rápido de manufatura aditiva de refeições (YANG et al., 2001), similar a um bolo de aniversário personalizado.

O processo de extrusão de alimentos foi relatado pela primeira vez por pesquisadores da Universidade de Cornell ao introduzirem a impressora Fab@Home Model 1, baseando-se no processo de extrusão (MALONE; LIPSON, 2007).

Philips Food Creation Printer introduziu o conceito de cartuchos de alimentos para criar refeições personalizadas, utilizando a impressão em camadas



sucessivas. Uma interface gráfica interativa foi proposta para selecionar ingredientes, quantidades, formas, texturas e outras propriedades alimentares. Essa ideia pode ser aplicada a qualquer tipo de impressão de alimentos 3D personalizada (PHILIPS, 2008 *apud* SUN et al., 2015c).

Nico Kläber (ELECTROLUX, 2009) lançou um conceito Moléculaire no concurso Electrolux Design Lab, que incorporou a gastronomia molecular ao *design* de impressoras de alimentos. Esse conceito visava imprimir vários materiais, usando um pequeno braço robótico, para criar uma refeição personalizada.

Sloan (2011) listou três formas para personalizar o *design* das refeições por interfaces interativas *online*: i) criar refeições personalizadas como *donuts*, massas, recheios, coberturas, com formas variadas e convidar os consumidores a compartilharem suas experiências pessoais e *designs* (Figura 5); ii) configurar refeições para autoatendimento e pedidos *online*, através de um *software* visual de refeições como o Domino's Pizza's (Figura 6) que propõe ao consumidor construir sua pizza personalizada; iii) fornecer sites de cocriação de refeições para presentear com produtos exclusivos, como escolher uma base de chocolate, adicionando-se coberturas exóticas para personalizar barras de chocolate (Figura 7).

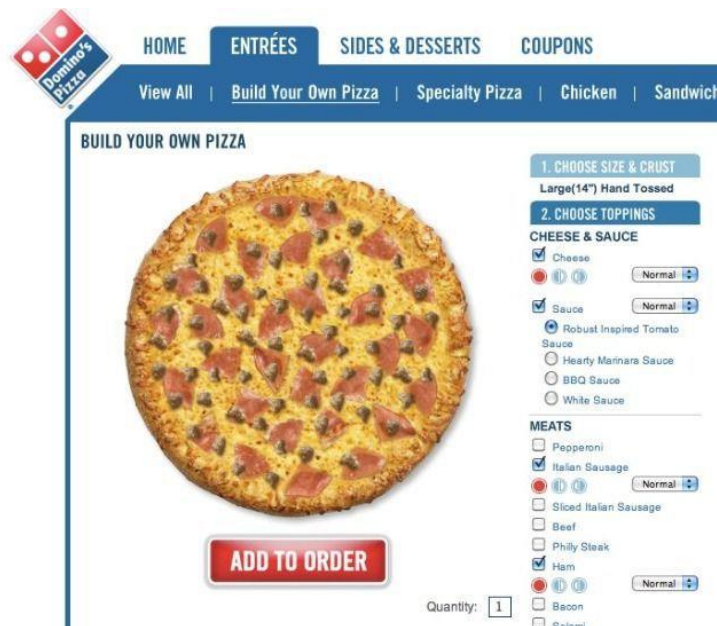
Figura 5 – Personalização virtual de Donuts.



Fonte: SLOAN, 2011.

O primeiro concurso de design, no ano de 2009, gerou quase 130.000 submissões de *donuts* (SLOAN, 2011).

Figura 6 – Domino's Pizza's



Fonte: SLOAN, 2011.

Durante o processo de pedidos *online*, o Dominos's Pizza's oferece um painel visual para configuração dos ingredientes que permite a personalização da pizza pelo consumidor. À medida que o usuário seleciona coberturas, elas são virtualmente polvilhadas na pizza. Uma vez que seu pedido está completo, a pizza está pronta para ser entregue, através de uma franquia local (SLOAN, 2011).

Figura 7 – Presentes personalizados.



Fonte: SLOAN, 2011.

O site Chocolate Chocri permite que o consumidor personalize sua própria barra de chocolate. Os usuários podem escolher um tipo básico de chocolate e adicionar coberturas exóticas atender suas expectativas. Os ingredientes disponíveis incluem tudo, desde pimenta em pó até flocos de coco. Outros *sites* para

personalizar o sabor, na categoria novidades em refeições, incluem o eCreamery para sorvete, Slantshack Jerky e Design a Tea, para barrinhas energéticas existem os sites Element Bars e o Youbar. Na categoria de cereais, Mix My Granola, MojaMix e MeandGoji. Alguns desses fornecedores permitem que os usuários escolham uma imagem e escrevam um texto personalizado na embalagem (SLOAN, 2011).

Nos últimos anos, a fabricação de refeições usando a tecnologia de impressão 3D vem sendo apresentada não apenas pela indústria alimentícia, ciência dos alimentos, mas também em reportagens envolvendo as empresas 3DPrint.com, 3DSystems.com e 3DIndustry.com.

A maioria das publicações se concentra na customização de refeições personalizadas. Os pesquisadores da TNO exploram tópicos mais fundamentais como converter ingredientes em produtos mais saborosos e saudáveis, incluindo as preocupações ambientais (VAN BOMMEL; SPICER, 2011).

No ano de 2013 o engenheiro mecânico Anjan Contractor, da empresa Systems & Materials Research Corporation obteve uma subvenção de 125.000 dólares da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) para criar o primeiro protótipo de um sintetizador universal de refeições, visando uma nova forma de garantir o abastecimento alimentar no espaço (BECHTHOLD et al., 2015). A tecnologia facilitaria a culinária no espaço, relativamente simples comparada à preparação tradicional, enquanto prolongaria a vida de prateleira dos alimentos (TERFANSKY et. al., 2013).

O *design* da impressora para refeições Atomium 3D, desenvolvida pela brasileira Luiza Silva, classificou-se em segundo lugar na 11ª edição do concurso Electrolux Design Lab, no ano de 2013, com o tema "vida urbana". O projeto surgiu com a necessidade de alimentar as crianças com formas criativas e divertidas, utilizando ingredientes saudáveis e seguros. De acordo com a proposta, as crianças mostram um esboço ou objeto para criar a refeição digital. A Atomium reconhece o desenho, faz a digitalização, escolhe os ingredientes para imprimir a refeição, com base no perfil nutricional do usuário. A impressora possui um sistema de identificação digital, para reconhecer os usuários e conectar-se com os dados pessoais mais recentes, como o controle médico e a prática de atividades diárias, que podem influenciar no equilíbrio nutricional do usuário (3D PRINTER WORLD, 2017).

Essas tendências estão influenciando a criatividade do consumidor e o mercado das refeições digitais, promovidas pela Internet e aplicativos para dispositivos móveis.

Entre as inovações tecnológicas que envolvem o processamento de alimentos, o pesquisador brasileiro Marcelo Coelho, do Instituto Tecnológico de Massachussetts (MIT), em parceria com Amit Zoran, Zachary Nelson, Josh Ramos e Varun Perumal, desenvolvem protótipos de máquinas que prometem revolucionar, com praticidade e criatividade, a produção de alimentos processados no âmbito doméstico. Com o objetivo de explorar as tecnologias alimentares, aliadas ao desenho industrial, arquitetura e os recursos computacionais, a ideia é criar ferramentas adicionais que irão coexistir com as já existentes. A premissa é que as tecnologias fundamentais da cozinha continuam as mesmas de sempre, mudando apenas a possibilidade de criar novas experiências em rede (SUN et al., 2015c).

A linha de máquinas Cornucopia envolve três invenções gastronômicas: Virtuoso Mixer, Digital Fabricator e Robotic Chef. Cada um dos protótipos se baseia em diferentes aspectos da gastronomia que vão desde a mistura, modelagem até a transformação do alimento (SUN et al., 2015c). O quadro 2 demonstra um resumo das principais características dos projetos do Cornucopia.



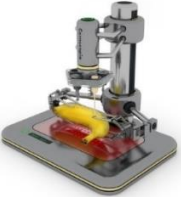
A Cornell Creative Machines Lab<sup>1</sup> propôs uma impressora 3D de refeições para criar macarrão em formato de objetos como naves espaciais, aviõezinhos, bolos e biscoitos que podem conter uma mensagem interna. No quesito alimentação criativa, imprime carne de hambúrguer com as bordas preenchidas por catchup ou mostarda, inclusive com matérias-primas equivalentes feitas para vegetarianos como soja e outros substitutos (LIPTON et al., 2014).

Outras iniciativas buscam alternativas para as refeições no futuro, como a produção de carne por meio de células tronco; proteínas e vegetais que simulam o sabor, a textura e a consistência do frango; e alimentos que utilizam insetos como fontes de proteína animal de alto valor nutritivo e baixo custo.

---

<sup>1</sup> Cornell Creative Machines Lab reúne pesquisadores das várias disciplinas de engenharia, ciência da computação, física, matemática e biologia.

Quadro 2 – Resumo dos projetos conceituais de impressora 3D de alimentos.

	Conceito	Plataforma de Design	Dificuldades
<p><b>Virtuoso Mixer</b></p> 	Carrossel rotativo para combinar e misturar diversos ingredientes.	<p><b>1ª superior:</b> oito recipientes que podem ser preenchidos com ingredientes, equipados com balanças, sensores de temperatura e umidade.</p> <p><b>2ª camada:</b> oito recipientes de mistura com vários tipos de dispositivos de trituração e câmaras de processamento.</p> <p><b>3ª camada:</b> funciona como uma bandeja de extrusão onde a mistura final de ingredientes é depositada.</p>	Distribuição e <i>design</i> de medição entre as camadas; limpeza da máquina; diminuição de resíduos.
<p><b>Digital Fabricator</b></p> 	Utiliza o conceito de cápsulas com ingredientes. Permite a modelagem, com regulagem de temperatura e umidade do alimento.	Engloba três dispositivos: impressora 3D, braço robótico e um mixer. Composta por superfície de impressão, câmara de fabricação, impressão em três eixos e painel <i>touchscreen</i> , com conexão à Internet	Cápsulas recarregáveis; limpeza; fornecimento de material para a deposição e sistema de armazenamento.
<p><b>Robotic Chef</b></p> 	Permite o corte preciso de alimentos, com laser e a cocção da refeição na placa/chapa.	Possui três anéis giratórios com ingredientes e controle de temperatura por termoelectricidade; pode ser uma alternativa ao se preparar, por exemplo, uma sobremesa. Possui seringas para injeção de temperos.	<i>Design</i> para projetar e fabricar refeições com formas diversificadas; manipulação difícil.

Fonte: SUN et al., 2015c; adaptado.

Nos anos de 2015 e 2016 foram realizadas duas conferências com a temática impressão de refeições, visando reunir pesquisadores para tratar o assunto acerca das possibilidades e usos (LUPTON; TURNER, 2016). Para tal, foi sugerido nos fóruns que a temática fosse agrupada nas categorias:

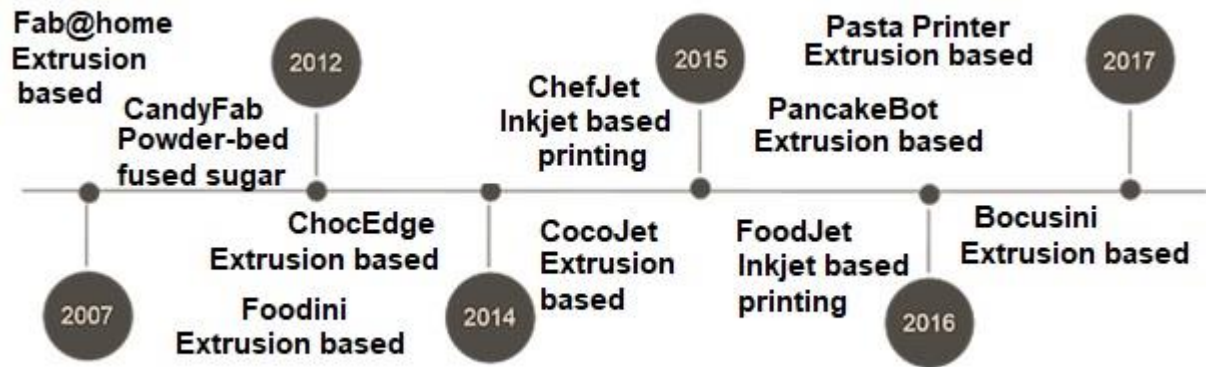
- i. Novidade/diversão/criatividade: gastronomia requintada e criativa; cozinha doméstica criativa: artigos decorativos (por exemplo, para bolos); alimentos para ocasiões especiais; comida para crianças;
- ii. Conveniência e eficiência: alimentos para astronautas, militares, passageiros aéreos; preparação rápida e fácil de refeições caseiras e lanches;
- iii. Saúde/nutrição: encorajar as crianças a comerem alimentos saudáveis; lanches saudáveis fáceis de preparar em casa; alimentos para pessoas com disfagia (dificuldades de mastigação e deglutição) ou outros distúrbios alimentares; alimentos destinados às necessidades nutricionais dos indivíduos; ajustar a ingestão de alimentos para o controle de peso ou necessidades dietéticas especiais (por exemplo, evitar alérgenos ou produtos de origem animal).
- iv. Reduzir os resíduos e melhorar a sustentabilidade ambiental: armazenamento, transporte e preparação dos alimentos; descentralização da preparação dos alimentos; reutilização de alimentos descartados; geração de embalagens alimentares comestíveis ou talheres.
- v. Redução da fome mundial: uso mais eficiente dos alimentos disponíveis; uso de fontes de alimentos alternativas.
- vi. Produção ética de carne ou substitutos: utilizando proteínas animais ou vegetais para criar substitutos de carne.

Como a personalização é uma das tendências que vêm delineando a indústria alimentícia, outras inovações revolucionárias acerca das possibilidades das refeições digitais são esperadas.

A empresa Natural Machines está desenvolvendo a impressora Foodini 3D para uso doméstico, anunciando-a como "*new generation kitchen appliance*" (NATURAL MACHINE, 2016).

Na figura 8 encontra-se a evolução das impressoras de refeições que surgiram no mercado nos últimos dez anos.

Figura 8 – Evolução das impressoras de refeições.



Fonte: LIM, 2017; adaptada.

Entre as tendências está um restaurante itinerante que vem visitando alguns países como a Espanha, Holanda, Londres e Reino Unido. O Food Ink é um espaço futurista imersivo, concebido e dirigido por uma equipe internacional multi-talentosa que reúne arquitetos, artistas, *chefs*, *designers*, engenheiros, futuristas, industriais, inventores e tecnólogos, onde todos os utensílios e móveis foram manufaturados por impressoras 3D. No ambiente, são preparadas refeições requintadas, com arte e tecnologia, a partir de uma impressora 3D, capaz de criar doces e salgados, como homus, massa de pizza e mousses de chocolate. Todas as refeições utilizam ingredientes frescos e algumas precisam de técnicas da gastronomia molecular para serem preparadas (FOOD INK, 2017).

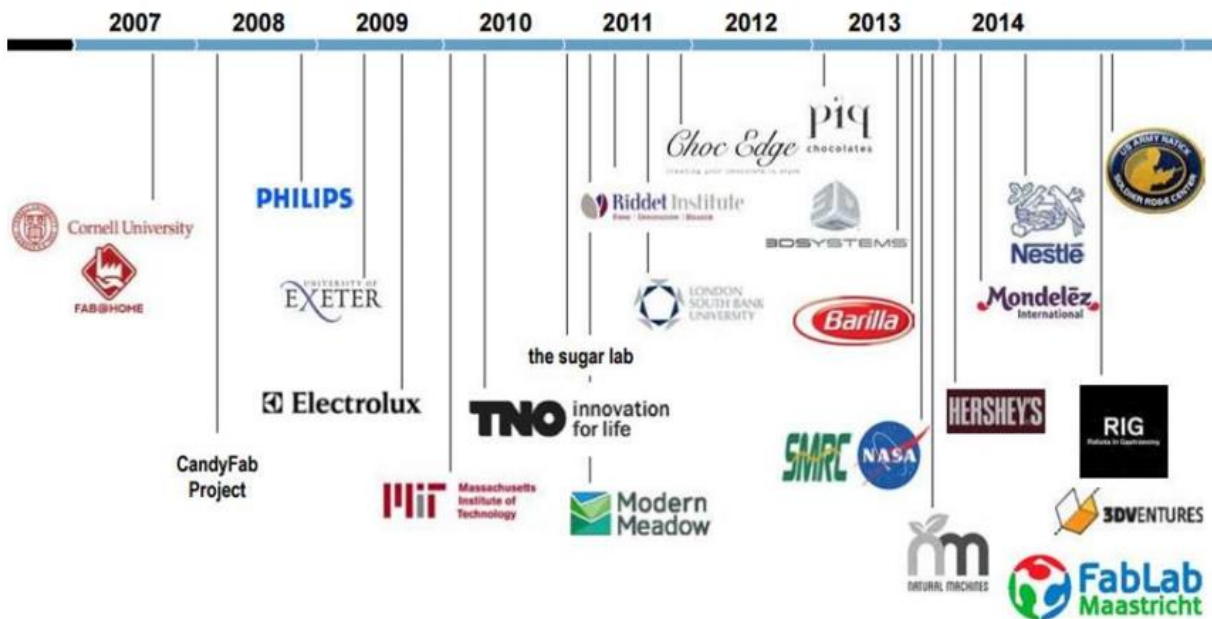
A *startup* Pixsweet que opera em Los Angeles, no estado americano da Califórnia está produzindo sorvetes naturais, veganos e sem glúten. A companhia criou uma plataforma *online* que produz, a partir de fotos dos usuários e por meio de impressoras 3D, picolés no formato personalizado. A plataforma é fácil de usar, sendo necessário fazer um *upload* de uma foto no sistema e a imagem é transformada em um objeto 3D para a produção. Além disso, a empresa oferece *templates* para ocasiões temáticas (PIXSWEET, 2017).

Com a democratização da impressão 3D, o setor alimentício vem reunindo alguns *players* que exploram novas maneiras de produzir alimentos e



produtos. Muitas dessas empresas utilizam a experiência de anos para otimizar as técnicas tradicionais de produção associadas à manufatura aditiva de alimentos. A figura 9 demonstra a cronologia dos *players* que adotaram a manufatura aditiva de refeições, a partir do ano de 2007.

Figura 9 – Principais *players* no mercado da manufatura aditiva de alimentos.



Fonte: GLAD; EKEZIE, 2016.

Na figura 10 encontram-se as empresas que utilizam a manufatura aditiva na fabricação de alimentos. A coluna Alimentos contém a quantidade de empresas que fabricam determinado produto; a classificação corresponde a uma análise da concorrência e demonstra a classificação das empresas, baseando-se na quantidade de alimentos produzidos. Na vertical, a produção de bolos lidera o mercado da manufatura aditiva, seguido dos chocolates. Na horizontal, a linha concorrente reúne a quantidade de alimentos manufaturados pelas empresas e a classificação dela diante da concorrência. A Foodini produz oito produtos: chocolates, raviole, pizza, nuggets, balas, hambúrguer, bolos e biscoitos, seguida das empresas Choco Creator, 3D Systems e Cornell Labs, ambas manufaturando três tipos de alimentos.



Figura 10 – Empresas que utilizam a manufatura aditiva na fabricação de alimentos.

Segmento de produtos	Concorrentes													Alimento	Classificação
	Foodini	Choco Creator	3DSystems (Chefjet)	Cornell Creative Labs	Barilla	Discov3ry Extruder	Dovetailed	Zmorph	Mondelez International	Biozoon's Smoothfood Printer	NASA	F3D	Pancakebot		
Chocolates	X	X	X	X										4	2
Ravioli	X													1	5
Pizza	X										X	X		3	3
Nuggets	X													1	5
Salgadinhos de milho				X										1	5
Gomas	X	X	X											3	3
Hamburger	X			X										2	4
Bolos	X	X	X			X		X						5	1
Massa					X									1	5
Frutas							X							1	5
Cookies	X								X					2	4
Refeições gelatinosas										X				1	5
Panquecas													X	1	5
Concorrente	8	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Classificação	1	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3		

Fonte: DAVID et al., 2017; adaptada.

## 2.2 Modelagem 3D

Conforme o glossário da Câmara Técnica de Documentos Eletrônicos (GTDE, 2009, p.18), um objeto digital é definido como: “Conjunto de uma ou mais cadeias de bits que registram o conteúdo do objeto e de seus metadados associados”.

Para Hofman (2002), o termo objeto digital se refere aos aspectos conceituais e técnicos, ou seja, o conteúdo intelectual, sua formatação e como é estruturado digitalmente.

A modelagem de objetos é uma das áreas de maior expansão por fomentar o desenvolvimento de pesquisas multidisciplinares. Existem vários métodos para a construção dos modelos tridimensionais, ambos contêm vantagens e desvantagens que justificam uma aplicação específica.

Conforme Guanglin (2015), durante a modelagem tridimensional são necessários muitos parâmetros da geometria do objeto.

O arquivo 3D é uma representação matemática de um objeto, cujo resultado é chamado de modelo tridimensional (Figura 11).

Existem vários softwares de CAD disponíveis para executar a modelagem. Entre os softwares profissionais se destacam o AutoCAD 3D, SolidWorks, Catia, Inventor, Google SketchUp Pro. Na categoria dos programas gratuitos estão o Google SketchUp, TinkerCAD, OpenSCAD, Blender entre outros.

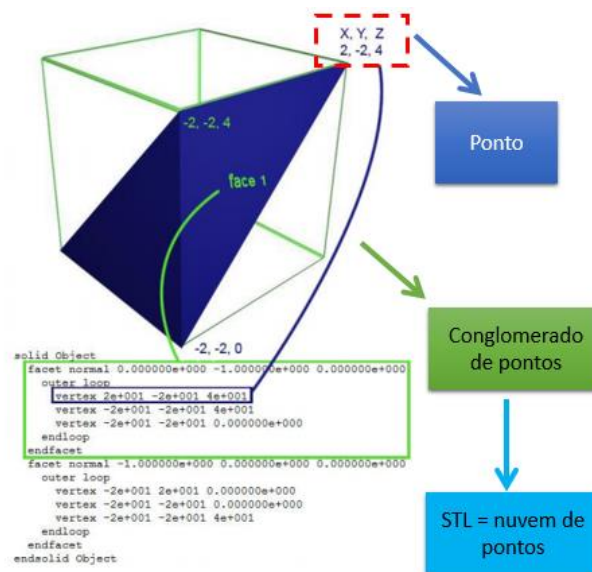
Figura 11 – Planejamento do processo de impressão 3D de um alimento.



Fonte: Autora.

Praticamente todo *software* de modelagem que consiga exportar o modelo para os formatos STL (STereoLithography *File*) ou OBJ podem ser utilizados. O padrão universal da indústria é o formato STL (Figura 12), desenvolvido em 1987 pela empresa 3D Systems (CASTLEMAN, 1996). Esse formato descreverá as superfícies de sua forma, representando os vértices que compõe cada uma de suas faces, sem detalhar a cor, textura ou atributos comuns a modelos 3D artísticos.

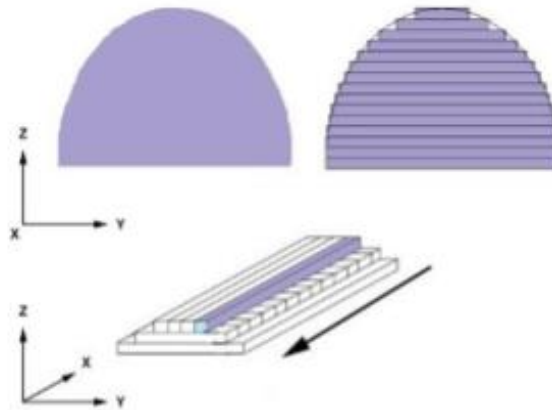
Figura 12 – Representação de um arquivo .STL



Fonte: AZEVEDO, 2013; adaptada.

Uma vez que o sólido tenha sido exportado no formato STL poderá ser processado por um software de fatiamento, com a função de dividi-lo em camadas para projetar o trajeto do bico extrusor (Figura 13).

**Figura 13 – Exemplo de fatiamento e trajeto do bico extrusor.**



Fonte: AZEVEDO, 2013.

### **2.3 Conceitos e elementos das refeições digitais**

Segundo o Dicionário Aurélio (2017), a refeição são “alimentos que se tomam de cada vez em certas horas do dia”.

Para elucidar conceitualmente a refeição digital, parte-se da definição de objeto digital, por ser um conjunto de *bits* que formam uma unidade lógica interpretável por um programa de computador e armazenada em formato apropriado.

A refeição digital é um elemento computacional que configura, no domínio da solução, um conjunto de classes compostas por atributos de interesse do problema sob análise. Cada atributo possui uma estrutura e define os valores que podem ser anexados às classes (Figura 14).

**Figura 14 – Elementos de uma refeição digital.**



**Fonte: Autora.**

Na teoria de objetos digitais proposta por Kallinikos et al. (2010), os objetos digitais são marcados por um conjunto limitado de quatro atributos que lhes conferem um perfil distinto e funcional: i) editabilidade; ii) interatividade; iii) aberto e reprogramável; iv) distribuído.

As terminologias e a teoria dos objetos digitais, proposta por Kallinikos et. al (2010), podem ser aplicadas para conceituar as refeições digitais, pois os quatro atributos são aplicáveis. A editabilidade é uma característica intrínseca das refeições digitais, através de um aplicativo, adicionando, alterando, suprimindo elementos ou atualizando itens específicos. A interatividade permite ao usuário exercer um nível de participação ou influência no processo de definição de uma refeição, através de interfaces gráficas amigáveis, em tempo real. Uma refeição digital é aberta e reprogramável pela possibilidade de uma imagem ser livre de direitos autorais e, também pela flexibilidade de modificá-la por outro objeto digital (*software*). Distribuída, pela facilidade de ser acessada remotamente, via Internet, raramente se limitando a uma única fonte, de maneira que as fronteiras originalmente não existentes, em objetos isolados, sejam criadas e mantidas em bases computacionais para uso e acesso regular de qualquer lugar da rede (Figura 15).

**Figura 15 – Conceito de refeição digital.**



**Fonte: Autora.**

Para Teixeira (2009), os alimentos possuem características organolépticas como odor, textura, cor, gosto e som.

De modo similar, uma refeição digital é caracterizada por atributos e propriedades que são determinadas pelas matérias-primas utilizadas. Alguns atributos, citados como base para conceituar uma refeição digital, estão definidos na NBR 12806.

O aroma é a propriedade que permite distinguir as substâncias aromáticas de um alimento durante a degustação, via retronasal. O sabor (do inglês, *flavour*), é um atributo complexo, definido como experiência mista, mas unitária de sensações olfativas, gustativas e táteis percebidas durante a degustação (ABNT, 1993).

Todo produto alimentício possui uma aparência associada às reações pessoais de aceitação, indiferença ou rejeição (TEIXEIRA, 2009). O paladar é diretamente sugestionado pela apresentação visual de um alimento. A NBR 12806 define o gosto como sensação percebida pelos órgãos gustativos, quando estimulados por determinadas substâncias solúveis (ABNT, 1993). Dessa forma, o gosto é uma das propriedades sensoriais da cavidade bucal relacionadas ao paladar, identificada pela boca (TEIXEIRA, 2009). É a percepção, através das papilas gustativas, das características básicas ou gostos primários dos alimentos, ou

seja, os gostos ácidos, amargos, doces e/ ou salgados (TEIXEIRA et al., 1987; ABNT, 1993; ANZALDÚA-MORALES, 1994 *apud* TEIXEIRA, 2009) e umami.

Existem indivíduos com percepção adequada para alguns desses gostos primários e, ao mesmo tempo, é desprovida de percepção para outros paladares (ANZALDÚA-MORALES, 1994 *apud* TEIXEIRA, 2009).

Conforme a NBR 12806, o termo “gosto” não deve ser utilizado para qualificar a combinação de sensações gustativas, olfativas e táteis, intituladas pelo termo “sabor”. Se o termo for usado neste sentido, deve sempre se associar a um termo que o qualifica, por exemplo gosto de cebola (ABNT, 1993).

Para descrever a cor de um alimento digital, utiliza-se o sistema de cores HSV cuja abreviatura provêm dos componentes: i) tonalidade ou matiz (*hue*); ii) saturação (*saturation*); iii) valor ou brilho (*value*). Esse sistema também é conhecido como HSB (*hue, saturation e brightness*, respectivamente, tonalidade, saturação e brilho). Esse sistema de cores define o espaço de cor utilizando três parâmetros, matiz, intensidade e brilho.

A NBR 12806 define apenas dois conceitos, matiz e intensidade. A matiz equivale a uma dimensão da cor que corresponde à variação nos comprimentos de onda. A intensidade corresponde. (ABNT, 1993). Partindo dessa conceituação, sugere-se que:

- i) Matiz: é determinada pelo comprimento de onda da luz refletida pela refeição digital;
- ii) Intensidade: depende da concentração de substâncias aditivos e/ou corantes utilizados em uma refeição digital;
- iii) Brilho: é a quantidade da luz refletida pelo corpo em comparação com a quantidade de luz que incide sobre o mesmo. A luminosidade é a denominação dada à capacidade que possui qualquer cor de refletir a luz.

A textura é um atributo multiparâmetro, pois corresponde ao conjunto de todas as propriedades reológicas e estruturais (geométricas e de superfície) de um alimento, perceptíveis pelos receptores mecânicos, táteis e eventualmente pelos receptores visuais e auditivos (ABNT, 1993). Manifesta-se quando o alimento sofre uma alteração, por exemplo, quando é mordido, prensado, cortado etc. Através dessa ação sobre a integridade do alimento é possível ter noção da resistência,

coesividade, fibrosidade, granulidade, aspereza, crocância, entre outras (ANZALDÚA-MORALES, 1994 *apud* TEIXEIRA, 2009).

Além disso, os alimentos possuem sons característicos que são reconhecidos pela experiência prévia do indivíduo quando consumidos ou preparados; sendo associado principalmente à textura do alimento (TEIXEIRA et al., 1987).

Os parâmetros mecânicos das texturas (APÊNDICE B) comuns às refeições digitais são características determinantes para a aceitabilidade e preferência dos consumidores.

Na constituição da refeição digital, a textura pode determinar o controle da matéria-prima no processo de impressão, o desenvolvimento de novas refeições digitais, ou mesmo, alterações em suas formulações para obter determinada consistência.

## 2.4 Tecnologias de impressão 3D de refeições

A impressão 3D de refeições abrange vários modelos de impressoras, sendo que cada projeto aborda um processo distinto que reúne a mistura de diferentes ingredientes, bem como a transformação física e química destas matérias-primas em novos compostos.

No processo de deposição, camada por camada, os ingredientes não precisam ser completamente solidificados, mas requerem viscosidade para suportar o peso das camadas subsequentes, sem deformação significativa ou alteração da forma (SUN et al., 2015b).

Conforme Sun et al. (2015b), entre as tecnologias mais conhecidas e expressivas na categoria das impressoras 3D para refeições estão a *Selective sintering technology / Hot Air Sintering, Hot melt-extrusion, Powder bed binder jetting* e a Impressão jato de tinta (*Inkjet printing*).

Acrescenta-se outras tecnologias na categoria das impressoras 3D para refeições, como o Crescimento comestível (*Edible Growth*) e a Esferificação (*Spherification*).



### 2.4.1 Selective sintering technology / Hot Air Sintering

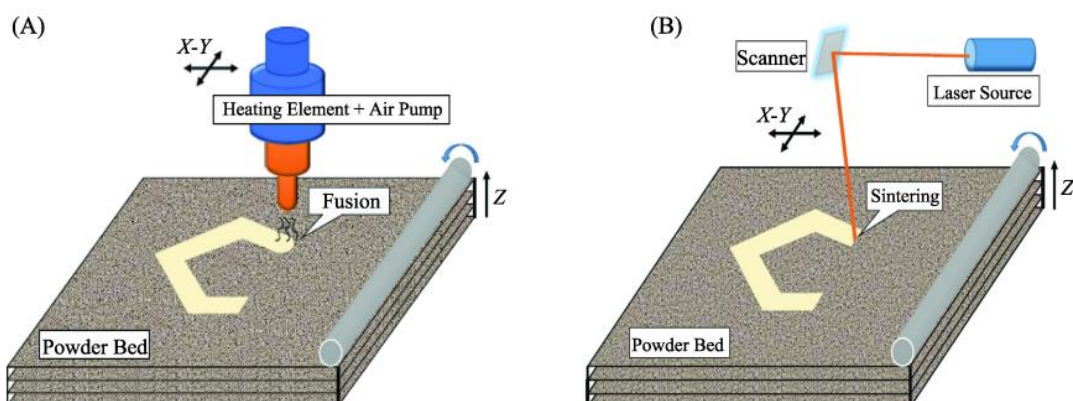
É uma tecnologia que pode utilizar ar quente (do inglês, *Hot Air Sintering*) ou a sinterização seletiva com um laser de alta potência (SLS, do inglês *Selective laser sintering*) para sinterizar açúcares e/ou pós ricos em açúcar na fabricação de alimentos com geometrias complexas, construindo seções transversais geradas a partir de um desenho CAD 3D.

Tanto a tecnologia a laser (Figura 16B) como a com ar quente (Figura 16A) podem ser utilizadas como fontes de sinterização para fundir partículas de pó e formar camadas de sólidos (SUN et al, 2015b). A impressora Food Jetting, da TNO, aplica a sinterização a laser para açúcares e alimento em pó sabor morango para refeições comestíveis sólidas (GRAY, 2010).

A impressora CandyFab (CANDYFAB, 2007 *apud* SUN, 2015b) aplicou a sinterização seletiva de ar quente, de baixa temperatura, para sinterizar e derreter açúcares.

Após a deposição de uma camada de pó, uma das fontes de sinterização se move ao longo dos eixos x e y para que as partículas do material possam se unir e formar uma superfície sólida. Uma nova camada do material é aplicada em cima da superfície e o processo é repetido continuamente até que o alimento 3D seja finalizado.

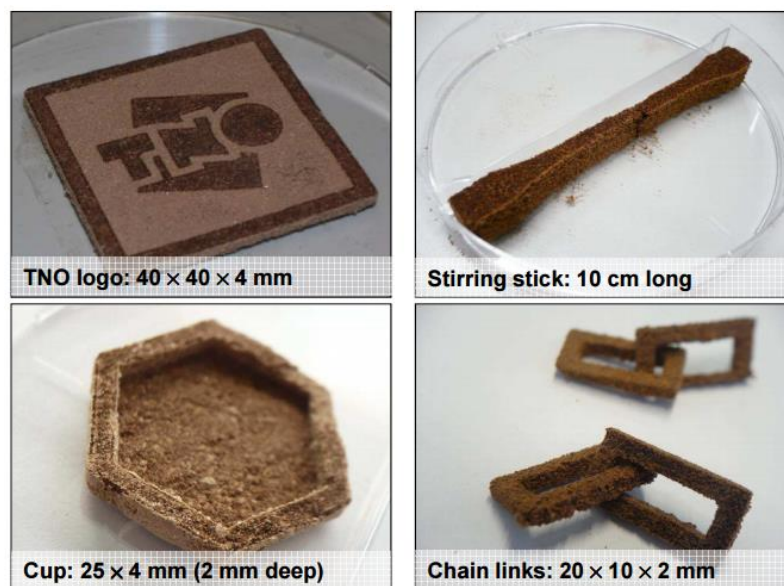
Figura 16 – Sinterização seletiva. A: Ar quente. B: Laser.



Fonte: SUN et al., 2015.

Na sinterização seletiva, o pó é aquecido um pouco abaixo do ponto de fusão do material para minimizar a distorção térmica e facilitar a fusão entre as camadas. Essa tecnologia oferece mais flexibilidade para imprimir alimentos complexos, em um curto espaço de tempo, sem pós-processamento. Apropriada para sinterizar açúcares e materiais com pontos de fusão relativamente baixos (Figura 17). Entretanto, a operação fica prejudicada quando existem muitas variáveis envolvidas.

**Figura 17 – Sinterização a laser aplicado em açúcares e pós Nesquik®.**



Fonte: TNO, 2017.

### **2.4.2 Hot melt-extrusion**

Também chamada de modelagem por deposição de material fundido (FDM, do inglês *Fused deposition modeling*), foi descrita primeiramente nos trabalhos de Crump (CRUMP et al., 1991).

Na tecnologia FDM os modelos são projetados por deposição de camadas, umas sobrepostas às outras, através da extrusão do material e fluidificado por aquecimento, para a preparação das camadas da fatia do protótipo (LIRA, 2008). Esta tecnologia é uma das mais difundidas no mercado e se destaca como uma das pioneiras na área de fabricação aditiva (LIOU, 2007; VOLPATO, 2007). Permite a extrusão de geometrias complexas, usando um único material, com alta repetibilidade, que antes eram difíceis de fazer manualmente (SUN et al., 2015b).

Esta tecnologia é amplamente aplicada para criar produtos personalizados derivados de chocolates (YANG et al., 2001; HAO et al., 2010).

As impressoras de refeições projetadas com esse método de extrusão geralmente têm um tamanho compacto e baixo custo de manutenção, mas possuem a limitação no uso de materiais e o tempo de manufatura é longo quando comparado às impressoras convencionais (SUN et al., 2015b). Possuem um cabeçote se desloca ao longo dos eixos x e y, adicionando o material aquecido, um pouco acima do seu ponto de fusão, se solidificando quase imediatamente após a extrusão e fundindo-se a camada anterior. Após a finalização de uma camada, a plataforma de deposição se desloca no sentido z, com o objetivo de construir a próxima camada, repetindo o procedimento até concluir a impressão da refeição (SUN et al., 2015).

Alguns materiais nativamente impressos, como o queijo, podem ser extrudados em temperatura ambiente, sem muita pressão no bico extrusor durante o processo de deposição (COHEN et al., 2009).

A impressora 3D Food Ink utiliza o método *hot-melt extrusion* para extrudar a base das refeições, seguida de uma etapa pós-cozimento para fundir as camadas (GOLDING, 2011 *apud* SUN et al., 2015b).

### **2.4.3 Powder bed binder jetting**

Conforme Sachs et al. (1992) cada uma das camadas de pó é distribuída uniformemente em toda a plataforma de fabricação e são usados sprays de líquidos aglutinantes para ligar duas camadas de pó consecutivas (Figura 18).

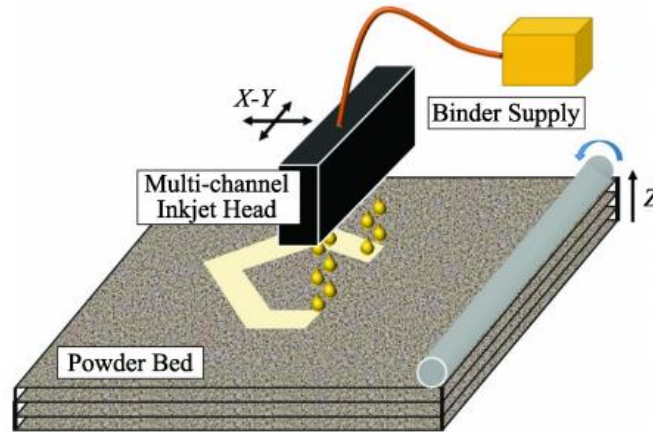
No ano de 2013, o Sugar Lab usou combinações de açúcares e diferentes sabores de pastas para fabricar bolos esculturais complexos para casamentos e eventos especiais (SUN et al., 2015b).

Esta categoria de impressão adota a tecnologia Colorjet (CJP, do inglês *Color Printing Jet*), e o processo de fabricação reúne todos os requisitos de segurança alimentar (SUN et al., 2015).

A CPJ é constituída de dois elementos, o núcleo e o aglutinante, que interagem continuamente. O material *core* (núcleo) é espalhado em camadas finas sobre a plataforma de construção com um rolo. Após o espalhamento de cada camada, o aglutinante colorido é jateado seletivamente a partir dos cabeçotes de impressão em jato de tinta, o que causa a solidificação do núcleo. A plataforma de

construção se desloca para baixo, a cada camada subsequente, que é espalhada e impressa, resultando em um modelo tridimensional (3D SYSTEMS, 2017).

**Figura 18 – Powder bed binder jetting.**



Fonte: SUN et al., 2015.

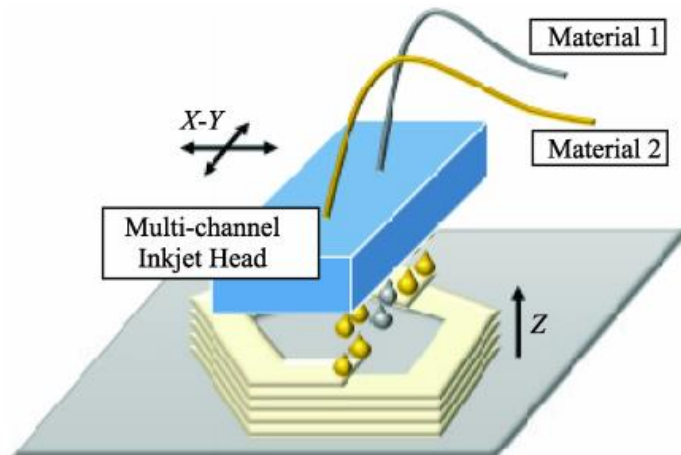
Essa tecnologia oferece algumas vantagens, como a fabricação rápida e a capacidade de construir estruturas complexas, utilizando ingredientes baratos. Porém, os produtos fabricados possuem um acabamento com a superfície áspera e elevado teor de açúcar. Pós-processamentos podem ser necessários, tal como curar em temperaturas mais elevadas para reforçar a ligação entre as camadas. O custo do dispositivo não é acessível (SUN et al., 2015).

No entanto, alimentos com alto conteúdo de açúcar e pouco valor nutricional podem não ser atraentes, afinal muitas vezes podem se relacionar à obesidade, diabetes tipo 2 e doença cardíaca. Isso limita extremamente o potencial de mercado desta tecnologia (SUN et al., 2015b).

#### **2.4.4 Impressão jato de tinta (*Inkjet printing*)**

A impressão a jato de tinta (Figura 19) utiliza sistemas dotados de uma cabeça de impressão ou cabeçote com centenas de orifícios que despejam milhares de gotículas de multimateriais por segundo, comandados por um *software* que determina quantas gotas e onde deverão ser lançadas as gotículas e a mistura dos materiais. Essa tecnologia vem sendo utilizada para criar produtos alimentícios, como biscoitos, bolos, pizzas e *cupcakes*.

Figura 19 – Impressão jato de tinta.



Fonte: SUN et al., 2015.

A impressora FoodJet, da empresa De Grood Innovations usa o método para pizzas, biscoitos e *cupcakes* (SUN et al., 2015b).

O quadro 3 demonstra um comparativo entre as tecnologias *Hot melt-extrusion*, Sinterização seletiva, *Powder bed binder jetting* e Impressão jato de tinta.

**Quadro 3 – Comparativo entre as tecnologias de impressão 3D de refeições.**

	<i>Hot melt-extrusion</i>	Sinterização seletiva	<i>Powder bed binder jetting</i>	Impressão jato de tinta
<b>Materiais</b>	Polímeros alimentares, como chocolate	Pó de baixo ponto de fusão, como açúcar, alimento em pó sabor morango ou gordura	Pós, como açúcares, amido, farinha de milho, sabores e líquidos aglutinadores	Materiais de baixa viscosidade, como pasta ou purê
<b>Viscosidade</b>	$10^3 \sim 10^5$ cP <sup>2</sup>	Não se aplica	1 ~ 10 cP ( <i>Binder</i> )	$5 \times 10^2 \sim 5 \times 10^3$ cP
<b>Plataforma</b>	Etapa motorizada; unidade de aquecimento; dispositivo de extrusão	Etapa motorizada; fonte de sinterização (laser ou ar quente); “cama” de pó ( <i>Powder bed</i> )	Etapa motorizada; “cama” de pó ( <i>Powder bed</i> ); cabeçote de impressão a jato de tinta ( <i>Inkjet printhead for binder printing</i> )	Etapa motorizada; cabeçote de impressão a jato de tinta; unidade de controle térmico
<b>Resolução de Impressão<sup>3</sup></b>	Diâmetro do bico: 0.5 ~ 1.5 mm	Tamanho do pó: 100 $\mu$ m	Diâmetro do bico: $\leq 50$ $\mu$ m Tamanho do pó: $\leq 100$ $\mu$ m	Diâmetro do bico: $\leq 50$ $\mu$ m
<b>Produtos fabricados</b>	Chocolates personalizados	Objetos com arte ( <i>Food-grade art objects</i> ); caramelos	Cubos de açúcar coloridos	<i>Cookies</i> personalizados
<b>Vantagens</b>	Custo efetivo; fabricação rápida	Melhor qualidade de impressão; design complexo	Mais opções de materiais; melhor qualidade de impressão; potencial de cores; design complexo	Melhor qualidade de impressão

Fonte: SUN et al., 2015; adaptado.

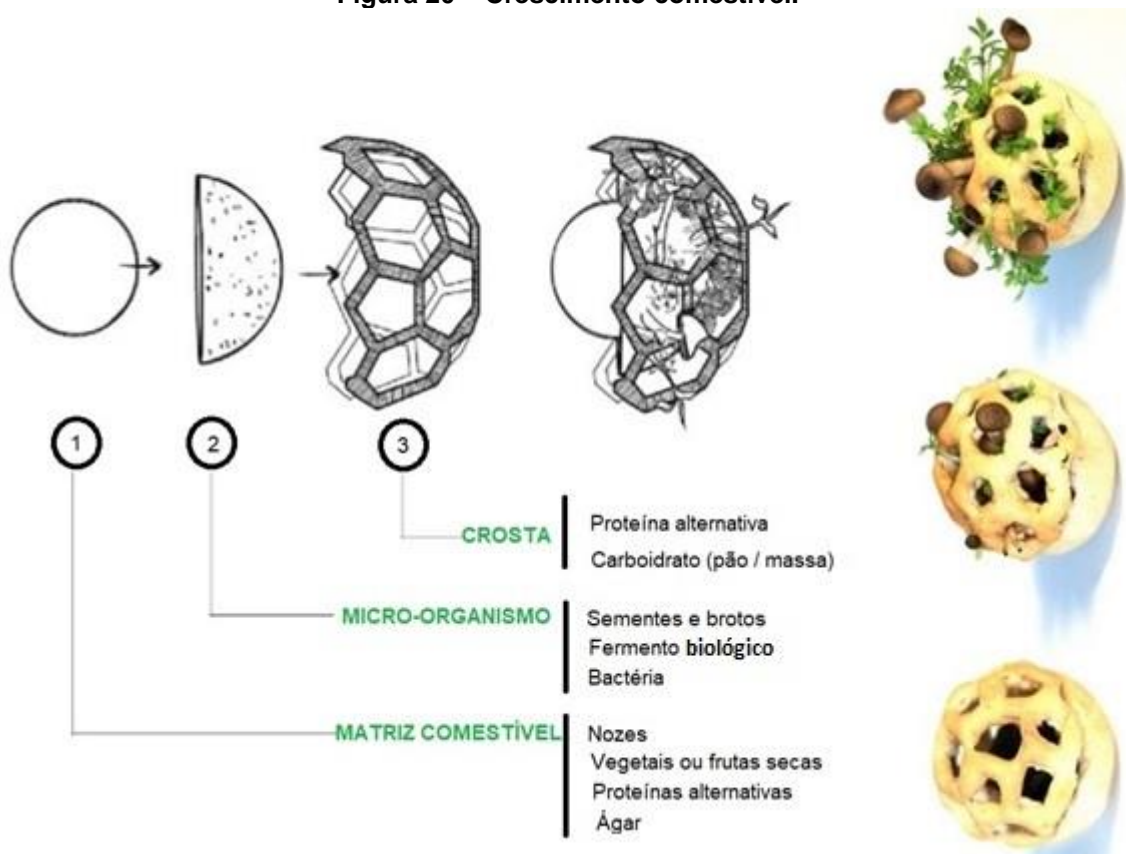
<sup>2</sup> A unidade no Sistema CGS de unidades para a viscosidade dinâmica é o poise (P), porém passou a ser mais usado o seu submúltiplo: o centipoise (cP). O centipoise é mais usado, devido ao fato que a água tem uma viscosidade de 1,0020 cP a 20 °C e 0,891 cP a 25° C. 1 poise = 100 centipoise = 1 g/(cm·s) = 0,1 Pa·s.; 1 centipoise = 1 mPa·s.

<sup>3</sup> A resolução de impressão é determinada pelo diâmetro do bico e / ou tamanho em pó.

### 2.4.5 Crescimento comestível (*Edible Growth*)

A *designer* de alimentos, Chloé Rutzerveld, da Universidade de Tecnologia de Eindhoven, na Holanda, em parceria com a organização de pesquisa TNO, desenvolveu o conceito de crescimento comestível (do inglês, *Edible Growth*), para alimentos impressos naturais, saudáveis, sustentáveis e nutritivos. O protótipo é um *snack* saudável, com sementes de brotos, esporos de fungos que são envolvidos por uma massa, em um substrato nutritivo e comestível composto por fermento biológico e ágar que age como solo. Após cinco dias da impressão, os brotos e cogumelos crescem entre os vãos, na parte superior da massa. Simultaneamente, outra classe de fungos se desenvolve e preenche o interior da massa (Figura 20).

Figura 20 – Crescimento comestível.



Fonte: WALTERS et al., 2011; adaptada.

O produto pode ser consumido após a impressão, porém os usuários podem ingeri-lo conforme suas preferências, uma vez que o sabor ficará mais acentuado ao longo do desenvolvimento dos brotos (RUTZERVELD, 2014).

Essa tecnologia visa minimizar os impactos no uso de recursos naturais como o consumo de terras para o plantio, água e fertilizantes. Além disso, o consumidor se tornaria o agricultor, as atividades de pós-colheita e colheita seriam desnecessárias, ao mesmo tempo, fornecerá suas matérias-primas, reduzindo outros elementos da cadeia produtiva, como a mão-de-obra, o armazenamento, embalagens e a poluição, ou seja, a emissão de monóxido de carbono (RUTZERVELD, 2014).

#### **2.4.6 Esferificação (*Spherification*)**

A esferificação é uma das técnicas mais emblemáticas da gastronomia molecular envolve o processo culinário de moldar um líquido comestível que, quando submerso em um banho, forma esferas que visualmente se assemelham a ovas; esta técnica é conhecida como esferificação (POTTER, 2010). Em outras palavras, é o processo de acondicionar um líquido dentro de uma película, em uma série de glóbulos gelatinosos, semelhantes aos caviars ou pérola.

Estes elementos esféricos contêm uma membrana fina gelificada, que envolve um líquido não-gelificado (VEGA; CASTELLS, 2012).

O alginato de sódio reage com o cálcio levando à formação de uma película em forma de gel (alginato de cálcio) que reveste as esferas resultantes da esferificação, sendo este fenômeno também denominado de geleificação iônica, que apresenta a vantagem de possuir um baixo custo, além de ser uma reação rápida (FENNEMA, 1996).

Essa técnica da gastronomia molecular, envolvendo a esferificação, vem sendo associada à impressora 3D de refeições para o preparo de alimentos mais nutritivos.

A empresa Dovetailed, com sede em Cambridge, criou a impressora 3D Fruit Printer que imprime “frutas tridimensionais”, utilizando um *smartphone*. Porém, existe a limitação de imprimir uma fruta na sua forma, o equipamento permite, por exemplo, combinar as esferas gelatinosas de um suco de morango, em uma massa combinada, que se assemelha a framboesa ou outra fruta. Além da possibilidade de misturar sabores, é possível personalizar o tamanho, a forma e a textura das esferas (3DERS, 2017).



A mistura é gotejada em um recipiente, contendo água fria e/ou de cloreto de cálcio. A reação resultante produz uma película em torno da esfera gelatinosa. Recomenda-se misturar ágar-ágar ou ácido algínico ao suco de frutas.

Em meio aquoso, o alginato de sódio pode formar uma solução coloidal (sol) viscosa, um gel ou um precipitado, de acordo com a força iônica e o pH do meio. Os géis são formados na presença de cátions divalentes como  $\text{Ca}^{++}$  ou  $\text{Mg}^{++}$  e a presença de sequências de resíduos gulurônicos é necessária para que apresentem esta capacidade (SABRA et. al., 2001). A geleificação, em particular, ocorre quando certos sais divalentes estão presentes, notadamente o cálcio, ou quando o polímero é acidificado (transformado em ácido algínico).

O quadro 4 demonstra uma comparação entre as tecnologias e plataformas das impressoras 3D para refeições, Choc Creator, Foodini, ChefJet e FoodJet.

**Quadro 4 – Comparativo entre as tecnologias e plataformas das impressoras 3D para refeições.**

Empresas	Choc Edge	Natural Machines	3D Systems	De Grood Innovations
Impressora	Choc Creator	Foodini	ChefJet	FoodJet
Tecnologia	<i>Hot-melt extrusion</i>	Temperatura de extrusão	<i>Inkjet powder printing</i>	<i>Inkjet printing</i>
Materiais	Pó de polímero alimentar como chocolate	Semissólido de alta viscosidade; material como massa	Pó, como açúcares, amido, farinha de milho, sabores, e aglutinante líquido	Material de baixa viscosidade, como pasta ou purê
Plataformas	Etapa motorizada; unidade de aquecimento; dispositivo de extrusão	Etapa motorizada; dispositivo de extrusão	Etapa motorizada; cabeçote de impressão a jato de tinta; “cama de pó” ( <i>powder bed</i> )	Etapa motorizada; Etapa motorizada; cabeçote de impressão a jato de tinta; unidade de controle térmico
Produtos	Chocolates	Pizzas e <i>cookies</i>	Cubos coloridos de açúcar	<i>Cookies</i> ; pastas moldáveis
Site	<a href="http://chocedge.com">http://chocedge.com</a>	<a href="https://www.naturalmachines.com">https://www.naturalmachines.com</a>	<a href="http://www.3dsystems.com">http://www.3dsystems.com</a>	<a href="http://www.foodjet.com">http://www.foodjet.com</a>

Fonte: SUN et al., 2015b; adaptado.

## 2.5 Materiais comestíveis para impressão

Segundo Cohen et al. (2009) os materiais são os principais desafios na impressão 3D de refeições, pois à medida que se busca classificar os alimentos, expande o conjunto de combinações alimentares.

Cohen et al. (2009, p. 812) questionam:

*[...] how do we enable the printing of a wide range of foods with only a limited, fundamental set of materials?*

A figura 21 demonstra uma matriz bidimensional de alimentos, classificados em dois eixos ortogonais de acordo com os parâmetros da textura, que podem ser utilizados como referência na impressão 3D de refeições. Essa matriz foi desenvolvida com a colaboração dos chefs experientes da Faculdade de Administração Hoteleira da Universidade Cornell. No eixo horizontal, os alimentos suaves e granulares; no vertical, encontram-se os leves e firmes.

**Figura 21 – Matriz bidimensional de alimentos, classificados de acordo com os parâmetros da textura.**

Firme (most firm)	Chocolate				Peixe	Cenoura	Biscoito
		Cogumelo			Maçã	Frango	Salada
		Banana	Espaguete	Muçarela	Tomate		Ovo cozido
	Manteiga de amendoim	Marshmallow	Merengue				Carne moída
	Gelatina						
	Molho	Purê de batata	Bolo recheado			Feijão	
	Gel				Pão branco	Polenta	
	Gel líquido	Pudim	Massa de bolo	Geléias	Compotas	Risoto	
	Leite	Sorvete			Gelato		
	Leve (weakest)						
	Suave (smoothest)			Granular (most granular)			

Fonte: COHEN, 2009; adaptada.

Conforme Sun et al. (2015c) os materiais disponíveis para impressão podem ser classificados como nativamente impressos, materiais tradicionais e tipos alternativos de matérias primas.

Os alimentos nativamente impressos são os que incluem todos os materiais que podem ser extrudados a partir de uma seringa como hidrogel, queijo, bolo glassado, homus, chocolate etc. Porém, nenhum deles é servido como prato principal nas refeições. Alguns destes materiais são suficientemente estáveis para a impressão, ou seja, conseguem manter a forma após a deposição. Outras formulações, como massas e pastas, podem exigir um pós-processamento e/ou cocção, após a deposição, não conservando a forma personalizada (LIPTON et al., 2010).

Os materiais tradicionais, normalmente não impressos, incluem a maioria dos alimentos consumidos como frutas, legumes, carnes etc, mas podem ser extrudados através de uma concentração de hidrocolóide para criar um material com a textura desejada (LIPTON et al., 2010; COHEN et. al, 2009).

Fabaroni (2007 *apud* SUN et al., 2015b) testou a capacidade de imprimir alimentos tradicionais, avaliando aspectos como viscosidade, consistência e as propriedades de solidificação. As pastas foram os materiais mais favoráveis para a impressão. Uma solução potencial é criar um conjunto de materiais utilizando um pequeno grupo de ingredientes que possam gerar um elevado grau de liberdade para definir a textura e o sabor de uma refeição (SUN et al., 2015b).

As matérias-primas alternativas podem ser extraídas de algas marinhas, tremoços, fungos e insetos, e são utilizadas como novas fontes de proteínas, fibras e materiais extrudados (SUN et al., 2015b). A introdução de ingredientes alternativos, na impressão de refeições, pode auxiliar no desenvolvimento de alimentos mais saudáveis e com baixo teor de gordura.

Conforme a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) existem cerca de 900 espécies de insetos comestíveis que são ricos em proteínas. As moscas, por exemplo, têm quase o dobro das proteínas comparadas à carne bovina. Os insetos possuem pouca gordura, doses de cálcio e ferro que poderiam ser transformadas em pós e utilizados na fabricação de biscoitos, pães e/ou refeições similares à carne. Em alguns países, os insetos já fazem parte da dieta há séculos, os japoneses consomem vespas; os tailandeses gostam de grilos; os africanos cozinham larvas e os chineses comercializam espetinhos de

gafanhotos. São animais fáceis de serem criados, pois ocupam pouco espaço, consomem menos água e se reproduzem com facilidade. Porém, para dar certo é preciso que os indivíduos deixem de ser refratários e intolerantes ao consumo de insetos (CORDEIRO, 2016).

Outros projetos foram desenvolvidos utilizando insetos e hidrogéis. Lipton et al. (2010) descreve a fabricação SFF de hidrogéis como uma técnica que permite o controle total sobre o sabor, o valor nutricional e a textura de uma refeição.

No projeto "*Insects Au Gratin*", pós de insetos foram impressos com queijo, para criar refeições em pedaços (WALTERS et al., 2011).

Uma variedade de alimentos multimateriais como peru, moluscos e salsão foram processados e modificados utilizando transglutaminase para que pudessem ser cozidos ou fritos após a impressão (LIPTON et al., 2010). A transglutaminase vem permitindo a SFF, enquanto o ágar-ágar é utilizado para a criação de produtos impressos de origem hortícola, obtidos a partir de um purê com as matérias-primas (PALLOTTINO et al., 2016). Para Lipton et al. (2010) a adição de transglutaminase e goma xantana podem melhorar a fidelidade da forma nas refeições.

Os hidrogéis são redes tridimensionais de polímeros que podem intumescer em meio aquoso ou em fluidos biológicos e reter uma grande quantidade de água na sua estrutura sem se dissolver. Em geral, representam uma classe de materiais leves e úmidos, cujas propriedades dependem da rede de polímero construída e do seu conteúdo de água (CHENG et al., 1998). Por causa da presença de determinados grupos funcionais como hidroxila e/ou carboxílicos, ao longo das cadeias do polímero, são frequentemente sensíveis às condições do ambiente como temperatura, pH e composição do solvente (PEPAS, 1991). Uma variedade de polímeros hidrofílicos vem sendo utilizada para preparar hidrogéis para aplicação nas indústrias farmacêutica, biomédica, alimentícia, cosmética e biotecnológica (KINNEY; SCRANTON, 1994; KHURMA; ROHINDRA; NAND, 2006).

A indústria alimentícia utiliza os hidrogéis para a proteção de sabores, retardando sua liberação e aumentando a durabilidade. "Sabores encapsulados" têm sido adicionados, com êxito, em gomas de mascar, cafés instantâneos, misturas de massas e bolos (HIGUCHI, 2002).

A integridade estrutural dos hidrogéis depende das ligações químicas ou interações físicas, formadas entre as cadeias poliméricas. Alguns exemplos de

polímeros naturais, utilizados na preparação dos hidrogéis, incluem alginato, agarose, quitosana, colágeno, gelatina, celulose, amido e goma xantana (LEE; SINGLA; LEE, 2001; FUJIWARA et al., 2000; MANDALA; PALOGOU; KOSTAROPOULOS, 2002).

Cohen et. al. (2009) sugerem combinações de hidrocolóides, especificamente a goma xantana e gelatina, com suas respectivas concentrações (Figura 22), adicionados a alguns dos alimentos da figura 21, evidenciando as possibilidades de uso das matérias-primas na manufatura aditiva de refeições. A goma xantana e a gelatina aumentam a consistência da textura de leve para firme, mas não se aplicam em relação a granularidade. À medida que a goma xantana e a gelatina são combinadas, os hidrocolóides iniciam a granularidade. Geralmente, quanto maior a concentração de goma xantana e gelatina, os géis se tornam mais firmes e granulados. Nesses experimentos, a capacidade de impressão dos hidrocolóides atingiu um limite como a rigidez e granularidade, sendo que os materiais resultantes impediram a extrusão através de uma seringa com diâmetro de 3 mm.

**Figura 22 – Combinações de hidrocolóides e suas respectivas concentrações.**

Firme (most firm)	Chocolate 4% gelatina	Cogumelo 4% gelatina				
			Espaguete 16% goma xantana			
				Tomate 1% gelatina 8% goma xant.		
	Gelatina 2% gelatina		Merengue 2% gelatina 8% goma xant.	Bolo 0,5 % gelatina 8% goma xant.		
		Purê de batata 4% goma xantana				
	Gel 1% gelatina					
Leve (weakest)	Gel líquido 2% goma xantana				Compotas 0,5% gelatina 4% goma xantana	Risoto 1% gelatina 4% goma xantana
	Leite 0,5% gelatina					
	Suave (smoothest)			Granular (most granular)		

Fonte: COHEN, 2009; adaptada.

Periard et al. (2007) descreve que a impressão de refeições exige materiais com alta viscosidade, suficientes para serem autossustentáveis de maneira

que as camadas sejam construídas com a resolução adequada. Nos experimentos realizados, foram testados vários materiais incluindo bolos glassados, chocolates, queijos e pasta de amendoim, utilizando uma impressora Fab@Home (Fab@Home Project, 2015), os quais necessitavam de uma seringa rigorosamente controlada por temperatura para realizar a tarefa. Além disso, o processo exigiu uma calibração manual fina que envolveu a escolha de uma ponta de seringa apropriada para cada tipo de material, visando ajustar o fluxo, a altura e a largura da refeição digital.

Sun et al. (2015b) descreve a possibilidade de imprimir biscoitos em formato de dentes sem a necessidade de operações pós-processamento, sendo produzidos a partir de uma mistura de açúcares, amido e purê de batata.

Da mesma forma, Lin (2015) apresenta a possibilidade de imprimir refeições mais complexas como pizzas, entretanto, sem explicar alguns aspectos da técnica utilizada na impressão.

O quadro 5 relaciona principais hidrocolóides, suas origens, propriedades e usos mais comuns que podem ser empregados nas refeições digitais.

LIPTON et al. (2010), encontra uma receita de biscoitos que permite imprimir modelos 3D, com geometrias complexas, mantendo seu formato após a fritura.

Sabe-se que a viscosidade, consistência e solidificação são as propriedades que determinaram a capacidade de impressão das refeições (IZDEBSKA; ŻOLEK-TRYZNOWSKA, 2016).

Porém, para resgatar as características sensoriais durante o processo de impressão de refeições, ou mesmo para realçar os atributos naturais, a indústria alimentícia oferece inúmeros aditivos (APENDICE B) que podem corroborar.

Na ciência dos alimentos, as aplicações de *electrospinning* e microencapsulação podem proporcionar recursos adicionais, como novas fontes de materiais para impressão. As duas tecnologias têm potencial e podem ser integradas no processo de manufatura de refeições personalizadas. Do ponto de vista técnico, o desafio é integrar o *electrospinning* na plataforma de refeições digitais (SUN et al., 2015b).

**Quadro 5 – Origem, propriedades e usos mais comuns dos principais hidrocolóides.**

Agente	Fonte Principal	Composição	Propriedades	Usos
Ágar	Algas marinhas, <i>Gelidium</i> , <i>Gracilaria</i>	Polímero da anidrogactopiranosose parcialmente esterificado com H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . Agarose e Agarpectina.	Sol. em água quente. Gelifica. Géis termo-reversíveis. Retrograda.	Gelificante para doces e massas.
Alginatos	Algas marinhas Laminaria ou <i>Macrocystis pyrifera</i>	Polímero de ácido manurônico e galurônico	Sol. em água quente. Gelifica com Ca <sup>+2</sup> , Al <sup>+3</sup>	Estabilizante em sorvetes.
Amidos e amidos modificados	Milho, mandioca, trigo, batata, batata doce e arroz.	Polímero de glucose: amilose e amilopectina.	Sol. em água quente. Gelifica. Retrograda.	Géis, espessante em quase todos alimentos não ácidos
Carboximetilcelulose (CMC)	Celulose modificada	Polímero de glucose	Sol. em água a frio quando G.S. <sup>4</sup> = 0,45. Sol. Altamente viscosa a pH entre 5 e 11. Precipita com Al <sup>+3</sup>	Estabilizante de emulsões, sorvetes, alimentos dietéticos; queijos cremosos coberturas e aromatizados.
Carragena	Algas marinhas <i>Chondrus crispus</i>	Polímero de galactose parcialmente esterificado com H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Sol. em água quente. Gelifica com K <sup>+</sup> , géis duros com proteínas. Termorreversível.	Gelificante para doces, confeitaria, produtos cárneos e panificação.
Goma arábica	Exsudato de Acacia	Polímero de galactose arabinose, ramnose, ac. glucurônico	Sol. em água fria. Baixa viscosidade. Não gelifica.	Estabilizante de emulsões. Encapsulante.
Guar	Sementes da <i>cyamopsis tetragonoloba</i>	Galactomanana	Hidratável a frio, formando sol. viscosa entre pH 4 e 10. Não gelifica.	Espessante e estabilizante em mousses, chantilly e sorvetes, sendo que neste último impede a formação de cristais.
Pectina	Casca de Citrus, maçã	Polímero do ácido poligalacturônico parcialmente metilado	Sol. em água quente. Forma géis termo reversíveis com desidratantes ou Ca <sup>-2</sup> Sol. viscosa.	Fabricação de doces e geleias de frutas, balas e panificação.
Xantana	Xantomonas	Polímero da glucose, manose ac. glucurônico	Sol. em água fria. Sol. pouco afetada pela temperatura e pH. Não gelifica.	Geleias e produtos cárneos.

Fonte: BOBBIO; BOBBIO, 1992; adaptado.

<sup>4</sup> GS = grau de substituição



Conforme Sun (2015b), adicionar ingredientes aos produtos alimentares pode melhorar o valor nutricional, mas pode comprometer o aroma, o sabor, a cor e textura. Nesse sentido, a microencapsulação pode encapsular minerais, vitaminas, sabores e óleos essenciais, dentro de outro material, com a finalidade de proteger os ingredientes ativos do ambiente circundante. A integração dessa tecnologia na impressão de refeições pode ser alcançada usando um sistema de multi-impressão, onde pelo menos um cabeçote de impressão gera e dispensa microcápsulas nas refeições. Os materiais sobrevivem nas condições de processamento, estabilizam a vida útil dos materiais ativos e criam recursos atraentes para a liberação de aroma, sabor, odor e mascaramento de cores. Este método simplificaria o processo atual de fabricação de alimentos funcionais, melhoraria a estabilidade funcional dos alimentos (por exemplo, probióticos e ingredientes bioativos), e realizaria a liberação controlada de aromas e nutrientes.

Explorando as tendências e possibilidades de novas aplicações no contexto das refeições digitais, estão os probióticos e prebióticos, principalmente pelo efeito benéfico sobre a saúde e o bem-estar (ITAL, 2010). Entre os benefícios do consumo dos probióticos estão o controle da atividade intestinal, regulando a microflora, promovendo a digestão da lactose aos intolerantes, estendendo-se à produção de vitaminas, absorção de minerais e estimulando o sistema imunológico (ANTUNES, 2007, BADARÓ et al., 2008; FERREIRA, 2009).

Os prebióticos estimulam seletivamente o crescimento de bactérias desejáveis no cólon, alterando a microbiota em favor de uma composição mais saudável, podendo inibir a multiplicação de patógenos, sendo também atribuída a eles a ação estimuladora do sistema imunológico (ITAL, 2010).

Nesse sentido, com os avanços da biotecnologia, os bio e nanoingredientes, as várias modalidades de nanodispersão e nanocápsulas tendem a revolucionar o padrão de consumo dos indivíduos, introduzindo novos benefícios (ITAL, 2010).

## **2.6. Aplicativos móveis na área de nutrição**

Os aplicativos móveis, *smartphones* e *tablets*, o mercado de *software* para telefones celulares, conhecidos como aplicativos ou Apps, ocupam posição de destaque no cotidiano da sociedade contemporânea.

Em uma revisão sobre a crescente tendência do uso de aplicativos móveis voltados à área de nutrição, pesquisadores evidenciaram que atualmente estão disponíveis na Internet cerca de 5.400 aplicativos relacionados à alimentação, dieta e hábitos saudáveis (MARTÍN et al., 2014).

Conforme Caivano et al. (2014), a utilização desse tipo de tecnologia na área tem o propósito de estimular a mudança de comportamento, auxiliando os indivíduos a repensarem sobre suas escolhas e deficiências alimentares, na sua rotina diária.

Guillén et al. (2009) destacam que o uso de aplicativos móveis promove um estilo de vida mais saudável, o tratamento e a prevenção de doenças. Além disso, o uso de *apps* evidenciam as iniciativas de saúde pública, atingindo simultaneamente um grande público, aumentando a capacidade de personalização das necessidades nutricionais individuais.

Apesar dos aplicativos móveis existentes possibilitarem um autocontrole das necessidades nutricionais individuais, não permitem realizar a comunicação com as impressoras 3D de alimentos, o diferencial apresentado nessa tese, ou seja, a personalização de uma refeição digital.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os tópicos abordados foram divididos em: i) conceitos e elementos das refeições digitais; ii) modelo para definir uma refeição digital (diagrama de classes); iii) interface para dispositivos móveis, *tablets e smartphones*, capaz de simular as etapas que definem e antecedem a personalização de uma refeição digital; iv) análise de ingredientes comuns no processamento de alimentos para identificar as possibilidades e limitações da SFF; v) proposta da impressora para refeições.

#### 3.1 Conceitos utilizados no modelo para definir as refeições digitais

Utilizou-se o programa FreeMind, versão 1.0.1, Copyright © 2000-2010, distribuído sob a licença pública geral da GNU, para desenvolver o mapa mental do modelo para definir uma refeição digital.

Os seguintes conceitos foram utilizados no modelo para definir as refeições digitais:

- a) NBR 12806: Análise sensorial dos alimentos e bebidas (ABNT, 1993);
- b) Análise sensorial na indústria de alimentos (TEIXEIRA, 2009).
- c) Teoria de objetos digitais (KALLINIKOS et. al., 2010).

#### 3.2 Modelo para definir uma refeição digital (diagrama de classes)

Utilizou-se o programa Astah Professional, versão 7.1.0, release 2016/09/28, para elaborar o diagrama de classes.

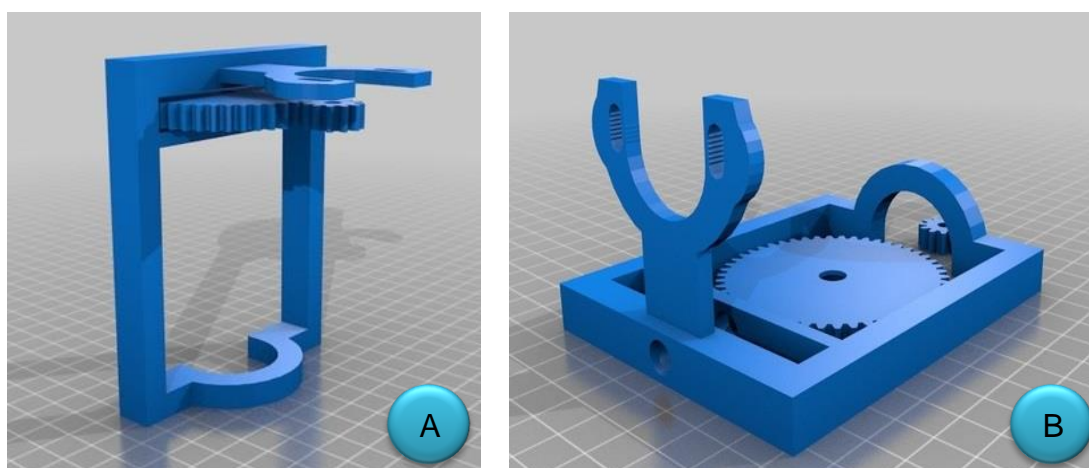
#### 3.3 Interface para dispositivos móveis, *tablets e smartphones*

O aplicativo móvel ePronto foi desenvolvido para simular as etapas que definem e antecedem a personalização de uma refeição digital, utilizando a ferramenta de código aberto APP Inventor para Android, na versão 2 beta, disponível em: <<http://appinventor.mit.edu/explore/>>, originalmente criada pela Google, e atualmente mantida pelo *Massachusetts Institute of Technology* (MIT).

### 3.4 Projeto da extrusora para a deposição de materiais

Utilizou-se os arquivos .STL do projeto “*Simple-paste-extruder*” (Figura 23) para obter peças que compõe a parte superior da extrusora para a deposição de materiais. O projeto é protegido pela licença Pública Geral GNU (do inglês, *GNU General Public License*) ou GPL e está disponível em: <<https://www.thingiverse.com/thing:181833>>. Utilizou-se uma impressora 3D RepRap Prusa Movitech, i2 Black, para a manufatura aditiva das peças.

Figura 23 – Peças do projeto “*Simple-paste-extruder*”. A: Suporte para encaixe seringa (horizontal). B: A: Suporte para encaixe seringa (vertical).



Fonte: THINGIVERSE, 2017.

#### 3.3.1 Base da extrusora para a deposição de materiais

Utilizou-se o programa SolidWorks Education Edition (Edição Educacional), ano acadêmico 2011-2012/2011 SP 2.0, © 1995-2010 Dassault Systèmes, para desenhar as peças da extrusora para a deposição de materiais: base 1, base 2, base 3, haste exterior, haste interior, base superior, suporte trava seringa superior e suporte trava seringa inferior (Figura 24).

**Figura 24 – Base extrusora de deposição de materiais. 1 – Base 1; 2 – Base 2; 3 – Base 3; 4 – Haste Exterior; 5 – Haste Interior; 6 – Base superior; 7 – Suporte trava seringa superior.**



**Fonte: Autora.**

No apêndice C encontra-se o projeto com as peças que compõe a base da extrusora, desenvolvido para a deposição de materiais.

Utilizou-se a fonte de uma impressora Lexmark, modelo Z23, com INPUT 100 – 125 V., 50/60 Hz.e OUTPUT 30 – 0.4 A.

O motor utilizado foi o HP/Mabuchi DC/PM Brush C2162-60006/DN505728, marca Johnson Motors, com rotação de 4.550 rpm e um parafuso M8X80 com passo de 1,25 mm.

### 3.5 Análise de parâmetros físicos

A metodologia utilizada nos experimentos foi de cunho exploratório, objetivando-se proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito (GIL, 2002). Fez-se uso do método dedutivo que, para Marconi e Lakatos (2003), têm o propósito de explicar o conteúdo das premissas, trilhando o caminho do geral para o específico, com objetivo de sustentar os resultados alcançados.

#### Experimento 1 – Efeito da viscosidade em um bolo de caneca

O objetivo desse experimento foi avaliar a influência do amido de milho nas características sensoriais de um bolo de caneca, com o intuito de verificar a viscosidade da massa e a compatibilidade com a SFF.

##### Amostra

A formulação foi constituída dos ingredientes: 39 gramas de farinha de trigo tradicional, tipo 1, marca Renata, enriquecida com ferro e ácido fólico; 21 g de *whey protein isolate*, Isofort®, marca Vitafor, sabor baunilha, sem glúten, açúcar e lactose; 12 g de chocolate em pó solúvel, 50% cacau, marca Nestle®, 50 mL de água em temperatura ambiente, 10 mL de óleo de soja, tipo 1, marca Concórdia; 7,5 g de fermento em pó químico, marca Royal; 18 g de amido de milho, Duryea®, marca Maizena®.

##### Preparo

Utilizou-se uma balança digital com capacidade para até 5 kg, marca StarTools para pesar os ingredientes.

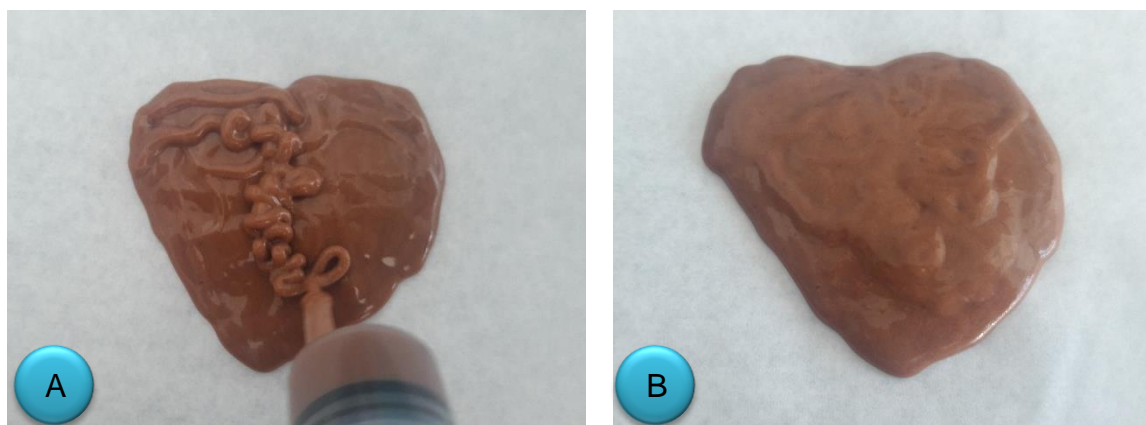
Peneirou-se todos os ingredientes em peneira com abertura de malha de 250 µm. Misturou-se, em um recipiente de vidro: a água, farinha de trigo, whey, chocolate em pó solúvel, óleo de soja, fermento em pó químico e o amido de milho, obtendo-se uma mistura homogênea.

Aspirou-se 14 mL da mistura em uma seringa descartável e estéril, Plastipak™, 25 mL, sem rosca, com diâmetro interno do bico de 1,5 mm. Após preenchida, a seringa recebeu alguns impactos leves para remoção das bolhas de ar visíveis.

Depositou-se 10 mL sobre uma folha de papel manteiga, simulando a forma livre de um coração.

A taxa de deposição, isto é, a quantidade de material depositado por unidade de tempo foi de  $0,080 \text{ mL} \cdot \text{s}^{-1}$ . Na deposição manual procurou-se aplicar uma força constante no êmbolo da seringa (Figura 25).

**Figura 25 – Deposição do bolo de caneca. A: deposição em forma livre de um coração. B: amostra antes de cozer.**



Fonte: Autora.

### **Cocção**

O tempo programado para a cocção foi de 1 min e 30 seg, em potência a 800 W, em um forno de micro-ondas da marca Electrolux, modelo MEF33, 23L.

### **Experimento 2 – Efeito da textura na obtenção de uma bolacha de morango**

O objetivo desse experimento foi avaliar a firmeza da massa, utilizando mais gramas de farinha de trigo, ajustando-se a consistência e textura da formulação, a fim de obter uma pasta compatível com a SFF.

### **Amostra**

A formulação foi constituída dos ingredientes: 65 gramas de farinha de trigo tradicional, tipo 1, marca Renata, enriquecida com ferro e ácido fólico; 35 g de

*whey protein isolate*, Isofort®, marca Vitafor, sabor baunilha, sem glúten, sem açúcar e sem lactose; 50 mL de água em temperatura ambiente, 10 mL de óleo de soja, tipo 1, marca Concórdia; 0,86 g de corante em pó para fins alimentícios, coloração rosa, marca Arcolor, sem glúten.

### Preparo

Utilizou-se uma balança digital com capacidade para até 5 kg, marca StarTools para pesar os ingredientes.

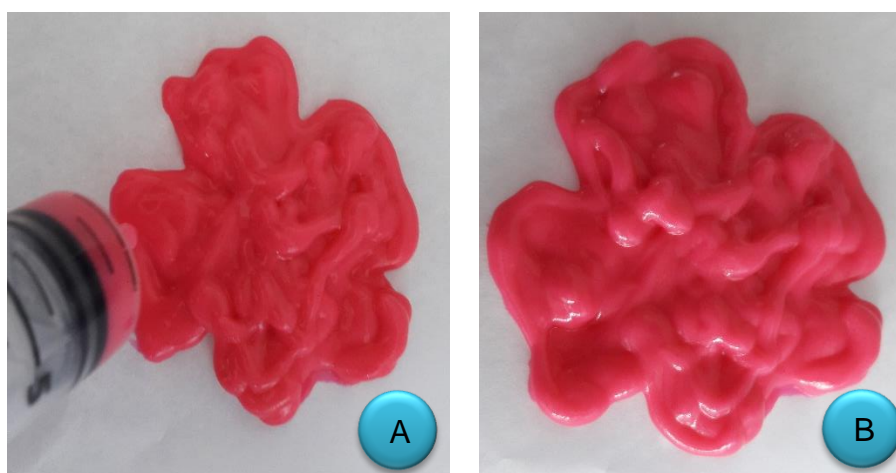
Peneirou-se todos os ingredientes em peneira com abertura de malha de 250  $\mu\text{m}$ . Misturou-se, em um recipiente de vidro, a água, farinha de trigo, whey, óleo de soja e o corante em pó, obtendo-se uma mistura homogênea.

Aspirou-se 9 mL da mistura em uma seringa descartável e estéril, Plastipak™, 25 mL, sem rosca, com diâmetro interno do bico de 1,5 mm. Após preenchida, a seringa recebeu alguns impactos leves para remoção das bolhas de ar visíveis.

Depositou-se 9 mL sobre uma folha de papel manteiga, simulando a forma livre de um trevo.

A taxa de deposição média foi de 0,087 mL  $\cdot$  s<sup>-1</sup>. Na deposição manual procurou-se aplicar uma força constante no êmbolo da seringa (Figura 26).

**Figura 26 – Deposição da bolacha de morango. A: deposição em forma livre de um trevo. B: amostra antes de cozer.**



Fonte: Autora.



## Cocção

O tempo programado para a cocção foi de 1min, em potência a 800 W, em um forno de micro-ondas da marca Electrolux, modelo MEF33, 23L.

## Experimento 3 – Efeito da textura na obtenção de uma bolacha de morango v.2

O objetivo desse experimento foi avaliar como o diâmetro do bico, a pressão e a viscosidade da formulação interferem na forma.

## Amostra

A formulação foi constituída dos ingredientes: 65 gramas de farinha de trigo tradicional, tipo 1, marca Renata, enriquecida com ferro e ácido fólico; 35 g de *whey protein isolate*, Isofort®, marca Vitafor, sabor baunilha, sem glúten, sem açúcar e sem lactose; 50 mL de água em temperatura ambiente, 10 mL de óleo de soja, tipo 1, marca Concórdia; 0,86 g de corante em pó para fins alimentícios, coloração rosa, marca Arcolor, sem glúten.

## Preparo

Utilizou-se uma balança digital com capacidade para até 5 kg, marca StarTools para pesar os ingredientes.

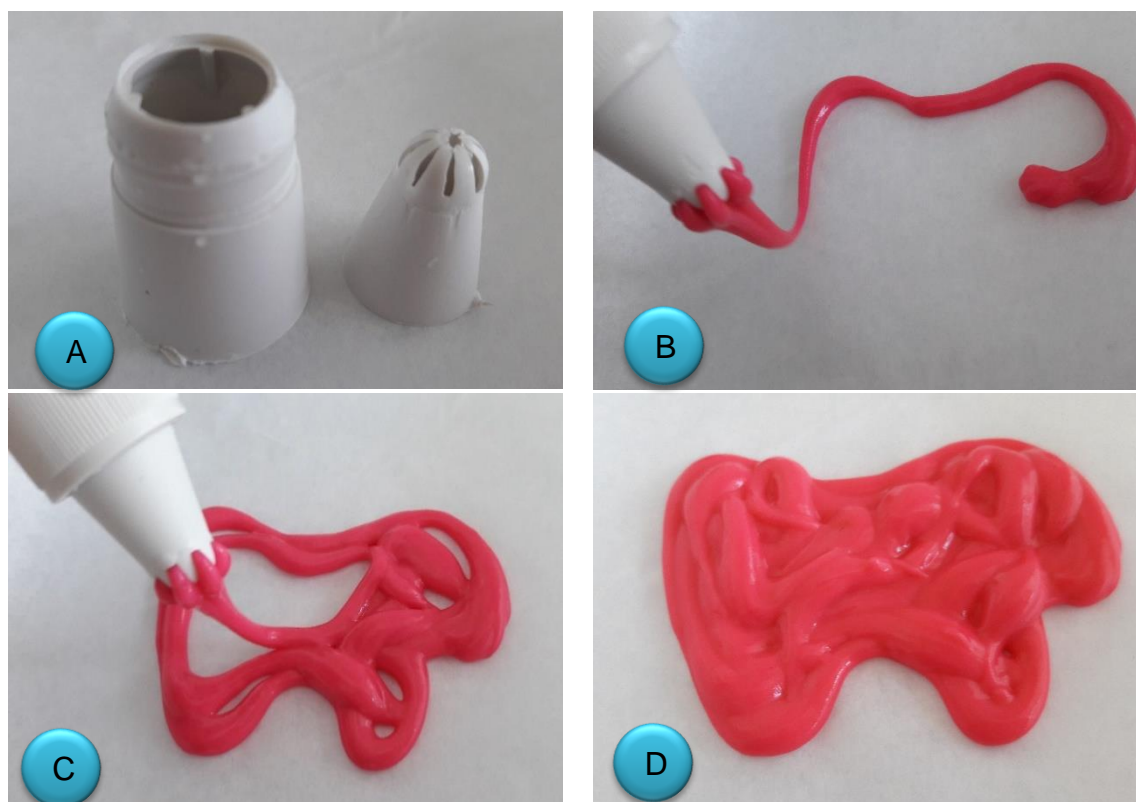
Peneirou-se todos os ingredientes em peneira com abertura de malha de 250  $\mu\text{m}$ . Misturou-se, em um recipiente de vidro, a água, farinha de trigo, whey, óleo de soja e o corante em pó, obtendo-se uma mistura homogênea.

Aspirou-se 14 mL da mistura com uma seringa descartável e estéril, Plastipak™, 25 mL, sem rosca, com diâmetro interno do bico de 1,5 mm. Colocou-se a mistura em um saco, do kit para confeitaria, marca Multi.Festa, utilizando um bico com seis orifícios.

Depositou-se 14 mL sobre uma folha de papel manteiga, simulando a forma geométrica livre.

A taxa de deposição foi de 0,233 mL  $\cdot$  s<sup>-1</sup>. Na deposição manual procurou-se aplicar uma força leve (Figura 27).

Figura 27 – Deposição da bolacha de morango. A: bico com vários orifícios do kit para confeitaria. B: início da deposição. C: simulando movimentos da impressora 3D. D: amostra antes de cozer.



Fonte: Autora.

### Cocção

O tempo programado para a cocção foi de 1 min, em potência a 800 W, em um forno de micro-ondas da marca Electrolux, modelo MEF33, 23L.

### Experimento 4 – Geleificação de esferas de goiaba e maçã

O objetivo desse experimento foi avaliar a geleificação, utilizando uma receita de caviar de frutas<sup>5</sup>, na consistência e textura das formulações recomendadas pela gastronomia molecular. Buscou-se relacionar a distância do bico de extrusão (127 mm) em relação à base de deposição, na morfologia das gotas.

<sup>5</sup> Esferas: caviar de macarujá. Disponível em: <http://pratofundo.com/209/caviar-de-maracuja/>

## Amostra

A formulação foi constituída dos ingredientes: 2g de ágar, sem sabor, marca Kanten; 100 mL (93g) de néctar misto de maçã e goiaba, marca dafruta premium, sem conservantes e glúten; 273 g de óleo de soja refinado, sem glúten, tipo 1, marca Concórdia.

## Preparo

Pesou-se o ágar, sobre uma folha de papel alumínio; o suco, em temperatura ambiente, em um recipiente de vidro. Utilizou-se uma balança digital com capacidade para até 5 kg, marca StarTools.

Misturou-se todos os ingredientes em uma panela e levou-se ao fogo médio até ferver, obtendo-se uma mistura homogênea cuja temperatura foi de aproximadamente 72,5 °C.

Aspirou-se 30 mL da mistura em uma seringa descartável e estéril, Injex, 60 mL, sem rosca, com diâmetro interno do bico de 2,0 mm.

Após preenchida, a seringa recebeu alguns impactos leves para remoção das bolhas de ar visíveis. Encaixou-se a seringa na extrusora para a deposição de materiais e aferiu-se novamente a temperatura da amostra (55,5 °C).

Para aferir as temperaturas foi utilizado um termômetro digital infravermelho sem contato, modelo MT350, marca Minipa®, com faixa de medição entre -30 °C ~ 550 °C e precisão -30 °C ~ 100 °C  $\pm$  2 °C.

Utilizando a extrusora para a deposição de materiais, gotejou-se 30 mL da mistura sobre o recipiente cilíndrico (140 mm de distância do bico de extrusão), contendo no seu interior óleo de soja em temperatura 2,5 °C.

Durante a deposição procurou-se desligar o botão do motor da extrusora de materiais para cada gota depositada e, na sequência, religá-lo até o conteúdo do interior da seringa ser esvaziado.

A taxa de deposição foi de 0,666 mL  $\cdot$  s<sup>-1</sup>.

Após o término do gotejamento, peneirou-se as esferas em água corrente para retirar o excesso de óleo.

## **Experimento 5 – Geleificação de esferas de goiaba e maçã v.2**

O objetivo desse experimento foi avaliar a geleificação e a hipótese da interferência da distância do bico de extrusão (142 mm) em relação à base de deposição, na morfologia das gotas.

### **Amostra**

A formulação foi constituída dos ingredientes: 2g de ágar, sem sabor, marca Kantan; 100 mL (93g) de néctar misto de maçã e goiaba, marca dafruta premium, sem conservantes e glúten; 273 g de óleo de soja refinado, sem glúten, tipo 1, marca Concórdia.

### **Preparo**

Pesou-se o ágar, sobre uma folha de papel alumínio; o suco, em temperatura ambiente, em um recipiente de vidro. Utilizou-se uma balança digital com capacidade para até 5 kg, marca StarTools.

Misturou-se todos os ingredientes em uma panela e levou-se ao fogo médio até ferver, obtendo-se uma mistura homogênea cuja temperatura foi de aproximadamente 72,5 °C.

Aspirou-se 30 mL da mistura em uma seringa descartável e estéril, Injex, 60 mL, sem rosca, com diâmetro interno do bico de 2,0 mm.

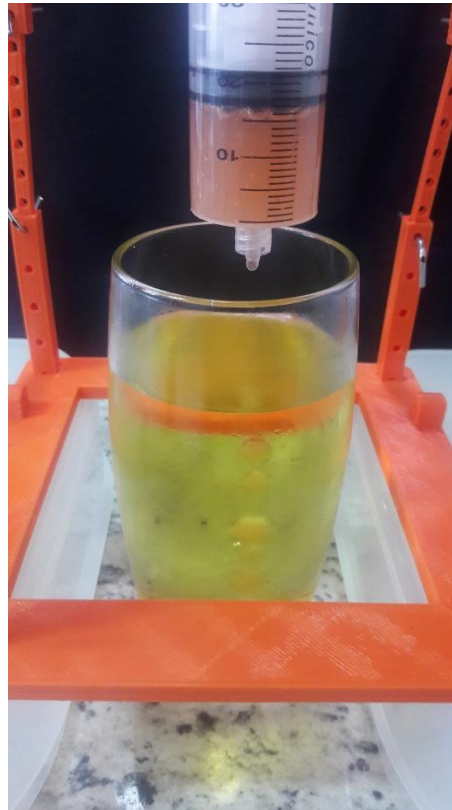
Após preenchida, a seringa recebeu alguns impactos leves para remoção das bolhas de ar visíveis. Encaixou-se a seringa na extrusora para a deposição de materiais e aferiu-se novamente a temperatura da amostra (55,5 °C).

Para aferir as temperaturas foi utilizado um termômetro digital infravermelho sem contato, modelo MT350, marca Minipa®, com faixa de medição entre -30 °C ~ 550 °C e precisão -30 °C ~ 100 °C ± 2 °C.

Utilizando a extrusora para a deposição de materiais, gotejou-se 30 mL da mistura sobre o recipiente cilíndrico (140 mm de distância do bico de extrusão), contendo no seu interior óleo de soja em temperatura 2,5 °C.

Durante a deposição procurou-se desligar o botão do motor da extrusora de materiais para cada gota depositada e, na sequência, religá-lo até o conteúdo do interior da seringa ser esvaziado (Figura 28).

**Figura 28 - Extrusora para a deposição de materiais adaptada para a geleificação.**



**Fonte: Autora.**

A taxa de deposição, isto é, a quantidade de material gotejado por unidade de tempo foi de  $0,222 \text{ mL} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Após o término do gotejamento, peneirou-se as esferas em água corrente para retirar o excesso de óleo.

### **Experimento 6 – Geleificação de esferas de goiaba e maçã v.3**

O objetivo desse experimento foi comparar a interferência do deslocamento manual de um recipiente cilíndrico em movimentos aleatórios, simulando os eixos X e Y de uma impressora 3D, mantendo a distância do bico de extrusão (142 mm) em relação à base para o gotejamento e geleificação.

#### **Amostra**

A formulação foi constituída dos ingredientes: 2g de ágar, sem sabor, marca Kanten; 100 mL (94g) de néctar misto de maçã e goiaba, marca dafruta

premium, sem conservantes e glúten; 273 g de óleo de soja refinado, sem glúten, tipo 1, marca Concórdia.

### **Preparo**

Pesou-se o ágar, sobre uma folha de papel alumínio; o suco, em temperatura ambiente, em um recipiente de vidro. Utilizou-se uma balança digital com capacidade para até 5 kg, marca StarTools.

Misturou-se todos os ingredientes em uma panela e levou-se ao fogo médio até ferver, obtendo-se uma mistura homogênea cuja temperatura foi de aproximadamente 73 °C.

Aspirou-se 30 mL da mistura em uma seringa descartável e estéril, Injex, 60 mL, sem rosca, com diâmetro interno do bico de 2,0 mm.

Após preenchida, a seringa recebeu alguns impactos leves para remoção das bolhas de ar visíveis. Encaixou-se a seringa na extrusora para a deposição de materiais e aferiu-se novamente a temperatura da amostra (58 °C).

Para aferir as temperaturas foi utilizado um termômetro digital infravermelho sem contato, modelo MT350, marca Minipa®, com faixa de medição entre -30 °C ~ 550 °C e precisão -30 °C ~ 100 °C ± 2 °C.

Gotejou-se 30 mL da mistura sobre o recipiente cilíndrico, contendo no seu interior óleo de soja em temperatura -2 °C.

Durante a deposição procurou-se deslocar o recipiente manualmente em movimentos aleatórios, além de desligar o motor a cada gota depositada e, na sequência, religá-lo até o conteúdo do interior da seringa ser esvaziado.

A taxa de deposição, isto é, a quantidade de material gotejado por unidade de tempo foi de 0,681 mL · s<sup>-1</sup>.

Após o término do gotejamento, peneirou-se as esferas em água corrente para retirar o excesso de óleo.

### **Experimento 7 – Processo de deposição de um brigadeiro**

Este experimento teve como objetivo avaliar o processo de deposição, utilizando uma receita de brigadeiro adaptada a SFF. Buscou-se simular os movimentos dos eixos X e Y de uma impressora 3D de refeições.

## Amostra

A formulação foi constituída dos ingredientes: 100 mL (127g) de leite condensado, marca Piracanjuba; 8g de margarina sem sal, marca Becel; 1 g de corante em pó para fins alimentícios, coloração rosa, marca Arcolor, sem glúten.

## Preparo

Pesou-se a margarina e o corante em pó, sobre folhas de papel manteiga; o leite condensado, em temperatura ambiente, em um recipiente de vidro. Utilizou-se uma balança digital com capacidade para até 5 kg, marca StarTools.

Misturou-se todos os ingredientes em um recipiente de vidro, obtendo-se uma mistura homogênea.

O tempo programado para a cocção foi de 2 min e 30 seg, em potência a 800 W, em um forno de micro-ondas da marca Electrolux, modelo MEF33, 23L. A temperatura da mistura foi de aproximadamente 92 °C.

Aspirou-se 30 mL da mistura em uma seringa descartável e estéril, Injex, 60 mL, sem rosca, com diâmetro interno do bico de 2,0 mm. Após preenchida, a seringa recebeu alguns impactos leves para remoção das bolhas de ar visíveis.

Encaixou-se a seringa na extrusora para a deposição de materiais e aferiu-se novamente a temperatura da amostra (65 °C).

Para aferir as temperaturas foi utilizado um termômetro digital infravermelho sem contato, modelo MT350, marca Minipa®, com faixa de medição entre -30 °C ~ 550 °C e precisão -30 °C ~ 100 °C ± 2 °C.

Utilizando a extrusora para a deposição de materiais e depositou-se 18 mL da amostra, em temperatura de 65 °C, sobre uma folha de papel alumínio, simulando a forma geométrica livre.

Durante a deposição deslocou-se a base em simulando os movimentos aleatórios dos eixos X e Y de uma impressora 3D de refeições, sem desligar o motor (Figura 29).

**Figura 29 – Extrusão de material viscoso.**



**Fonte: Autora.**

A taxa de deposição foi de  $0,833 \text{ mL} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Realizou-se o resfriamento natural até a mistura atingir temperatura ambiente.

Na sequência a amostra foi acondicionada e mantida a  $-5 \text{ }^\circ\text{C}$  em freezer (Brastemp, Duplex Frost Free Eletrônico, 440 Zyrium), durante 33 minutos para avaliar a textura após resfriamento.

## **Experimento 8 – Processo de deposição de um brigadeiro v.2**

O objetivo desse experimento foi comparar a influência do resfriamento na viscosidade da amostra e a compatibilidade com a SFF. Buscou-se simular os movimentos dos eixos X e Y de uma impressora 3D de refeições.



## Amostra

A formulação foi constituída dos ingredientes: 100 mL (127g) de leite condensado, marca Piracanjuba; 8g de margarina sem sal, marca Becel; 1 g de corante em pó para fins alimentícios, coloração rosa, marca Arcolor, sem glúten.

## Preparo

Pesou-se a margarina e o corante em pó, sobre folhas de papel manteiga; o leite condensado, em temperatura ambiente, em um recipiente de vidro. Utilizou-se uma balança digital com capacidade para até digital 5 kg, marca StarTools.

Misturou-se todos os ingredientes em um recipiente de vidro, obtendo-se uma mistura homogênea.

O tempo programado para a cocção foi de 2 min e 30 seg, em potência a 800 W, em um forno de micro-ondas da marca Electrolux, modelo MEF33, 23L. A temperatura da mistura foi de aproximadamente 92 °C.

Aspirou-se 30 mL da mistura em uma seringa descartável e estéril, Injex, 60 mL, sem rosca, com diâmetro interno do bico de 2,0 mm. Após preenchida, a seringa recebeu alguns impactos leves para remoção das bolhas de ar visíveis.

Encaixou-se a seringa na extrusora para a deposição de materiais e aferiu-se novamente a temperatura da amostra (41 °C).

Para aferir as temperaturas foi utilizado um termômetro digital infravermelho sem contato, modelo MT350, marca Minipa®, com faixa de medição entre -30 °C ~ 550 °C

Utilizando a extrusora para a deposição de materiais, depositou-se 8 mL da amostra, em temperatura de 41 °C, sobre uma folha de papel alumínio, simulando a forma geométrica livre.

Durante a deposição deslocou-se a base simulando os movimentos aleatórios dos eixos X e Y de uma impressora 3D de refeições, sem desligar o motor (Figura 30).

**Figura 30 – Extrusora para a deposição de materiais, simulando os eixos X e Y de uma impressora 3D.**



**Fonte: Autora.**

A taxa de deposição da amostra foi de  $0,2 \text{ mL} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Realizou-se o resfriamento natural até a mistura atingir temperatura ambiente.

Na sequência a amostra foi acondicionada e mantida a  $-5 \text{ }^\circ\text{C}$  em freezer (Brastemp, Duplex Frost Free Eletrônico, 440 Zyrium), durante 13 minutos para avaliar a textura após resfriamento.

## **Experimento 9 – Processo de geleificação de um espaguete de pêssego**

O objetivo desse experimento foi avaliar o processo de geleificação, utilizando uma receita de espaguete de frutas<sup>6</sup>, na consistência e textura das formulações recomendadas pela gastronomia molecular e a compatibilidade com a SFF.

### **Amostra**

A formulação foi constituída dos ingredientes: 133g de pêssegos em caldas em metades, marca Olé; 81g de calda de pêssego; 12g de açúcar refinado, marca Caravela; 3,5g de ágar, sem sabor, marca Kanten.

### **Preparo**

Pesou-se o açúcar e o ágar sobre folhas de papel manteiga; os pêssegos e a calda deles, em um recipiente de vidro. Utilizou-se uma balança digital com capacidade para até 5 kg, marca StarTools.

Homogenizou-se no liquidificador os pêssegos, a calda e o açúcar. Misturou-se todos os ingredientes em uma panela, adicionando-se o ágar. Ferveu-se até obter uma mistura homogênea (68 °C).

Aspirou-se 55 mL da mistura em uma seringa descartável e estéril, Injex, 60 mL, sem rosca, com diâmetro interno do bico de 2,0 mm. Após preenchida, a seringa recebeu alguns impactos leves para remoção das bolhas de ar visíveis. Aferiu-se a temperatura da amostra (41 °C).

Para aferir as temperaturas foi utilizado um termômetro digital infravermelho sem contato, modelo MT350, marca Minipa®, com faixa de medição entre -30 °C ~ 550 °C e precisão -30 °C ~ 100 °C ± 2 °C.

Com a amostra ainda quente, encaixou-se a mangueira plástica do equipo macro flexível, plug 1,50m GC, marca Embramed, na seringa e transferiu-se o conteúdo para dentro do tubo (Figura 31).

---

<sup>6</sup> Molecular Gastronomy - Fruit Spaghetti. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=4nPMLNaBWNl>>

**Figura 31 – Espaguete de pêsego.**



**Fonte: Autora.**

Retirou-se a seringa e fez-se a imersão da mangueira plástica em uma vasilha oval com água e gelo, em temperatura 0,5 °C (Figura 32). Aguardou-se 3 minutos.

Encheu-se a seringa com água, encaixou-a na mangueira plástica e, sobre um prato, injetou-se em uma das pontas até esvaziá-la completamente.

**Figura 32 – Espaguete de pêsego imerso em temperatura 0,5 °C.**



**Fonte: Autora.**

### **3.6 Proposta da impressora para refeições**

Utilizou-se os conceitos dos protótipos das impressoras Virtuoso Mixer e Digital Fabricator, pertencentes ao projeto Cornucopia, para propor o carrossel giratório da impressora para refeições e o conceito de cápsulas com ingredientes (ZORAN; COELHO, 2011).

Utilizou-se o programa SolidWorks Education Edition (Edição Educacional), ano acadêmico 2011-2012/2011 SP 2.0, © 1995-2010 Dassault Systèmes, para elaborar a proposta da impressora para refeições.

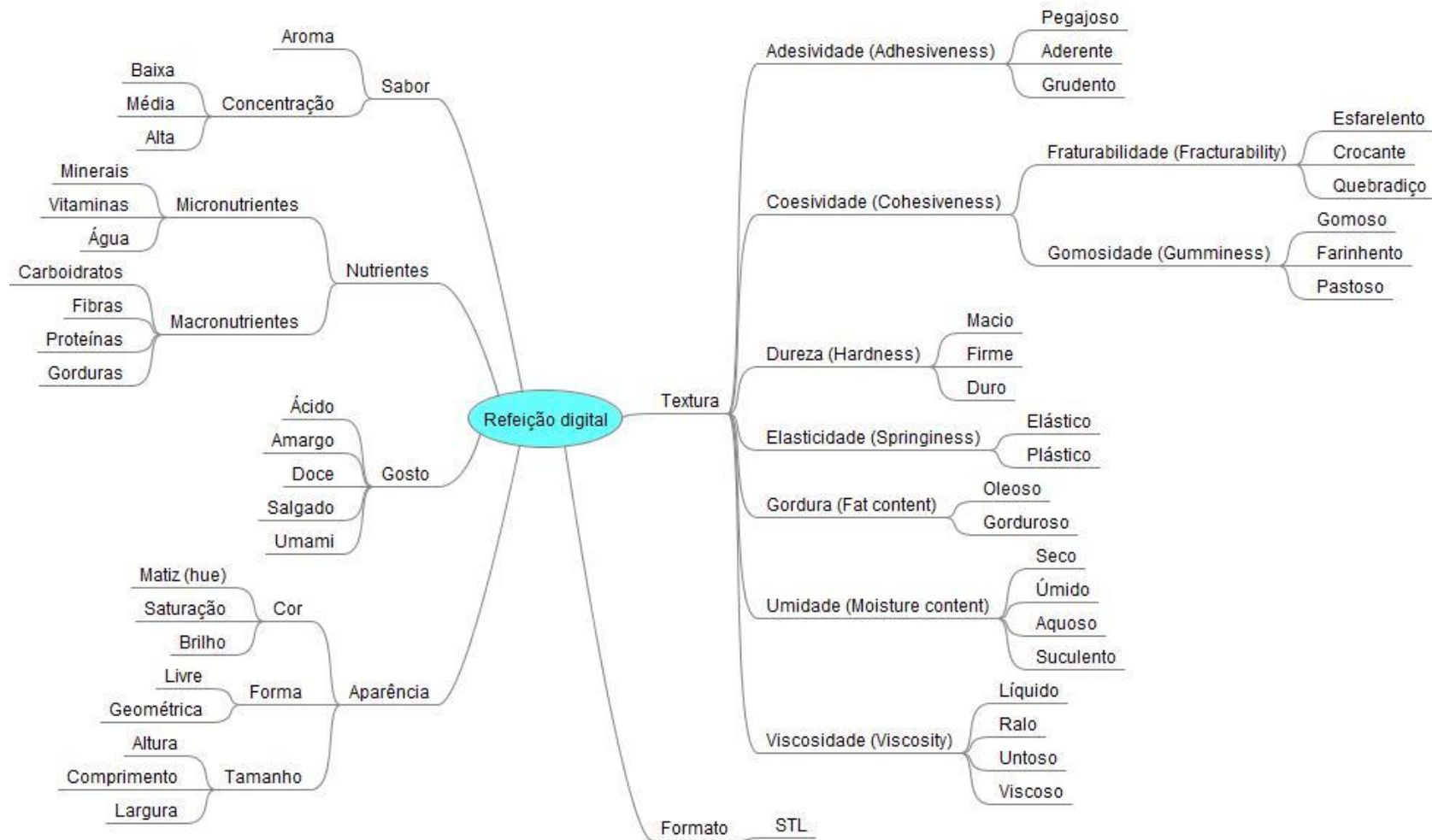
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos no desenvolvimento dessa tese. Os tópicos abordados foram divididos em: i) modelo para definir uma refeição digital (diagrama de classes); ii) interface para dispositivos móveis, *tablets* e *smartphones*, capaz de simular as etapas que definem e antecedem a personalização de uma refeição digital; iii) análise de ingredientes comuns no processamento de alimentos para identificar as possibilidades e limitações da SFF; iv) proposta da impressora para refeições.

Elaborou-se o modelo para definir refeições digitais a partir de um conjunto de parâmetros que reúnem as características e propriedades sensoriais encontradas na literatura (Figura 33). Porém, como o conceito de refeição digital tem como essência uma estrutura editável, a representação por meio de um diagrama oferece a flexibilidade para que alguns atributos, como a concentração de nutrientes, sabor, textura, cor, gosto, formato, assumam valores personalizados, determinados pelas preferências e necessidades do usuário ao defini-los. Salienta-se que todas as características presentes em um modelo digital devem apresentar propriedades mensuráveis para descrever uma correspondência quantitativa da matéria. Uma propriedade quantitativa pode estar associada a números, em uma escala que corresponde a uma grandeza.

Segundo o glossário da Câmara Técnica de Documentos Eletrônicos (CTDE) os termos foram empregados de acordo com as seguintes definições: i) forma: “regras de representação que determinam a aparência de uma entidade e transmite seu significado” (GLOSSÁRIO INTERPARES 2, 2008, p. 816); ii) formato: “especificação de regras e padrões descritos formalmente para interpretação dos bits constituintes de um arquivo digital” (CTDE, 2016, p. 31). Em outras palavras, a forma representa a aparência de uma refeição digital e o formato especifica as regras e padrões que descrevem o arquivo da refeição digital. Afinal, o formato é uma maneira utilizada para determinar que uma aplicação computacional reconheça os dados gerados por ela.

Figura 33 – Parâmetros para definir refeições digitais.



Fonte: Autora.

Conforme o item 2.4 a portaria SVS/MS nº 540, de 27 de outubro de 1997, que se refere ao regulamento técnico sobre as definições, classificação e emprego dos aditivos alimentares, justifica-se seu uso por razões tecnológicas, sanitárias, nutricionais ou sensoriais, sempre que: i) Sejam utilizados aditivos autorizados em concentrações tais que sua ingestão diária não supere os valores de Ingestão Diária Aceitável (IDA) recomendados; ii) Atenda às exigências de pureza estabelecidas pela FAO-OMS, ou pelo Food Chemical Codex (BRASIL, 1997).

Esses ingredientes, quando adicionados às refeições digitais, tem a função de ajudar na composição da sua estrutura e forma, modificando ou mantendo seu estado físico, químico, biológico ou sensorial.

Por outro lado, para que a aceitabilidade de uma refeição digital permaneça e não ocorram alterações significativas em suas características, existem aditivos capazes de reverter algumas reduções de ingredientes como o açúcar, a gordura e o sal, sem eliminar a atratividade proveniente da percepção aromática.

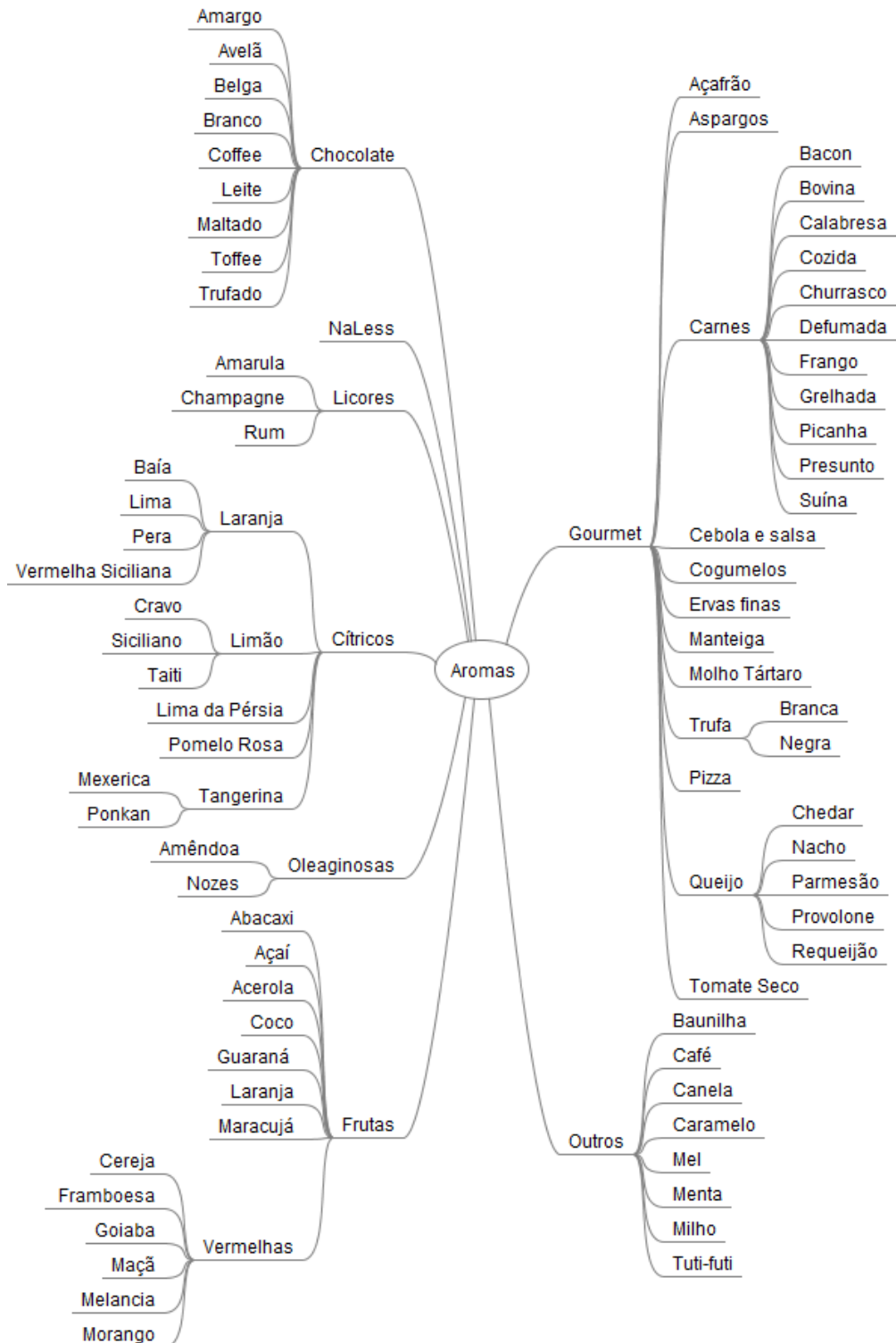
A importância sensorial de cada componente, expressa como odor ou aroma, depende de sua concentração ativa e do limiar do composto. Neste sentido, a biotecnologia intervém no melhoramento e na reprodução de muitos aromas, por meio de processos térmicos, conversão enzimática, fermentação e pirolise, permitindo que novos sabores e odores possam ser utilizados nos alimentos digitais, se assemelhando aos alimentos tradicionais.

Dessa forma, analisando as tendências de crescimento na próxima década, o mercado de aromas naturais poderá ser influenciado pelos bioaromas, considerados naturais e produzidos com o emprego de enzimas ou via fermentação, utilizando-se vários tipos de micro-organismos (ITAL, 2010).

A figura 34 demonstra os aromas que podem ser utilizados para melhorar a qualidade sensorial e a aceitação das refeições digitais.



Figura 34 – Aromas alimentícios disponíveis no mercado para as refeições.



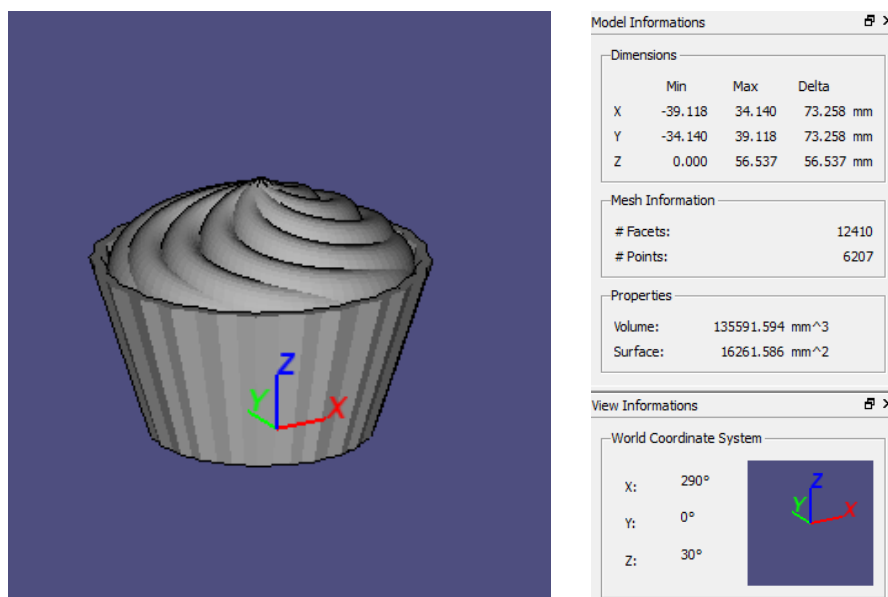
Fonte: Autora.

## 4.1 Modelagem 3D de uma refeição digital

A modelagem 3D de uma refeição digital já foi publicada na Revista Multiciência v.14 (LEANDRO; PESSOA, 2015), está descrita detalhadamente nessa seção e apresentada na Figura 35.

Aconselha-se que o posicionamento de origem, de um modelo tridimensional de uma refeição, seja (0, 0, 0). Assim, quando for aplicada uma transformação geométrica, sobre a refeição digital, não ocorra a troca de quadrante durante o processo de deposição. A plataforma de impressão de uma refeição digital consiste basicamente de um estágio de três eixos X-Y-Z, isto é, um sistema de coordenadas cartesianas.

**Figura 35 – Sistema de coordenadas cartesianas nos eixos X -Y- Z.**

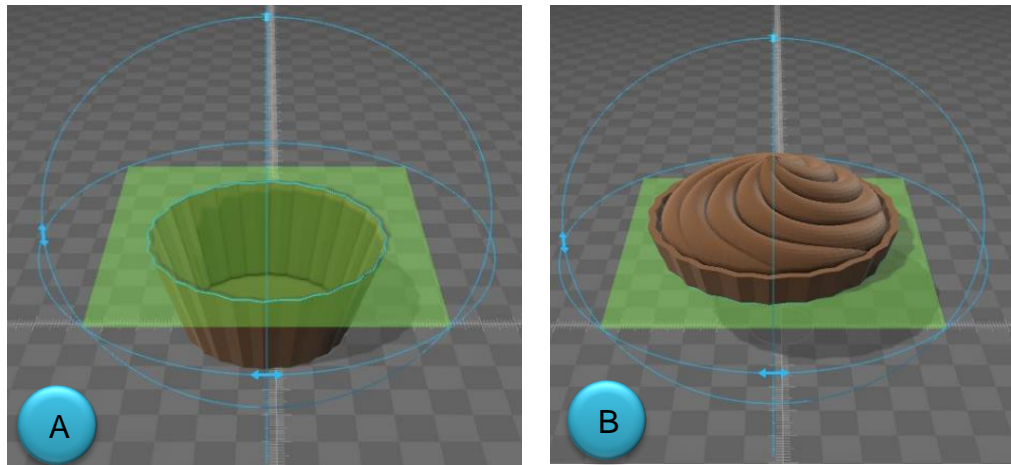


Fonte: LEANDRO; PESSOA, 2015.

Vários *softwares* de CAD usam algoritmos diferentes para simular objetos sólidos. Caso o modelo tridimensional de uma refeição digital esteja no formato STL, poderá ser processado por um *software* de fatiamento, cujas finalidades serão: i) dividir a refeição em camadas; ii) projetar o trajeto do bico extrusor para fazer a deposição dos ingredientes camada por camada.

Em muitas aplicações, é importante distinguir entre o interior ou a superfície da refeição digital, para computar as propriedades do objeto que dependem desta distinção (Figura 36).

**Figura 36 – Geometria do *cupcake*; A: Parte inferior. B: Parte superior.**

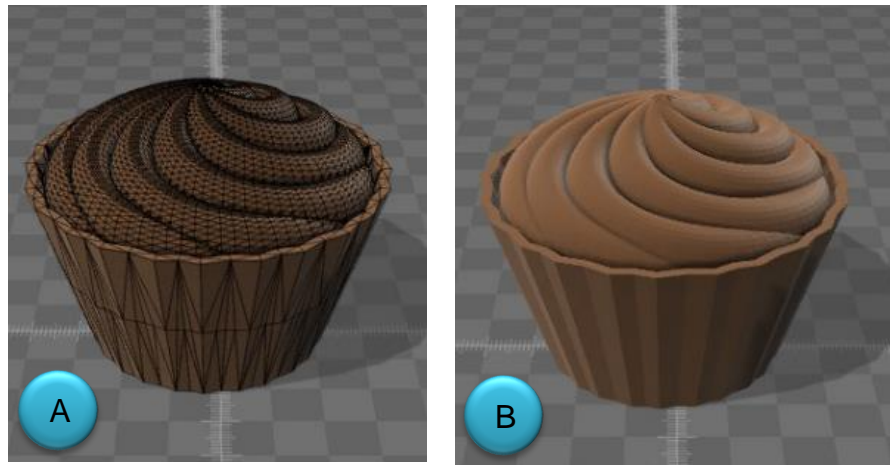


**Fonte: LEANDRO; PESSOA, 2015.**

Por isso, vários parâmetros devem ser definidos antes da manufatura aditiva da refeição, para evitar possíveis falhas durante o processo de deposição. Na representação tridimensional de um *cupcake*, por exemplo, pode ser importante computar propriedades como volume, espessura e o centro de massa.

As formas (Figura 37A) e (Figura 37B) são representações tridimensionais exatas, sendo (A) a malha de polígonos do *cupcake* e (B) o volume do *cupcake*. A malha é composta por uma série de triângulos, orientada no espaço que determinam um volume 3D. Observa-se que essa malha deve ser fechada para que a refeição seja considerada um sólido e não apenas um conjunto de superfícies sem espessura.

Figura 37 – Representação tridimensional do *cupcake*. A: malha de polígonos. B: volume.



Fonte: LEANDRO; PESSOA, 2015.

Recomenda-se, após o fatiamento, que seja gerado um arquivo com formato G-Code (no padrão NIST RS274NGC) contendo uma série de comandos para o acionamento dos motores (KRAMER; PROCTOR, 2010).

O arquivo em G-Code armazenaria as informações sobre a trajetória do bico de extrusão, posicionamento, velocidade de deposição (mm/s), temperatura da mesa de deposição, altura da camada (mm) e rotinas inerentes ao funcionamento da impressora 3D de refeições. Por exemplo, Xnn, Ynn e Znn representam, respectivamente, as coordenadas nos eixos X, Y e Z.

Alguns parâmetros devem ser configurados de forma adequada como o tamanho máximo da área de impressão (*build\_dimensions*) da refeição, centro da mesa, diâmetro interno do bico extrusor, a espessura das camadas, a velocidade de deposição (mm/s) e os códigos de *start-end* da impressora.

## 4.2 Modelo de uma refeição digital (diagrama de classes)

A UML (*Unified Modeling Language*) é uma linguagem de modelagem visual, adotada internacionalmente pela Engenharia de *Software*, para modelar sistemas computacionais, por meio do paradigma da orientação a objetos (GUEDES, 2011).

Os modelos de *software* são representações simplificadas de conceitos e objetos do mundo real, ressaltando suas principais características, de acordo com as especificidades do projeto em desenvolvimento (SOMMERVILLE, 2011).

O diagrama de classes descreve a estrutura do sistema e as relações entre as classes (BOOCH; RUMBAUGH; JACOBSON, 2000). Esse diagrama descreve uma visão estática de como as classes estão organizadas, representando a estrutura lógica das mesmas (GUEDES, 2011).

A classe enumeration EnumGrupo foi criada para suportar o domínio do atributo grupo, que consiste de valores fixos, defini-los como texto onde os componentes podem ser exibidos. O mesmo aconteceu com as classes EnumTipo, EnumRestr, EnumAtiv, Enum\_Umid, Enum\_Dureza, Enum\_Viscos, Enum\_Gord, Enum\_Coesiv, Enum\_ad, Enum\_Elast.

Todo atributo cujo tipo seja uma classe enumeration, não é definido como um atributo derivado. A classe enumeration atua como um tipo de dado e não como um relacionamento. Ao se definir o tipo enumerado, já é prevista uma manutenção evolutiva do modelo, facilitando a inclusão de outros *status* (MELO, 2006).

Existe um relacionamento de associação entre as classes Usuário e Refeição, onde um usuário pode solicitar muitas refeições e muitas refeições podem ser solicitadas por um usuário. Os símbolos asteriscos (\*) representa as multiplicidades entre as classes Usuário e Refeição que se encontram no mesmo nível conceitual.

No mesmo modelo existem relações de associação com agregação, representadas pelos losangos colocados junto às classes com a função de elemento agregador ou “o todo”. Essas relações são do tipo “*is-part-of*” ou “*has-a*”, ou seja, corresponde ao fato de uma instância de determinada classe possuir ou ser composta por várias instâncias de outra classe.

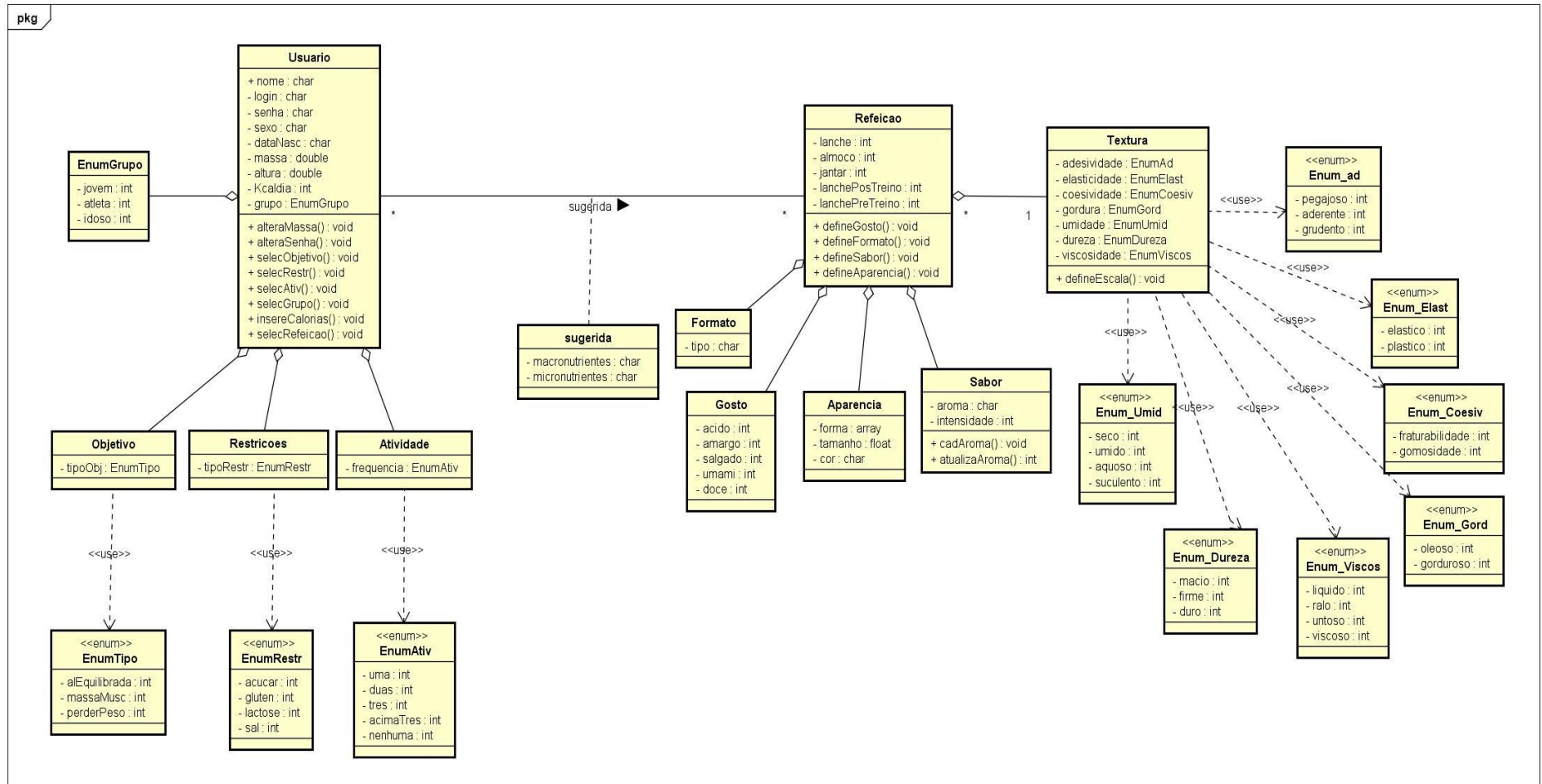
A classe Usuário agrega as classes Objetivo, Restrições e Atividade. Da mesma forma, a classe Refeição indica a classe todo e agrega as classes Formato, Gosto, Aparência, Sabor e Textura.

Ao se relacionar a classe Usuário à classe Refeição fica estabelecido o relacionamento Sugerido. Como encontramos atributos pertinentes a esse relacionamento (macronutrientes e micronutrientes), estamos diante de uma classe

de associação. Nestas circunstâncias, a associação é um relacionamento estrutural que ocorre entre classes e existe porque um objeto necessita de outros para cumprir certas responsabilidades.

Na figura 38 encontra-se o diagrama de classes do modelo proposto nesta tese para definir uma refeição digital. Todos os objetos (refeições digitais), criados a partir das classes representadas, compartilham o mesmo comportamento e possuem os mesmos atributos. Representa as principais finalidades que serão programadas, as interações entre as classes e objetos, pois separa os elementos de design da codificação do sistema. O diagrama de classes pode ser implementado utilizando-se uma linguagem de programação orientada a objetos que tenha suporte para a construção das classes definidas.

Figura 38 – Diagrama de classes que descreve o modelo para definir refeições digital.



Fonte: Autora.

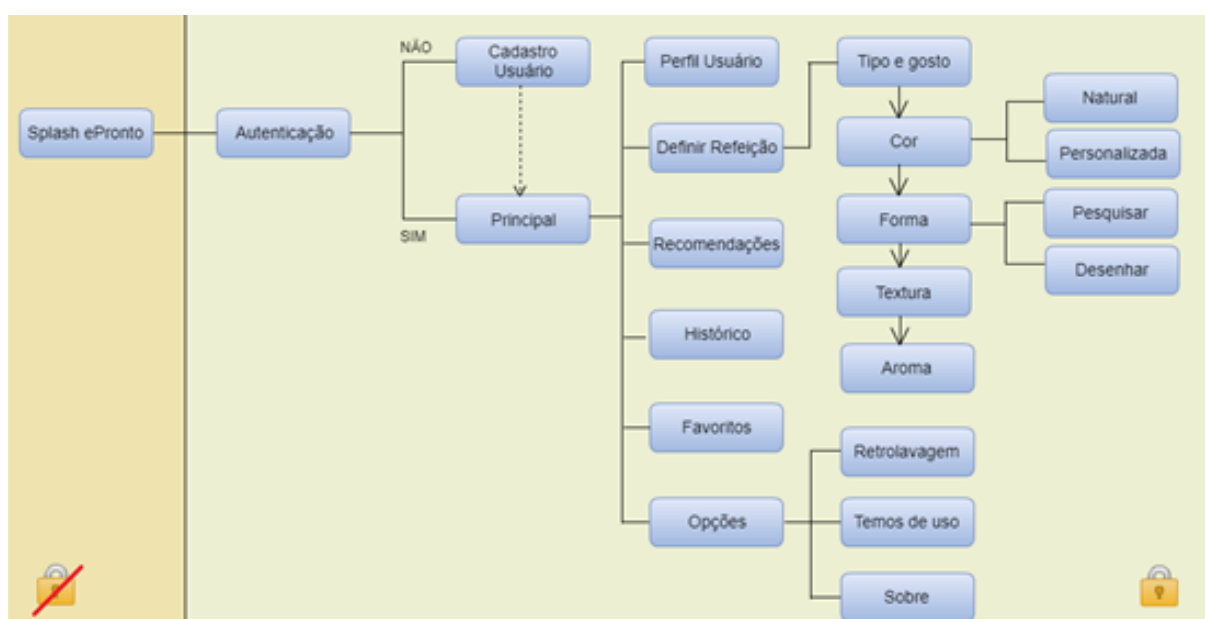
### 4.3 Interface para dispositivos móveis, *tablets* e *smartphones*

O projeto de *design* de uma interface, para definir uma refeição digital deve promover a autonomia dos usuários no controle total das formas, ingredientes e materiais, uma vez que esses itens podem afetar significativamente o *design* criativo das refeições (SUN et al., 2015). Para obter tais interfaces, deve ser dada atenção especial a três requisitos: i) fornecer ferramentas para a seleção da forma e do material; ii) transformar o *design* em um modelo digital; iii) planejamento da via de distribuição e parâmetros relacionados ao processamento. É essencial vincular esta interface com acesso aberto, baseando-se em uma biblioteca web que armazene *templates* de refeições digitais (LIPTON et al., 2010).

O aplicativo móvel ePronto é capaz de simular as etapas que definem e antecedem a impressão de uma refeição digital personalizada, em um ambiente colaborativo de compartilhamento *online* de arquivos.

A primeira versão da interface do aplicativo ePronto foi publicada na Revista Multiciência v.15 (LEANDRO; PESSOA, 2016), desenvolvida utilizando a ferramenta *online* Proto.io, na versão *freeware*. Entretanto, novas funcionalidades foram adicionadas à interface do app e estão descritas detalhadamente nessa seção. A figura 39 demonstra uma visão geral do aplicativo ePronto.

Figura 39 – Visão geral do aplicativo ePronto.



Fonte: Autora.



Por meio desse app é possível monitorar as calorias, proteínas, carboidratos e gorduras, com base nas recomendações de um nutricionista ou nutrólogo, além de fornecer um resumo nutricional diário com os principais nutrientes ingeridos. O aplicativo também permite ao usuário inserir seus objetivos, dados pessoais, receitas personalizadas ou buscá-las em um banco de dados que oferece a flexibilidade de compartilhar formas e experiências gastronômicas com todos da comunidade do app.


É muito importante compreender o contexto do app ePronto; ao abrir o aplicativo (app), como primeiro contato do usuário, é apresentada a tela de abertura, tecnicamente conhecida como *splash screen* (Figura 40).


**Figura 40 – *Splash Screen* do aplicativo e-Pronto.**



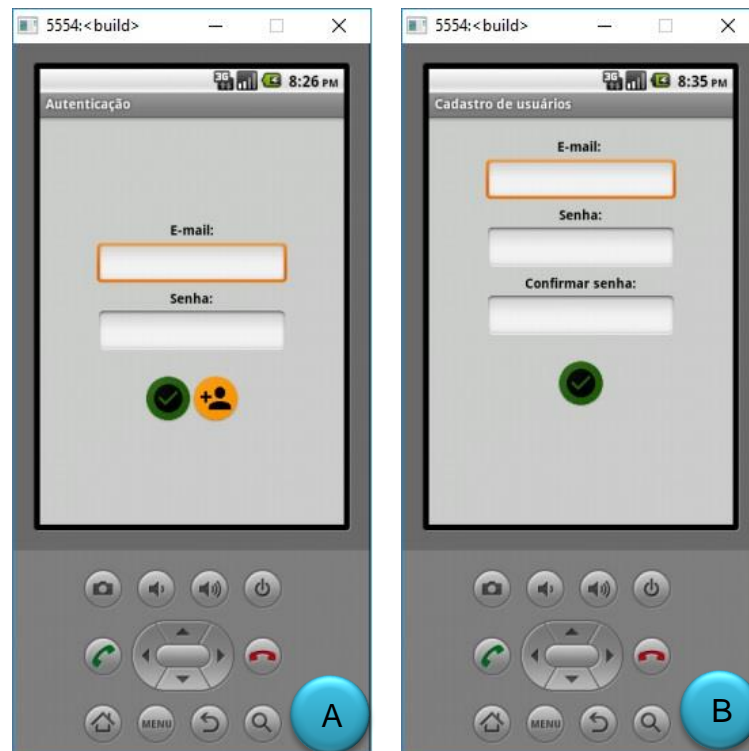
**Fonte: Autora.**

A tela de abertura direciona o usuário para a área de autenticação, onde são solicitados o *e-mail* e a senha, necessários para o controle de acesso lógico. Caso o usuário já possua um *e-mail* e senha, cadastrados previamente, basta

preencher os campos correspondentes e pressionar o botão  para confirmar a operação (Figura 41A).

Caso seja o primeiro acesso, será necessário cadastrar um novo usuário, pressionado o botão  (Figura 41B). Os campos requeridos para cadastrar um usuário são *e-mail*, senha e confirmação da senha. A opção de cadastrar um novo usuário existe para atender a possibilidade de existir um segundo indivíduo utilizando o mesmo aparelho celular. Outros perfis possuem as mesmas opções que o usuário principal.

**Figura 41 – A: autenticação. B: cadastro de usuários.**



**Fonte: Autora.**

Após o procedimento de autenticação, o app direciona o usuário para o menu principal com as opções: perfil do usuário, definir refeição, consumo recomendado, histórico, favoritos e opções (Figura 42).

**Figura 42 – Menu inicial do aplicativo móvel ePronto.**



**Fonte: Autora.**

Após o cadastro, é obrigatório o preenchimento do “Perfil” é obrigatório (Figura 43A). Alterações posteriores ficam a critério do usuário. Nesta mesma janela, o usuário pode editar os dados cadastrados. Todas as vezes que um novo perfil for cadastrado, o usuário receberá o seguinte aviso: “As informações e sugestões contidas neste aplicativo têm caráter meramente informativo e não substituem o acompanhamento de um profissional” (Figura 43B).

No “Perfil” são personalizados os dados pessoais, como a data de nascimento (dd/mm/aaaa), sexo (feminino/masculino), massa em quilos, altura (cm), periodicidade da prática de atividades físicas (1x, 2x, 3x, 4+), objetivos e as restrições alimentares. Entre os três objetivos dos usuários estão: i) alimentação equilibrada; ii) ganhar massa muscular e iii) perder peso.

Somando-se a essas informações, existem grupos de indivíduos que possuem restrições alimentares e necessidades específicas, como os celíacos, intolerantes a lactose, diabéticos e hipertensos.

Figura 43 – Perfil Usuário. A: cadastrar dados. B: mensagem alerta.



Fonte: Autora.

A partir dos dados de data de nascimento, sexo, altura, massa em kg e nível de atividade física, calcula-se o requerimento energético estimado (*Estimated Energy Requirement*) pelas fórmulas estipuladas pela Dietary Reference Intake (DRIs) (HEALTH CANADA, 2010).

Conforme a Associação dos Celíacos do Brasil (2017), a intolerância permanente ao glúten, geralmente se manifesta na infância, entre o primeiro e terceiro ano de vida, podendo surgir em qualquer idade, inclusive na adulta. Os alimentos que possuem glúten devem ser eliminados da dieta dos celíacos. No entanto, para cada cereal, existem componentes diferentes do glúten. No trigo é a gliadina, na cevada é a hordeína, na aveia é a avenina e no centeio é a secalina. O malte, por ser um produto da germinação da cevada, também apresenta uma fração de glúten. Os alimentos que contêm malte, xarope de malte ou extrato de malte não devem ser ingeridos pelos celíacos, pois o glúten não desaparece quando os

alimentos são assados ou cozidos. O glúten agride e danifica as vilosidades do intestino delgado e prejudica a absorção dos alimentos (ACELBRA, 2017).

A Associação Brasileira de Alergia e Imunologia (ASBAI) esclarece que a lactose é um tipo de açúcar encontrado no leite e não é desencadeadora de alergias, mas sim de intolerância. Atinge cerca de 5% da população adulta. Entre a população infantil, perto de 8% das crianças das têm algum tipo de alergia alimentar. Dessas, cerca de 350 mil têm alergia à proteína do leite (ASBAI, 2017).

Segundo Sociedade Brasileira de Diabetes, há mais de 13 milhões de indivíduos vivendo com diabetes no Brasil, o que representa 6,9% da população do país (SBD, 2017).

A Sociedade Brasileira de Hipertensão (SBH) define a hipertensão, usualmente chamada de pressão alta, como a pressão arterial, sistematicamente, igual ou maior que 14 por 9. A pressão se eleva por vários motivos, mas principalmente porque os vasos nos quais o sangue circula se contraem e acomete uma em cada quatro pessoas adultas. Estima-se que atinja em torno de, no mínimo, 25 % da população brasileira adulta, chegando a mais de 50% após os 60 anos e está presente em 5% das crianças e adolescentes no Brasil. É responsável por 40% dos infartos, 80% dos derrames e 25% dos casos de insuficiência renal terminal (SBH, 2017).

A opção “Recomendações” permite cadastrar a quantidade de calorias diárias (Kcal/dia) para que o organismo do indivíduo desempenhe suas funções, uma vez que essas necessidades são diferentes para cada indivíduo. Define-se caloria como a representação métrica de energia produzida por determinados nutrientes quando metabolizados pelo organismo.

Essas calorias são distribuídas entre as refeições lanche (manhã e tarde), almoço, jantar, lanche pré-treino e lanche pós-treino, se o indivíduo treinar (Figura 44).

**Figura 44 – Consumo recomendado.**

The image shows a screenshot of a mobile application window titled "5554:<build>". The application interface is titled "Consumo Recomendado" and features a list of meal categories on the left, each with a corresponding icon and a text label. To the right of each label is a white input field. At the bottom of the input fields is a label "Kcal / Dia" and a grey rectangular box. The categories and their icons are: "Lanche" (yellow sun icon), "Almoço" (orange clock icon), "Jantar" (purple fork and knife icon), "Lanche pré-treino" (blue person running icon), and "Lanche pós-treino" (green person running icon). The top of the screen shows a status bar with the time "12:11 AM" and various system icons. The bottom of the screen shows a virtual keypad with icons for camera, volume, power, call, navigation, home, menu, back, and search.

**Fonte: Autora.**

Para o cálculo das necessidades nutricionais diárias, é preciso considerar parâmetros como idade, estado nutricional, enfermidade de base e o estado metabólico (BRASIL, 2016). Fatores tais como altura, sexo, massa muscular e atividades físicas diárias, influenciam na taxa metabólica basal do organismo e são informações relevantes, pois ajudam a atingir e/ou manter um peso saudável.

Normalmente, para cada dieta são estabelecidas porções em função dos grupos dos alimentos. A dieta de 1600 kcal é calculada para mulheres com atividade física sedentária e adultos idosos. A dieta com 2200 kcal pode ser aplicada para crianças, adolescentes do sexo feminino, mulheres com atividade física intensa e homens com atividade física sedentária. Com relação as gestantes e nutrizas são usadas como referência 2200 kcal (NACIONAL RESEARCH COUNCIL, 1989). A

dieta de 2800 kcal é indicada para homens com atividade física intensa e adolescentes do sexo masculino (WILKENING et al., 1994).

Entretanto, o consumo de calorias mais adequado, ao longo do dia, não será informado pelo app, pois deverá ser recomendado por nutricionistas e nutrólogos, com base nos objetivos individuais de cada indivíduo. Tradicionalmente esses profissionais, no momento de elaborar uma dieta personalizada, fazem o levantamento fisiológico do indivíduo para parametrizá-la, relacionando as necessidades energéticas, as possíveis refeições diárias, o percentual energético de cada refeição e os percentuais dos macronutrientes das refeições.

Conforme Cruz e Nacif (2015) a distribuição dos macronutrientes pode ser feita segundo as DRIs, sendo de 45 a 65% do valor calórico total da dieta de carboidratos, proteínas (10 a 35%) e lipídeos (20 a 35%).

Com base nos registros das recomendações diárias para o usuário, o usuário deve cadastrar as calorias conforme o seu perfil nutricional.

A importância de uma dieta com refeições variadas está em atender as necessidades nutricionais, sem que haja excessos ou ausência de nutrientes, para garantir uma alimentação equilibrada (GALISA et al., 2008).

A opção “Definir Refeição” é composta por 5 etapas que permitem personalizar as características de uma refeição digital, customizando formas, cores, aromas e texturas. Para isso, o usuário escolhe o tipo de refeição que deseja imprimir: lanche, almoço, jantar, lanche pré-treino ou lanche pós-treino.

Na sequência, o aplicativo ePronto apresenta opções para definir o gosto do alimento, como ácido, amargo, doce, salgado e umami. O intervalo da escala do gosto varia entre 0 e 10, onde “0” representa o mínimo e “10” o máximo (Figura 45).

**Figura 45 – Etapa 1: definir o tipo e o gosto da refeição. A: escala do gosto na posição inicial. B: escala do gosto na posição escolhida.**



Fonte: Autora.

O ePronto oferece a possibilidade para o usuário escolher se deseja ou não alterar a cor da refeição, ou seja, optar pela adição de corantes (Figura 46).

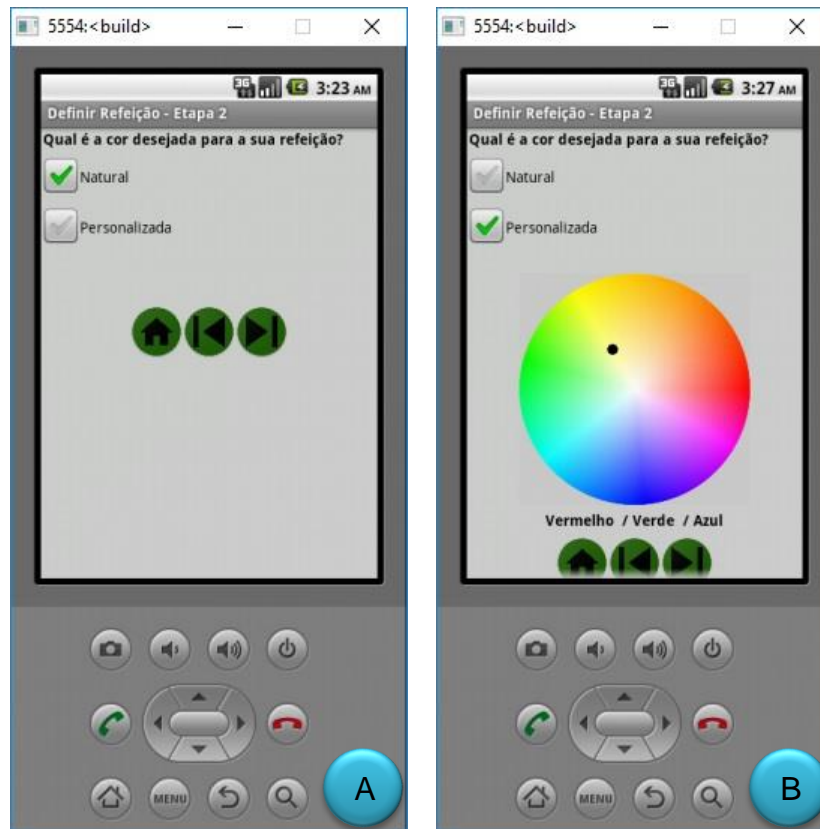
Diversos estudos apontam reações adversas aos aditivos, quer seja aguda ou crônica, tais como reações tóxicas no metabolismo desencadeantes de alergias e alterações no comportamento (EVANGELISTA, 2000; POLLOCK, 1991; SUGIMURA; WAKABAYASHI, 2003).

Entre os estudos, destacam-se os relacionados à saúde infantil, pois as crianças apresentam maior suscetibilidade às reações adversas provocadas pelos aditivos alimentares. Inegavelmente, o uso dessas substâncias e seus efeitos deletérios devem considerar também a frequência com que os aditivos são consumidos, assim como sua quantidade por kg/peso. Outro fator que merece destaque é o da imaturidade fisiológica, que prejudica o metabolismo e a excreção dessas substâncias (POLÔNIO; PERES, 2009). Ainda considerando os aspectos da saúde infantil, o *Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives*



(JECFA) recomenda que não sejam utilizados aditivos de forma intencional em alimentos destinados a crianças menores de um ano, respeitando, assim, o *Codex Alimentarius* (JECFA, 1991 *apud* POLÔNIO; PERES, 2009).

**Figura 46 – Etapa 2: personalizar a cor da refeição. A: natural. B: personalizada.**



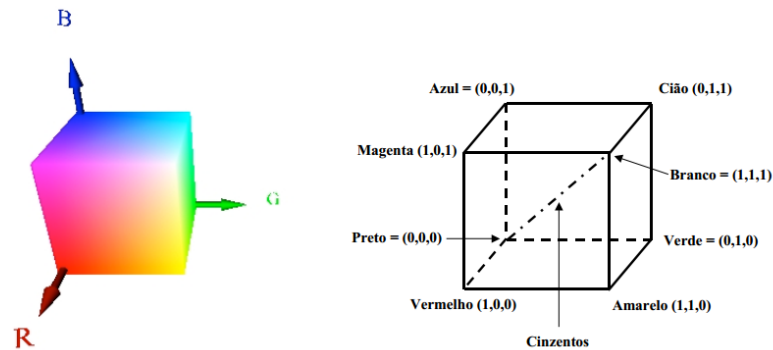
Fonte: Autora.

Caso a opção para determinar a cor seja a personalizada, o app ePronto disponibilizará um *picker color* (Figura 46B), com o padrão RGB, para definir as cores da refeição. O modelo de cores RGB foi concebido com base nas cores vermelha, verde e azul, sendo que sua sigla deriva da junção das três primeiras letras delas, na língua inglesa: *red*, *green* e *blue*, representadas na forma de um número decimal, entre zero e 255, o que possibilita 16,7 milhões combinações de cores.

A formação de uma cor usa um sistema de coordenadas cartesianas cujo subespaço de interesse é um cubo que resulta da adição das três cores primárias, cada uma com uma intensidade que pode variar entre 0 e 1, onde  $0 \leq (R,G,B) \leq 1$ . Os valores 0 e 1 correspondem a intensidade cor, respectivamente

mínima e máxima. No vértice de coordenadas (0, 0, 0) localiza-se a cor preta, que coincide com a origem do espaço e quando todas as bandas alcançam o seu valor máximo (1, 1, 1) tem-se a cor branca (Figura 47).

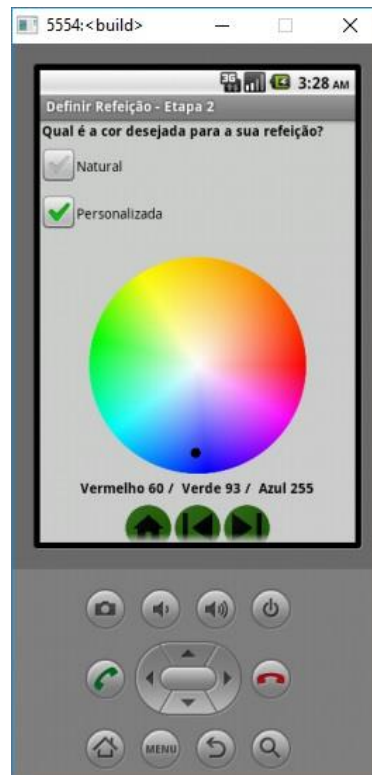
**Figura 47 – Espaço de cor RGB.**



**Fonte: LOPES, 2013.**

A figura 48 demonstra as implementações do sistema RGB para exprimir o valor da intensidade de cada componente escolhidos, para compor a cor da refeição.

**Figura 48 – Valor da intensidade de cada componente para compor a cor da refeição.**



**Fonte: Autora.**

No app ePronto, a forma de uma refeição digital pode ser definida a partir de duas opções, pesquisar forma ou desenhar forma (Figura 49A).

Quando o usuário escolhe a opção pesquisar forma, o aplicativo ePronto acessa um banco de dados que contém imagens e exibe todos os resultados disponíveis (Figura 49C). Essas imagens correspondem aos arquivos no formato .STL, assim a forma da refeição é definida (Figura 49D).

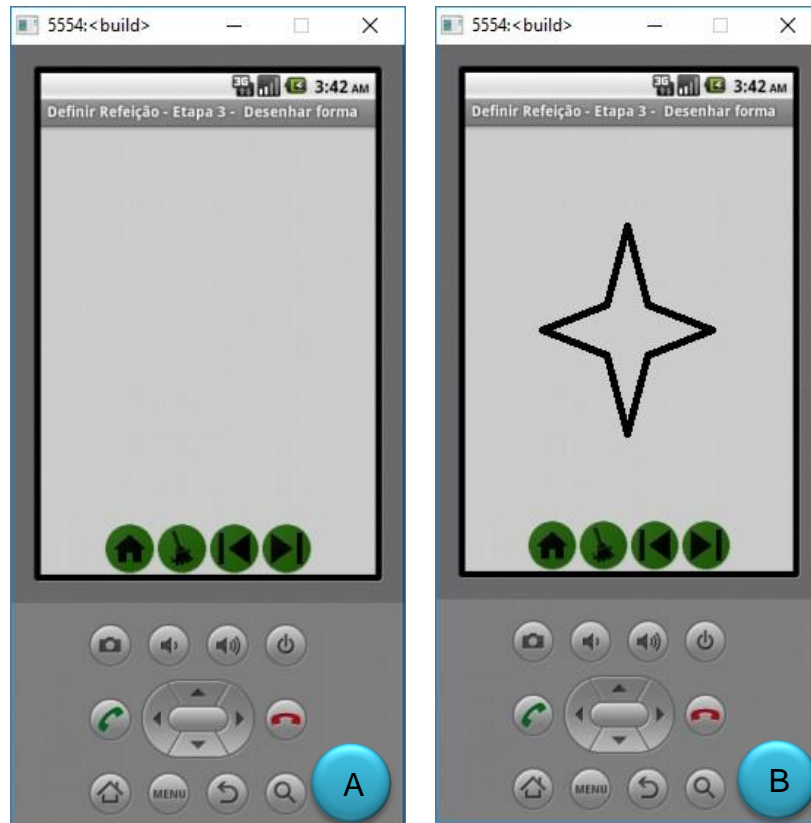
Figura 49 – Etapa 3: escolher forma da refeição digital. A: pesquisar forma e desenhar forma. B: pesquisar forma. C: escolher forma. D: forma escolhida.



Fonte: Autora.

Entretanto, com a intenção de corresponder às expectativas dos *foodies*, o app ePronto também oferece a possibilidade de usar a imaginação e expressar a individualidade dos usuários, desenhando formas criativas que exploram os detalhes do mundo ao nosso redor (Figura 50).

**Figura 50 – Etapa 3: definir forma da refeição digital. A: desenhar refeição. B: refeição desenhada.**



Fonte: Autora.

Na sequência, o aplicativo ePronto apresenta vários parâmetros que permitem definir a textura da refeição (Figura 51). Os controles deslizantes possuem uma orientação horizontal e são usados para especificar um intervalo de valores sucessivos entre 0 e 5, onde “0” representa o mínimo e “5” o máximo.

Dessa forma, os intervalos das texturas entre 0 e 5 podem variar em função das percepções e necessidades individuais. Todas os atributos explorados estão presentes no modelo de refeição digital proposto, porém para facilitar a interação e o entendimento do usuário, na hora de definir alguns parâmetros no app ePronto, os termos são substituídos por sinônimos, ou seja, através de um

vocabulário não-técnico. Os atributos disponíveis no app são a aderência, crocância, dureza, elasticidade, estrutura fibrosa, maciez e umidade.


Esses atributos resultam da combinação das propriedades físicas dos ingredientes, substâncias que podem ser sentidas pelo tato, visão e audição.

**Figura 51 – Etapa 5: definir textura da refeição. A: escala da textura na posição inicial. B: escala da textura na posição escolhida.**



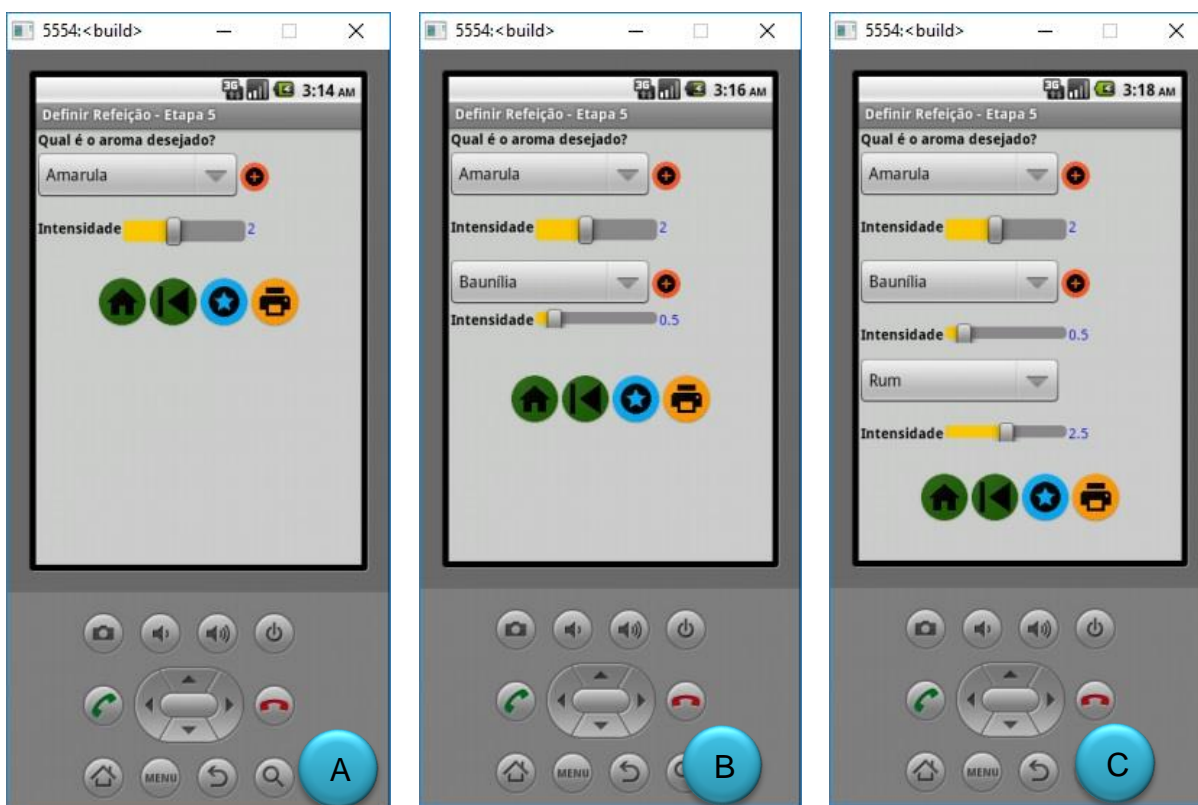
Fonte: Autora.

A última etapa para customizar uma refeição digital é a personalização dos aromas. A expressão essência é usada popularmente para designar o aroma, de modo genérico, e é o que geralmente aparece em uma receita culinária tradicional para facilitar a compreensão do usuário.



O app ePronto permite adicionar até três aromas (Figura 52), porém esses atributos dependem do refil existente na impressora 3D de alimentos. A medida que o usuário sentir a necessidade de adicionar um novo aroma, basta clicar no botão adicionar  que o aplicativo disponibiliza novas caixas de opções para

facilitar a personalização dos aromas. Todos os aromas são seguidos de controles deslizantes para ajustar a intensidade, em um intervalo de valores sucessivos entre 0 e 5, onde “0” representa a intensidade mínima e “5” a máxima.

**Figura 52 – Etapa 5: definir o aroma. A: refeição digital com um aroma. B: refeição digital com dois aromas. C: refeição digital com três aromas.**



Fonte: Autora.

O app ePronto oferece dois diferenciais: i)  favoritos: permite salvar a refeição customizada, visando fornecer ao usuário um acesso rápido às refeições digitais requeridas com maior frequência; ii)  imprimir: essa opção permite que a refeição digital seja materializada.

À medida que o usuário cadastra ou seleciona uma nova refeição, o app armazena a quantidade de calorias consumidas até aquele momento.

Existe ainda um atalho rápido para “Favoritos”, na tela principal do ePronto, que permite o acesso rápido às refeições digitais favoritas. Encontram-se nessa área as refeições sugeridas, ou seja, “*templates*” de refeições, no sentido de agradar a maioria dos paladares, com praticidade, minimizando o tempo de

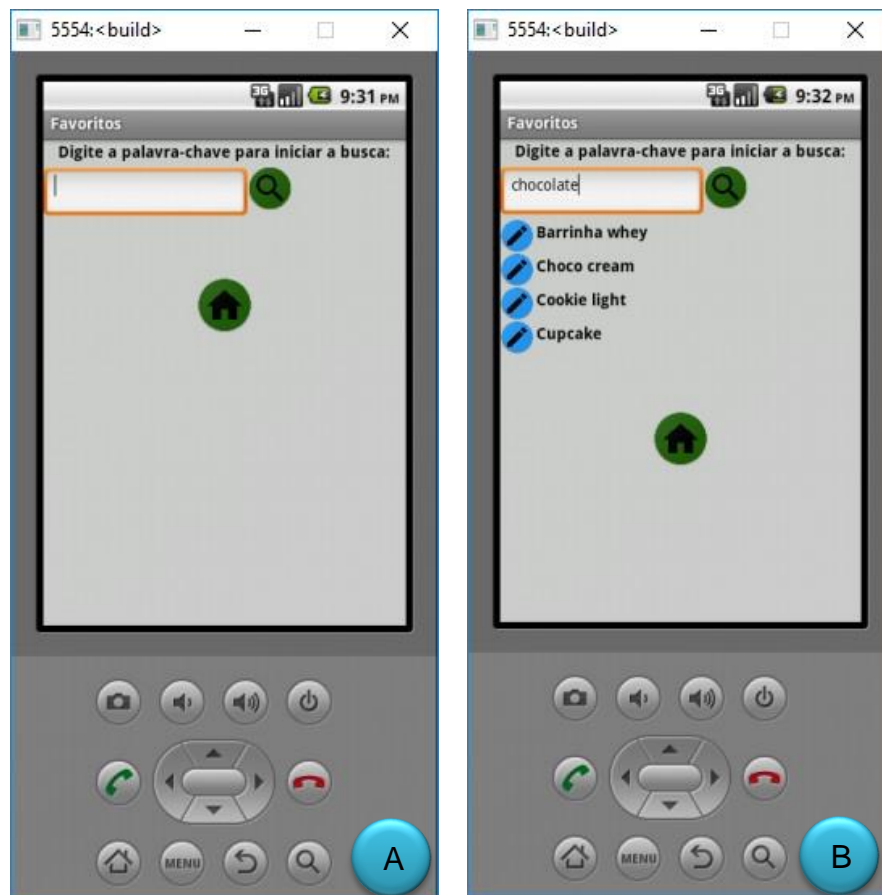
personalização. Essa janela, também oferece as possibilidades de editar uma refeição digital.

A variedade de *templates*, com refeições digitais nutritivas, é uma maneira de inserir alimentos novos no dia a dia de quem está acostumado a se alimentar da mesma refeição devido à falta de tempo.

O usuário digita uma palavra-chave e, através do botão pesquisar, as receitas digitais são disponibilizadas (Figura 53).

Dessa forma, é possível unir praticidade com variedade, incluindo aromas, texturas, formas e cores, em refeições que demoram poucos minutos para ficarem prontas. Adicionalmente, eliminam a sujeira da cozinha e otimizam o tempo de preparo.

**Figura 53 – Refeições digitais favoritas. A: busca por palavra-chave. B: sugestão de refeições digitais.**



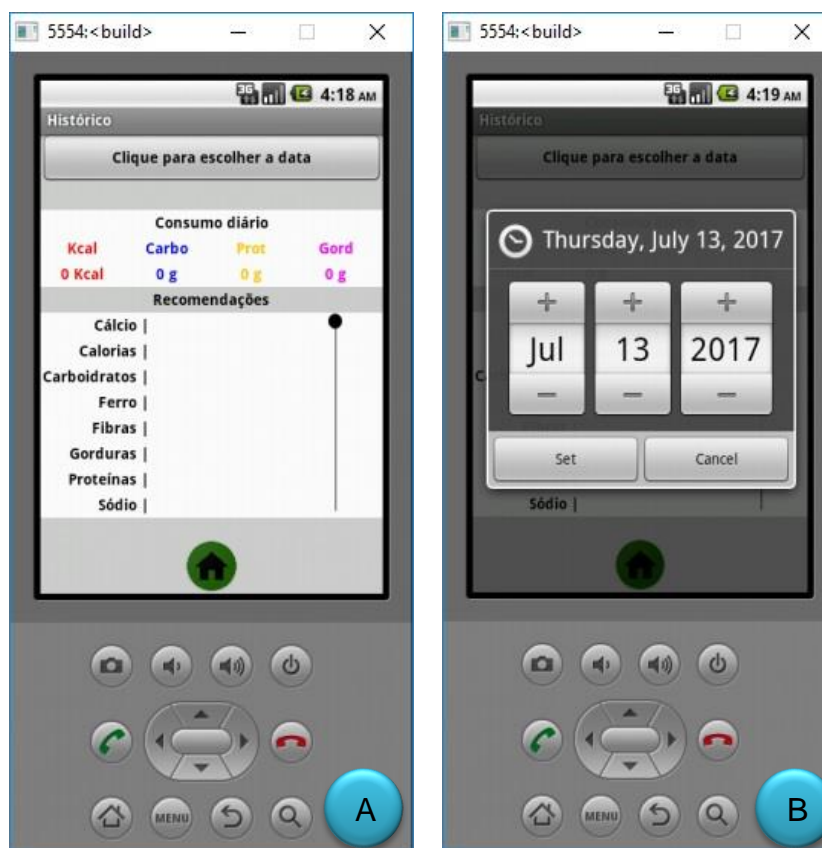
Fonte: Autora.



O banco de dados que armazena as receitas digitais é um repositório colaborativo onde os usuários podem compartilhar as suas experiências gastronômicas em rede.

A opção “Histórico” armazena a quantidade de cálcio, calorias, carboidratos, ferro, fibras, gorduras, proteínas e sódio nas refeições diárias (Figura 54). Porém, para o cálculo das calorias e demais nutrientes consumidos, o aplicativo utiliza as tabela de composição nutricional dos alimentos consumidos no Brasil: i) Tabela 1 - Energia, macronutrientes e fibra na composição de alimentos por 100 gramas de parte comestível; ii) Tabela 2 - Gorduras e açúcar na composição de alimentos por 100 gramas de parte comestível; iii) Tabela 3 - Minerais na composição de alimentos por 100 gramas de parte comestível; iv) Tabela 4 - Vitaminas na composição de alimentos por 100 gramas de parte comestível; v) Tabela 5 - Código e descrição da fonte de referência da composição de alimentos por 100 gramas de parte comestível; vi) Tabela de composição nutricional dos alimentos consumidos no Brasil (IBGE, 2017).

**Figura 54 – Histórico de consumo diário.**



Fonte: Autora.

De acordo com Instituto de Tecnologia de Alimentos, a tendência para os próximos anos será uma ampliação da oferta de minerais aminoácidos quelados, que possuem alta biodisponibilidade, principalmente ferro, magnésio, zinco, fósforo e selênio (ITAL, 2010).

O ícone “Opções” (Figura 55) permite fazer a retrolavagem da impressora, além dos termos de uso e informações sobre o app. Para prolongar a vida útil da impressora de alimentos 3D, existe um reservatório de água externo utilizado no sistema de retrolavagem, evitando que resíduos alimentares sejam retidos, obstruindo os bicos de deposição, ocasionando a contaminação do novo alimento impresso.

**Figura 55 – Tela de opções do ePronto.**



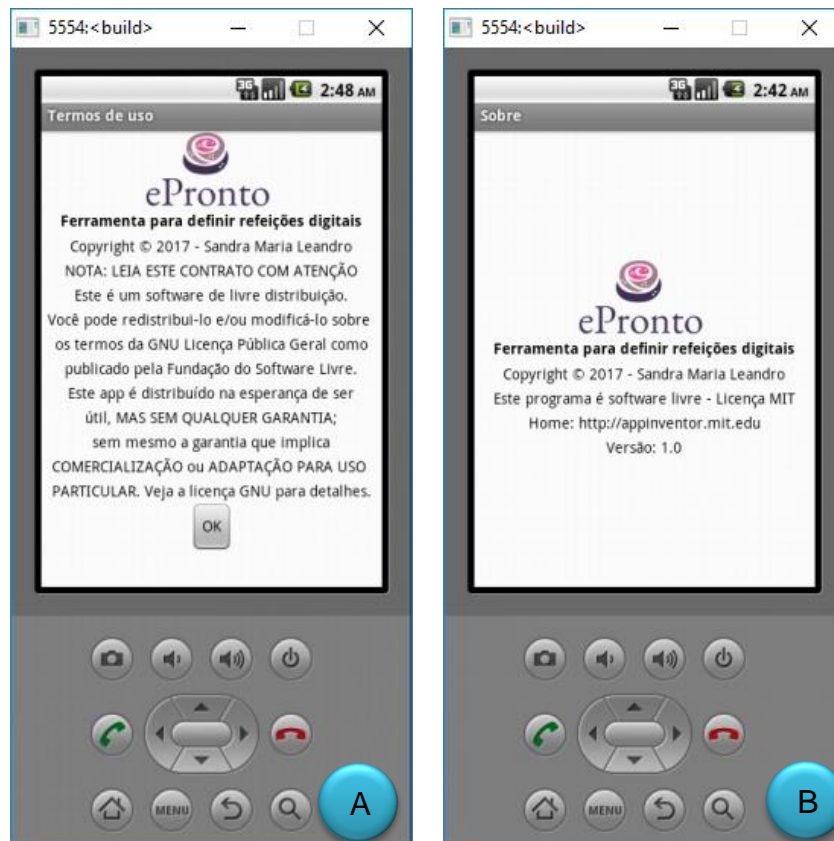
**Fonte: Autora.**

Para tal, é inserido no reservatório um produto líquido de descalcificação, adicionado a água potável.

Os “Termos de uso” são acordos legais entre o usuário e a desenvolvedora do aplicativo ePronto, com a finalidade de regulamentar o acesso e a utilização do app (Figura 56A).

A opção sobre traz informações sobre o app ePronto, sua versão e licença (Figura 56B).

**Figura 56 – Informações sobre o app ePronto. A: Termos de uso. B: janela sobre.**



Fonte: Autora.

#### 4.4 Análise de parâmetros físicos

A aplicação de múltiplos materiais é bastante comum no *design* e na personalização de refeições digitais. Alguns dos materiais comestíveis são os mesmos das receitas tradicionais, adicionando-se aditivos, e outros não convencionais, como ingredientes extraídos de algas, beterraba ou insetos (SUN et al., 2015c).

As formulações de ingredientes, com combinações e condições de manipulação variadas, podem gerar várias texturas, além de um nível não gerenciável no processo de manufatura aditiva de refeições (SUN et al., 2015b).

A maioria dos processos de impressão de refeições envolvem apenas uma etapa de processamento para transformar o material na forma final (WEGRZYN et al., 2012).

Conforme o Instituto de Tecnologia de Alimentos, uma das tendências para as refeições será a utilização de aminoácidos e peptídeos, especialmente as substâncias isoladas do leite (ITAL, 2010). Um grupo de substâncias que tem se destacado são as proteínas do leite, especialmente as do soro, pois têm propriedades funcionais e são utilizadas mundialmente em vários tipos de refeições (SPADOTI; MORENO, 2008). Considerou-se a utilização do *whey protein* nas formulações dos experimentos analisados nessa seção.

## **Experimento 1 – Efeito da viscosidade em um bolo de caneca**

A formulação foi utilizada para obter uma mistura homogênea, similar a uma receita de um bolo de caneca sabor chocolate. Durante o ciclo de preparação da amostra, houve o cuidado de utilizar todos os ingredientes em temperatura ambiente. A peneiração dos ingredientes em pó foi utilizada para eliminar a possibilidade de formação de grumos na amostra. Normalmente a farinha de trigo é processada extremamente fina, porém é embalada em pacotes pequenos, ficando bem compacta. Dessa forma, a peneiração é fundamental para que a farinha fique aerada. O mesmo aconteceu com o chocolate em pó, pois absorve mais facilmente a umidade do ar. Utilizou-se o mesmo procedimento com o *whey protein*, fermento em pó químico e o amido de milho, com a intenção de distribuí-los uniformemente no recipiente de vidro.

O amido de milho é um ingrediente presente na fabricação de alimentos, sendo a principal matéria-prima dos extrusados, como biscoitos, massas pré-cozidas e outros, pois tem como característica produzir o efeito de crocância, apreciado pelos consumidores (SILVA et. al., 2004).

O amido de milho é constituído por dois componentes principais: a amilose, de estrutura linear, que representa 25% do amido e a amilopectina, de estrutura ramificada, que representa 75% do amido total. A frio, o amido tem pouca

capacidade de absorver água, absorvendo apenas 30% de sua massa, aproximadamente. Esta característica é função da sua estrutura organizada, principalmente nas regiões cristalinas, que pode ser alterada através do tratamento térmico. Assim, quando uma suspensão de amido é aquecida, inicia-se um processo de rompimento das ligações de hidrogênio que une as cadeias de amilose e amilopectina, permitindo que os grânulos absorvam mais água e “inchem”, aumentando a viscosidade da suspensão (PALMA et. al., 2004).

A hipótese é que vários fatores podem influenciar nas diferenças entre as taxas de deposição do material, destacando-se o próprio processo de deposição, a formulação, força aplicada no êmbolo da seringa, falta de habilidade para desenhar livremente sem ter uma referência para conduzir os movimentos da seringa, a altura, largura e comprimento da amostra.

Após a cocção, observou-se o achatamento, a deformação da amostra e muitas bolhas aglutinadas (Figura 57).

Conforme Esteller (2007), durante a cocção no forno, a água e os compostos voláteis tendem a sair da amostra sob pressão, formando capilares que podem se unir ou não às bolhas formadas durante o processo. Quanto maior o volume ocupado e o número de alvéolos, mais porosa será a massa, influenciando a mobilidade da água, compostos voláteis, oxidação lipídica, a transmissão de calor, volume específico e umidade.

**Figura 57 – Bolo de caneca após a cocção. A: amostra assada. B: lado inferior da amostra.**



Fonte: Autora.

## **Experimento 2 – Efeito da textura na obtenção de uma bolacha de morango**

A formulação foi utilizada para obter uma mistura homogênea, similar a uma receita de uma bolacha sabor morango, sem fermento.

Demonstrou-se o uso de um corante sintético em pó para realçar os propósitos decorativos e o efeito sensorial, esperado pelos consumidores, na personalização de refeições digitais.

Durante o ciclo de preparação da amostra, houve o cuidado de utilizar todos os ingredientes em temperatura ambiente. A peneiração dos ingredientes em pó foi utilizada para eliminar a possibilidade de formação de grumos na amostra e com a intenção de distribuí-los uniformemente no recipiente de vidro.

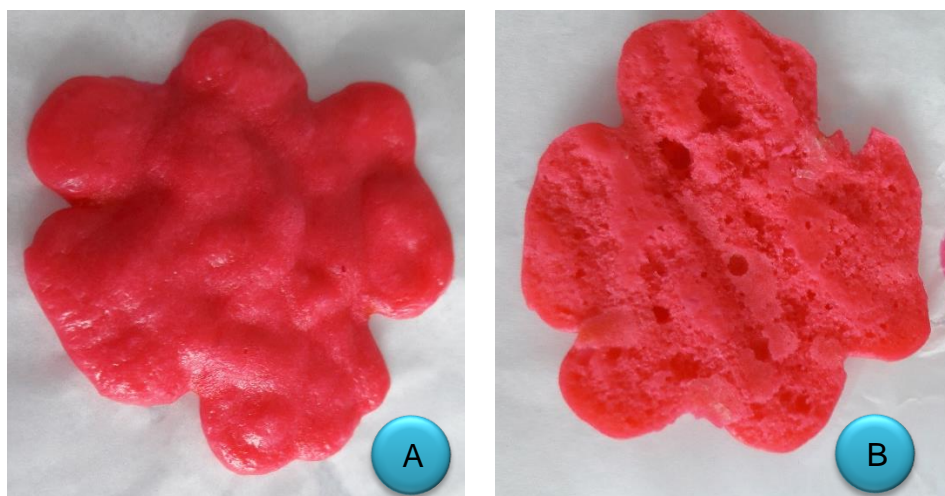
Observou-se uma consistência pastosa, adequando-se à deposição de forma livre e sólida (SFF).

Houve a formação de bolhas, após a cocção. Uma hipótese é que as bolhas observadas vêm do ar que estava diluído na amostra e, com a mudança de consistência, o ar foi aglutinado em bolhas (Figura 58).

Conforme Ferrari (1998), a farinha de trigo é o único produto de cereal que, misturado com água em proporção adequada, possui a habilidade de formar massa viscoelástica, capaz de reter gases e apresentar estrutura esponjosa quando aquecida no forno.

Dessa forma, variações nos materiais ou em um ingrediente pode desencadear efeitos significativos sobre a capacidade de personalização das refeições e na estabilidade da forma. No caso dos biscoitos de açúcar (LIPTON et al., 2010), variações na manteiga, nas concentrações da gema e açúcar podem ajudar ou dificultar a estabilidade da forma no processo de cocção.

**Figura 58 – Bolacha de morango após cocção. A: amostra assada. B: lado inferior da amostra.**



**Fonte: Autora.**

O desafio dos alimentos submetidos à cocção é a retenção dos compostos aromáticos, após o processamento e liberação do sabor e aroma durante o consumo (ROOS, 2006).

### **Experimento 3 – Efeito da textura na obtenção de uma bolacha de morango v.2**

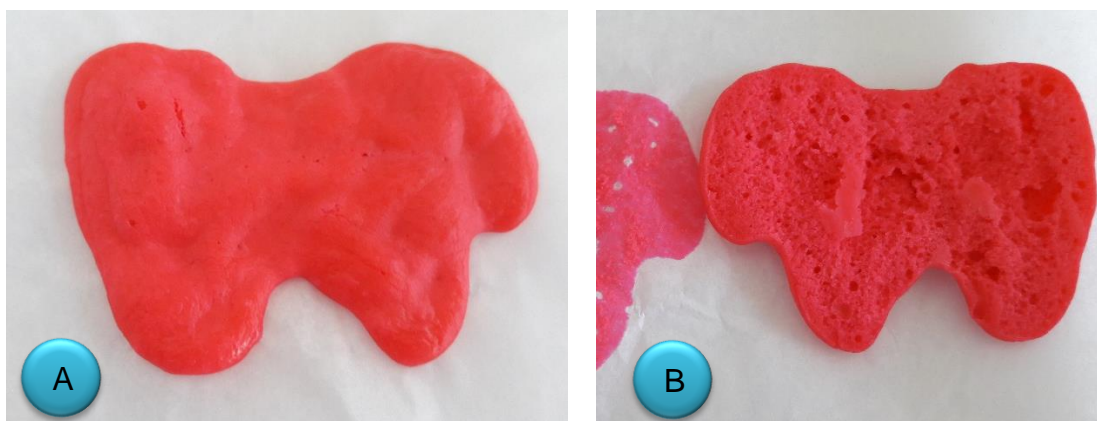
Repetiu-se a formulação e preparação do experimento 2, para verificar o escoamento com um bico de diâmetro maior e pressão menor.

Verificou-se que o diâmetro do bico, a pressão e fluidez estão relacionadas ao processo de deposição da formulação.

A figura 59 demonstra os resultados do experimento 3 v.2, após a cocção.



**Figura 59 – Bolacha de morango v.2 após cocção. A: amostra assada. B: lado inferior da amostra.**



**Fonte: Autora.**

A formulação dos experimentos realizados não contemplou os celíacos. Mas, observa-se também que devido a exclusão total de alguns alimentos ricos em carboidratos e fibras, a dieta do Celíaco habitualmente é composta em sua maior parte de gorduras e proteínas e em menor parte de carboidratos. Partindo desse princípio, todo celíaco que não transgredir a doença possui uma predisposição em aumentar a massa corporal, e desta forma aumenta a preocupação com uma dieta equilibrada (ACELBRA, 2017).

Pensando nos celíacos, outros alimentos poderiam compor e personalizar as refeições digitais para estes indivíduos (APÊNDICE C).

Dessa forma, os projetos conceituais centrados em processos de mistura, modelagem e transformação podem criar novas tecnologias de processamento de alimentos. Além das propriedades mecânicas e térmicas dos materiais, a variação biológica e propriedades microbiológicas e bioquímicas colocam limitações adicionais no manuseio e processamento das amostras (ZORAN; COELHO, 2011).

Diferentes modelos de impressoras 3D de refeições adotam tipos específicos de materiais comestíveis, porém não são encontradas na literatura muitas referências e especificações sobre eles (PALLOTTINO, 2016).



## **Experimento 4 – Geleificação de esferas de goiaba e maçã**

A formulação utilizou um suco processado de goiaba e maçã, frutas ricas em pectina, sendo seus teores influenciados por fatores climáticos, estágio de maturação, cultivo e época de desenvolvimento dos frutos (CERQUEIRA, 2007). No entanto, a importância da pectina é atribuída a formação de géis, mas só está presente no suco in natura. Nos sucos processados ocorre a adição de pectinase, uma enzima que degrada a pectina, para diminuir a viscosidade dos sucos e também aumentar os volumes dos mesmos (UENOJO; PASTORE, 2007).

No que se refere ao poder de geleificação, o ágar é notável dentre os hidrocolóides, além de ser um substituto das pectinas. Usou-se o óleo de soja para a geleificação da amostra, por não se misturar e possuir densidade menor, 0,891 g/cm<sup>3</sup>, comparada a água cuja densidade é de 1 g/cm<sup>3</sup>.

O gel de ágar pode ser obtido em soluções muito diluídas contendo uma fração de 0,5% a 1,0% do hidrocolóide, sendo que a sua força é influenciada pelos fatores de concentração, tempo, pH e conteúdo de açúcar. O decréscimo do pH diminui a força de gel. O aumento de açúcar resulta em um gel com maior dureza, porém com menor coesão. A geleificação ocorre muito abaixo da temperatura de fusão. Uma solução de 1,5% de ágar forma um gel ao ser resfriado para uma temperatura de 32 °C a 45 °C e só volta a liquefazer-se à temperatura de cerca de 85 °C (REVISTA FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2010).

A viscosidade de uma solução de ágar é influenciada e dependente da fonte da matéria-prima. A viscosidade a temperaturas acima do seu ponto de geleificação é relativamente constante em pH de 4,5 a 9,0. Entretanto, ao iniciar a geleificação, à temperatura constante, a viscosidade aumenta com o tempo (REVISTA FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2010).

Verificou-se que dada a viscosidade da amostra não se obteve esferas perfeitas. Além disso, as esferas mantiveram a consistência, mas não foram formadas individualmente fato que contribuiu para que ficassem aglutinadas (Figura 60).

**Figura 60 – Esferas de goiaba imersas no óleo de soja.**



**Fonte: Autora.**

Outra diferença entre a técnica de geleificação e a esferificação é que o caviar de ágar fica semissólido (Figura 61), ou seja, não contém líquido no interior das gotas.

**Figura 61 – Morfologia das esferas de goiaba.**



**Fonte: Autora.**

Observou-se que existem apenas dois métodos reconhecidos como esferificação. A esferificação básica consiste em submergir um líquido com alginato de sódio em um banho de cálcio (lactato ou gluconato). Um dos problemas desta técnica é que a gelificação não ocorre se a acidez do líquido for elevada ( $\text{pH} < 4$ ), embora isto possa ser corrigido através da adição de citrato de sódio reduzindo o nível de acidez. Outra desvantagem é que esta técnica não funciona com

ingredientes que contêm cálcio na sua composição, uma vez que estes iriam reagir rapidamente com o alginato e formar gel mesmo antes de mergulharem no banho. A esferificação inversa consiste em submergir um líquido com cálcio em um banho de alginato de sódio. Quando o líquido mergulha no banho, uma fina camada de gel se forma em volta da gotícula quando o cálcio reage com o alginato de sódio. As técnicas para criar esferas, que consistem em geleificar instantaneamente o líquido ao imergir em óleo frio ou nitrogênio líquido, não são consideradas técnicas de esferificação (SILVA, 2006).

## **Experimento 5 – Geleificação de esferas de goiaba e maçã v.2**

Repetiu-se a formulação do experimento 4, objetivando-se avaliar a interferência de uma nova distância do bico de extrusão (142 mm) em relação à base na morfologia das gotas, no processo de geleificação (Tabela 1).

**Tabela 1 – Comparativo entre os parâmetros utilizados nos experimentos 4 e 5.**

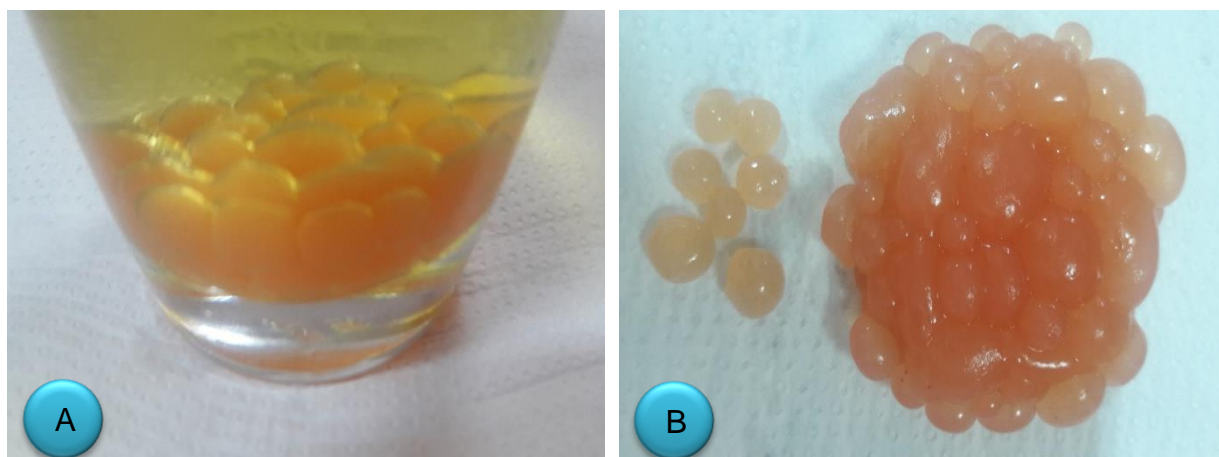
<b>Parâmetros</b>	<b>Experimento 4</b>	<b>Experimento 5</b>
Volume depositado (mL)	30	30
Distância do bico de extrusão em relação à base (mm)	127	142
Temperatura óleo de soja (°C)	2,5	2,5

**Fonte: Autora.**

A diferença de 15 mm entre a distância do bico de extrusão em relação à base, alterou a morfologia das gotas (Figura 62).

Observou-se que mudanças na distância do bico de extrusão podem induzir a uma transição conformacional, modificando a hidrodinâmica da gota durante o gotejamento.

**Figura 62 – Esferas de goiaba e maçã v.2. A: Imersas do óleo de soja. B: Esferas geleificadas.**



Fonte: Autora.

### **Experimento 6 – Geleificação de esferas de goiaba e maçã v.3**

Repetiu-se a formulação do experimento 5 v.2, objetivando-se avaliar a interferência do deslocamento manual de um recipiente cilíndrico em movimentos aleatórios, simulando os eixos X e Y de uma impressora 3D, mantendo a distância do bico de extrusão (142 mm) em relação à base para o gotejamento e geleificação.

O comparativo entre os parâmetros utilizados nos experimentos 5 e 6 encontram-se na tabela 2.

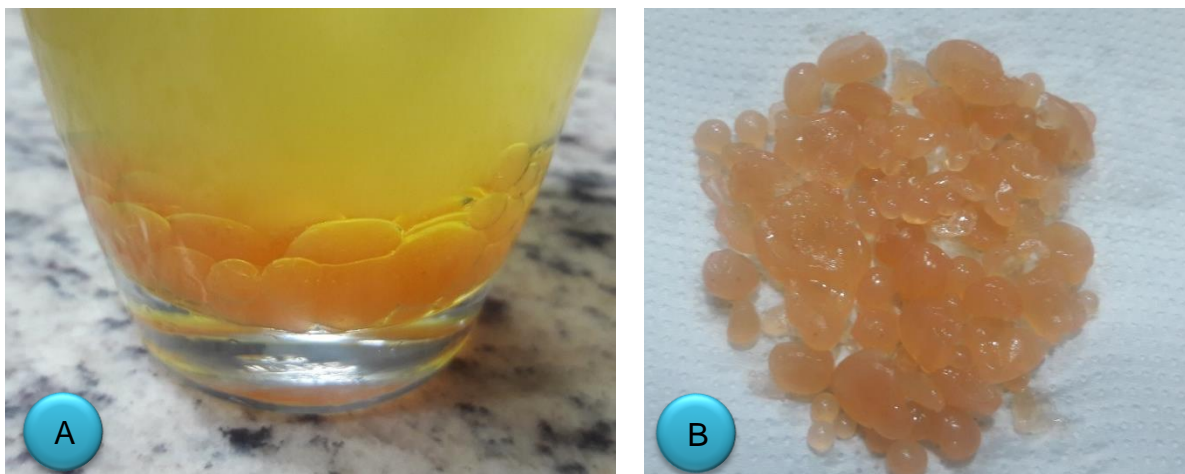
**Tabela 2 – Comparativo entre os parâmetros utilizados nos experimentos 5 e 6.**

<b>Parâmetros</b>	<b>Experimento 5</b>	<b>Experimento 6</b>
Volume depositado (mL)	30	30
Distância do bico de extrusão em relação à base (mm)	142	142
Temperatura óleo de soja (°C)	2,5	2,5

Fonte: Autora.

Observou-se que ao manter a distância do bico de extrusão (142 mm) em relação à base para o gotejamento, as gotas não ficaram aglutinadas, comparadas aos resultados dos experimentos 4 e 5 (Figura 63).

**Figura 63 – Esferas de goiaba e maçã v.3. A: Imersas no óleo de soja. B: Esferas geleificadas.**



**Fonte: Autora.**

A hipótese é que o comportamento reológico dos materiais, especialmente de sistemas de polissacarídeos, pode ser afetado por uma série de fatores, principalmente aqueles relacionados às características moleculares e supramoleculares. Em nível molecular, a cadeia polimérica principal e suas características relacionadas, tais como comprimento em solução, forma e eventual presença de grupos ionizáveis, representam o fator principal na determinação das propriedades macroscópicas do sistema, incluindo a reologia. Muitos desses parâmetros moleculares estão correlacionados, outros devem ser combinados com fatores externos, como por exemplo, as características do meio solvente. Essas características irão, posteriormente, exercer influência sobre a conformação adotada pela macromolécula, assim como sobre a possibilidade de formação de estruturas supramoleculares. Em outras palavras, esses parâmetros podem induzir a uma transição conformacional, modificando a resistência hidrodinâmica da macromolécula ao escoamento (ADITIVOS & INGREDIENTES, 2016).

Sugere-se que, em uma impressora 3D de refeições que utilizasse como essência o método de esferificação para a deposição de materiais, o ideal seria que houvesse um deslocamento do eixo Z e os eixos X e Y fossem fixos, para

solucionar os efeitos da transição conformacional, que interfere na hidrodinâmica da macromolécula ao escoamento, além da propensão de aglutinação das gotas.

## **Experimento 7 – Processo de deposição de um brigadeiro**

Utilizou-se um motor DC na extrusora para a deposição de materiais por possuir maior facilidade de controle, características mais lineares e baixo custo, comparadas a um motor de passo.

A função desse motor foi controlar o parafuso M8X80, com passo de 1,25 mm, responsável por pressionar o êmbolo da seringa e depositar a formulação na mesa de deposição. Salieta-se que o controle dos movimentos dos eixos X e Y foi feito manualmente, para simular o funcionamento de uma impressora 3D.

Porém, verificou-se que com o aumento da resistência no movimento do sistema, em função da viscosidade da formulação, o motor da extrusora diminuiu a sua rotação para 450 rpm, sendo a taxa de deposição 0,833 mL por passo.

Observou-se uma consistência pastosa, adequando-se à deposição de forma livre e sólida (SFF); embora a seringa tenha aspirado 30 mL para a deposição, depositou-se apenas 10 mL em função do tamanho da base de deposição.

Após a deposição, acondicionou-se a amostra em freezer para atingir a consistência para enrolá-la, em ponto de docinhos de festa (Figura 64).

**Figura 64 – Brigadeiro v.2 resfriado em temperatura ambiente.**



**Fonte: Autora.**

A textura obtida ficou muito próxima a de um brigadeiro tradicional, não havendo necessidade de melhorar a formulação para tentar aproximar-se dos atributos sensoriais que determinam sua aceitação por parte dos consumidores.

Sugere-se que a impressora 3D de refeições possua o aspecto e tamanho de um micro-ondas, para que ocorram ajustes na temperatura da mesa de deposição, na câmara, regulagem da potência, nos casos de cocção, cujos parâmetros podem variar conforme os tipos de ingredientes e texturas desejadas.

### **Experimento 8 – Processo de deposição de um brigadeiro v.2**

Repetiu-se a formulação do experimento 7, porém iniciou-se a deposição da formulação em nova temperatura (41 °C).

A temperatura tem uma importante influência sobre o comportamento de escoamento das formulações com hidrocolóides (ADITIVOS & INGREDIENTES, 2017).

Na tabela 3 é possível observar que embora as seringas tenham aspirado 30 mL para a deposição, existe uma diferença de 10 mL no volume depositado, entre os experimentos 7 e 8.

**Tabela 3 – Comparativo entre os parâmetros utilizados nos experimentos 7 e 8.**

<b>Parâmetros</b>	<b>Experimento 7</b>	<b>Experimento 8</b>
Volume depositado (mL)	18 mL	8 mL
Temperatura amostra	65 °C	41 °C
Tempo deposição (s)	12 segundos	40 segundos

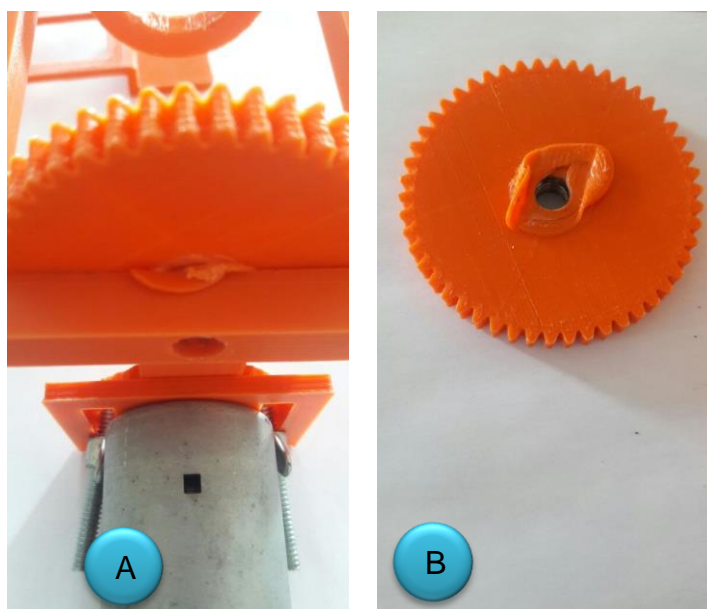
**Fonte: Autora.**

Verificou-se que a temperatura exerceu influência na viscosidade da amostra e na velocidade de deposição, ou seja, a força sobre o êmbolo da seringa.

A diferença na viscosidade da amostra forçou o sistema de deposição da extrusora, danificando a arruela de ajuste de folga do equipamento (Figura 65); a

função dessa arruela era fazer o alinhamento das engrenagens, reduzir o atrito e minimizar a trepidação do equipamento.

**Figura 65 – Arruela da extrusora danificada.**



**Fonte: Autora.**

Outro aspecto observado, refere-se ao fato que as soluções de hidrocolóides também podem apresentar propriedades reológicas dependentes do tempo, principalmente, a tixotropia<sup>7</sup>. A viscosidade de suspensões densas é, fortemente, influenciada pelo arranjo das partículas em grandes frações volumétricas (ADITIVOS & INGREDIENTES, 2016).

## **Experimento 9 – Processo de geleificação de um espaguete de pêssego**

Durante a preparação do experimento houve o cuidado de obter uma mistura homogênea.

O tamanho e a espessura do fio do espaguete dependem da mangueira plástica utilizada. Por isso, observou-se que a extração do espaguete de

---

<sup>7</sup> Tixotropia é a designação dada para o fenômeno no qual um colóide muda sua viscosidade, seu estado de gel para sol ou sol para gel, apresentando uma alteração dependente do tempo em sua viscosidade.



pêssego não ocorreu como o esperado, pois a pressão exercida sobre a mangueira plástica fez com que ele quebrasse (Figura 66).

**Figura 66 – Espaguete de pêsego.**



**Fonte: Autora.**

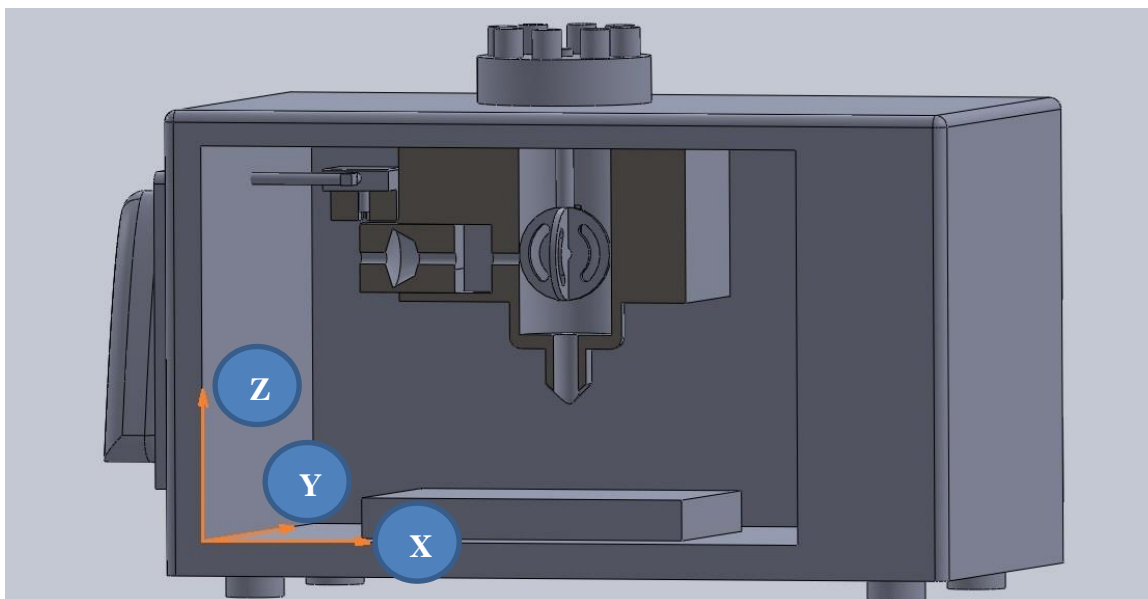
Observou-se que as técnicas utilizadas na gastronomia molecular podem contribuir com manufatura aditiva de refeições, transformar essências orgânicas em refeições.

A partir dos experimentos, os parâmetros que o projeto de uma impressora 3D deve contemplar o diâmetro do bico, pressão, fluidez, e a distância de deposição.

#### **4.5 Proposta da impressora para refeições**

A proposta dessa tese é uma impressora para refeições possui o aspecto e tamanho de um micro-ondas (Figura 66). Essa impressora tem como fundamento a extrusão de pastas semissólidas e a deposição em camadas. É composta por uma mesa de deposição (Figura 67-9) que desliza sobre o eixo X e Y e pode ter a altura regulada ao longo do eixo Z. Os eixos X, Y e Z são movimentados por motores de passo. A temperatura da mesa de deposição é controlada por um circuito eletrônico integrado. A câmara misturadora (Figura 67-6), reservatório de água (Figura 67-1) e bico de extrusão (Figura 67-8) são fixos.

**Figura 67 – Proposta da impressora para refeições.**



**Fonte: Autora.**

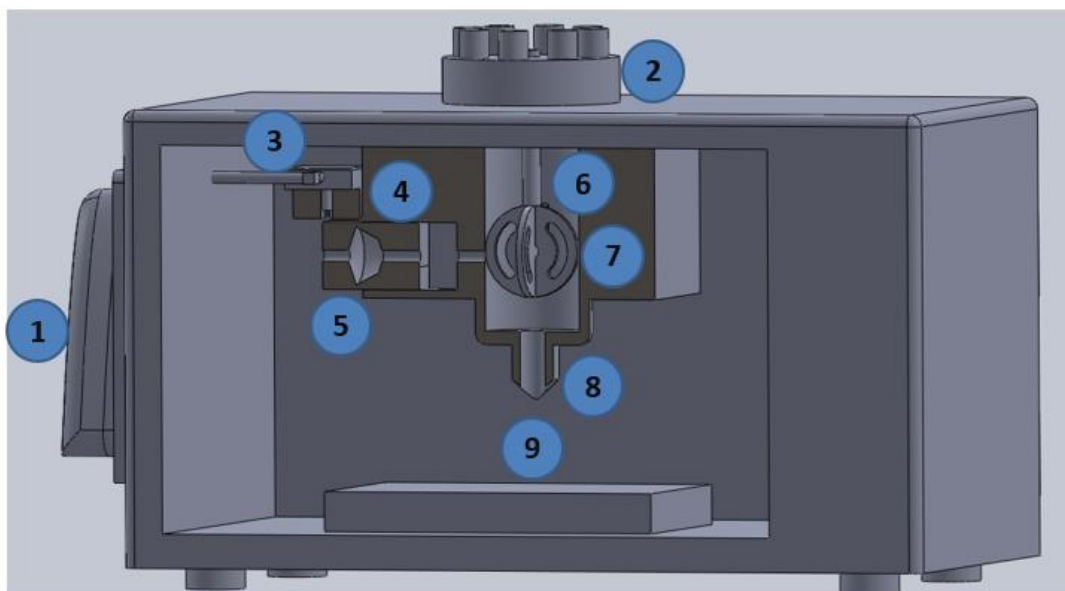
A cocção de cada tipo de refeição pode ser ajustada, sendo a alta (100%), média alta (85%) e média (70%). Essas possibilidades variam conforme os ingredientes e a espessura da refeição que será customizada.

Para evitar o sobreaquecimento dos componentes que compõe a impressora, após 30 minutos de uso contínuo, na potência alta, automaticamente sua potência mudará para média alta. Além disso, o equipamento possui um sistema de ventilação, nas laterais e na parte de baixo da impressora, para resfriar os componentes eletrônicos. A impressora possui um sistema de segurança e proteção que mantém a ventilação ligada por 15 segundos, após o término de programações superiores a 5 minutos, para resfriamento dos seus componentes.

A impressora também possui suportes para cápsulas, além de oferecer ao usuário a flexibilidade para inserir os ingredientes conforme as suas preferências e necessidades nutricionais. Também pode ser conectada na rede Wi-Fi doméstica, o que permite o acesso via dispositivos móveis, como *smartphones* e *tablets*, sem estar fisicamente ao lado do dispositivo. O aplicativo ePronto agrega valor à impressora para refeição.

A figura 68 representa a proposta da impressora 3D para refeições.

**Figura 68 – Impressora 3D para refeições: 1 – Reservatório de água; 2 – Carrossel giratório para armazenar os aditivos; 3 – Mangueira flexível; 4 – Manopla de fechamento com agulha retrátil embutida; 5 – Gaveta para cápsula; 6 – Câmara misturadora; 7 – Pás em formato de disco com encaixe perpendicular; 8 – Bico; 9 – Mesa de deposição.**



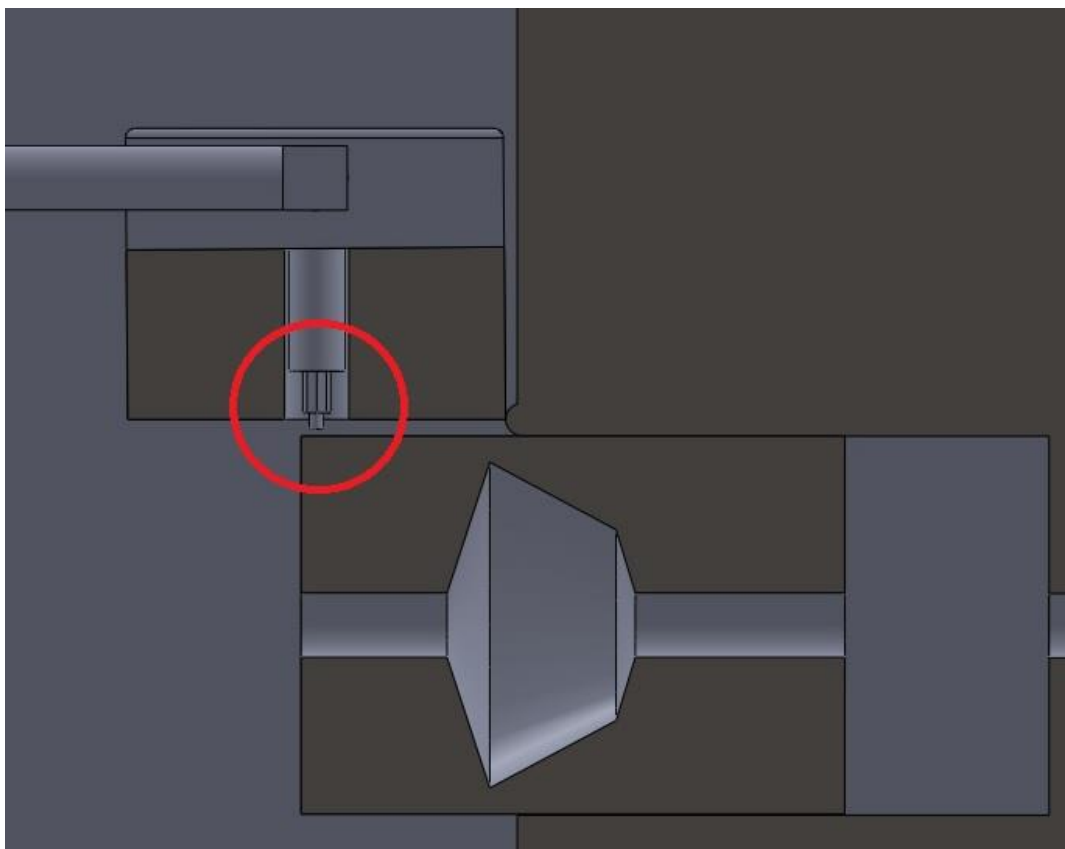
**Fonte: Autora.**

A proposta da impressora para refeições se diferencia dos dispositivos Virtuoso Mixer e Digital Fabricator, pertencentes ao projeto Cornucopia (ZORAN; COELHO, 2011), por unir os conceitos de carrossel giratório (Figura 68 -2) para acondicionar os aditivos com dosador, utilizando o sistema abre e fecha e cápsulas com ingredientes em um único projeto. Além disso, propõe-se: i) uma mangueira flexível que sai do reservatório de água, e é acoplada na manopla por uma conexão que conduz o fluido sob pressão, atravessando a cápsula, transportando a formulação até a câmara misturadora; ii) ajustes na temperatura da água, conforme o material da cápsula; iii) sistema de retrolavagem; iii) cápsulas recarregáveis; iv) elevação da mesa de deposição (Figura 68-9), para evitar o deslocamento da câmara misturadora, bico e outros elementos que estão em contato direto com o reservatório e o carrossel giratório para acondicionar os aditivos; iv) sistema de pás; v) IoT; vi) sistema de segurança e refrigeração. Sabe-se que o projeto Cornucopia está sendo patenteado, mas detalhes de quais refeições serão impressas e o sistema de deposição não foram revelados.

As cápsulas que contêm pastas semissólidas, vendidas separadamente, e são encaixadas no suporte, onde um mecanismo integrado de

pressa rompe os lacres das embalagens. A gaveta para acondicionar as cápsulas possui uma manopla de fechamento, dotada de agulha retrátil embutida para perfurar e injetar água no interior da cápsula (Figura 69).

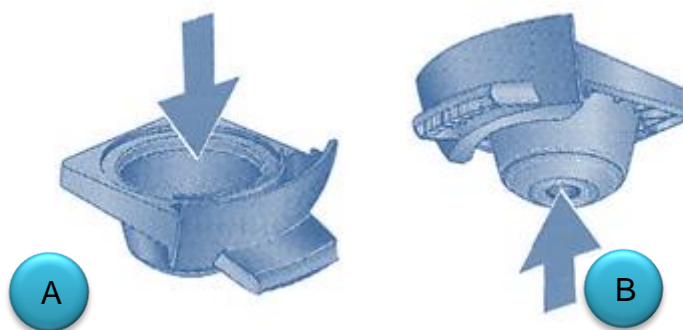
**Figura 69 – Agulha retrátil para perfurar e injetar água no interior da cápsula.**



**Fonte: Autora.**

Na câmara misturadora, a pasta semissólida recebe os aditivos que conferem ou intensificam a cor da refeição digital. Observa-se que os tamanhos das cápsulas (Figura 70) são ilustrativos, podendo estar fora de escala.

**Figura 70 – A: suporte para a cápsula; B: saída da pasta semissólida.**



**Fonte: Autora.**

A câmara misturadora é dotada de duas pás em formato de disco com encaixe perpendicular para misturar o conteúdo da cápsula aos aditivos. O resultado dessa mistura é uma pasta homogeneizada. Após esse processo, as pás se transformam em embolo para esvaziar a totalidade da pasta contida na câmara misturadora e pressionar a mistura para o bico.

Pensando na quantidade de resíduos, gerados pelas embalagens, existe ainda a possibilidade de adquirir cápsulas recarregáveis, com lacre de silicone (Figura 71). Observa-se que os tamanhos das cápsulas recarregáveis são ilustrativos, podendo estar fora de escala.

**Figura 71 – Cápsulas recarregáveis, com lacre de silicone.**



**Fonte: Autora.**

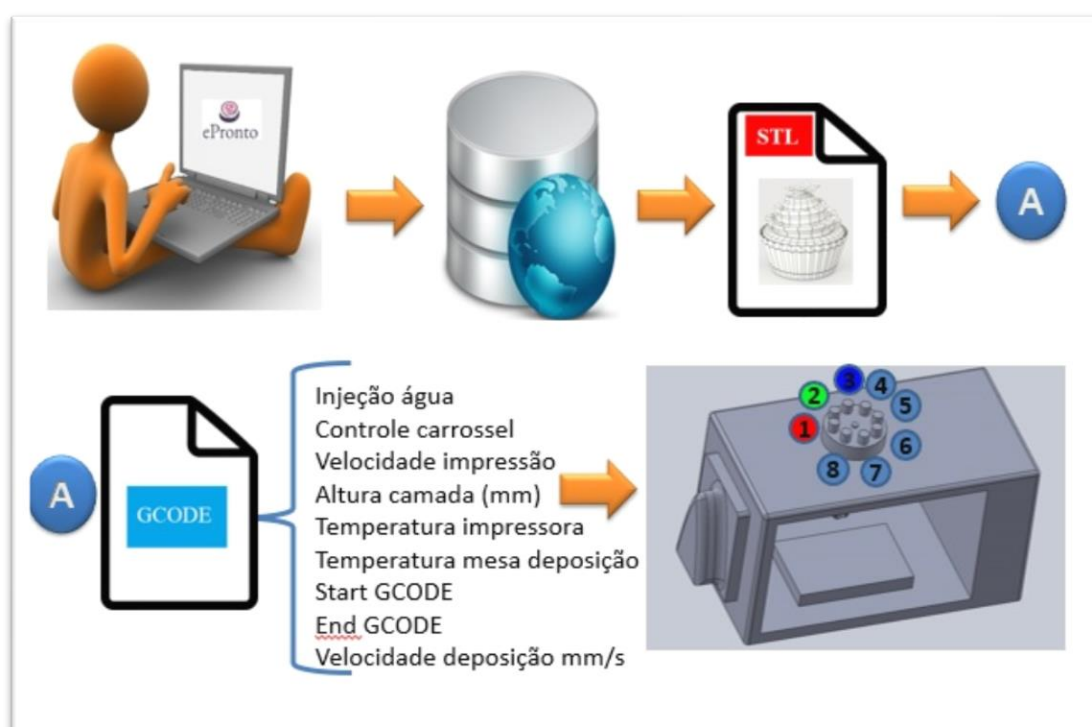
A impressora para refeições também oferece a flexibilidade para os usuários realizarem a pré-produção de seus alimentos, abastecendo as cápsulas de silicone com pastas semissólidas, encaixando-as na gaveta. Ressalta-se que a função da manopla é garantir a segurança do dispositivo, pois durante a impressão uma trava é acionada impedindo a abertura da gaveta.

Salienta-se que ambos os tipos de cápsulas, descartáveis ou recarregáveis, são passíveis de reciclagem, para isso basta abri-las e separar o material plástico do orgânico, lembrando que essa limpeza delas pode ser realizada por um detergente comum. Dessa forma, essas embalagens podem ser descartadas para reciclagem em pontos de coleta.

As especificações da impressora dependem das características da pasta semissólida e a receita determina o funcionamento da impressora. Toda receita está associada a um algoritmo que especifica a ordem dos aditivos e os processos.

O processo de personalização inicia quando o usuário, devidamente autorizado, faz o login no sistema ePronto, para ter acesso a base de dados onde estão as receitas ou através da interface de personalização escolhe os parâmetros desejados para compor a sua refeição. Esse arquivo em formato .STL é convertido em GCODE. O GCODE, armazena os parâmetros para a injeção da água, controle do carrossel giratório, velocidade impressão, altura camada (mm), temperatura interna da impressora, temperatura da mesa de deposição, Start GCODE, End GCODE e a velocidade de deposição mm/s (Figura 72).

**Figura 72 – Dinâmica de personalização das refeições digitais.**



Fonte: Autora.

Contudo, para atender aos anseios da sociedade, cada vez mais em busca da conectividade e da convergência de múltiplas tecnologias, viabilizada pelo avanço das redes sem fio, a impressora para refeições integra o conceito de IoT. Esse conceito envolve desde a comunicação sem fio, Internet, sistemas embarcados e microeletromecânicos (MEMS). Cada dispositivo é identificado, através do seu sistema de *software* embarcado, sendo capaz de interoperar com a infraestrutura da Internet existente.

Para Lemos (2013), a IoT é definida como:

É um conjunto de redes, sensores, atuadores, objetos ligados por sistemas informatizados que ampliam a comunicação entre pessoas e objetos e entre objetos de forma autônoma, automática e sensível ao contexto. Objetos passam a “sentir” a presença de outros a trocar informações e a mediar ações entre eles e entre humanos segundo (LEMOS, 2013, p. 239).

Destaca-se que a miniaturização e popularização de sensores viabilizam a coleta e transmissão de dados, com estimativa de mais de 40 bilhões de dispositivos conectados em 2020 (ABI RESEARCH, 2013 *apud* ALMEIDA, 2015).

Dessa forma, a computação em nuvem e a IoT caminham juntas para estabelecer o novo cenário de tecnologia mundial, afinal toda a infraestrutura da IoT pode ser virtualizada, criando acesso onipresente a todos os dispositivos através de uma única interface.

Além de privacidade e segurança, infraestruturas de computação em nuvem deverão atingir cada vez mais um nível de interface amigável ao usuário. Mecanismos de *self-service* serão indispensáveis, assim como no conceito utilizado na impressão de refeições personalizadas.

## CONCLUSÕES

Esta tese teve como objetivo geral responder à seguinte questão: “como definir uma refeição digital?”

Para responder à pergunta da pesquisa, foi proposto um modelo para definir refeições digitais que reúne um conjunto de parâmetros e propriedades sensoriais dos alimentos e todo o processo de customização de uma refeição; por meio dele os indivíduos conseguem antever o prazer alimentar, personalizando características que proporcionam um equilíbrio entre as características sensoriais, organolépticas e nutricionais. Esse modelo tem aplicabilidade abrangente, pois os parâmetros e características que o descrevem estão presentes em todas as refeições, podendo ser adotado em projetos controlados por aplicativos de uso doméstico e/ou industrial.

Outra contribuição dessa tese foi relacionar o modelo proposto aos três objetivos específicos descritos na seção 1.6.

A interface para dispositivos móveis, *tablets* e *smartphones* do aplicativo ePronto é capaz de simular as etapas que definem e antecedem a impressão de uma refeição digital personalizada, em um ambiente colaborativo de compartilhamento *online* de arquivos, utilizando uma abordagem focada na flexibilidade e conectividade da IoT.

A impressora 3D para refeições pode ser utilizada com o conjunto de ingredientes analisados, comuns no processamento de alimentos, combinados em proporções variáveis, atendendo os objetivos da fabricação de forma livre e sólida.

Como limitação, a pesquisa não contempla uma solução para um formato de arquivo único que inclua as extensões .STL e GCODE.

A partir das conclusões da tese, são discutidas as sugestões de trabalhos futuros: i) evolução da literatura; ii) proposta de uma matriz básica de ingredientes, ou seja, o refil da cápsula, incluindo novos materiais e sabores em combinações saudáveis e nutritivas; iii) controle dos micronutrientes e macronutrientes durante o processo de personalização de uma refeição digital.

Considera-se que a manufatura aditiva de refeições pode exercer influência significativa sobre os indivíduos, introduzindo novos designs, texturas, aromas, cores e experiências alimentares personalizadas.



As refeições digitais não irão sanar todas as necessidades nutricionais e muito menos substituir as técnicas de processamento de alimentos já existentes, mas tendem a complementar a nossa ingestão diária, com precisão, exatidão e controle.

## REFERÊNCIAS

- 3DERS. **Cambridge design studio Dovetailed invented a 3D fruit printer.** Disponível em: < <http://www.3ders.org/articles/20140524-cambridge-design-studio-dovetailed-launches-3d-fruit-printer.html>>. Acesso em: 28 jun. 2017.
- 3DPRINTERWORLD. **The atomium 3d food printer concept.** Disponível em: < <http://www.3dprinterworld.com/article/atomium-3d-food-printer-concept>>. Acesso em: 28 jun. 2017.
- 3DPRINTING.COM. **Researchers looking at food printing as potential solution to dysphagia.** Disponível em: < <https://3dprinting.com/food/researchers-looking-food-printing-potential-solution-dysphagia/>>. Acesso em: 28 jun. 2017.
- 3DSYSTEMS. **ColorJet Printing.** Disponível em: < <https://br.3dsystems.com/on-demand-manufacturing/colorjet-printing>>. Acesso em: 6 jul. 2017.
- ADITIVOS & INGREDIENTES. **Hidrocolóides.** Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3275078/mod\\_resource/content/1/Hidrocoloides\\_aditivos%20e%20ingredientes%20385.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3275078/mod_resource/content/1/Hidrocoloides_aditivos%20e%20ingredientes%20385.pdf)>. Acesso em: 28 mai. 2016.
- ALMEIDA, H. Internet das Coisas: Tudo conectado. **Revista da Sociedade Brasileira de Computação.** Revista Produção on-line. [on-line]. Edição 4. 6-8, São Paulo: SBC, 2015, abril 2015. Disponível em: <[http://www.sbc.org.br/images/flippingbook/computacaobrasil/computa\\_29\\_pdf/comp\\_brasil\\_2015\\_4.pdf](http://www.sbc.org.br/images/flippingbook/computacaobrasil/computa_29_pdf/comp_brasil_2015_4.pdf)>. Acesso em: 17 jul. 2017
- ANTUNES, A. E. C.; SILVA, E. R. A.; GRAEL MARASCA, E. T. G.; MORENO, I.; LERAYER, A.L.S. **Probióticos: Agentes promotores de saúde.** Journal Brazilian Soc. Food Nutrition, v. 32, n. 3, p. 103-122, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ALERGIA E IMUNOLOGIA. ASBAI. **Intolerância à lactose não é alergia ao leite.** Disponível em: < <http://www.asbai.org.br/secao.asp?s=81&id=1013>>. Acesso em: 30 mai. 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12806:** Análise sensorial dos alimentos e bebidas. Rio de Janeiro, 1993, 8p.
- ASSOCIAÇÃO DOS CELÍACOS DO BRASIL. ACELBRA. **Doença celíaca.** Disponível em: <<http://www.ancelbra.org.br/2004/doencaceliaca.php>>. Acesso em: 6 jul. 2017.
- AZEVEDO, F. M. **Estudo e projeto de melhoria em máquina de impressão 3D.** 2013. 48f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.
- BADARÓ, A. C. L.; GUTTIERRES, A. P. M.; REZENDE, A. C. V.; STRINGUETA, P.C. Alimentos Probióticos: Aplicações como promotores da saúde humana – Parte 1. **Revista Digital de Nutrição**, Ipatinga, v. 2, n. 3, 2008. Disponível em:

<[http://www.unilestemg.br/nutrirgerais/downloads/artigos/volume3/artigo\\_5\\_rng\\_alimentos\\_probioticos.pdf](http://www.unilestemg.br/nutrirgerais/downloads/artigos/volume3/artigo_5_rng_alimentos_probioticos.pdf)>. Acesso em: 15 jul. 2017

BARNATT, C. **3D Printing: Second Edition**. 2 ed. EUA: Createspace, 2014, 308 p.

BECHTHOLD L.; FISCHER V.; HAINZLMAIER A.; HUGENROTH D.; IVANOVA L.; KROTH K.; RÖMER B.; SIKORSKA E.; SITZMANN V. 2015. **3D Printing: A Qualitative Assessment of Applications, Recent Trends, and the Technology's Future Potential**. Munich: Technical University of Munich. Disponível em: <[http://www.e-fi.de/fileadmin/Innovationsstudien\\_2015/StuDIS\\_17\\_2015.pdf](http://www.e-fi.de/fileadmin/Innovationsstudien_2015/StuDIS_17_2015.pdf)> Acesso em: 22 jan. 2017.

BOBBIO, P.A.; BOBBIO, F.O. **Química do processamento de alimentos**. 3.ed. São Paulo: Livraria Varela, 1992. 143 p.

BOLAND, M. **Innovation in the food industry: Personalised nutrition and mass customization**. *Innovation: Management, Policy and Practice*, 10, n. 1, p. 53–60, 2008.

BOOCH, G; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. **UML, Guia do Usuário**: tradução; Fábio Freitas da Silva, Rio de Janeiro: Campus, 2000.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Especializada e Temática. **Manual de terapia nutricional na atenção especializada hospitalar no âmbito do Sistema Único de Saúde – SUS**. Brasília: Ministério da Saúde; 2016. Disponível em: <[http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual\\_terapia\\_nutricional\\_atencao\\_especializada.pdf](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_terapia_nutricional_atencao_especializada.pdf)>. Acesso em: 30 mai 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. **Portaria nº 540**, de 27 de outubro de 1997. Disponível em: <[http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/391619/PORTARIA\\_540\\_1997.pdf/3c55fd22-d503-4570-a98b-30e63d85bdad](http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/391619/PORTARIA_540_1997.pdf/3c55fd22-d503-4570-a98b-30e63d85bdad)>. Acesso em: 7 nov. 2015.

CAIVANO, S; FERREIRA, B. J.; DOMENE, S. M. A. **Avaliação da usabilidade do Guia Alimentar Digital móvel segundo a percepção dos usuários**. *Ciênc. saúde coletiva*, Rio de Janeiro, v. 19, n. 5, p. 1437-1446, May 2014. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/csc/v19n5/1413-8123-csc-19-05-01437.pdf>>. Acesso em: 14 jul. 2017.

CASTLEMAN, K. R. **Digital image processing**. New Jersey: Prentice Hall, 1996.

CERQUEIRA, T. S. **Recobrimentos comestíveis em goiabas cv. “Kumagai”**. Piracicaba, 2007. 70 p. Dissertação (Mestrado em Ciências de Alimentos) – Universidade de São Paulo – USP.

COHEN, D. L.; LIPTON, J.; CUTLER, M.; COULTER, D.; VESCO, A.; LIPSON, H. 2009. **Hydrocolloid printing: a novel platform for customized food production**. Austin, TX, USA: Solid Freeform Fabrication Symposium (SFF'09).

CORDEIRO, T. A comida do futuro. **Revista VEJA.com**, 6 mai. 2016. Disponível em: <<http://veja.abril.com.br/ciencia/a-comida-do-futuro/>>. Acesso em: 11 set. 2016.

CRUMP, S. S. **Fast, Precise, Safe Prototypes with FDM**. In: ASME Annual Winter Conference, 1991, 50, p. 53-60, USA: Atlanta.

CRUZ, D. L.; NACIF, M. **Elaboração de aplicativo de avaliação nutricional para telefones celulares com sistema Android**. Demetra: Food, Nutrition & Health / Alimentação, Nutrição & Saúde. 2015, Vol. 10 Issue 4, p977-988. 12p.

DAVID, T. H. C at al. 2017. **Biz model for 3D food printing Foodini 2.0**. Disponível em: <<https://www.slideshare.net/funk97/foodini-business-model>> Acesso em: 22 set. 2017.

DICIONÁRIO AURÉLIO [online]. Publicado em: 2016-09-24, revisado em: 2017-02-27. Disponível em: <<https://dicionariodoaurelio.com/refeicao>>. Acesso em: 19 Jul. 2017.

ESTELLER, M. S. **Modificações estruturais de produtos panificados por processos de tratamentos térmico e bioquímico**. 2007. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. 154p.

EVANGELISTA J. Definição e normas regulamentares. In: Evangelista J, organizador. **Tecnologia de alimentos**. 2ªEd. São Paulo: Editora Atheneu; 2000. p. 433-45.

FELL, D. A. 1979. **Videojet ink for printing on food products**. US Patent 4, 168, 662

FENACELBRA. **Alimentos proibidos e permitidos**. Disponível em: <<http://www.fenacelbra.com.br/fenacelbra/alimentos-proibidos-e-permitidos/>>. Acesso em: 28 jun. 2017.

FENNEMA, O. **Food Chemistry**. 3. ed. New York: Marcel Dekker, 1996. 1088p.

FERRARI, M. C. **Estudos de viabilidade sobre avaliação de qualidade de farinhas de trigo através de medidas das propriedades do glúten**. 1998. 111f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

FERREIRA, C. L. L. F. Benefícios das Culturas Lácticas Probióticas. In: OLIVEIRA, M. N. (Ed.). **Tecnologia de Produtos Lácteos Funcionais**. São Paulo: Editora Ateneu, 2009. p. 213-234.

FOOD INK. Disponível em: <<http://foodink.io/#eclectic>>. Acesso em: 6 jul. 2017.

FREIRE, Maria do Carmo Matias et al. Guias alimentares para a população brasileira: implicações para a Política Nacional de Saúde Bucal. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 28, p.20-29, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/csp/v28s0/04.pdf>>. Acesso em: 02 jul. 2017.

FUJIWARA, J.; IWANAMI, T.; TAKAHASHI, M.; TANAKA, R.; HATAKEYAMA, T.; HATAKEYAMA, H. Structural change of xanthan gum association in aqueous solutions. **Thermochimica acta**, v.352-353, p. 241-246, 2000.

GALISA, M. S.; ESPERANÇA, L. M. B.; SÁ, N. G. de. **Nutrição: Conceitos e Aplicações**. M.Books do Brasil editora Ltda., 1º ed., São Paulo, 2008.

GAVA, A. J. **Princípios de tecnologia de alimentos**. 7. ed. São Paulo: Nobel, 2010.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

GLAD, F.; EKEZIE, C. **3-D Printing technologies for food fabrication**, 2016. Disponível em: <<https://www.slideshare.net/apexflora/3d-printing-technologies-for-food-fabrication>> Acesso em: 26 de out. 2017.

GLOSSÁRIO DA CÂMARA TÉCNICA DE DOCUMENTOS ELETRÔNICOS. CTDE. **Documentos arquivísticos digitais**. 2016. v7, p.31. Disponível em: <[http://conarq.arquivonacional.gov.br/conarq/images/ctde/Glossario/2016\\_glosctde.pdf](http://conarq.arquivonacional.gov.br/conarq/images/ctde/Glossario/2016_glosctde.pdf)>. Acesso em: 14 jul 2017.

GRAY, N. 2010. **Looking to the future: creating novel foods using 3D printing**. Disponível em: <<http://www.foodnavigator.com/ScienceNutrition/Looking-to-the-future-Creating-novel-foods-using-3Dprinting>>. Acesso em: 23 dez. 2014.

GUANGLIN, F. **The 3D Solid Modeling Technology and Its Applications in Machine Design**. 2015. Disponível em: <[http://www.atlantispress.com/php/download\\_paper.php?id=18345](http://www.atlantispress.com/php/download_paper.php?id=18345)>. Acesso em: 25 mar. 2016.

GUEDES, G. T. A. **UML 2: Uma Abordagem Prática**. 1. ed. São Paulo: Novatec, 2011.

GUILLÉN S.; SANNA A.; NGO J.; MENEU T.; HOYO E. D., DEMEESTER M. New technologies for promoting a healthy diet and active living. **Nutr Rev.**, v. 67, n. 1, p. 107-110, 2009.

HASLER C. M. **Functional Foods for Health Program**, Department of Food Science and Human Nutrition da University of Illinois, Urbana, Illinois, Food Technology, 2000.

HAO L.; MELLOR S.; SEAMAN O.; HENDERSON, J.; SEWELL, N.; SLOAN, M. Material characterisation and process development for chocolate additive layer manufacturing. **Virtual and Physical Prototyping**, v.5, n. 2, p. 57–64, 2010.

HEALTH CANADA. **Dietary reference intakes and recommended dietary allowances**. Takes and reports; 2010. Disponível em: <[http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/alt\\_formats/hpfb-dgpsa/pdf/nutrition/dri\\_tables-eng.pdf](http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/alt_formats/hpfb-dgpsa/pdf/nutrition/dri_tables-eng.pdf)>. Acesso em: 20 jul. 2017.

HENDRY, L.C. Product customisation: an empirical study of competitive advantage and repeat business. **International Journal of Production Research**, v. 48, n 13, p. 3845-3865, 2010.

HIGUCHI, C. I. **Chitosan-Xanthan Hydrogel: a matrix of inclusion and the delivery of drugs**. 2002. 189 f. Tese (doutorado) – Département de génie chimique, Université de Sherbrooke, Québec, 2002.

HOFMAN, H. Review: Some Comments on Preservation Metadata and the OAI Model. **DigiCULT.Info** - A Newsletter on Digital Culture, n. 2, 2002. Disponível em: <<http://www.digicult.info/pages/index.php>>. Acesso em: 2 out. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS. IBGE. **Tabelas de composição nutricional dos alimentos consumidos no Brasil** [Internet]. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoadevida/pof/2008\\_2009\\_composicao\\_nutricional/default\\_zip.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoadevida/pof/2008_2009_composicao_nutricional/default_zip.shtm)>. Acesso em: 16 jul. 2017.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. ITAL. **Brasil Food Trends 2020**. São Paulo: ITAL/FIESP, 2010. 176 p. Disponível em: <[http://www.brazilfoodtrends.com.br/brasil\\_food\\_trends/](http://www.brazilfoodtrends.com.br/brasil_food_trends/)>. Acesso em: 8 jul. 2017.

IZDEBSKA, J.; ŻOŁEK-TRYZNOWSKA, Z. 3D food printing – facts and future. **Agro FOOD Industry Hi Tech** - vol. 27(2) - March/April 2016.

JIA F.; WANG X.; MUSTAFEE N.; HAO L. Investigating the feasibility of supply chain-centric business models in 3D chocolate printing: A simulation study. **Technological Forecasting and Social Change**. V. 102, p. 202–213, 2016.

KALLINIKOS, J.; AALTONEN, A.; MARTON, A. **A theory of digital objects**. **First Monday**, v. 15, n. 6, 2010. Disponível em: <<http://firstmonday.org/htbin/cgiwrap/bin/ojs/index.php/fm/article/view/3033/2564>>. Acesso em: 4 out. 2016.

KHURMA, J. R.; ROHINDRA, D. R.; NAND, A. V. Synthesis and Properties of Hydrogels Based on Chitosan and Poly (Vinyl Alcohol) Crosslinked by Genipin. **Journal of Macromolecular Science**, Part A: Pure and Applied Chemistry, v. 43, p. 749-758, 2006.

KINNEY, A. B.; SCRANTON, A. B. Superabsorbent Polymers. **ACS Symposium Series**, v. 573, p. 27–38, 1994.

KRAMER, T. R.; PROCTOR, F. M. **The NIST RS274NGC Interpreter**. 200.  
LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de Metodologia Científica**. São Paulo: Atlas, 2003.

LEANDRO, S. M.; PESSOA, J. D. Modelagem tridimensional de alimentos digitais. **Multiciência**. São Carlos, SP: Centro Universitário Central Paulista, v. 14, p. 21-34, Anual. ISSN 1413-8972, 2015.

LEANDRO, S. M.; PESSOA, J. D. Protótipo de aplicativo para dispositivos móveis compatível com uma impressora 3D de alimentos. **Multiciência**. São Carlos, SP: Centro Universitário Central Paulista, v. 15, p. 35-52, Anual. ISSN 1413-8972, 2016.

LEE, C. H.; SINGLA, A.; LEE, Y. Biomedical applications of collagen. **International Journal Pharmaceutics**, v. 221, p. 1-22, 2001.

LEMOS, A. **A Comunicação das Coisas: teoria ator-rede e cibercultura**. São Paulo: Annablume, 2013, 310 p.

LIM, M. **What does 3d printing bring to future kitchens?**, 2017. Disponível em: <<https://www.se3d.com/single-post/2017/03/06/What-Does-3D-Printing-Bring-to-Future-Kitchens>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

LIN, C. 3D food printing: a taste of the future. **Journal of Food Science Education**, 14, n. 3, p. 86–87, 2015.

LIU, F. W. Ed. **Rapid prototyping and engineering applications: a toolbox for prototype development**: CRC Press ed. 2007.

LIPTON J.; ARNOLD D.; NIGL F., et al. 2010. Multi-material food printing with complex internal structure suitable for conventional post-processing, in **Solid Freeform Fabrication Symposium**, Austin TX, USA.

LIPTON, J.; COHEN, D.; HEINZ, M.; LOBOVSKY, M. 2009. Fab@Home Model 2: towards ubiquitous personal fabrication devices. In: **Solid freeform fabrication symposium (SFF'09)**, Aug 3–5 2009, Austin, TX, USA.

LIPTON, J.; ARNOLD, D.; NIGL, F.; LOPEZ, N.; COHEN, D.; NORÉN, N. LIPSON, H. **Mutli-material food printing with complex internal structure suitable for conventional post-processing**. Disponível em: <<http://creativemachines.cornell.edu/sites/default/files/69-Lipton-Multimaterial%20food%20printing%20Final.pdf>>. Acesso: 18 mai. 2014.

LIRA, V. M. **Desenvolvimento de processo de prototipagem rápida via modelagem por deposição de formas livres sob temperatura ambiente de materiais alternativos**. 2008. 199f. Tese (Engenharia Mecânica) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

LUPTON, D.; TURNER, B. **Both Fascinating and Disturbing’: Consumer Responses to 3D Food Printing and Implications for Food Activism**. Digital Food Activism. London: Routledge, in press.

MANDALA, I. G.; PALOGO, E. D.; KOSTAROPOULOS, A. E. Influence of preparation and storage conditions on texture of xanthan-starch mixtures. **Journal of Food Engineering**, v. 53, p. 27-38, 2002.

MARTIN, I. S. M; FERNANDEZ, M. G; YURRITA, L. C. Aplicaciones móviles en nutrición, dietética y hábitos saludables: análisis y consecuencia de una tendencia a la alza. **Nutr. Hosp.**, Madrid, v. 30, n. 1, p. 15-24, jul. 2014. Disponível em: <<http://scielo.isciii.es/pdf/nh/v30n1/02revision01.pdf>>. Acesso em: 14 jul. 2017.

MELO, A. C. **Exercitando Modelagem em UML**. São Paulo: Brasport, 2006.

NACIONAL RESEARCH COUNCIL (USA). **Recommended Dietary Allowances**. 10.ed. Washington DC: National Academy Press, 1989. 284p.

NATURAL MACHINES. **Natural Machines**. Disponível em: <<https://www.naturalmachines.com>>. Acesso em: 22 jan. 2017.

NORMA ASTM, F-1. **Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies**. ASTM International, 2012.

PALLOTTINO, F.; HAKOLA, L.; COSTA, C.; ANTONUCCI, F; FIGORILLI, S. SEISTO, A; MENESATTI, P. Printing on Food or Food Printing: a Review. **Food Bioprocess Technol**, v. 9, n. 5, pp 725–733, 2016.

PALMA, E. J.; CICHELO, M. S. F.; PAVANELLI, A. P. **Emulsificantes em Panificação**, 2004, Oxiteno S/A Indústria e Comércio, 2004.

PEPPAS, N. A. Physiologically responsive hydrogels. **Journal of bioactive and Compatible Polymer**, v. 6, p. 241-246, 1991.

PETROVIC, Vojislav et al. **Additive layered manufacturing: sectors of industrial application shown through case studies**. International Journal of Production Research, v. 49, n. 4, p. 1061-1079, 2011.

PIXSWEET. **Custom 3D Ice Pops**. Disponível em: <<http://www.pixsweet.com/home/testimonials>>. Acesso em: 30 nov. 2017.

POLLOCK, I. Hyperactivity and food additives. **Bibl Nutr Dieta**, v.48, p. 81-89, 1991.

POLONIO, M. L. T.; PERES, F. **Consumo de aditivos alimentares e efeitos à saúde: desafios para a saúde pública brasileira**. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 25, n. 8, p. 1653-1666, Ago. 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/csp/v25n8/02.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2017.

POTTER, J. 2010. **Cooking for Geeks: Real Science, Great Hacks, and Good Food**. O'Reilly Media, Inc. ISBN 0-596-80588-8.

REVISTA FOOD INGREDIENTS BRASIL. **Agar-Agar, poderoso espessante e gelificante natural**. n. 14. 2010. Disponível em: <[http://revista-fi.com.br/upload\\_arquivos/201606/2016060964594001465322072.pdf](http://revista-fi.com.br/upload_arquivos/201606/2016060964594001465322072.pdf)>. Acesso em: 15 jul. 2017.

ROOS, K. B. Understanding and controlling the behavior of aroma compound in thermally processed foods. **Trends in Food Science and Technology**, v. 17, p. 236-243, 2006.

RUTZERVELD, C. Food & Concept Design, 2014. **Edible Growth**. Disponível em: <<http://www.chloerutzerveld.com/edible-growth-2014>>. Acesso em: 22 abr. 2017.



SABRA, W.; ZENG, A.P.; DECKWER, W.D. Bacterial alginate: physiology, product quality and process aspects. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 56, p. 315–325, 2001.

SACHS, E.; CIMA, M.; WILLIAMS, P.; BRANCAZIO, D.; CORNIE, J. Three dimensional printing: rapid tooling and prototypes directly from a CAD model. **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, v. 114, n. 4, p. 481–488, 1992.

SHIBAMOTO, T.; BJELDANES, L. F. **Introdução à Toxicologia dos Alimentos**. Tradução da 2ª Edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. 320 p.

SILVA, M. C.; THIRÉ, R. M.S.M.; PITA, V. J.R.R.; CARVALHO, C. W.P.; ANDRADE, C. T. Processamento de amido de milho em câmara de mistura. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 24, n. 2, p. 303-310, Jun. 2004 . Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-20612004000200025&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612004000200025&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 30 mai. 2017.

SILVA, K. **Uma visão geral sobre a Esferificação**, 2016. Disponível em: <<http://www.gastronomylab.com/dicas-e-receitas/sobre-a-esferificacao-2/>>. Acesso em: 25 nov. 2017.

SLOAN D. **Ways to Customize Your Food Online**, Mashable, 2011. Disponível em: <<http://mashable.com/2011/01/24/customize-food-online/>>. Acesso em: 30 mai. 2017.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE DIABETES. SBD. **O que é diabetes?** Disponível em: <<http://www.diabetes.org.br/publico/diabetes/oque-e-diabetes>>. Acesso em: 30 mai. 2017.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de Software**. 9ª Edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011. 529 p.

SPADOTI, L. M.; MORENO, I. Peptídeos bioativos de produtos lácteos. **Funcionais & Nutraceuticos**, São Paulo, n. 1, p. 26-38, 2008.

SUGIMURA T.; WAKABAYASHI K. Carcinogênios nos alimentos. In: Shills ME, Olson JA, Moshi S, Rossi C, organizadores. **Tratado de nutrição moderna na saúde e na doença**. v. II. 9ª Ed. Barueri: Editora Manole; 2003. p. 1343-5.

SUN, J.; PENG, Z.; YAN, L.; FUH, J. Y.; HONG, G. S. 3D food printing – An innovative way of mass customization in food fabrication. **International Journal of Bioprinting**, n. 1, p. 27–38, 2015.

SUN, J.; ZHOU, W.; HUANG, D.; FUH, J. Y.; HONG, G. S. An overview of 3D printing technologies for food fabrication. **Food and Bioprocess Technology**, p.1–11, 2015b.

SUN, J.; PENG, Z.; ZHOU, W.; FUH, J. Y.; HONG, G. S.; CHIU, A. A review on 3D printing for customized food fabrication. **Procedia Manufacturing**, 1, p. 308-319, 2015c.

TAKAGAKI, L. K. CAPÍTULO 3. Tecnologia de Impressão 3D. **Revista Inovação Tecnológica**, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 28 - 40, dez. 2012. ISSN 21792895.

TEIXEIRA, E.; MEINERT, E. M.; BARBETTA, P. A. **Análise sensorial de alimentos**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1987.

TEIXEIRA, L. V. Análise sensorial na indústria de alimentos. **Rev. Inst. Latic. "Cândido Tostes"**, Jan/Fev, n 366, v. 64, p. 12-21, 2009.

TERFANSKY, M.; THANGAVELU, B.; FRITZ, B.; KHOSHNEVIS, B. 3D Printing of Food for Space Missions. **AIAA SPACE 2013 Conference and Exposition**; San Diego, CA; September 10–12, 2013. San Diego, CA: University of Southern California.

TNO. **3D Food Printer Food Printing**: The Barilla collaboration. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/20150225-presentation-jan-sol.pdf>>. Acesso em: 6 jul. 2017.

UENOJO, Mariana; PASTORE, Gláucia Maria. Pectinases: aplicações industriais e perspectivas. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 388-394, abr. 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422007000200028&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422007000200028&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 24 nov. 2017.

VAN BOMMEL, K.; SPICER, A. **Hail the snail**: hegemonic struggles in the slow food movement. *Organization Studies*, 32, n. 12, p. 1717–1744, 2011.

VEGA, C.; CASTELLS, P. **Spherification**. In: Vega, C., Ubbink, J., Vander Linden, E, (Eds.). *The Kitchen as the Laboratory*. Columbia University Press, New York, p. 25- 32, 2012.

VERMESAN, O.; FRIESS, P. **Internet of Things**: Global Technological and Societal Trends. Ed. Aalborg River Publishers, 2011, p. 348.

VOLPATO, N., Ed. **Prototipagem Rápida**: Tecnologias e Aplicações: EDGARD BLUCHER, p. 272, 1 st. ed. 2007.

WALTERS, P.; HUSON, D.; SOUTHERLAND, D. 2011. **Edible 3D printing**, In: *Proceedings of 27th international conference on digital printing technologies*, October 2011, Minnesota, USA.

WANG, S. An analysis of manufacturers supply and demand uncertainty based on the dynamic customisation degree. **International Journal of Production Research**, v. 49, n.10, p. 3023–3043, 2011.

WEGRZYN T. F.; GOLDING M.; ARCHER R. H. Food Layered Manufacture: A new process for constructing solid foods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 2, n. 2, p. 66–72, 2012.

WILKENING, V.; DEXTER, P.; LEWIS, C. Labelling foods to improve nutrition in the United States. **Food Nutrition and Agriculture**, Rome, v.4, n.10, p.38-43, 1994.

YANG, J.; WU, G.L.; LIU, J. **Rapid prototyping and fabrication method for 3-D food objects**, U.S. Patent, No. 6280785, 2001.

YOUNG, R. J. **Machine and method for printing on surfaces of edible substrates**. US Patent 6,058,843, 2000.

ZORAN, A.; COELHO, M. **Cornucopia: the concept of digital gastronomy**. Leonardo; vol. 44, n. 5, p. 425-431, 2011.

**ANEXO A – ANÁLISE COMPARATIVA DOS ESTUDOS SOBRE AS TENDÊNCIAS DE CONSUMO MUNDIAL, ELABORADA POR PESQUISADORES E INSTITUTOS DE REFERÊNCIAS.**

PESQUISAS E ESTUDOS ANALISADOS	TENDÊNCIAS COMUNS IDENTIFICADAS				
	Sensorialidade e prazer	Saudabilidade e bem-estar	Conveniência e praticidade	Confabilidade e qualidade	Sustentabilidade e ética
Strategic research Agenda 2007-2020 (ETP, 2007)	X	X	X	X	X
Canadian Food Trends to 2020 – A long range Consumer Outlook (Canadá, 2005)	X	X	X		
Food 2020: The Consumer as CEO (FOOD 2020, 2009)	X	X			
Issues, Trends and Challenges Facing the Food and Drink Industry – forecasts to 2014 (juST-FOOD, 2009)			X	X	X
Global market review of new Product Development Strategies in The Food and Drink Industry – forecasts to 2013 (juST-FOOD, 2008)	X	X	X		
World Innovation Panorama – 2009 (XTC World Innovation, 2009)	X	X	X	X	X
Analyse wichtiger zukunftsthemen der lebensmittelindustrie und-forschung (EISnEr, 2008)	X	X	X	X	X
Trends and Drivers of Change in the Food and Beverage Industry in Europe: mapping report (EurOFOunD, 2006)			X	X	X
Tendências da Alimentação Contemporânea (Barbosa, 2009)	X	X			X

**Fonte: ITAL, 2010.**

**APÊNDICE A – PRINCIPAIS FUNÇÕES DOS ADITIVOS ALIMENTARES**

<b>Categoria</b>	<b>Função</b>
<b>Acidulante</b>	Aumenta a acidez ou confere um sabor ácido aos alimentos.
<b>Agente de Firmeza</b>	Torna ou mantém os tecidos de frutas ou hortaliças firmes ou crocantes, ou interage com agentes geleificantes para produzir ou fortalecer um gel.
<b>Agente de Massa</b>	Proporciona o aumento de volume e/ou da massa dos alimentos, sem contribuir significativamente para o valor energético do alimento.
<b>Antiumectante</b>	Reduz as características higroscópicas dos alimentos e diminuir a tendência de adesão, umas às outras, das partículas individuais.
<b>Aromatizante</b>	Substância ou mistura de substâncias com propriedades aromáticas e/ou sápidas, capazes de conferir ou reforçar o aroma e/ou sabor dos alimentos.
<b>Corante</b>	Confere, intensifica ou restaura a cor de um alimento.
<b>Conservador</b>	Impede ou retarda a alteração dos alimentos provocada por microrganismos ou enzimas.
<b>Edulcorante</b>	Substância diferente dos açúcares, confere sabor doce ao alimento.
<b>Emulsionante/ Emulsificante</b>	Torna possível a formação ou manutenção de uma mistura uniforme de duas ou mais fases imiscíveis no alimento.
<b>Espessantes</b>	Aumenta a viscosidade de um alimento.
<b>Estabilizante de cor</b>	Estabiliza, mantém ou intensifica a cor de um alimento.
<b>Geleificante</b>	Confere textura através da formação de um gel.
<b>Estabilizante</b>	Torna possível a manutenção de uma dispersão uniforme de duas ou mais substâncias imiscíveis em um alimento.
<b>Realçador de Sabor</b>	Ressalta ou realça o sabor/aroma de um alimento.
<b>Regulador de Acidez</b>	Altera ou controla a acidez ou alcalinidade dos alimentos.
<b>Umectante</b>	Protege os alimentos da perda de umidade em ambiente de baixa umidade relativa ou que facilita a dissolução de uma substância seca em meio aquoso.

Fonte: BRASIL, PORTARIA SVS/MS Nº 540, DE 27 DE OUTUBRO DE 1997, 1997; adaptado.

**APÊNDICE B – DEFINIÇÕES DOS PARÂMETROS MECÂNICOS DA TEXTURA.**

<b>Propriedade</b>	<b>Definições</b>	<b>NBR 12806</b>
<b>Adesividade</b>	<b>Física:</b> trabalho necessário para vencer as forças de atração entre a superfície do alimento e a superfície dos outros materiais que o alimento entra em contato.	Baixa: marshmallow; média: bala tipo tofe; alta: caramelo (confeitaria).
	<b>Sensorial:</b> força requerida para se retirar o material aderido ao palato ou dentes durante seu consumo.	
<b>Coesividade</b>	<b>Física:</b> força que pode deformar um material antes de se romper.	Propriedade percebida na cavidade oral em relação ao ponto-limite em que o material pode ser deformado antes de se partir.
	<b>Sensorial:</b> grau até o qual se comprime uma substância antes de rompê-la.	
<b>Dureza</b>	<b>Física:</b> força necessária para deformar o alimento.	Força necessária para obter uma deformação, penetração e/ou cisalhamento: macio-baixa: resistência: (queijo cremoso); firme-média: resistência (azeitona); duro-alta: resistência (bala vitrificada).
	<b>Sensorial:</b> força requerida para comprimir um alimento na boca até sua ruptura.	
<b>Elasticidade</b>	<b>Física:</b> taxa a qual um material deformado regressa a sua condição inicial depois de retirar a força deformante.	Termo correspondente mastigabilidade, interação de dureza, coesão e elasticidade.
	<b>Sensorial:</b> grau ao qual regressa um produto a sua forma original uma vez que já tenha sido comprimido pelos dentes.	
<b>Fibroso, celuloso ou cristalino</b>	_____	Percepção da forma e da orientação das partículas de um produto: fibroso (palmito, manga espada); celuloso (gomos de laranja); cristalino (açúcar cristal).
<b>Fraturabilidade</b>	<b>Física:</b> força com que um material é fraturado. Resultado de um baixo grau de coesividade e de um alto grau de dureza.	Esfarelento: bolo de fubá; crocante: maçã; quebradiço: pé-de-moleque, confeito.
	<b>Sensorial:</b> força necessária para que o produto se esmigalhe, esfarele ou desintegre.	

Propriedade	Definições	NBR 12806
<b>Gomosidade</b>	<b>Física:</b> força necessária para desintegrar um produto semissólido a fim de torná-lo pronto para ser ingerido. Resultado de um baixo grau de dureza e alto grau de coesividade.	Baixa: batata e feijão cozidos; Média: mistura de água com farinha; Alta: flocos de aveia bem cozidos; Farinhento, pastoso, gomoso.
	<b>Sensorial:</b> densidade que persiste durante a mastigação; energia necessária para desintegrar um alimento semissólido para um estado pronto para engolir.	
<b>Mastigabilidade</b>	<b>Física:</b> força necessária para mastigar um alimento sólido para um estado pronto para engolir.	Baixa (ervilhas frescas); Média (goma de mascar); Alta (carne de boi velho).
	<b>Sensorial:</b> tempo necessário (em segundos) ou número de mordidas necessárias para mastigar um alimento a fim de torná-lo pronto para ser ingerido.	
<b>Oleoso, gorduroso</b>	_____	Percepção do teor de gordura de um produto, tanto natural como adquirido na preparação: oleoso (bolinho frito em óleo, pingado-de-chuva); gorduroso (salame).
<b>Plástico, elástico</b>	_____	Velocidade de recuperação após cessar a aplicação de uma força deformante. Exemplos: plástico (margarina cremosa); elástico (maria-mole).
<b>Seco, úmido, aquoso, suculento</b>	_____	Percepção da quantidade de umidade absorvida ou liberada por um alimento. Exemplos: seco: biscoito tipo água e sal; úmido: caqui; aquoso: melancia, melão; suculento: laranja, carne.
<b>Viscosidade</b>	<b>Física:</b> taxa de fluxo por unidade de força.	Resistência ao escoamento: Baixa: água; Média-baixa: leite; Média: creme de leite; Alta: leite condensado.
	<b>Sensorial:</b> força requerida para remover um líquido de uma superfície.	

Fonte: ANZALDÚA-MORALES, 1994 *apud* TEIXEIRA, 2009; ABNT (1993).

**APÊNDICE C – ALIMENTOS PERMITIDOS E PROIBIDOS PARA OS CELÍACOS**

<b>Grupo de alimento</b>	<b>Contém glúten</b>	<b>Isentos de glúten</b>
Grãos e Farinhas	Trigo, centeio, cevada, aveia e malte, farinha, farelo e gérmen de trigo, farelo de aveia, farinha de rosca, trigo de quibe.	Arroz (e farinha de arroz e creme de arroz), milho (e maisena), quinoa, amaranto, trigo sarraceno.
Tubérculos (farinhas)	Farofa industrializada.	Batata, batata doce, aipim (mandioca), inhame, cará, polvilho (doce e azedo), goma de tapioca, fécula de batata, sagu, araruta
Condimentos	Molho <i>shoyu</i> contendo trigo (a maioria das marcas).	Alho, cebola, tomate, pimentão, pimenta em grão, alecrim, salsa, cebolinha, tomilho, orégano, manjericão, sálvia.
Doces	Chocolate contendo malte	Chocolate amargo, geleia de frutas sem adição de açúcar, alfarroba.
Frutas, hortaliças (legumes e verduras)	-	Todas
Gorduras	-	Azeite de oliva

Fonte: FENACELBRA, 2017); adaptado.