

Programa de Pós-Graduação em Design (PPGD)
MESTRADO EM DESIGN

**PRODUÇÃO DE FILME DE CELULOSE BACTERIANA COM
RESÍDUO CERVEJEIRO PARA APLICAÇÃO EM
EMBALAGENS DE ALIMENTOS**

ELENA RAQUEL AMATO ELLWANGER

Orientadora: Profa. Dra. Caroline Salvan Pagnan

Belo Horizonte
2022

ELENA RAQUEL AMATO ELLWANGER

**PRODUÇÃO DE FILME DE CELULOSE BACTERIANA COM
RESÍDUO CERVEJEIRO PARA APLICAÇÃO EM
EMBALAGENS DE ALIMENTOS**

Documento apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Design, na linha de tecnologias, materiais e ergonomia, da Universidade do Estado de Minas Gerais, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Design.

Orientadora: Profa. Dra. Caroline Salvan Pagnan
ESCOLA DE DESIGN - UEMG

Belo Horizonte

2022

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, professora Caroline Salvan Pagnan, pelo apoio, confiança e comprometimento com o trabalho. Por dividir seus conhecimentos, por guiar o meu trabalho com profissionalismo e abertura, me permitindo descobrir o meu próprio caminho.

À Escola de Design da Universidade do Estado de Minas Gerais, pelos ensinamentos, tanto acadêmicos como pessoais.

À professora Eliane Ayres e aos meus colegas do PPGD pelo seu apoio e acessibilidade, por ter disponibilizado seu tempo, compartilhado conhecimento, experiências e recursos generosamente. Agradeço em especial ao meu colega Lauro Cohen pela amizade, pelos conselhos e por ter sido meu apoio durante esta jornada.

Ao professor José Guilherme Prado Martin e ao Laboratório de Microbiologia de Produtos Fermentados da Universidade Federal de Viçosa (FERMICRO/UVG) pela abertura e disponibilidade na realização de testes que foram muito importantes para o desenvolvimento da pesquisa.

À minha família, Júlia e Ana Paula pelo apoio e amor incondicional e por me motivar a sempre dar o meu melhor.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

O presente trabalho objetivou reaproveitar o *trub* (resíduo cervejeiro) oriundo de empresas da Região Metropolitana de Belo Horizonte, para o desenvolvimento de um filme transparente de celulose bacteriana. Na etapa experimental, foi realizado o estudo das variáveis do cultivo da celulose bacteriana, processamento do material para a obtenção do filme e sua caracterização. Na fase de aplicação, projetou-se uma embalagem para o pimentão “Palermo” da empresa mineira Vista Alegre. O projeto explorou, por meio de práticas transdisciplinares, a conexão entre o design de materiais e a biotecnologia, de modo a corresponder à demanda de pessoas que buscam produtos desenvolvidos com materiais que, além de reduzir o impacto ambiental ocasionado pelo seu consumo, contribuam para o desenvolvimento econômico e social.

PALAVRAS-CHAVE:

Design. *Trub*. Biofabricação. Economia Circular.

ABSTRACT

This dissertation aimed to reuse *trub* (beer brewery waste) produced by companies in the Metropolitan Region of Belo Horizonte in order to develop a transparent film with bacterial cellulose. The variables of the bacterial cellulose culture were studied in the experimental phase of this work. The material was processed in order to obtain the film, which was characterized later. In the application phase, a packaging for the “*Palermo*” pepper of Vista Alegre, which is a company from Minas Gerais, was designed using the transparent film developed in the previous phase. This work explored the connection between material design and biotechnology through transdisciplinary practices in order to meet the demand of people who are seeking for products developed with materials that reduce the environmental impact and contributes to social and economic development.

KEYWORDS:

Design. *Trub*. Biofabrication. Circular Economy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Pirâmide de requisitos no projeto de produto	6
Figura 2 – Subdivisões do caráter do produto	7
Figura 3 – Comparação temporal entre materiais tradicionais industriais e <i>growing materials</i> .	13
Figura 4 – Biocompósito de celulose bacteriana (a); Tingimento com bactérias (b); Tijolos de micélio (c); Têxtil com algas fotossintéticas (d); Substituto de couro cultivado com micélio (e).....	14
Figura 5 – Micrografia de tecido de nanofibras de CB	15
Figura 6 –Polimerização da celulose	17
Figura 7 – Síntese de celulose bacteriana	18
Figura 8 – Micrografia da colônia de <i>Komagataeibacter</i> e <i>Saccharomyces</i>	19
Figura 9 – CB cultivada no processo estático	20
Figura 10 – Modelo da biossíntese de CB elaborado pela American Society for Microbiology .	23
Figura 11 – Metabolismo e preparação do Kombucha	24
Figura 12 – Unidades de colônias de <i>G. xylinus</i> nas películas de CB após tratamento	30
Figura 13 – Nata de coco	31
Figura 14 – Bolsa (a); Sandália (b); Revestimento de banqueta (c); Bolsa (d).....	33
Figura 15 – <i>Nullarbor</i> TM (a); <i>JelliGrow</i> TM (b)	34
Figura 16 – Cabedal produzido com o processo de tecelagem microbiana	34
Figura 17 – Capa de celular (a); Absorvente (b); Embalagem de chips (c); Bolsa (d).....	35
Figura 18 – Embalagem de CB cultivada com resíduo de frutas	36
Figura 19 – Embalagem de sabonete feito pela empresa <i>Make Grow Lab</i>	37
Figura 20 – Número de publicações por ano sobre celulose bacteriana	38
Figura 21 – Etapas da produção de cerveja e seus sub-produtos	39
Figura 22 – Perda de alimento na cadeia de suprimento para os EUA, Canadá, Austrália e Nova-Zelândia.....	46
Figura 23 – Local de compra e fonte de informação de produtos orgânicos	48
Figura 24 – Curva de tensão – deformação das películas de CB com glicerol (G) e PEGFONTE: Sun, <i>et al.</i> , 2018.....	53
Figura 25 – Esquema dos elementos de um espectrofotômetro.....	57
Figura 26 – Espaço CIE L*A*B*	58
Figura 27 – Representação geométrica do ângulo de tonalidade e Chroma.....	59

Figura 28 – Etapas envolvidas	60
Figura 29 – <i>Trub</i> seco da produção de cerveja tipo Pilsen	61
30 – Nomenclatura das amostras	62
Figura 31 – Fluxo de análise de fatores para a obtenção da CB	63
Figura 32 – Ciclos de testes para a obtenção de CB	64
Figura 33 – Fluxo de análise de fatores para a obtenção do filme de CB	67
Figura 34 – Ciclos de testes para a obtenção de filme de CB	67
35 – Amostra do filme de CB sobre base utilizada como padrão para a análise da transparência	73
Figura 36 – Layout da análise sensorial.....	74
Figura 37 – Peso e espessura da CB úmida no ciclo C1, variando apenas o teor de açúcar ...	78
Figura 38 – Peso e espessura da CB úmida C2, variando a concentração de inóculo	80
Figura 39 – Produção de CB nas amostras C2c 1 (10% v/v de inóculo), C2c2 (20% v/v de inóculo), C2c3 (40% v/v de inóculo)	81
Figura 40 – Cultivo de CB com <i>trub</i> para a obtenção dos filmes	82
Figura 41 – Películas de CB úmidas na superfície de secagem.....	82
Figura 42 – Curvas do DSC das amostras de celulose produzida com chá e açúcar (a) e com <i>trub</i> (b)	84
Figura 43 – MEV do filme de CB cultivado <i>trub</i>	85
Figura 44 – MEV das bactérias <i>Komagataeibacter hansenii</i> (a) e <i>Gluconoacetobacter</i> sp. (b). ..	85
Figura 45 – MEV das bactérias <i>Gluconacetobacter hansenii</i> 53582 (a), <i>Gluconacetobacter xylinus</i> 700178 (b) e <i>Komagataeibacter rhaeticus</i> iGEM (c).....	86
Figura 46 – Resistência à tração dos filmes do F1 e PVC	86
Figura 47 – Deformação dos filmes do F1 e PVC	87
Figura 48 – Resistência à tração dos filmes do F2 e PVC	89
Figura 49 – Deformação dos filmes do F2 e PVC	89
Figura 50 – Amostra de CB com glicerol.....	91
Figura 51 – Películas de CB cultivadas com <i>C. sinensis</i> (a); beterraba (b); <i>trub</i> (c).....	91
Figura 52 – Filme de CB sem plastificante (amostra superior) e com plastificante (amostra inferior).....	92
Figura 53 – Variação de cor (ΔE^*) entre os filmes do F1 e a superfície padrão	93
Figura 54 – Gráfico refletância – comprimento de onda F1a, F1b, F1c.....	94
Figura 55 – Variação de cor (ΔE^*) entre os filmes do F2, PVC e a superfície padrão.....	95
Figura 56 – Gráfico refletância – comprimento de onda F2a, F2b, PVC	95

Figura 57 – Filme de CB com PEG 600 plastificante (amostra superior) e com glicerol (amostra inferior)	96
Figura 58 – Posicionamento das amostras dos filmes no plano cartesiano do espaço de cor CIElab	97
Figura 59 – Análise sensorial dos materiais	98
Figura 60 – Planificação e ilustração da bandeja de papelão	100
Figura 61 – Uso de adesivo colado no filme de PVC da embalagem	100
Figura 62 – Logo Vista Alegre	101
Figura 63 – Painel Identidade Visual	102
Figura 64 – Pimentão Palermo	105
Figura 65 – Página 1 dos desenhos dos elementos da embalagem	108
Figura 66 – Página 2 dos desenhos dos elementos da embalagem	109
Figura 67 – Página 3 dos desenhos dos elementos da embalagem	110
Figura 68 – Modelo físico tridimensional	111
Figura 69 – Moldagem do biocompósito de casca de banana a temperatura ambiente	112
Figura 70 – Moldagem de polpa de casca de banana em estufa ventilada	114
Figura 71 – Exemplo de contraste visual que permite a cor escura do biocompósito	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição de resíduos da produção de cerveja	40
Tabela 2 – Aumento da vida útil de vegetais através de sistemas de embalagens flexíveis	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparativo de cultivos com fontes alternativas de nutrientes	26
Quadro 2 - Comparativo de purificação e secagem utilizados	28
Quadro 3 – Diretrizes para o Design de Sistemas e Embalagens Sustentáveis	42
Quadro 4 – Funções da embalagem	43
Quadro 5 – Taxa de respiração relativa de alguns vegetais frescos	49
Quadro 6 – Grupos microbianos majoritários	61
Quadro 7 – Composição química e características físico-químicas da água mineral Ingá	65
Quadro 8 – Planificação de experimentos para a obtenção de CB	66
Quadro 9 – Planificação de experimentos para a obtenção do filme de CB	68
Quadro 10 – Caracterizações	69
Quadro 11 – Métodos utilizados para determinar a composição centesimal do <i>trub</i>	70
Quadro 12 – Composição centesimal do <i>trub</i>	76
Quadro 13 – Resultados dos testes da obtenção da CB	77
Quadro 14 – Valores de °Brix inicial e final na fermentação de Kombucha utilizando infusões diferentes	78
Quadro 15 – Resultados da espectrofotometria realizada nos filmes	93
Quadro 16 – Análise de concorrentes	103
Quadro 17 – Requisitos do projeto	106
Quadro 18 – Teste de termoprensagem do material de casca de banana	113

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CB – celulose bacteriana
CIE – *Commission Internationale d'Eclairage*
EAM – embalagem com atmosfera modificada
g/L – gramas por litro
GPa – gigapascal
h – hora
HS – meio Hestrin-Schramm
kg – quilograma
MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura
m – metro
min – minuto
mL – mililitro
mm – milímetro
m/m – massa/massa
nm – nanômetro
PEG – polietileno glicol
pH – potencial hidrogeniônico
PS – poliestireno
PVC – poli(cloreto de vinila)
RMBH – Região Metropolitana de Belo Horizonte
ton/ano – toneladas por ano
v/v – volume/ volume
µm – micrômetro
µm/m – micrômetro/ minuto
°Brix – Grau Brix
°C – grau Celsius

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Justificativa	3
2	OBJETIVOS	5
2.1	Objetivo Geral	5
2.2	Objetivos Específicos	5
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
3.1	Design, Materiais e Percepção	6
3.1.1	Materiais a base de resíduos de alimentos	9
3.1.2	Biofabricação	10
3.2	Celulose Bacteriana	15
3.2.1	Condições de crescimento	19
3.2.2	Fontes alternativas de nutrientes	25
3.2.3	Limpeza, purificação e secagem	27
3.2.4	Aplicações em produtos de consumo	32
3.3	<i>Trub</i>	38
3.4	Design de Embalagens de Alimentos	41
3.4.1	Embalagens de vegetais orgânicos frescos	45
3.4.2	Plastificantes para filmes	52
3.5	Caracterizações	53
3.5.1	Propriedades do substrato nutritivo	54
3.5.2	Propriedades físico-químicas do material obtido	55
4	MATERIAL E MÉTODOS	60
4.1	Material	61
4.1.1	Microorganismos	61
4.1.2	Infusão de <i>trub</i>	61
4.1.3	Infusão de <i>Camelia sinensis</i>	62
4.1.4	Plastificantes	62
4.2	Experimentação – Desenvolvimento do filme	62
4.2.1	Obtenção da CB	62
4.2.2	Obtenção do filme de CB	66
4.2.3	Caracterizações	69
4.3	Design da Embalagem	75
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	75
5.1	Experimentação – Desenvolvimento do filme	75
5.1.1	Obtenção da CB	75

5.1.2	Obtenção do filme de CB	82
5.2	Design da Embalagem	99
5.2.1	Coleta de dados	99
5.2.2	Análise de dados.....	105
5.2.3	Geração de alternativas	107
6	CONCLUSÕES	116
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	117
	REFERÊNCIAS.....	118
	ANEXO A – MÉTODO DE ANÁLISE DE TEOR DE FIBRA BRUTA	126

1 INTRODUÇÃO

A economia funciona majoritariamente em um sistema linear de produção baseado no processo de “extrair–produzir–descartar”. O crescimento econômico deste sistema depende da extração de recursos finitos do ecossistema natural para a criação de produtos que, ao fim da sua vida útil são descartados, perdendo o valor do recurso e contaminando o ecossistema natural (WEBSTER, 2015). Em oposição a esse sistema, a Economia Circular estabelece três princípios práticos de atuação: (1) projetar eliminando o lixo e a poluição do sistema, (2) manter os produtos e os materiais em uso e (3) regenerar o sistema natural. A aplicação destes princípios representa uma mudança sistêmica que cria resiliência a longo prazo, gera oportunidades econômicas e fornece benefícios ambientais e sociais (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2019).

Um elemento importante para manter os fluxos cíclicos é a utilização de materiais seguros para a saúde humana e ambiental, o qual está sendo exigido cada vez mais pelos consumidores. A valorização da responsabilidade e da sustentabilidade faz com que aumente o número de consumidores dispostos a pagar mais por produtos e serviços de companhias comprometidas com um impacto social e ambiental positivo (ORZAN *et al.*, 2018). Nesse contexto, o setor de embalagens tem grande visibilidade, pois as pessoas o associam fortemente aos danos ambientais, devido ao uso excessivo de plásticos descartáveis (NEVES *et al.*, 2020).

O plástico é um dos materiais mais utilizados no setor de embalagens, representando 26% do volume total de plásticos utilizados. Apenas 14% das embalagens plásticas são recicladas e, quando isso acontece, a maioria é utilizada em aplicações de menor valor ou resultam em materiais não recicláveis. Anualmente, pelo menos 8 milhões de toneladas destes materiais acabam no oceano, sendo a maioria proveniente de embalagens. Além disso, este material levanta preocupações em relação os seus efeitos adversos na saúde humana e ambiental. Apesar disso, as embalagens plásticas ainda são amplamente utilizadas pois, em comparação com outras opções disponíveis, o seu impacto é menor em aspectos como na redução do consumo de combustível durante o seu transporte, devido à sua leveza, e na redução

do desperdício de alimentos, devido a suas propriedades de barreira, que os mantêm frescos por mais tempo (WORLD ECONOMIC FORUM; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION; MCKINSEY & COMPANY, 2016).

Em resposta a este cenário, tem aumentado a pesquisa, e aplicação da intersecção do design e das ciências biológicas como catalisadora para a inovação sustentável. Cada vez mais, estão sendo aplicadas abordagens que integram princípios da biologia na prática do design, para desenvolver uma nova geração de profissionais que trabalharão no contexto da emergente bioeconomia circular. Atualmente, é possível observar uma rede de designers que já começou a abraçar esse cenário de transformação, onde a bioeconomia é uma opção para sociedade pós-petróleo (COLLET, 2018).

A biofabricação é um processo que está sendo aplicados na produção de novos materiais. O mesmo utiliza a cultura de células vivas e moléculas, como matéria prima, para criar produtos biológicos vivos e não vivos. O *Growing Design*, é uma abordagem da biofabricação, que coloca a natureza como cocriadora no processo de design sem alterar o genoma dos organismos. Os designers interagem com a natureza de forma colaborativa, adotando as suas estratégias de produção ao cultivar materiais utilizando organismos vivos, como bactérias, algas e fungos, para obter funções, expressões e soluções mais sustentáveis para o design de produto (CAMERE; KARANA, 2017).

O presente trabalho explora o desenvolvimento de materiais à base de celulose bacteriana (CB) obtida a partir do consórcio microbiano utilizado na produção de Kombucha. Como Camere e Karana (2018 a) explicam, estes organismos realizam o processo de fermentação em um meio ácido, contendo monossacarídeos como glicose, frutose ou glicerol que, de acordo com diversas pesquisas, podem ser provenientes de resíduos da indústria de alimentos. Quando fornecido o ambiente e nutrientes corretos, a CB é produzida com um alto nível de pureza. Este material tem baixo impacto produtivo, é de fácil acesso, rápido crescimento, versátil e compostável, fatores que fazem dele uma opção promissora para ser aplicado em produtos de uso único e com ciclo de vida curto, como embalagens de alimentos.

1.1 Justificativa

A demanda dos consumidores por produtos saudáveis, de origem ética, bons para o meio ambiente e produzidos por marcas que compartilham ideologias social, ambiental e economicamente sustentáveis, encontra-se em crescimento. Segundo uma pesquisa internacional realizada no início do ano de 2017 pela Unilever, 33% das pessoas procuram ativamente e compram marcas com base em seu impacto social e ambiental (BAIZLEY, 2018). Além disso, 50% dos consumidores são mais propensos a comprar produtos que são produzidos de forma sustentável, fator que, mais do que apenas uma oportunidade para as empresas, representa uma necessidade de adaptação competitiva (STAHEL *et al.*, 2017).

Esse contexto influencia o mercado global de alimentos orgânicos, que movimentou US\$97 bilhões e abrangeu uma área de plantio de ao redor de 70 milhões de hectares em 2017 (WILLER; LERNOUD, 2019). No Brasil, este setor faturou R\$ 4 bilhões em 2018, representando um crescimento de 20% em relação ao valor de 2017. Os consumidores brasileiros apontam que a principal motivação para o consumo destes produtos é a saúde, seguido pela proteção ao meio ambiente (HARTMANN; LIU, 2017).

A demanda por alimentos orgânicos ocorre junto com uma abordagem de produção e consumo locais, envolvendo maior transparência quanto às etapas do ciclo de vida dos produtos, incluindo elementos como os materiais utilizados nas embalagens. Alguns consumidores acreditam, equivocadamente, que as embalagens são desnecessárias, mas no setor de alimentos frescos, elas são certamente um meio importante de redução do desperdício. Existe um aumento na rejeição de embalagens de plástico à medida que a população adquire mais informação e se torna mais consciente sobre os danos que este material está causando ao planeta. Por isso, empresas e instituições da indústria de alimentos têm assinado acordos e se comprometido a melhorar a circularidade dos materiais utilizados nas suas embalagens, seja através da reciclagem, reutilização ou compostagem das mesmas. Se espera que os materiais biobaseados sejam elementos chave da próxima geração de embalagens do setor (ZEGLER, 2019).

Aproximadamente 80% do impacto ambiental de um produto se define na etapa inicial do design, o que atribui aos designers um papel crucial na transição para a Economia Circular (THOMAS; HUNTLE; CHITTENDEN, 2013). Esse papel é ainda mais impactante para os biodesigners, que como apontam Camere e Karana (2017), aplicando abordagens como o *Growing Design*, poderão interagir com a natureza de forma colaborativa, se envolvendo ativamente no desenvolvimento de materiais biobaseados, utilizando organismos vivos para obter soluções mais sustentáveis.

Uma vez que o mercado está optando por produtos de origem local, torna-se necessário fomentar a integração de iniciativas na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). O presente trabalho propõe conectar esta rede, usando resíduos de empresas do setor alimentício como matéria prima para o desenvolvimento de materiais biobaseados, que serão aplicados em embalagens de vegetais frescos. Estes materiais poderão voltar à biosfera através da compostagem nutrindo o sistema local.

Na RMBH, existem diversos produtores de alimentos orgânicos, porém, muitos dos seus produtos frescos são comercializados em embalagens plásticas de uso único, o que causa descontentamento nos clientes. Segundo os mesmos, a poluição criada por estas embalagens é contraproducente frente aos seus esforços por ter um estilo de vida mais saudável e de baixo impacto (PROJETO VISTA ALEGRE, 2020a)¹. Além disso, segundo Brignall (2018), as pessoas sentem ainda mais desconforto ao perceber que estes alimentos utilizam quantidades exageradas de plástico nas suas embalagens, enquanto muitos dos produtos da agricultura convencional são oferecidos a granel.

Frente a esta contradição, é relevante propor materiais com características funcionais necessárias para o setor de alimentos frescos, que também atendam à demanda dos consumidores, às necessidades da sociedade e às do meio ambiente. Como resposta, esta pesquisa procura associar o reaproveitamento de resíduos

¹ PROJETO VISTA ALEGRE. **Produção a todo vapor para as entregas de segunda feira no @supermercadoverdemar**. Instagram. 4 jan. 2020. Disponível em: <<https://www.instagram.com/p/B65-2mKBp8u/>>. Acesso em: 5 fev. 2020. a.

orgânicos, a biofabricação de celulose bacteriana, a integração de iniciativas locais e processos de baixo impacto produtivo, para produzir embalagens compostáveis.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Produzir e caracterizar um filme transparente de celulose bacteriana cultivada com *trub* (resíduo da indústria cervejeira) como uma alternativa aos filmes plásticos utilizados nas embalagens no segmento de vegetais orgânicos frescos.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre design de materiais a base de resíduos orgânicos, parâmetros para o cultivo de CB, resíduos da indústria alimentícia e informações relevantes para o design de embalagens de alimentos;
- Coletar *trub*, de uma cervejaria da Região Metropolitana de Belo Horizonte para obter CB e desenvolver um filme transparente;
- Analisar as propriedades mecânicas, físicas e hápticas do material por meio de caracterizações;
- Projetar uma embalagem para pimentões “Palermo” da empresa Vista Alegre com materiais compostáveis e feitos a partir de resíduos para aplicar o filme de CB desenvolvido.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Design, Materiais e Percepção

De acordo com Ashby (2012), o valor que as pessoas atribuem aos produtos é determinado por 3 itens: funcionalidade, usabilidade e satisfação. Estes aspectos conformam a pirâmide de requisitos que devem ser pautados no projeto de produto e, portanto, na escolha do material aplicado (Figura 1).

Figura 1 – Pirâmide de requisitos no projeto de produto



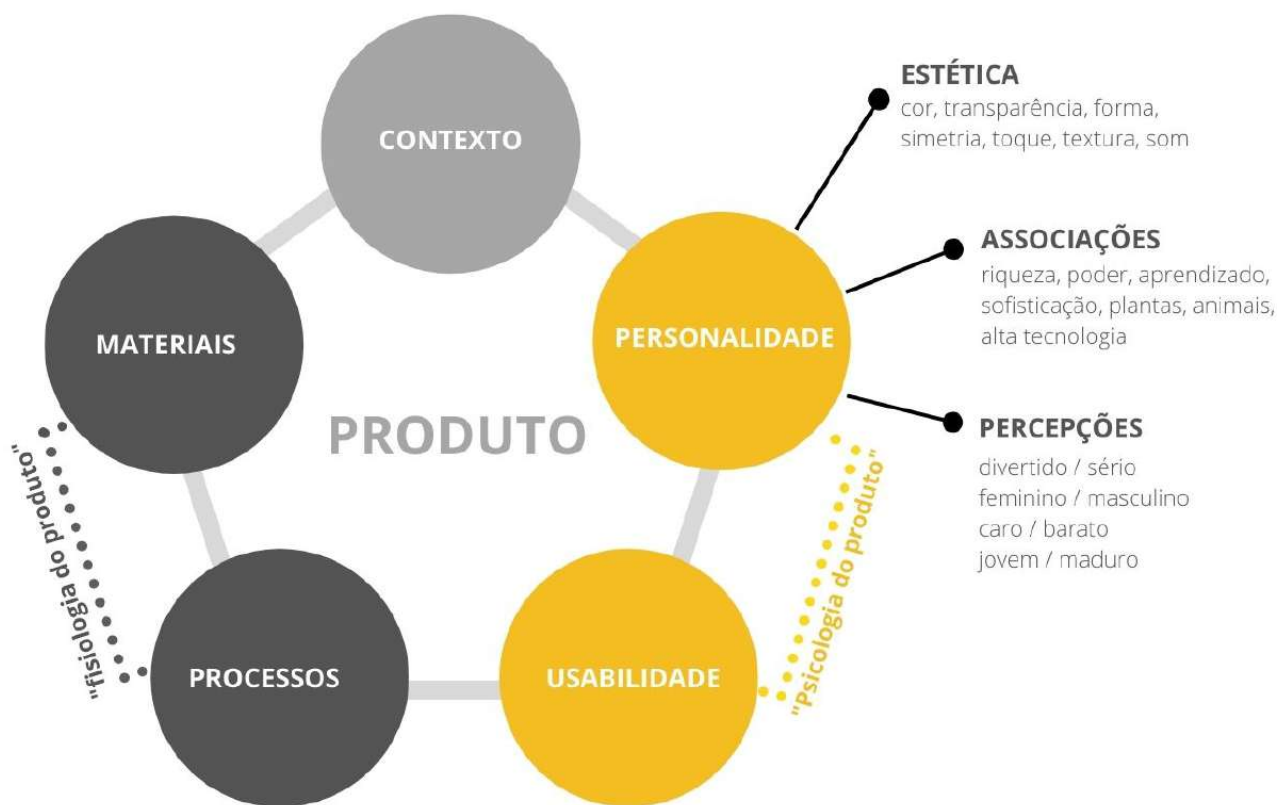
FONTE: Adaptado de Ashby, 2012, p. 423

Nas últimas décadas, tem aumentado o interesse e pesquisa nessa compreensão dualista dos materiais, como sendo simultaneamente técnicos e experienciais. Essa compreensão, além de orientar o projeto de design, inspira o desenvolvimento de materiais inovadores (CAMERE; KARANA, 2018b). Nesse sentido, no design de produto, além do estudo das propriedades físicas e químicas dos materiais, é necessário integrar análises voltadas para os fatores estéticos, de associação e percepção dos usuários. Elementos como forma, textura, toque, cor,

significado e a satisfação que um produto gera na pessoa, são importantes (ASHBY, 2012).

Para isso, é importante avaliar de forma integral os aspectos fisiológicos e psicológicos do projeto, que determinam o caráter do produto. Estes aspectos foram organizados por Ashby (2012, p. 425) em 5 subdivisões (Figura 2). Na subdivisão “personalidade” são encontrados os elementos estéticos, de associações e as percepções. A estética estimula os cinco sentidos através de fatores como cor, forma, textura, toque, cheiro e som. As associações são as lembranças e o que o produto sugere a partir dos seus elementos estéticos. Já as percepções são as reações e sentimentos que o produto provoca no observador.

Figura 2 – Subdivisões do caráter do produto



FONTE: Adaptado de Ashby, 2012, p. 425

Ao longo do tempo, têm sido desenvolvidos métodos e ferramentas que auxiliam na avaliação da relação entre as propriedades físicas e as experiências subjetivas dos

materiais. Wilkes *et al.* (2014), explicam que o uso de conjuntos isomórficos é uma forma de explorar a percepção dos usuários. Esta abordagem permite a comparação e avaliação dos materiais por si sós, sem estarem relacionados a um produto específico, através da apresentação de amostras com formato padronizado.

Outra abordagem é a apresentação da origem, história, ciclo de vida e contexto onde os produtos estão inseridos. Esta visão é interessante pois, além das percepções que os materiais provocam por si sós, é importante considerar que o significado, o valor e o uso dos materiais podem ir sendo modificados à medida em que as pessoas entendem e se relacionam com os mesmos, em contextos históricos e culturais específicos (WILKES *et al.*, 2014). Além disso, oferecer o máximo possível de informações, é relevante para as pessoas que, cada vez mais, procuram conhecer detalhes sobre os produtos e marcas, antes de realizar a sua decisão de compra (LUTTENBERGER; PUNCHARD; MAISEVIČIŪTĖ-HAYDON, 2019).

As pesquisadoras Camere e Karana são referência no assunto, tendo escrito diversos documentos e desenvolvido ferramentas que abordam a relação perceptiva entre produtos, materiais e pessoas. Segundo as autoras, a sua motivação surge porque, apesar do crescente interesse sobre o assunto, os métodos de design carecem de ferramentas sistemáticas para guiar a caracterização da experiência dos usuários em relação aos materiais. Alguns dos seus estudos são baseados na interação que as pessoas têm com os materiais em quatro níveis experienciais: (1) nível performativo, (2) nível sensorial, (3) nível afetivo e (4) nível interpretativo (CAMERE; KARANA, 2018b).

Este contexto está estimulando uma participação ativa na idealização de novos materiais pelos designers. Uma abordagem onde o potencial dos materiais é construído por meio da experimentação, de reflexões e ações colaborativas entre pessoas, materiais, e o ambiente que os rodeia (KARANA *et al.*, 2019). Atualmente, é possível observar o crescimento do movimento da autoprodução de materiais, no qual os designers geralmente utilizam recursos locais, com uma visão de reduzir custos e reforçar a conexão com o espaço e a comunidade local (ROGNOLI; PARISI; GARCIA, 2016).

3.1.1 Materiais a base de resíduos de alimentos

A bioeconomia tem como objetivo reduzir a dependência de recursos fósseis, limitar as emissões de gases de efeito estufa, mitigar os impactos ambientais, garantir a segurança alimentar e o crescimento econômico sustentável. A aplicação de princípios da bioeconomia circular, com foco no reaproveitamento de resíduos da indústria de alimentos, representa uma oportunidade valiosa para a sociedade, que precisa lidar com urgência com estes desafios complexos (CORRADO; SALA, 2018).

Existe um aumento crescente nos esforços para converter resíduos orgânicos, que são uma grande preocupação para o governo e a sociedade, em novos materiais que possam substituir os tradicionais. Tanto acadêmicos quanto indústrias têm apostado na transição para a economia circular através da criação de sistemas de ciclo fechado, eficientes e de baixo custo, utilizando estes resíduos orgânicos como matéria-prima para substituir a extração de materiais naturais virgens, transformando o resíduo, percebido como lixo, em matéria-prima valiosa (RUSSO *et al.*, 2019).

Muralikrishna e Manickam (2017) reforçam que a gestão de resíduos sólidos é um grande desafio em áreas urbanas do mundo inteiro, e que sem um programa eficiente para o seu gerenciamento, os resíduos gerados por atividades humanas industriais e domésticas podem resultar em riscos para a saúde e ter um impacto negativo no meio ambiente. Por isso, como apontado por Corrado e Sala (2018), é importante que estes resíduos sejam coletados sob condições controladas, para que as suas características sejam mais homogêneas e assim aumentar o seu potencial para a produção de novos materiais e a valorização direta do resíduo.

Sauerwein; Karana e Rognoli (2017) destacam que os materiais à base de resíduos representam um benefício duplo no ciclo de vida de um produto, ao eliminar a necessidade de extração de novos recursos e, ao mesmo tempo, evitar que resíduos sejam descartados. É relevante realizar pesquisas aplicadas, demonstrando que o desperdício de alimentos pode ser um recurso, em lugar de um custo, ao se tornar em um constituinte principal de novos materiais e produtos biobaseados, considerando a

percepção performativa, sensorial, afetiva e interpretativa das pessoas (CAMERE; KARANA, 2018b).

A Comissão Europeia assumiu recentemente um novo objetivo como parte de sua estratégia para avançar em direção à Economia Circular. Este objetivo refere-se precisamente ao fechamento de ciclos através do desvio de resíduos orgânicos urbanos do aterro para serem processados e transformados novamente em produtos ou matéria-prima. Mesmo estando em fase de desenvolvimento e em etapas iniciais de implementação, algumas tecnologias já estão demonstrando ser alternativas economicamente viáveis de produção de materiais a partir de resíduos orgânicos (RUSSO *et al.*, 2019).

3.1.2 Biofabricação

O termo biofabricação é utilizado por várias áreas de conhecimento para se referir a processos e fenômenos diferentes. Acredita-se que a primeira referência da utilização do termo na literatura é de 1994, quando foi utilizado para se referir à biomineralização – processo onde os organismos vivos produzem sólidos inorgânicos – como inspiração para novas abordagens de fabricação controlada de materiais sintéticos. Em 2004, o termo foi utilizado para descrever a produção de nanoestruturas contendo materiais biológicos e biocatalisadores. Os pesquisadores do projeto definiram a biofabricação, de forma bastante ampla, como “o casamento entre biologia e microfabricação”. Atualmente o termo é amplamente utilizado no contexto de fabricação de materiais híbridos orgânicos/ inorgânicos e de maneira mais geral, para se referir à fabricação de materiais por organismos vivos (GROLL *et al.*, 2016).

Groll *et al.* (2016), apontam que atualmente o termo é aplicado, na maioria das vezes, na área médica, especificamente na engenharia de tecidos e na medicina regenerativa. Nestas áreas, foi observado o aumento do uso do termo como consequência do surgimento de estratégias que vinculam a manipulação e disposição de células vivas com processos de fabricação tridimensional. Nesse contexto, a biofabricação foi definida pela primeira vez na revista *Biofabrication* por Mironov, *et al.*

(2009, p. 2) como “a produção de produtos biológicos complexos, vivos e não vivos, a partir de células vivas, moléculas, matrizes extracelulares e biomateriais como matéria prima.” O autor apontou, há mais de uma década, que a biofabricação poderia ser o paradigma dominante na fabricação do século XXI e que suas potenciais aplicações eram muito mais amplas e não se limitavam à biomedicina ou ao uso de apenas de células humanas.

Independentemente das variações nas definições do termo, que enfatizam levemente diferentes aspectos, existem várias características únicas da biofabricação, entre elas, que a unidade básica de fabricação são células ou materiais biológicos e que os processos de fabricação são bio-inspirados. Como resposta a estas variações, existem tentativas de formular uma definição mais ampla do termo, que abranja seu uso dentro de campos díspares, mas que de forma geral, inclua o uso da fabricação direta de materiais por organismos vivos (LUO, 2012).

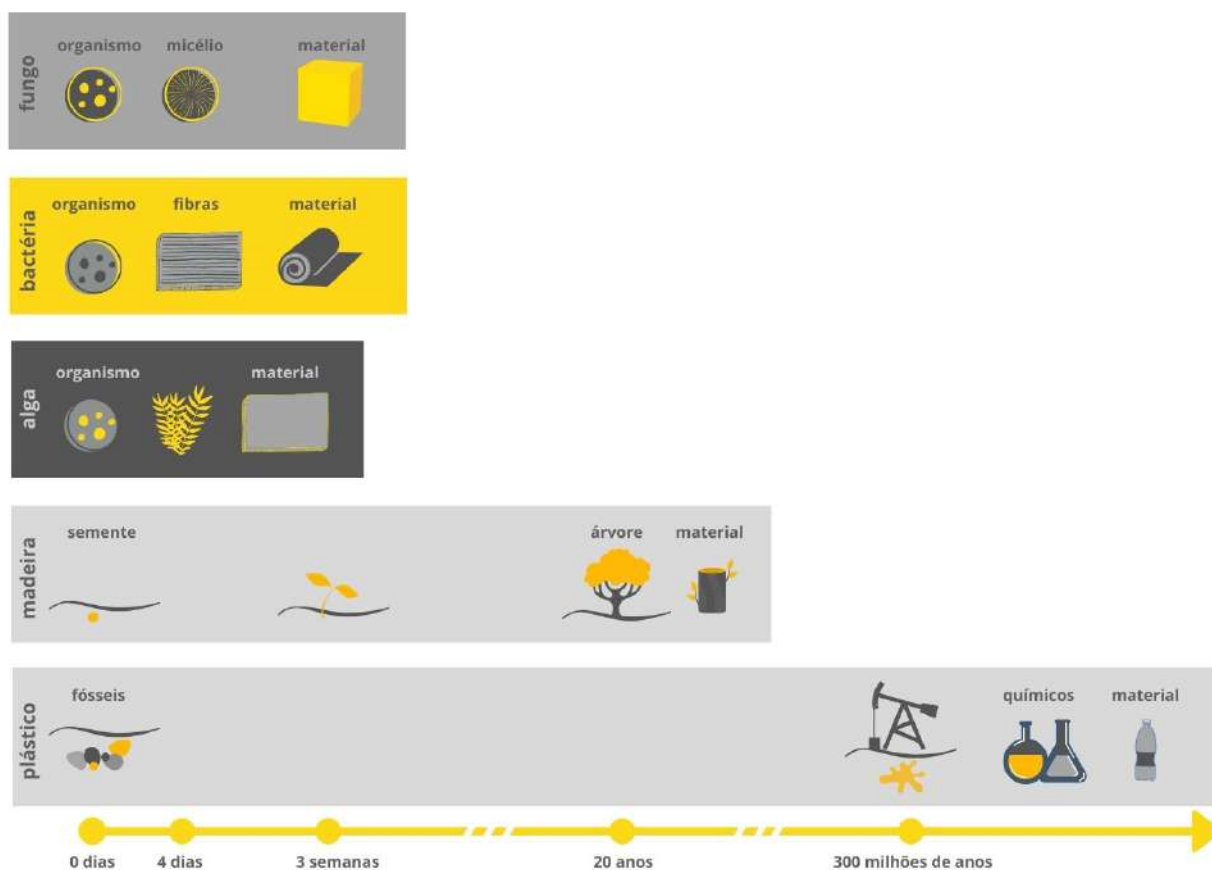
Em contrapartida, se observa a formulação de novos termos e a atualização de definições existentes, com o intuito de se adequar às necessidades específicas de cada área. Lee, et al. (2020, p. 7), definem os materiais biofabricados como aqueles “produzidos por células vivas (e.g. células de mamíferos) e microrganismos como bactérias, leveduras e micélio”. Os autores também apresentam a subcategoria dos materiais biofabricados denominada materiais bioagregados (*bioassembled*), definidos como “estruturas em macroescala que têm sido produzidas diretamente por microrganismos, como micélio ou bactérias”, sendo o termo “macroescala” o elemento crucial desta definição.

Outros autores propõem novos termos, em lugar de adaptar a definição tradicional de biofabricação para áreas e formas de aplicação específicas. Esta alternativa pode ser uma estratégia interessante para diferenciar e aprofundar o uso da biofabricação no design de produto. Um exemplo, nesse sentido, é a formulação do termo *Growing Design*, por Camere e Karana (2017).

Para Camere e Karana (2017), a abordagem *Growing Design* coloca a natureza como co-criadora no processo de design, sem alterar o genoma dos organismos. Os designers interagem com a natureza de forma colaborativa, adotando as suas estratégias de produção ao cultivar materiais utilizando organismos vivos para obter funções, expressões e soluções sustentáveis únicas. O *Growing Design*, é delimitado, pelas autoras, de acordo com as seguintes características:

- Os designers cooperam com a natureza para algum objetivo específico de design;
- Os materiais utilizados são cultivados por organismos vivos;
- Os designers não alteram a estrutura genética dos organismos vivos;
- Os designers se envolvem ativamente na produção do material com ferramentas e processos FVM “faça você mesmo”;
- O processo de fabricação é baseado na experiência ativa do trabalho manual;
- O material é projetado para ser utilizado em produtos existentes na atualidade ou em um futuro provável.

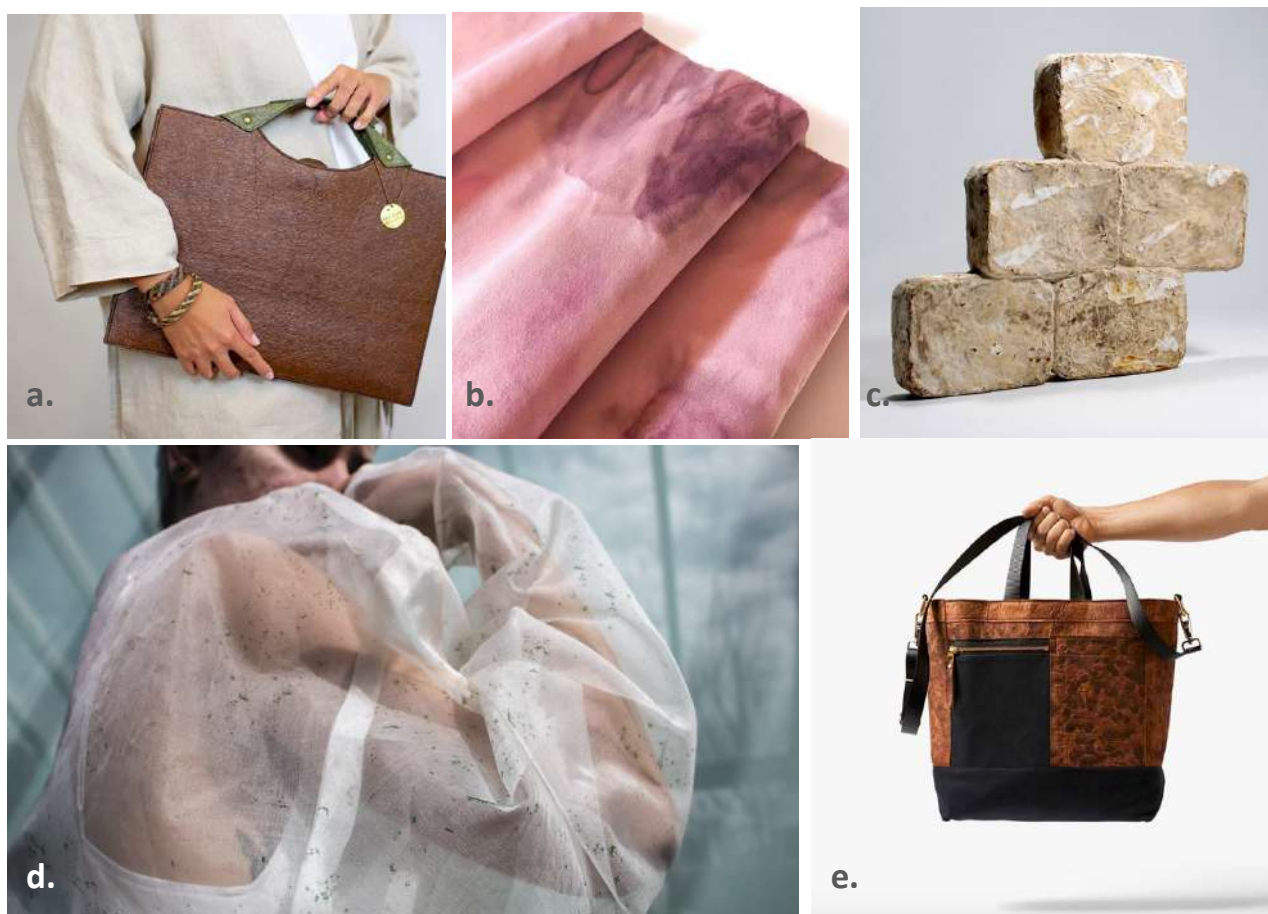
Segundo as autoras, esta abordagem oferece aos designers a possibilidade de controlar a composição do material e projetar qualidades específicas, redefinindo o conceito de “natural”. Assim, o desenvolvimento de materiais naturais, que não existiriam espontaneamente na natureza, torna-se possível através da manipulação de variáveis do substrato onde os organismos vivos são inseridos. Além disso, outra característica positiva destes materiais, é o tempo necessário para sua produção, que é muito menor comparado com outros materiais convencionais utilizados atualmente (Figura 3). Na maioria dos casos, os materiais biofabricados crescem em um período de tempo médio de 3 semanas, enquanto o crescimento de uma árvore madeireira leva em torno de 20 anos e a matéria prima para a produção de plásticos, a base de petróleo, leva 300 milhões de anos (CAMERE; KARANA, 2017).

Figura 3 – Comparação temporal entre materiais tradicionais industriais e *growing materials*

FONTE: Adaptado de Camere; Karana, *et al*, 2017.

A biofabricação pode ser considerada uma alternativa altamente sustentável em relação a outras tecnologias de fabricação de materiais que utilizam recursos de origem fóssil. Além de dispensar a extração de materiais valiosos da crosta terrestre, este método de fabricação emprega pouca energia, pois utiliza o metabolismo de organismos biológicos para produzir materiais biodegradáveis, seguros e nutritivos para o meio ambiente (CAMERE; KARANA, 2018a). Como mencionado anteriormente, atualmente, as bactérias, algas e fungos são os organismos mais pesquisados e aplicados na biofabricação de produtos de consumo. Na Figura 4, são apresentados alguns exemplos de aplicação de materiais biofabricados.

Figura 4 – Biocompósito de celulose bacteriana (a); Tingimento com bactérias (b); Tijolos de micélio (c); Têxtil com algas fotossintéticas (d); Substituto de couro cultivado com micélio (e)



FONTE: Malai, 2019 (a)²; Living Colour, 2019 (b)³; Radial Biomateriales, 2019 (c)⁴; Block, 2019 (d)⁵; Bolt Threads, 2018 (e)⁶

² MALAI.ECO. **15 more days to go dear followers**. Instagram. 13 nov. 2019. Disponível em: <<https://www.instagram.com/p/B4z3iuFJ-Vm/>>. Acesso em: 11 abr. 2022.

³ LIVING COLOUR COLLECTIVE. **#Repost @nextnaturenetwork**. Instagram. 2 fev. 2019 Disponível em: <https://www.instagram.com/p/BtYyzl_BTVx/>. Acesso em: 11 abr. 2022.

⁴ RADIAL.BIO. **Hyphal architecture**. Instagram. 6 maio 2019. Disponível em: <<https://www.instagram.com/p/Bxl2sPGFHfw/>>. Acesso em: 11 abr. 2022

⁵ BLOCK, I. **Biogarmentry clothes can photosynthesise like plants**. Dezeen. 2 out. 2019. Disponível em: <<https://www.dezeen.com/2019/10/02/biogarmentry-roya-aghighi-living-clothes-photosynthesis/>>. Acesso em: 11 abr. 2022.

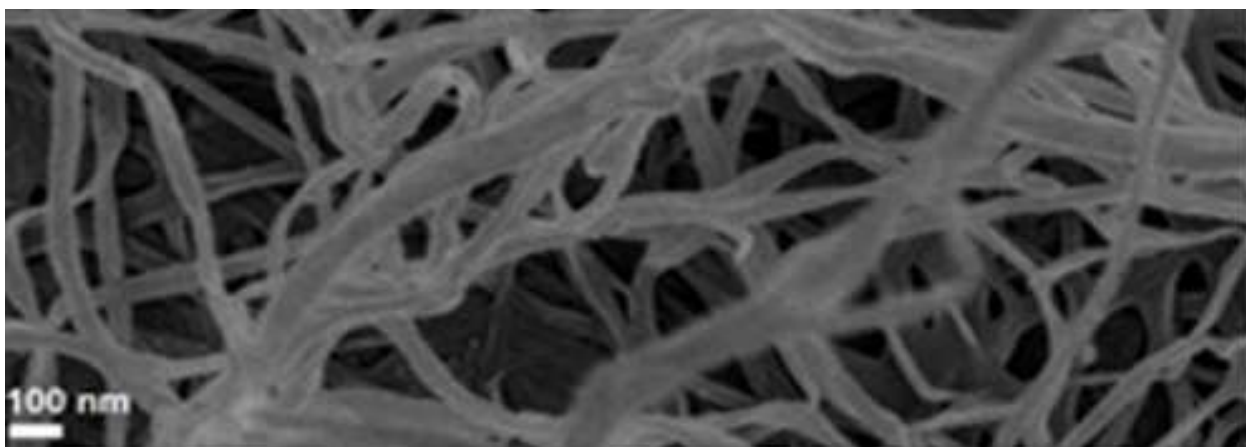
⁶ BOLT THREADS. **Meet Mylo**. Disponível em: <<https://boltthreads.com/technology/mylo/>>. Acesso em: 11 abr. 2022.

A aplicação da biofabricação no design de produto na América Latina, se encontra em um momento de grande crescimento e estruturação. Existem, laboratórios experimentais independentes que procuram democratizar e incentivar a autoprodução de materiais, laboratórios dentro de instituições de ensino, designers e iniciativas privadas que estão promovendo ambientes de cooperação, que contribuirão com que a área se desenvolva com mais eficiência. Estes ambientes interdisciplinares, percebem a biologia não apenas como fonte de matéria prima, mas como um meio programável para fabricar novos recursos. Mesmo estando atualmente numa fase experimental, estas iniciativas já formam uma base de conhecimento relevante (SOFFIA, *et al.* 2017).

3.2 Celulose Bacteriana

A celulose é o polímero orgânico mais abundante encontrado na natureza e pode ser sintetizada por plantas e outros organismos como bactérias, fungos e alguns animais. Pacheco *et al.* (2017), apontam que, quando produzida por bactérias, é chamada de celulose bacteriana (CB) ou biocelulose. As bactérias produtoras de celulose mais representativas são as do gênero *Gluconacetobacter*, *Acetobacter* e *Komagataeibacter*. O polímero produzido por estes organismos tem um elevado teor de pureza, maior grau de polimerização e propriedades mecânicas notáveis devido às características das macromoléculas de celulose e a estrutura em formato de rede na qual os organismos tecem as nanofibras (Figura 5).

Figura 5 – Micrografia de tecido de nanofibras de CB



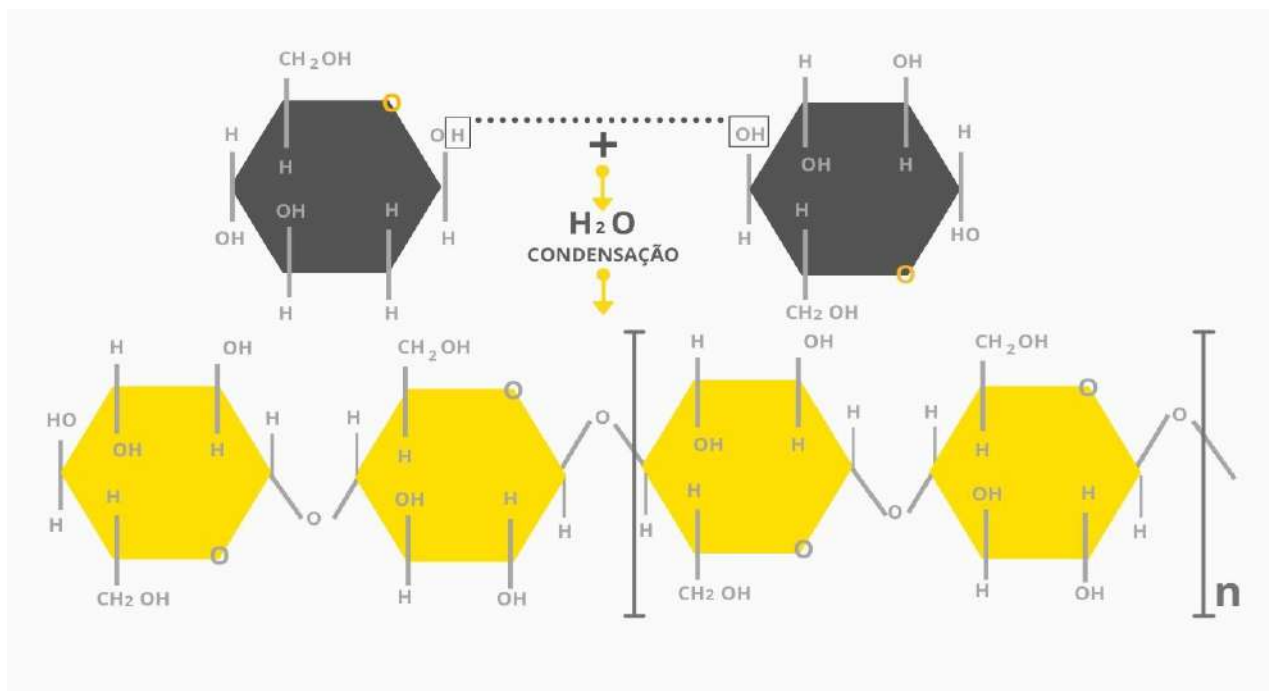
FONTE: Pacheco, et al, 2017

A fórmula molecular, tanto da CB quanto da celulose vegetal, é $(C_6H_{10}O_5)_n$, porém a CB é produzida livre de lignina, hemiceluloses e pectina. Por esta razão, a purificação de CB é um processo simples e requer pouca energia comparado com a purificação de celulosas vegetais, que geralmente requerem produtos químicos agressivos, ambiental e economicamente inconvenientes (DIMA *et al.*, 2017). As fibras de CB possuem maior área específica, comparado com as celulosas vegetais, resultando em alta capacidade de retenção de água, causada pelas fortes ligações formadas com os grupos hidroxila das cadeias de celulose (CHOI, SHIN, 2020).

De acordo com Azeredo, *et al.* (2019), o arranjo espacial da CB confere índices de cristalinidade de até 85% e a abundância de grupos reativos na sua estrutura. Isso, somado à sua alta porosidade e a sua área superficial, possibilitam a introdução de outras substâncias que podem atribuir funcionalidades diversas, por exemplo, propriedades antimicrobianas. Outras propriedades inerentes ao material são a resistência mecânica, que pode variar entre 100-160 GPa para uma única fibra, a maleabilidade, a permeabilidade a líquidos e gases, a alta nanoporosidade, a biocompatibilidade e biodegradabilidade (HUSSAIN *et al.*, 2019).

A fibra de celulose é compostável, leve, de baixo custo produtivo, renovável e pouco abrasiva, porém, dependendo da sua aplicação, apresenta algumas desvantagens como a absorção de umidade, variações de qualidade, baixa estabilidade térmica e baixa compatibilidade com matrizes poliméricas hidrofóbicas. A cadeia de celulose é composta por ligações de moléculas de β -D-glicose, onde as unidades de açúcar são ligadas ao liberar água, resultante da combinação do grupo H e $-OH$. Devido a esse processo, a celulose é classificada como um polímero de condensação (KALIA *et al.*, 2011). Dima *et al.* (2017) explicam que os monômeros de glicose se organizam com orientação invertida em relação ao monômero anterior, resultando em cadeias longas e retas de até 20.000 unidades que conformam a celulose (Figura 6).

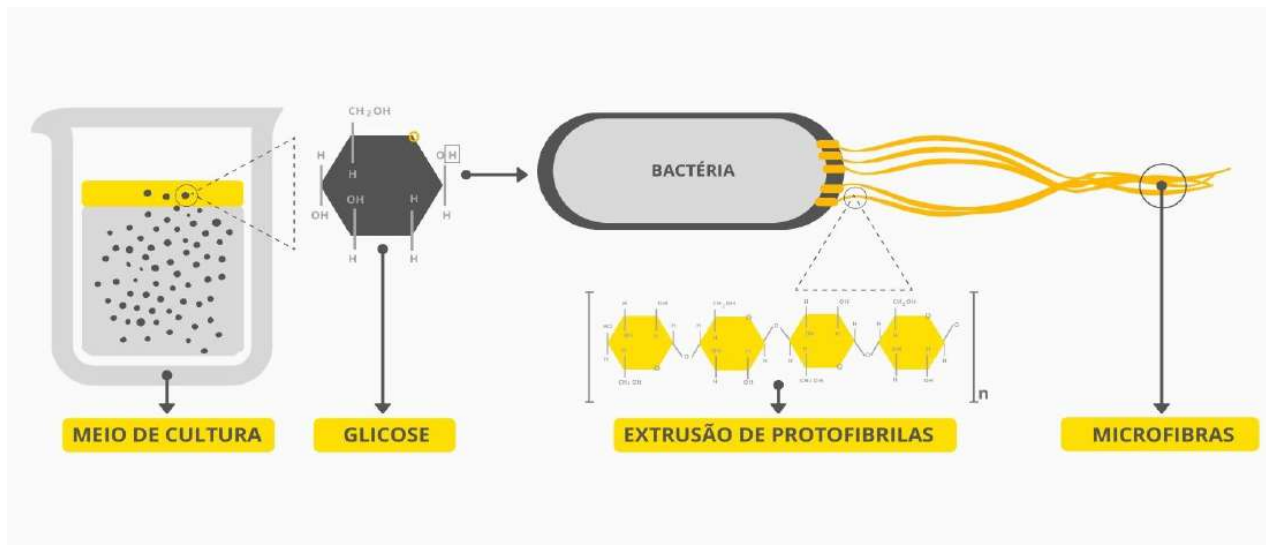
Figura 6 –Polimerização da celulose



FONTE: adaptado de Lakhundi; Siddiqui; Khan, 2015

Aproximadamente 30 moléculas individuais de celulose são agrupadas em unidades maiores chamadas protofibrilas, que são compactadas em unidades maiores chamadas microfibrilas, mantidas juntas por ligações de hidrogênio, o que proporciona a alta resistência à tração do material (Figura 7). As microfibrilas se associam tornando-se fibras de celulose (LAKHUNDI; SIDDIQUI; KHAN, 2015). Van Zyl e Coburn (2019) apontam que a síntese da celulose ocorre no interior da bactéria, onde a glicose é metabolizada e extrudada entre a membrana externa e a citoplasmática com uma taxa de 2 $\mu\text{m}/\text{min}$. De acordo com Klemm, *et al.* (2018), o processo ocorre com uma velocidade de polimerização de até 200.000 unidades de glicose por segundo, resultando numa rede de fibras composta por 1% de celulose e 99% de água.

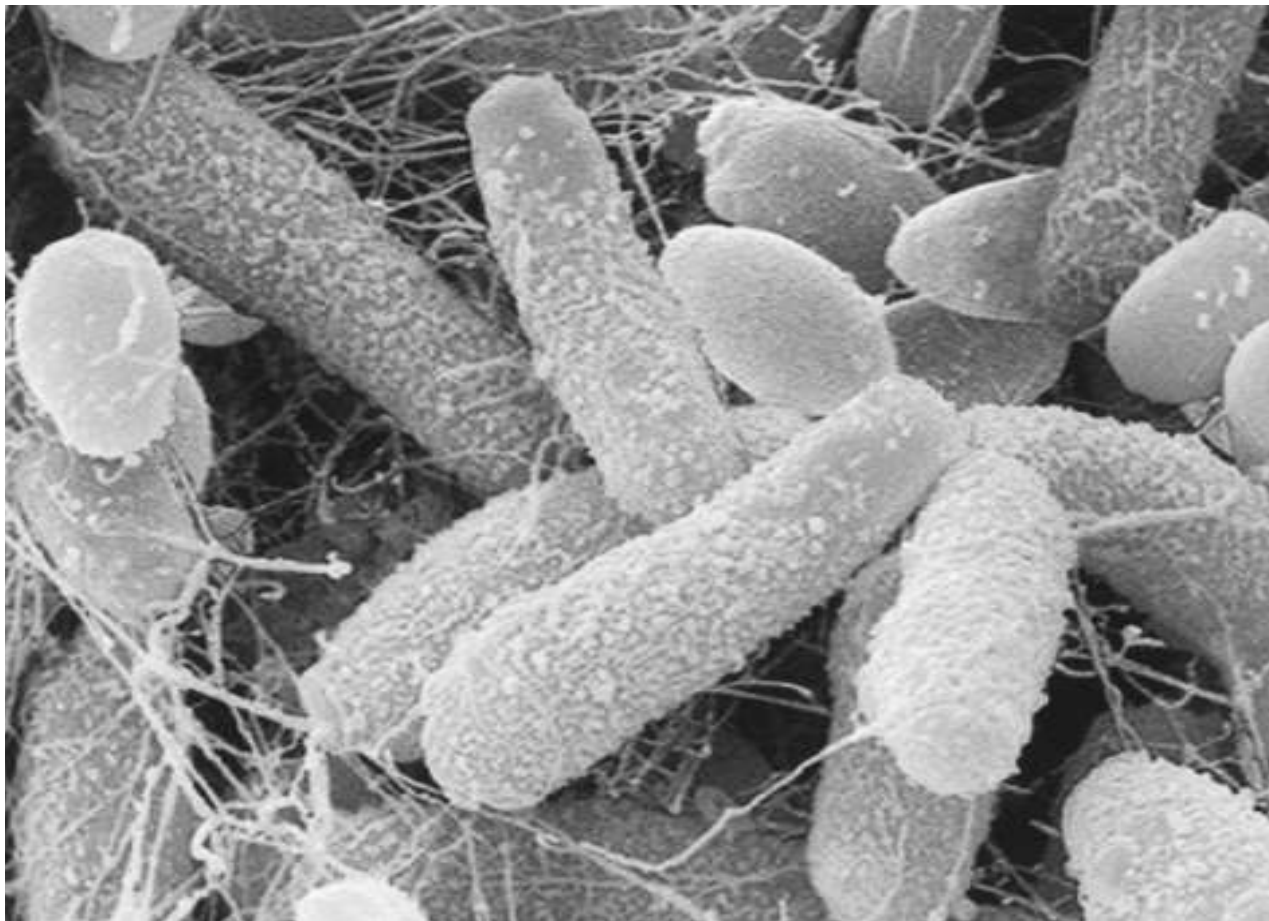
Figura 7 – Síntese de celulose bacteriana



FONTE: Adaptado de van Zyl; Coburn, 2019

No presente trabalho se utilizam as bactérias presentes no consórcio microbiano utilizado para fermentar a bebida chamada Kombucha. De acordo com Quijano (2017) uma das bactérias mais comuns nesta associação é a *Acetobacter xylinum* que foi reclassificada como *Gluconacetobacter* e recentemente como *Komagataeibacter*. Esta bactéria é estritamente aeróbica, classificada como gram-negativa, em forma de bastonete, com cerca de 2 μm de comprimento e 0,6 μm de largura. Esta bactéria tem sido o microrganismo mais estudado para a produção de CB devido à sua capacidade de polimerizar glicose a altas velocidades, sendo o microrganismo produtor de celulose mais prolífico da natureza.

Como apresentado na Figura 8, a colônia utilizada para fermentar o Kombucha, contém uma associação de bactérias e leveduras. As leveduras produzem etanol, auxiliando a produção bacteriana de ácido acético, o qual ao mesmo tempo, estimula a produção de etanol das leveduras (VAN ZYL; COBURN, 2019).

Figura 8 – Micrografia da colônia de *Komagataeibacter* e *Saccharomyces*

FONTE: Greenwalt; Steinkraus; Ledford, 2000

3.2.1 Condições de crescimento

Os dois processos de cultura mais utilizados na produção de CB, são o estático e o agitado e resultam em formatos e propriedades de celulose diferentes. No processo de cultura agitado é possível obter celulose em formato de suspensão fibrosa, pellets, ou esferas e no processo estático se obtém uma membrana gelatinosa e densa na superfície do meio de cultura (GOTTSCHALK *et al.*, 2013). No presente trabalho, será utilizado o processo estático, resultando em uma película de celulose similar à apresentada na Figura 9.

Figura 9 – CB cultivada no processo estático

FONTE: elaborada pela autora

As condições do processo usadas para produzir CB afetam diretamente suas propriedades e possíveis aplicações. O ambiente onde é realizada a fermentação, o monitoramento e controle das variáveis do processo são considerados fatores chave para otimizar o rendimento da produção da celulose. Algumas variáveis importantes envolvidas na produção de CB por meio do método estático são: (1) o meio de cultura, que inclui a concentração e fonte de carbono e nitrogênio utilizada; (2) as variáveis durante do processo de fermentação, considerando a bactéria utilizada, a porcentagem

de inócuo, o potencial hidrogeniônico (pH), o tempo, a temperatura e a disponibilidade de oxigênio, e (3) a altura e área do recipiente utilizado (BASU; VADANAN; LIM, 2019).

Existem múltiplas pesquisas sobre produção de CB, onde as variáveis são modificadas de forma independente com o intuito de definir as condições ideais para o crescimento do material. Desde a descoberta da produção de CB, o meio sintético mais utilizado tem sido o Hestrin e Schramm (HS) (GOTTSCALK *et al.*, 2013). A solução consiste em 20 g/L de glicose, 5 g/L de peptona, 5 g/L de extrato de levedura, 1,15 g/L de ácido cítrico e 2,7 g/L de fosfato dissódico (DARY *et al.*, 2012). Devido ao seu custo alto, pesquisadores procuram novos substratos, mais econômicos, utilizando fontes alternativas de nutrientes (REVIN *et al.*, 2018).

A fonte de carbono usada no meio de cultura é um dos fatores mais importantes que interferem no rendimento de CB. Na literatura se observam estudos que utilizam diferentes fontes de carbono, incluindo a glicose, sacarose, frutose, maltose, xilose, amido, manitol e arabitol, entre outros. Os rendimentos resultantes são bastante variados pois dependem do tipo de bactéria utilizada no cultivo e a combinação das outras variáveis do processo (LEE *et al.*, 2014). Segundo Quijano (2017), a fonte de carbono mais comumente usada é a glicose, pois produz a maior quantidade de celulose extracelular por *A. xylinum*. Lee, *et al.* (2014) apontam que embora esta seja a fonte de carbono mais usada, ao ser consumida, a geração do ácido glucônico como subproduto, afeta a produção de celulose pois diminui o pH do meio.

O nitrogênio é o principal componente das proteínas necessárias no metabolismo celular e compreende 8-14% da massa celular seca de bactérias, portanto têm um efeito importante na síntese da CB (YODSUWAN *et al.*, 2012). A fonte de nitrogênio utilizada no meio de cultura fornece não apenas aminoácidos, mas também vitaminas e sais minerais para as bactérias, o qual auxilia na produção de celulose. Estudos mostram que vitaminas como piridoxina, ácido nicotínico, ácido 4-aminobenzóico e biotina estimulam a produção de CB, enquanto outras como a pantotenato e riboflavina diminuem o rendimento (LEE *et al.*, 2014).

Na literatura são encontradas posições diferentes no que se refere ao valor ótimo de pH para o crescimento da CB pela *A. xylinum*, apresentando valores entre 3,5 e 7,5 (QUIJANO, 2017). Em alguns estudos foi constatado que a produção de celulose da *G. xylinus* é completamente inibida ao atingir um pH 3,5 e que pelo menos 80% da celulose é produzido em pH 6,0. O consumo de açúcar e a queda de pH são diretamente proporcionais à produção da CB, devido à conversão enzimática da glicose em ácido glucônico (ABDELRAOF; HASANIN; EL-SAIED, 2019). De acordo com Azeredo *et al.* (2019), o pH ideal para o crescimento celular e produção de CB depende da cepa bacteriana, mas se encontra, geralmente, entre 4 e 7.

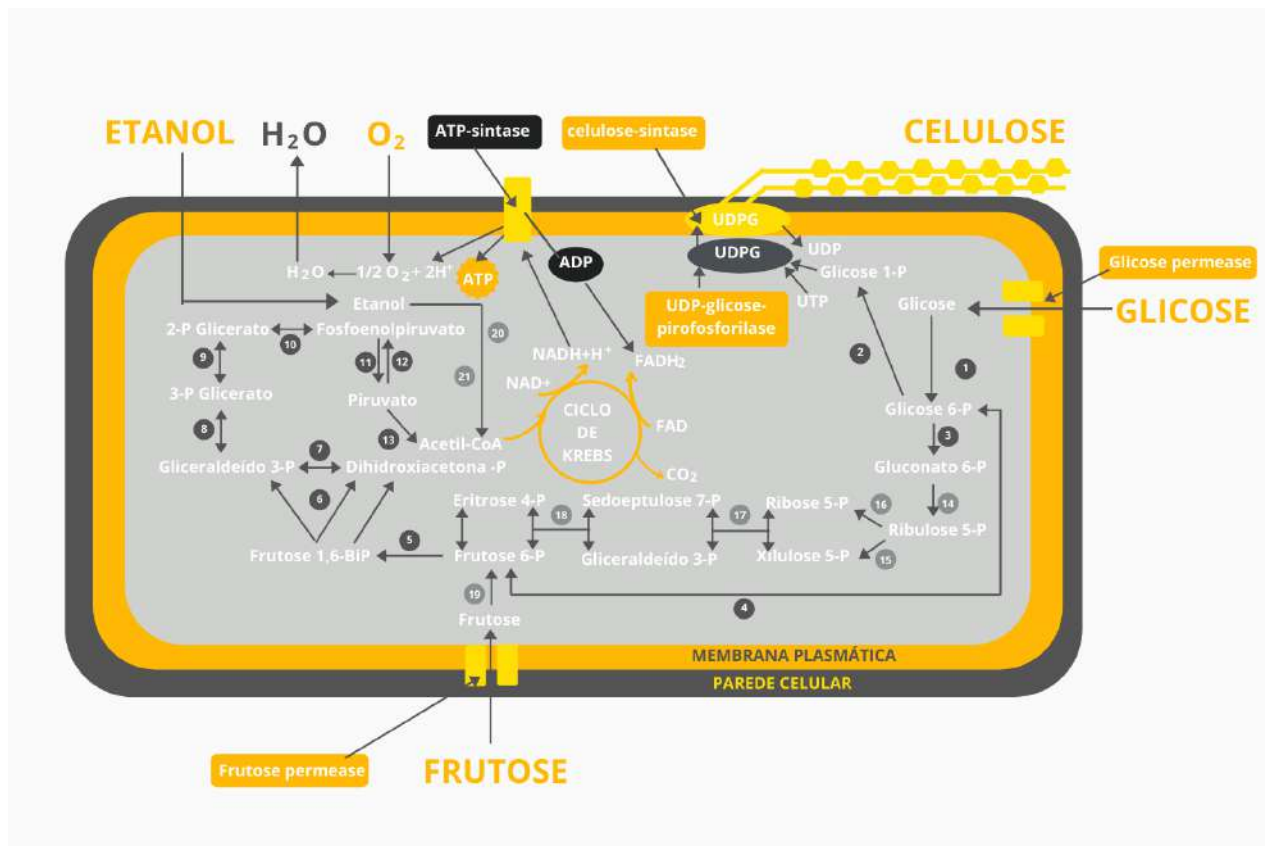
A respeito da temperatura, a maioria de trabalhos científicos confirmam que a maior eficiência na produção de celulose acontece entre 25-30 °C (QUIJANO, 2017). Em testes realizados com a bactéria *K. xylinus*, foi concluído que a faixa de temperatura ideal para a produção de CB é entre 28 - 30 °C e a faixa de temperatura fisiológica do organismo é entre 20 a 37 °C (AZEREDO *et al.*, 2019). Na produção de CB pela *A. xylinum*, utilizando como substrato a água de coco, foi constatado que a faixa de temperatura ideal é entre 23 °C e 32 °C (BURKE; BENNETT-WOODS, 2016).

As bactérias produtoras de CB são aeróbicas, motivo pelo qual é crucial ter O₂ disponível (CHOI; SHIN, 2020). O oxigênio dissolvido no meio de cultura é importante tanto para o metabolismo celular quanto para a qualidade da celulose produzida. Ao mesmo tempo que o aumento no oxigênio contribui no crescimento das bactérias e na produção de CB, também faz com que aumente a concentração de ácido glucônico, que como mencionado anteriormente, afeta a viabilidade celular, reduzindo o rendimento de celulose. Em um estudo, foi relatado que 10% de saturação de oxigênio dissolvido no meio resultou na concentração máxima de celulose (LEE *et al.*, 2014).

Em 1991, a *American Society for Microbiology* propôs um modelo hipotético da sequência da biossíntese de celulose realizada pela bactéria *G. xylinus* que tem sido utilizado ao longo dos anos por vários autores (Figura 10). Neste modelo é possível observar os elementos consumidos e produzidos durante o processo da síntese de CB.

O microrganismo utiliza oxigênio, glicose e frutose como fonte de carbono e produz celulose, água e dióxido de carbono (CHOI; SHIN, 2020).

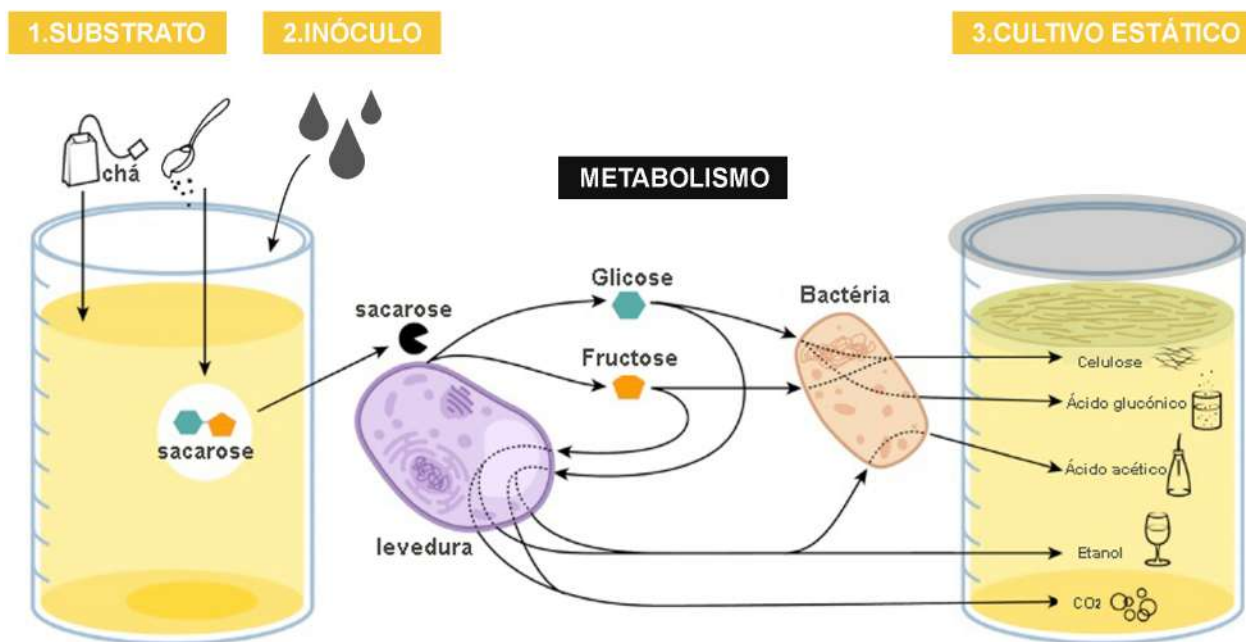
Figura 10 – Modelo da biossíntese de CB elaborado pela American Society for Microbiology



FONTE: adaptado de Choi; Shin, 2020

Quando a bactéria se encontra em simbiose com leveduras, como é o caso da fermentação do Kombucha, ocorrem interações complexas (Figura 11). A levedura produz invertase, que é uma enzima que quebra a sacarose em glicose e frutose, facilitando o metabolismo dos açúcares, posteriormente, converte esses monômeros em etanol e dióxido de carbono e, em seguida, as enzimas bacterianas oxidam o etanol, gerando ácido acético e criando um ambiente com pH baixo (MAY *et al.*, 2019).

Figura 11 – Metabolismo e preparação do Kombucha

FONTE: adaptado de May, *et al.*, 2019

Como apresentado na Figura 11, de forma geral, o processo de cultivo estático consiste em preparar o substrato contendo a fonte de carbono e nitrogênio, adicionar o inóculo e manter a mistura em um recipiente coberto com um material que permita a passagem de oxigênio e evite a entrada de insetos e partículas contaminantes. Outros elementos a serem considerados para realizar o cultivo de CB correspondem à água utilizada no meio, que deve ser purificada, e à duração do processo, que depende da espessura desejada da película de celulose. Para o cultivo em meios estáticos, a película cresce mais espessa com um tempo de fermentação de duas a três semanas (QUIJANO, 2017).

3.2.2 Fontes alternativas de nutrientes

Embora a CB tenha um enorme potencial, a sua produção ainda é limitada para produtos de consumo, sendo necessário pesquisar e melhorar elementos que possibilitem que o material seja uma opção comercialmente viável em maior escala. Alguns destes elementos são a eficiência do ciclo de crescimento, o desenvolvimento de equipamentos para a produção do material e a aplicação de fontes econômicas de nutrientes no meio de cultura das bactérias (QUIJANO, 2017).

Por isso, muitos estudos se concentraram em reduzir os custos de produção da CB, propondo meios de fermentação econômicos, que possam substituir o meio convencional Hestrin-Schramm (HS) por fontes alternativas de nutrientes mais baratas, geralmente utilizando subprodutos da indústria de alimentos. Estas fontes alternativas de nutrientes podem ser uma opção interessante principalmente para aplicações que não exigem um grau de pureza tão alto quanto os exigidos para aplicações biomédicas (AZEREDO *et al.*, 2019).

Segundo Abdelraof; Hasanin e El-Saied (2019), o meio de fermentação representa 30% do custo da produção total, ressaltando a importância de procurar substratos nutritivos econômicos para o desenvolvimento dos organismos. Algumas fontes de resíduos da indústria de alimentos que têm sido estudadas como fonte alternativa de carbono e nitrogênio são: melaço de cana, suco de frutas, levedura residual da produção de cerveja, casca de café, casca de arroz, entre outros (COSTA *et al.*, 2017). Além do benefício econômico, utilizar estes materiais como nutrientes contribui na diminuição do descarte de resíduos industriais.

De acordo com Basu; Vadanam e Lim (2019), a fonte de carbono usada no crescimento bacteriano afeta significativamente a interação entre as variáveis do processo e, conseqüentemente, os resultados. O Quadro 1 apresenta um comparativo de cultivos feitos com diferentes cepas de bactérias, fontes de carbono e processos, com a finalidade de obter o maior rendimento de CB possível, com o menor custo.

Quadro 1 - Comparativo de cultivos com fontes alternativas de nutrientes

Cepa	Fonte Alternativa	Tratamento da fonte alternativa	Condições da fermentação	Rendimento	REFERÊNCIA
<i>Gluconacetobacter xylinum</i> ATCC10245	Casca de batata	Lavagem com água destilada Tratamento ácido: <i>HNO₃ 2M</i> <i>100°C</i> <i>2 h</i> Neutralização (pH 6): <i>NaOH 1M</i> Centrifugação para remover impurezas: <i>6.000 g</i> <i>15 min</i> Esterilização: <i>121 °C,</i> <i>15 min</i>	Inóculo de 4% v/v (10 ⁶ unidades formadoras de colônias/mL) pH 6 30°C Diluição do meio com água em 2x/ 3x/ 4x 4d - cultivo estático	2,61 g/l (g de CB seca/l do meio de cultivo)	(ABDELRAOF; HASANIN; EL-SAIED, 2019)
<i>Acetobacter xylinum</i>	Folha de <i>A. barbadensis</i>	Lavagem em água Limpeza com álcool 70% Retirada da casca e extração do gel	0,5 mL inóculo 0,5 g glicose 0,15 mL ácido acético glacial gel extraído pH 3 7 d – cultivo estático Meio controle – água destilada	0,7 g CB seca (condições com melhores resultados: 15% glicose e pH 3)	(AQUARY <i>et al.</i> , 2014)
<i>Gluconacetobacter xylinum</i> CCM 3611T	Suco de maçã	Trituração: <i>Maçã triturada no liquidificador</i> Sequência de centrifugação: <i>11000 × g 20 min</i> <i>15000 × g 20 min</i> <i>19000 × g 45 min</i> Filtragem a vácuo Ajuste do pH do suco a 5,5 Esterilização: <i>autoclave, 121 °C, 15 min</i>	Inoculo: 5mL (~195 ×10 ⁸ células/mL) 100 mL de suco de maçã. Composição: <i>frutose 0,75 g/l</i> <i>glicose 0,33 g/l</i> <i>sacarose 0,0 g/l</i> 28 °C 15 d – cultivo estático	0,02g/100 mL (g CB seca/ mL meio)	(BANDYOPADHYAY; SAHA; SAHA, 2018)
<i>Gluconacetobacter hansenii</i> ATCC 23769	Resíduo líquido de sisal Suco de caju	Material mantido congelado até o seu uso Filtragem simples Autoclave: 120 °C	Inóculo de 3% (v/v) pH natural do resíduo 30 °C 10 d – cultivo estático	não consta	(DUARTE, 2014)

		15 min			
<i>Gluconacetobacter xylinus</i> fornecido por fabricantes de nata de coco	Casca de banana	Limpeza e corte da casca aquecimento em água até fervura, proporção 1:3 (w/v) Resfriamento temperatura ambiente 12 h Espremer polpa e filtrar extrato Ferver extrato 100 °C	Inóculo de 15% (v/v) Glicose 10% (w/v) Sulfato de Amônio 1% (w/v) Ácido acético para obter pH 4 7 d	5,6 g CB seca	(SIJABAT <i>et al.</i> , 2019)
<i>Acetobacter xylinum</i>	Casca de banana	Limpeza e corte de 1 kg de casca Adicionar 1 L de água, espremer polpa e filtrar extrato Adição de componentes do meio HS Autoclave 121 °C 15 min Resfriamento à temp. ambiente	Inóculo: 6,67 (%v/v) 1:1,5 casca/ água DI 30 °C 15 d	19,46 g CB úmida	(KHAMI <i>et al.</i> , 2014)
<i>Gluconacetobacter sucrofermentans</i> B-11267 isolado da Kombucha	Soro de queijo Vinhaça	Autoclave 121 °C 20 min	28 °C 3 d – cultivo agitado (250 rpm) Inóculo: 10 (%v/v) Soro de Queijo pH natural 4,96 Vinhaça pH natural 3,95	Soro de queijo 5,45 g/L (g CB seca/ L meio de cultivo) Vinhaça 6,19 g/L (g CB seca/ L meio de cultivo)	(REVIN <i>et al.</i> , 2018)

FONTE: elaborado pela autora; 2020

3.2.3 Limpeza, purificação e secagem

Azeredo *et al.* (2019) apontam que a CB colhida do meio de cultura contém algumas impurezas como células e nutrientes remanescentes, como proteínas, peptídeos e oligossacarídeos, tornando-se necessária, dependendo da sua aplicação, a

realização de um processo de purificação. O procedimento mais utilizado é o tratamento alcalino com NaOH ou KOH. Dima *et al.* (2017) determinaram que utilizando uma solução de 1M NaOH, se obtém aproximadamente 85% de purificação e que concentrações mais altas garantem quase 97% da remoção de impurezas. Basu; Vandanan e Lim (2019), purificam a membrana de CB em uma solução 0,5 M NaOH a 100 °C por 10 min, a seguir é lavada com água deionizada até a obtenção de um pH neutro.

Caso seja utilizado o tratamento alcalino, é necessária cautela, pois soluções concentradas podem alterar a estrutura da celulose, modificando suas propriedades mecânicas. Ao definir o processo de purificação, deve ser levado em consideração o uso que terá o material. Aplicações biomédicas, por exemplo, requerem procedimentos mais meticulosos de remoção de impurezas, comparado com aplicações em alimentos e embalagens de alimentos (AZEREDO *et al.*, 2019).

A secagem da CB pode ser realizada a temperatura ambiente, em estufa, por meio de liofilização ou de secagem supercrítica. O processo de secagem da CB, assim como todos os elementos do seu processamento, altera as características, propriedades e preço final do material, devendo ser escolhido de acordo com a aplicação do material. No Quadro 2 são comparados processos de purificação e secagem realizados por diversos autores utilizando fontes de nutrientes e cepas de bactérias diferentes.

Quadro 2 - Comparativo de purificação e secagem utilizados

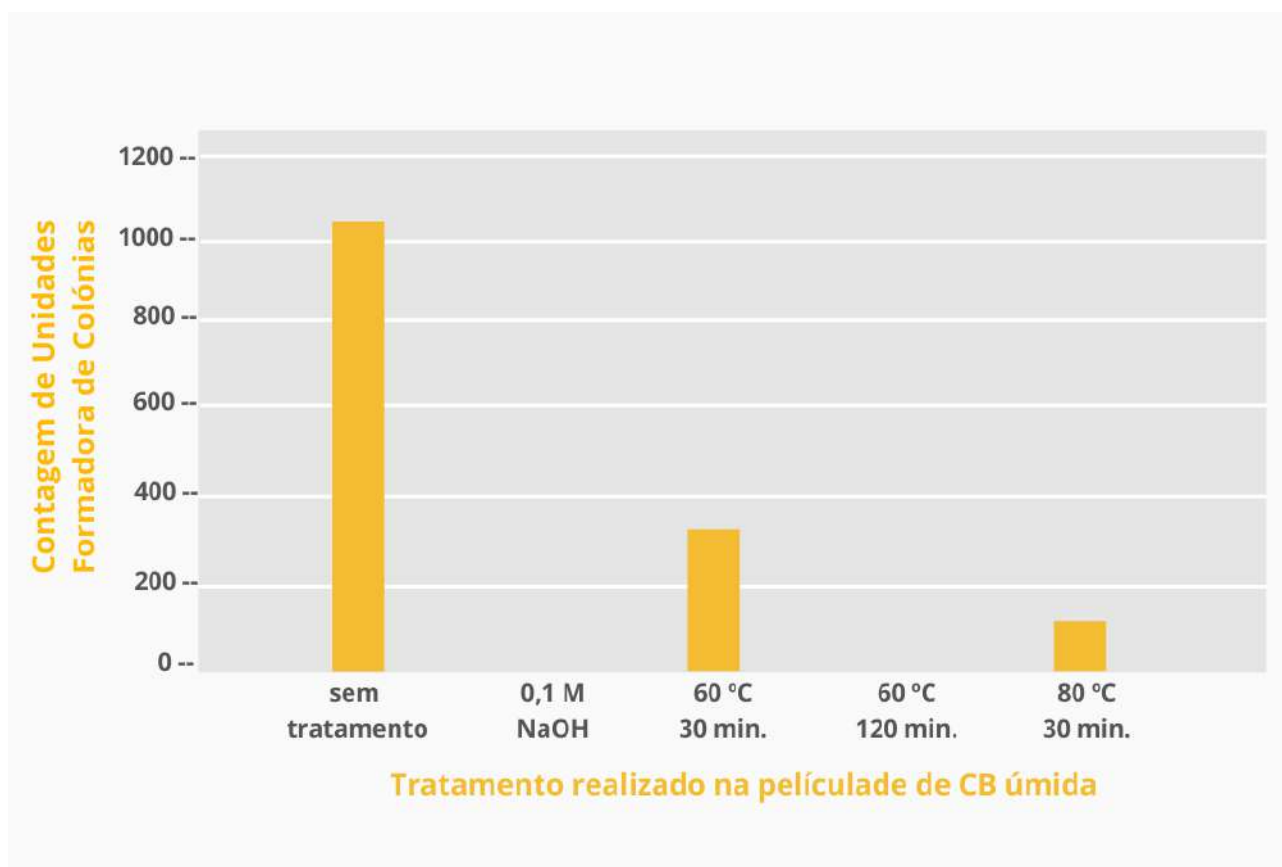
Cepa	Fonte Alternativa	Purificação	Secagem	Rendimento	REFERÊNCIA
<i>Gluconacetobacter xylinum</i> ATCC10245	Casca de batata	Lavagem com água destilada	60 °C 24 h	2,61 g/L (CB seca/ meio)	(ABDELRAOF; HASANIN; EL-SAIED, 2019)
		Imersão em NaOH 1M 60 °C 90 min			
		Lavagem em solução de metanol			
		Lavagem em água			

		deionizada			
<i>Acetobacter xylinum</i>	Folha de A. Barbadosis	Não consta	Ambiente	0,7 g CB seca	(AQUARY <i>et al.</i> , 2014)
<i>Gluconacetobacter xylinum</i> CCM 3611T	Suco de maçã	Imersão em água destilada durante a noite NaOH 0,5 M 80 °C 1h Lavagem em água destilada até obter pH 7	Sequência de secagem ao ar: <i>temperatura ambiente</i> 96 h; 60 °C 6 h liofilização: - 110 °C 72 h	0,02 g /100 mL (CB seca/ meio)	(BANDYOPADHYAY; SAHA; SAHA, 2018)
<i>Gluconacetobacter hansenii</i> ATCC 23769	Resíduo líquido de sisal Suco de caju	Lavagens sucessivas com dodecil sulfato de sódio 2% (SDS) Tratamento térmico: NaOH 1M/L 80 °C 30 min	Secagem em estufa 70 °C	não consta	(DUARTE, 2014)
<i>Gluconacetobacter xylinus</i> fornecido por fabricantes de nata de coco	Casca de banana	Lavagem Imersão em NaOH 2M por 12 h	Estufa 75 °C	5,6 g CB seca	(SIJABAT <i>et al.</i> , 2019)
<i>Acetobacter xylinum</i>	Casca de Banana	não consta	Forno de ar quente 105 °C 6 h Dessecador	19,46 g CB úmida	(KHAMI <i>et al.</i> , 2014)
<i>Gluconacetobacter sucrofermentans</i> B-11267 isolado da Kombucha	Soro de queijo (SQ) Vinhaça (V)	Lavagem com água destilada solução de NaOH 1% (w/v) 80 °C 1 h Lavagem com 6% (v/v) e logo após água destilada até obter pH neutro	105 °C	SQ 5,45 g/L (g CB seca/ L meio de cultivo) V 6,19 g/L (g CB seca/ L meio de cultivo)	(REVIN <i>et al.</i> , 2018)

FONTE: elaborado pela autora; 2020

Como observado no Quadro 2, o método de purificação mais comum é o tratamento da CB com NaOH, no entanto, quando não é requerida a remoção meticulosa de impurezas, podem ser aplicados outros tratamentos para apenas higienizar o material. Uma alternativa de higienização, utilizada pelo projeto Aqualose (2014), é a aplicação de calor, onde a película de CB é aquecida enquanto submersa em H₂O para evitar a sua dessecação. A equipe de pesquisa avaliou a retenção de *G. xylinus* do material após diversos processamentos, obtendo resultados que indicam que a imersão em água a 60 °C, por um período de tempo de duas horas é um método eficaz para eliminar as bactérias remanescentes no material (Figura 12).

Figura 12 – Unidades de colônias de *G. xylinus* nas películas de CB após tratamento



FONTE: adaptado de Aqualose, 2014

Este processo de inativação também é utilizado para preparar a nata de coco, que é uma sobremesa tradicional de alguns países asiáticos como a Indonésia e Filipinas preparada com CB, obtida através da fermentação de água de coco (Figura

13). A película de celulose é colhida por meio da filtração, cortada em cubos e lavada em água corrente para eliminar o seu sabor e cheiro ácido (BURKE; BENNETT-WOODS, 2016). Posteriormente, a película é fervida por 15 min para completar a remoção do sabor ácido e para matar as bactérias remanescentes (GAYATHRY, 2015). Ainda que a nata de coco continue sendo produzida manualmente pela indústria tradicional de fermentação, as quantidades resultantes são relativamente altas, variando entre 500 e 1500 toneladas anuais de CB por produtor (KLEMM *et al.*, 2018).

Figura 13 – Nata de coco



FONTE: CV. Manju Bersama Mandiri, 2020⁷

⁷ CV. MAJU BERSAMA MANDIRI. **Benefits of Nata de Coco**. 15 set. 2020. Disponível em: <<https://www.coconutnusanantara.com/manfaat-nata-de-coco/>>. Acesso em: 1 out. 2020.

3.2.4 Aplicações em produtos de consumo

Devido ao alto custo de produção dos métodos tradicionais, a CB tem sido usada principalmente para aplicações biomédicas, como materiais para engenharia de tecidos, curativos, pele, vasos sanguíneos artificiais e transportadores para administração de medicamentos (JACEK *et al.*, 2019). É por esse motivo que, embora sendo de grau alimentício e tendo grande potencial como material para embalagens de alimentos, a CB tem sido pouco exploradas nesse setor.

Li *et al.* (2015) apontam que o potencial da CB está muito além das aplicações existentes, especialmente se puder ser produzida em grandes quantidades a partir de uma matéria-prima barata. Para os autores, o material poderia ser amplamente utilizado no setor de alimentos, farmacêutico, na indústria têxtil, em cosméticos, em materiais funcionais avançados, em embalagens, materiais filtrantes, entre outros. Atualmente, já é possível observar no cenário internacional, empresas e iniciativas pesquisando e produzindo CB com o intuito de desenvolver uma nova geração de materiais naturais sofisticados, para aplicações em produtos de consumo.

A empresa indiana Malai apresentou uma coleção de acessórios feitos com um biocompósito formado por uma matriz de CB e por fibras da folha de bananeira como fase de reforço. Denominada *Fin(it)e*, a coleção contemplou itens como pochetes, carteiras, sandálias, pulseiras e bolsas confeccionadas com o material. Da mesma forma que a Nata de Coco, a CB utilizada na composição deste material, é produzida com água de coco. A *startup* tem poucos anos de vida, mas já tem uma capacidade de produção média e, além de trabalhar em colaborações com designers, comercializa amostras pequenas do biocompósito, de 297 x 200 mm, e folhas maiores de 1200 x 800 mm, em gramaturas, texturas e cores variados. A Figura 14 mostra exemplos de como os seus materiais têm sido aplicados em calçados, bolsas e mobiliário (MALAI, 2020)⁸.

⁸ MALAI. **Fin(it)e Collection**. Disponível em: <<https://malai.eco/collections/finite-collection>>. Acesso em: 20 jun. 2020.

Figura 14 – Bolsa (a); Sandália (b); Revestimento de banqueta (c); Bolsa (d)

FONTE: Malai, 2020

A empresa australiana *Nanollose*, utiliza resíduos orgânicos da indústria agrícola para produzir CB que logo após é convertida em uma fibra chamada *Nullarbor™*. Esta fibra é destinada à manufatura de tecidos como a viscose e o rayon sem a necessidade de utilizar árvores. Outro produto comercializado pela empresa é o *JelliGrow™*, o qual é utilizado como substrato biodegradável para fins de germinação de sementes e crescimento de plantas sem uso de terra (Figura 15). Além da tecnologia para converter a CB em fibra, a empresa propõe um processo de fabricação de CB em larga escala, como o qual esperam produzir até 115 Ton/ano de nanocelulose em uma área de 70 x 100 m. Esse valor supera exponencialmente a produção dos seus concorrentes, sendo 0,5 Ton/ano para o algodão, 3,5 Ton/ano para árvores e 12 Ton/ano para o Bambu na mesma área (NANOLLOSE, 2020)⁹.

⁹ NANOLLOSE. **Our technology:** cost-effective scalable & eco-friendly process. 2020. Disponível em: <<https://nanollose.com/technology/our-technology/>>. Acesso em: 10 ago. 2020.

Figura 15 – Nullarbor™ (a); JelliGrow™ (b)

FONTE: Nanollose, 2020

Jen Keane, designer, pesquisadora e residente da empresa *Bolt Threads*, propõe a possibilidade de produzir um biocompósito ao integrar o crescimento da CB em meio a um trançado de linhas. No projeto é cultivado o cabedal de um tênis através da técnica de *Microbial Weaving* (tecelagem microbiana), desenvolvido pela pesquisadora (Figura 16). O processo resulta em uma peça inteira de material híbrido, resistente e leve, que possibilita o cultivo de formatos variados sem gerar resíduos (MATERIAL FUTURES, 2022)¹⁰.

Figura 16 – Cabedal produzido com o processo de tecelagem microbiana

FONTE: Material Futures, 2022

¹⁰ MATERIAL FUTURES. Master of Arts. **Jen Keane**. Disponível em: <<https://www.materialfutures.com/jen-keane>>. Acesso em: 7 abr. 2022.

Pesquisas experimentais, resultam em uma variedade de possibilidades de aplicação. Esse é o caso de designers como a alemã, Juliana Schneider, e a norueguesa, Ellen Rykelid, as quais ao experimentar com o material, não se limitam a um ramo específico. Seus projetos envolvem aplicações como embalagens de alimentos, absorventes íntimos, capas de celular, entre outros (SCHNEIDER, 2020¹¹; RYKKELID, 2015¹²). Com foco em aplicações na área da moda, a empresa alemã ScobyTec (2020)¹³ atua no desenvolvimento um material com características similares às do couro. O seu portfólio conta com protótipos de diversos produtos como luvas, coletes, capas para notebook, sapatos, bolsas, entre outros (Figura 17).

Figura 17 – Capa de celular (a); Absorvente (b); Embalagem de chips (c); Bolsa (d)



FONTE: Ellen Rykkelid, 2015 (a, b, c); Scobytec, 2020 (d)

¹¹ SCHNEIDER, J. **GrowPak**: a step towards closing the loop. Disponível em: <<https://julianajschneider.com/growpak>>. Acesso em: 12 abr. 2020

¹² RYKKELID, E. **Ellen Rykkelid**: Portfolio: growing products. 2015. Disponível em: <<http://www.ellenrykkelid.com>>. Acesso em: 11 abr. 2022.

¹³ SCobyTEC. **Projekte**. Disponível em: <<http://scobytec.com/portfolio>>. Acesso em: 12 abr. 2020.

Junto à indústria da moda, o setor de embalagens instiga os pesquisadores e designers a criar possibilidades de embalagens descartáveis saudáveis para o ambiente e as pessoas, por meio da biofabricação. A designer italiana Emma Sicher, criou o projeto *From Peel to Peel* (Da Casca à Casca), o qual consiste em embalagens feitas de CB cultivada com resíduos de frutas e vegetais (Figura 18). Em sua pesquisa, conseguiu produzir materiais de diferentes texturas, cores, espessuras e formas, alterando os substratos e as superfícies de secagem da CB, demonstrando a versatilidade do material. Entre as embalagens criadas pela designer se encontram sachês para açúcar, chá e frutas desidratadas, embalagens para balas, bandejas para alimentos e etiquetas (COHEN; SICHER; YAVUZ, 2019).

Figura 18 – Embalagem de CB cultivada com resíduo de frutas



FONTE: Hitti, 2018¹⁴

A startup *Make Grow Lab* não só produz CB com vários tipos de resíduos locais da indústria de alimentos (raízes, frutas, vegetais) e desenvolve alternativas compostáveis para embalagens, couros veganos, entre outros, como também, convidam o público a experimentar o processo de biofabricação ativamente. O

¹⁴ HITTI, N. Emma Sicher makes eco-friendly packaging from fermented bacteria and yeast. **Dezeen**. 13 nov. 2018. Disponível em: <<https://www.dezeen.com/2018/11/13/sustainable-food-packaging-emma-sicher-peel/>>. Acesso em: 7 jun. 2020.

lançamento da ideia *Future Farmers*TM busca fornecer aos consumidores e usuários uma forma de participar da “biorevolução” e, ainda, ajudar com o financiamento das pesquisas da empresa. Atualmente, *Make Grow Lab* comercializa materiais para embalagens, luminárias, amostras de couro vegano, sabonetes e xampus sólidos embalados com CB (Figura 19).

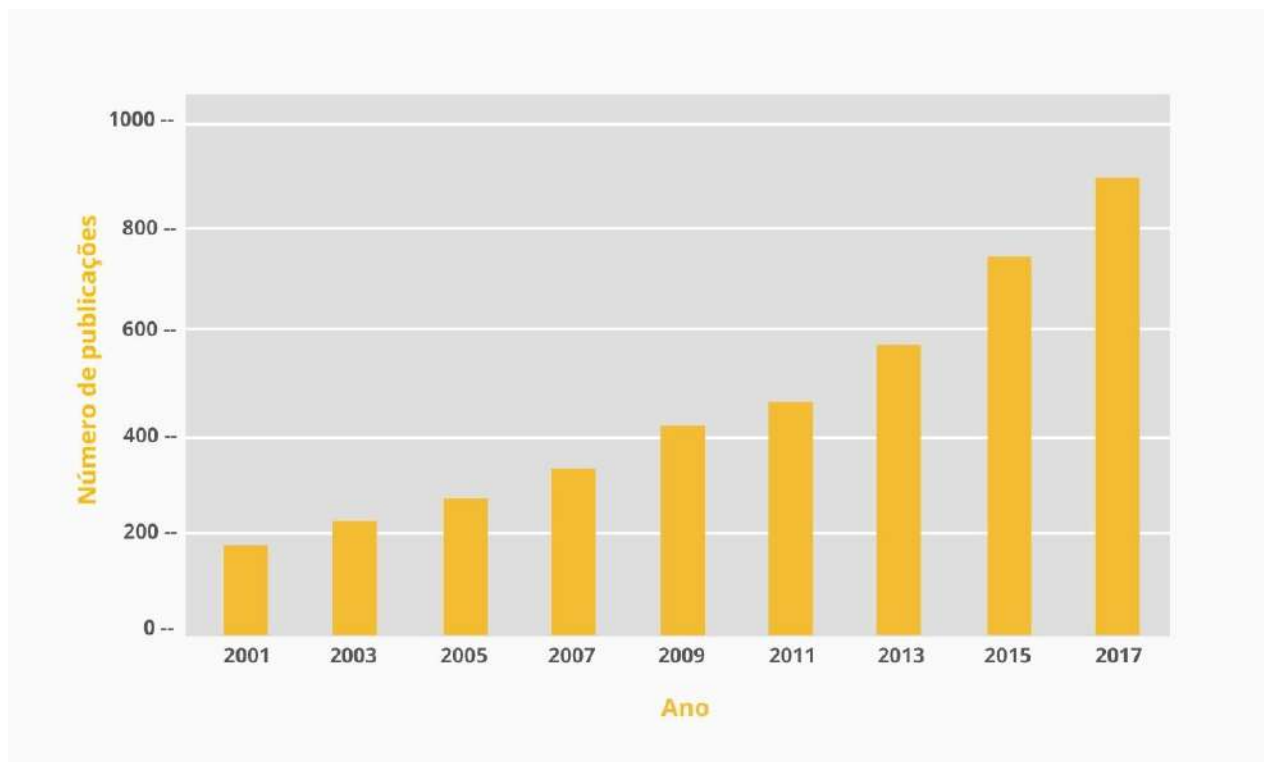
Figura 19 – Embalagem de sabonete feito pela empresa *Make Grow Lab*



FONTE: Make Grow Lab, 2020¹⁵

Paralelamente ao crescimento do número de empresas trabalhando com a biofabricação de CB para aplicações em produtos de consumo, é possível observar o crescimento exponencial no número publicações que abordam tópicos relacionados à CB. Os dados apresentados na Figura 20, evidenciam a relevância que o assunto está tendo e terá no mercado nos próximos anos (KLEMM *et al.*, 2018).

¹⁵ MAKE GROW LAB. **SCOBY packaging**. Disponível em: <<https://www.makegrowlab.com/scoby-packaging>>. Acesso em: 15 jun. 2020.

Figura 20 – Número de publicações por ano sobre celulose bacterianaFONTE: adaptado de Klemm, *et al.* 2018

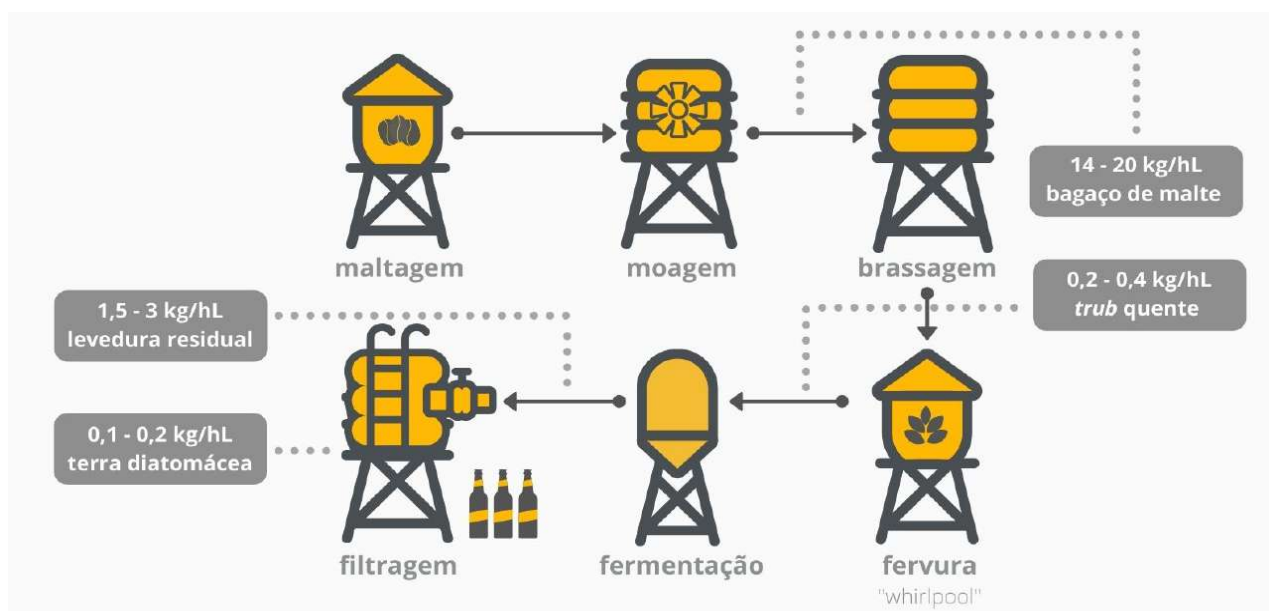
3.3 Trub

No Brasil, os resíduos orgânicos representam metade dos resíduos sólidos urbanos gerados (BRASIL, 2017). Os mesmos não devem ser vistos como uma fonte de poluição ambiental que deve ser eliminada em aterros ou incinerada. Este recurso valioso pode ser transformado, através da aplicação de novas abordagens e tecnologias, em produtos comercializáveis que proporcionam emprego e lucro (MURALIKRISHNA; MANICKAM, 2017). A aplicação destes resíduos em bioprocessos contribui não apenas com a diminuição de problemas de poluição ambiental, mas também com a redução do custo de produção de biomateriais, quando utilizados como fonte alternativa para o substrato do cultivo (KHATTAK *et al.*, 2015).

Os resíduos gerados pela indústria cervejeira são abundantes e possuem um grande potencial. As etapas de produção da cerveja incluem o processamento e a

fermentação de matérias-primas vegetais, como o malte de cevada e outros grãos, o lúpulo e a filtragem do produto final. Os subprodutos gerados são o bagaço de malte, o *trub*, a levedura residual e a terra diatomácea (Figura 21). Os primeiros três, denominados resíduos úmidos, são responsáveis pela perda de aproximadamente 20% da água utilizada no processo de fabricação da cerveja. Os mesmos apresentam alto teor de substâncias orgânicas, permitindo uma ampla variedade de aplicações em biotecnologia industrial, alimentos para animais e humanos (MATHIAS; DE MELLO; SÉRVULO, 2014).

Figura 21 – Etapas da produção de cerveja e seus sub-produtos



FONTE: adaptado de Mathias; de Mello; Sérvulo, 2014

Na revisão bibliográfica foram encontrados alguns relatórios científicos do uso de resíduos da indústria cervejeira para a produção de CB. Khattak, *et al.* (2015) utilizam o melaço da cervejaria *Murree Brewery*, obtendo um rendimento de 1,74 g/L de celulose, após 9 dias de cultivo estático. Ha *et al.* (2008) realizaram testes com levedura residual, ajustando previamente o seu pH para 5 e centrifugando-o para remover as células de levedura e outras partículas. Este resíduo continha 6,49% (p/p) (68,11 g/L) de carbono, 1,64% (p/p) (17,19 g/L) de nitrogênio e 11,06% (p/p) (116,14 g/L) de hidrogênio. Lin *et al.* (2014) também utilizam a levedura residual, realizando previamente um tratamento

para que as bactérias pudessem metabolizá-la com mais facilidade. De acordo com os autores, este resíduo é composto principalmente de 48-55% de proteína, 23-28% de carboidratos, 6-8% de RNA, 1% de glutatona, 2% de vitamina B e é um resíduo rico em fósforo, potássio, cálcio, ferro e magnésio.

O *trub* possui grandes quantidades de nitrogênio, fibras e proteínas. Essa fibra é constituída por vários açúcares (ramnose, arábica, xilose, manose, galactose e glicose), sendo a glicose e a xilose os mais abundantes (MUSSATTO, 2009). Os resultados da composição dos resíduos úmidos cervejeiros, obtidos por Mathias, de Mello e Sérvulo (2015), mostram que o *trub* possui 20% de açúcar redutor solúvel (Tabela 1).

Tabela 1 – Composição de resíduos da produção de cerveja

	BAGAÇO DE MALTE	TRUB QUENTE	LEVEDURA RESIDUAL
Umidade (%)	82,60 ± 0,10	86,90 ± 0,10	86,00 ± 0,00
Cinzas (%)	3,85 ± 0,00	2,00 ± 0,08	5,86 ± 0,05
Açúcar redutor solúvel (%)	0,65 ± 0,05	20,00 ± 0,00	1,3 ± 0,00
Proteína total (%)	26,89	48,78	52,74
Nitrogênio solúvel (%)	2,14	0,88	14,66

FONTE: adaptado de MATHIAS; DE MELLO; SÉRVULO, 2015

De acordo com Mathias; De Mello e Sérvulo (2015), geralmente são formados entre 0,2 e 0,4 kg de *trub* úmido para cada hectolitro de cerveja produzida, contendo de 80 a 90% de umidade, 50-70% de proteínas, 10-20% de substâncias amargas não isomerizadas do lúpulo, 5-10% de polifenóis, 4-8% de carboidratos – incluindo pectina, glucano e amido – 3-5% de minerais e 1-2% de ácidos graxos. Alguns fatores que definem a composição do *trub* são o tipo de cevada, o processo de trituração e o controle do pH, o tipo, concentração e grau de solubilização das substâncias do lúpulo. Este resíduo promove a vitalidade e viabilidade celular e o bom desempenho do processo de fermentação, devido à presença de lipídios, minerais e fontes de proteínas.

3.4 Design de Embalagens de Alimentos

Além de procurar características sustentáveis no produto em si, as pessoas estão procurando ativamente embalagens que demonstrem que as empresas têm preocupação pela sustentabilidade de forma integral (SMITHERS PIRA, 2014)¹⁶. Além disso, os consumidores de alimentos locais e orgânicos se preocupam em apoiar fornecedores que consideram questões como o trabalho justo, transparência e o uso de materiais saudáveis nas embalagens dos produtos.

Segundo o relatório de tendências em embalagens da *Asia Pulp & Paper* de 2017, um em cada três consumidores afirma que a sua decisão de compra entre dois produtos é definida pela oferta de embalagens sustentáveis. Um em cada quatro respondeu que estaria disposto a pagar mais por essas opções sustentáveis, o que demonstra que o desenvolvimento de soluções compostáveis serve como ferramenta de atração e construção de fidelidade com os consumidores (DICKINSON, 2017)¹⁷.

O design de embalagens pode contribuir com a transição para a Economia Circular na concepção do projeto de produção, na otimização das suas funções, na revalorização do material aplicado após o seu consumo e até na conscientização dos consumidores (KARASKI *et al.*, 2016). Uma opção atraente é a possibilidade de criar embalagens que desapareçam como consequência da utilização do produto – sendo comestíveis, compostáveis ou solúveis em água – já que poderiam potencialmente eliminar por completo a criação de resíduos. Esta seria uma ótima solução, especialmente para alimentos e produtos de higiene e cuidado pessoal (WORLD ECONOMIC FORUM; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION; MCKINSEY & COMPANY, 2016)

¹⁶ SMITHERS PIRA. **Insight: the top four personal care packaging trends**. 17 fev. 2014. Disponível em: <<https://www.smitherspira.com/resources/2014/february/top-four-personal-care-packaging-trends>>. Acesso em: 15 jun. 2020.

¹⁷ DICKINSON, B. Creating a data-based, sustainability strategy you can take to the bank: steps packaging companies are using to improve sustainability and profits. **Packaging Strategies**. fev. 2017. Disponível em: <<https://www.packagingstrategies.com/articles/89413-creating-a-data-based-sustainability-strategy-you-can-take-to-the-bank>>. Acesso em: 5 jun. 2020.

No Quadro 3, são apresentadas algumas diretrizes para o design de embalagens mais sustentáveis, estruturadas por Pereira (2012).

Quadro 3 – Diretrizes para o Design de Sistemas e Embalagens Sustentáveis

OTIMIZAR O USO DE RECURSOS

Utilizar materiais com baixo impacto nos processos de produção.

Utilizar o número mínimo de materiais, aditivos ou auxiliares.

Otimizar o espaço vazio dentro da embalagem.

MINIMIZAR E VALORIZAR OS RESÍDUOS

Buscar parcerias locais visando à reciclagem para os resíduos.

Projetar utilizando materiais com conteúdo reciclado, reciclável ou compostável, sempre que possível.

Usar materiais que provenham de refugos de processos produtivos.

Facilitar a separação das partes da embalagem para a reciclagem (*design for disassembly*).

VISAR A BIOCOMPATIBILIDADE

Estabelecer parcerias para aumentar o uso de materiais locais renováveis e biodegradáveis.

Garantir que o material base e todos os seus componentes sejam biodegradáveis e não resultem em uma contaminação química na compostagem.

FORTALECER E PROMOVER RECURSOS LOCAIS

Respeitar e fortalecer as características peculiares locais.

Adaptar e promover sistemas usando recursos locais, naturais e regenerados, o que estimulará o crescimento econômico local e reduzirá a energia necessária para o transporte.

Promover empresas e iniciativas locais, estruturadas em rede.

Comunicar o produto e o território, identificando e referenciando os atributos e a origem do produto na embalagem.

MANTER A VIABILIDADE ECONÔMICA

Utilizar materiais e processos acessíveis em termos de custo produtivo.

Adotar recursos facilmente disponíveis.

Utilizar recursos e fornecedores locais.

Visar a competitividade dos produtos, criando valor para os mesmos por meio das embalagens.

Simplificar o processo produtivo, evitando acabamentos especiais, estruturas geométricas complexas ou muitas partes e componentes para a montagem.

FONTE: Adaptado de Pereira, 2012.

A embalagem, além de conter e conservar o seu conteúdo, é uma poderosa ferramenta de marketing, “(...) representa qualidade e valor, atuando, consequentemente, como um apelo comportamental e de status da sociedade” (NAPOLITANO; CAVERNI, 2011, p. 31). É um elemento estratégico de interface entre o produto e as pessoas, que deve comunicar os princípios e valores da marca através da sua configuração. No Quadro 4 são apresentadas as funções da embalagem de acordo com Karaski *et al.* (2016).

Quadro 4 – Funções da embalagem

FUNÇÕES	ATRIBUTOS
Proteção	Previne danos mecânicos, deterioração do produto (barreira a gases, umidade, luminosidade, aromas, etc.), contaminação externa e adulteração; e aumenta a vida de prateleira do produto.
Promoção	Proporciona estética e apelo de venda; apresenta e descreve o produto e suas características; e é instrumento de propaganda e <i>marketing</i> .
Informação	Identifica o produto; descreve seu modo de preparo e uso; lista ingredientes; e apresenta informações nutricionais e instruções para armazenamento, abertura, de segurança e de descarte, tanto do produto como da própria embalagem.
Logística e Manuseio	Viabiliza o transporte eficiente do produtor até o varejista e a exposição no ponto de venda.
Conveniência e Individualização	Facilita o preparo, armazenamento, fracionamento (compra individualizada) e consumo.
Sustentabilidade	Reduz a perda de produto e pode permitir a reutilização da embalagem; auxilia e orienta o descarte do produto e da embalagem; protege o produto e permite a estocagem adequada, garantindo sua maior durabilidade; viabiliza um transporte eficiente; apresenta oportunidades no uso de matérias-primas alternativas e renováveis e projeto otimizado, entre outros.

FONTE: Adaptado de Karaski *et al.*, 2016.

Do volume total de plástico produzido, 26% são destinados à manufatura de embalagens. No entanto, apenas 14% das embalagens plásticas são coletadas para reciclagem e, em sua maioria, são recicladas em aplicações de menor valor e em materiais que não poderão ser novamente reciclados. A cada ano, pelo menos 8

milhões de toneladas de plástico vazam para o oceano e, segundo estimativas, as embalagens de plástico representam a maior parte desse vazamento. As mesmas são amplamente utilizadas pois proporcionam benefícios econômicos e aumentam a produtividade dos recursos. A sua leveza diminui o consumo de combustível utilizado no transporte e as suas excelentes propriedades de barreira contra a umidade e o ar evitam o desperdício de alimentos ao prolongar a sua vida útil (WORLD ECONOMIC FORUM; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION; MCKINSEY & COMPANY, 2016).

Esse contexto, junto ao grande desperdício de alimentos, demonstra a urgência e relevância do desenvolvimento de materiais para embalagens com propriedades semelhantes às oferecidas pelos polímeros de origem fóssil. Atualmente são descartadas 1,3 bilhões de toneladas de alimentos por ano no mundo, representando aproximadamente um terço da produção total. Muitos desses resíduos são descartados no meio ambiente local, causando problemas de poluição e perdendo o valor do recurso (SANCHEZ-VAZQUEZ; HAILES; EVANS, 2013).

É necessário pensar em materiais com resistência mecânica, permeabilidade adequadas ao vapor de água, vapor de oxigênio e CO₂ (dióxido de carbono), que contribuam com a conservação da qualidade dos alimentos, mas que ao mesmo tempo possam ser produzidos com elementos saudáveis, sem gerar elementos nocivos, e mantidos permanentemente dentro dos fluxos dos ciclos técnico e biológico do sistema da Economia Circular (NEVES *et al.*, 2020).

Na Resolução de Diretoria Colegiada 91/01, é estabelecido que:

Embalagem para alimentos é o artigo que está em contato direto com alimentos, destinado a contê-los, desde a sua fabricação até a sua entrega ao consumidor, com a finalidade de protegê-los de agente externos, de alterações e de contaminações, assim como de adulterações (ANVISA, 2020, p.14).

3.4.1 Embalagens de vegetais orgânicos frescos

A ANVISA define “produto vegetal fresco” como:

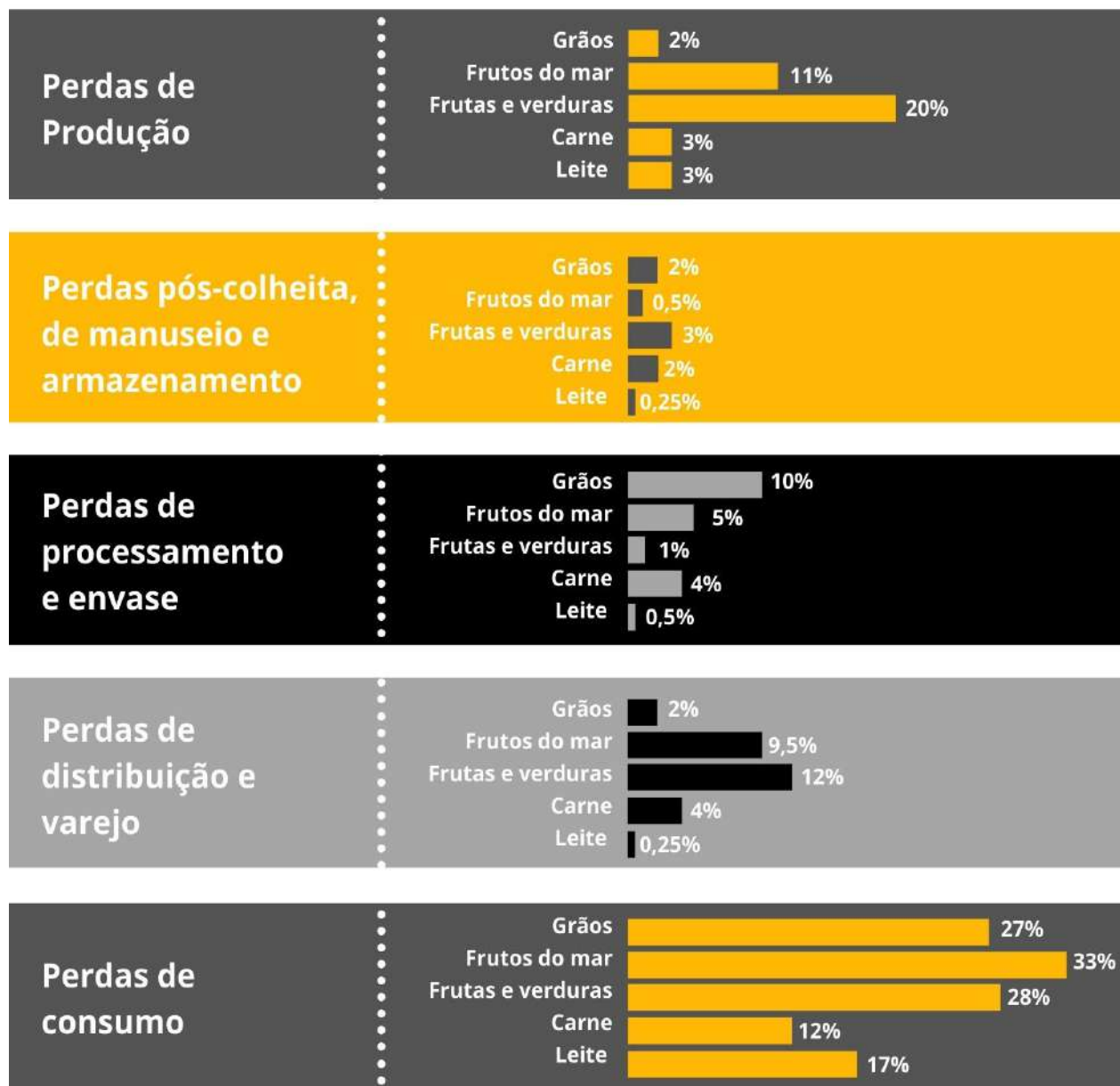
Frutas, hortaliças, raízes, bulbos e tubérculos, embalado ou não, destinado à comercialização para o consumo, após os procedimentos de colheita e pós-colheita, cujo estado de apresentação mantém as características de identidade e qualidade do produto vegetal fresco (ANVISA, 2018).

Os consumidores questionam com frequência o uso de embalagens, principalmente os utilizados neste tipo de alimentos. Estudos do consumidor realizados pela WRAP (*Waste and Resources Action Programme*) concluem que aproximadamente 81% dos consumidores acreditam que as embalagens de alimentos são um grande problema ambiental e 57% acham que é um desperdício desnecessário (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM, 2015). Porém, no sistema de distribuição e venda atual, elas são fundamentais para prolongar a vida útil dos alimentos e protegê-los durante o seu transporte e manipulação. Se a temperatura e a embalagem forem ideais, o envelhecimento das frutas e legumes, por exemplo, pode ser retardado em mais de 800% (DANISH TECHNOLOGICAL INSTITUTE, 2008)¹⁸.

No ano de 2017, os supermercados do Brasil deixaram de faturar R\$ 1,8 bilhões devido ao descarte de frutas, legumes e verduras (CRUZ, 2018)¹⁹. Da mesma forma, como apresentado na Figura 22, pesquisas apontam que nos Estados Unidos, Canadá, Austrália e Nova-Zelândia, as frutas e verduras são dos alimentos com maior porcentagem de perda nas etapas de distribuição e varejo e de consumo, sendo desperdiçado 12% e 28% respectivamente (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM, 2015).

¹⁸ DANISH TECHNOLOGICAL INSTITUTE. **Guide: Packaging of fresh fruit and vegetables**. Packaging and Transport. 2008.

¹⁹ CRUZ, F. **Supermercados desperdiçam R\$ 3,9 bi em alimentos por ano, diz Abras**. Agência Brasil. ago. 2018. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2018-08/supermercados-desperdicam-r-39-bi-em-alimentos-por-ano-diz-abras>>. Acesso em: 15 ago. 2020.

Figura 22 – Perda de alimento na cadeia de suprimento para os EUA, Canadá, Austrália e Nova-Zelândia

FONTE: adaptado de Associação Brasileira de Embalagem, 2015

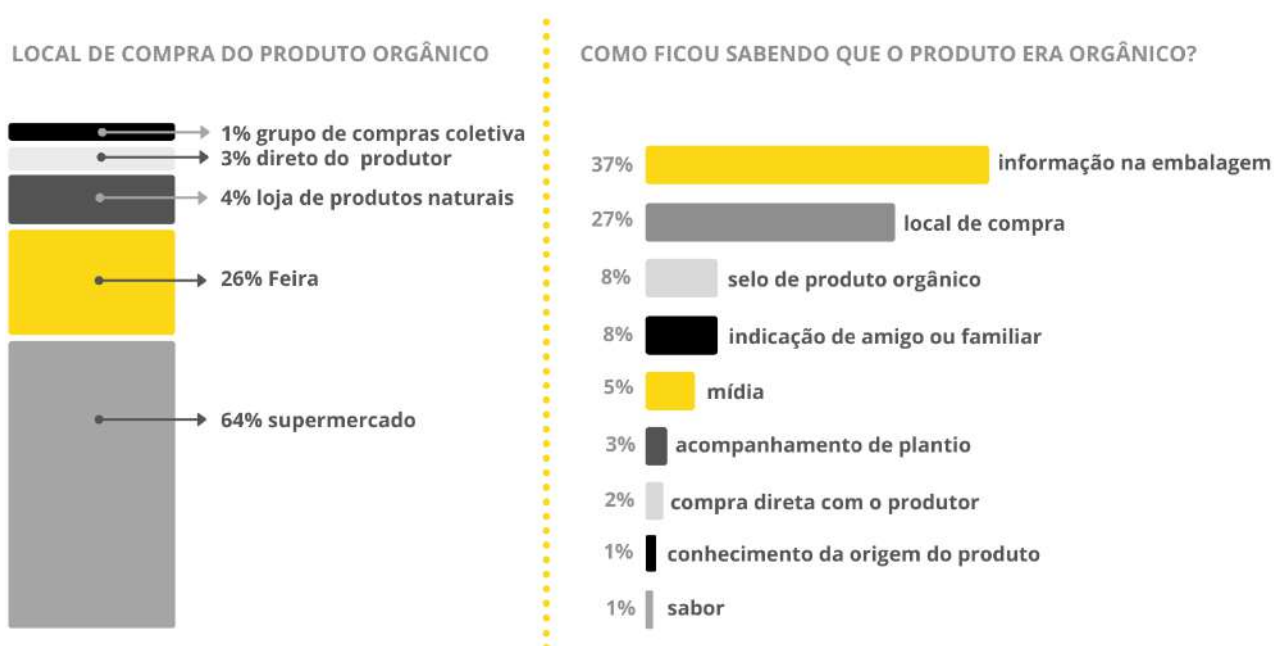
A Associação Brasileira de Embalagem (2015, p. 9), aponta que:

Hoje, 40% dos alimentos nos Estados Unidos não são consumidos e, a cada ano, cerca de 34,7 milhões de toneladas de alimentos são descartadas em aterros, resultando na emissão de gases de efeito estufa na ordem de 27 milhões de toneladas de CO₂. Além das emissões diretas de gases de efeito

estufa geradas no fim de vida, existem duas consequências ambientais indiretas, menos discutidas, que resultam do desperdício de alimentos: o consumo evitável de recursos naturais (especialmente terra e água) e a poluição que ocorre durante a produção de alimentos. [...] 80% de toda a água doce consumida nos Estados Unidos e 50% da terra são usados para a produção de alimentos,

O combate ao desperdício de alimentos é ainda mais relevante para produtores de vegetais orgânicos que, ao utilizar métodos de produção sem agrotóxicos, têm um rendimento menor e custos maiores durante o processo. Além disso, para estes produtores, a embalagem é essencial para comunicar a procedência, certificações e informações da marca. Ao mesmo tempo, estas embalagens têm uma jornada de uso curta, pelo qual é interessante que os materiais que as conformam tenham um ciclo de vida equivalente, e assim funcionem junto com os ciclos da natureza e não contra eles. De acordo com o relatório “Consumo de Orgânicos no Brasil” feito pela *Organis e Market Analysis*, 15% da população urbana é consumidora de produtos orgânicos e o maior mercado está na região Sul do país, onde a média de consumo é maior do que o dobro do consumo nacional.

Mesmo existindo diversos canais de compra disponíveis, como feiras, lojas especializadas, compra direta do produtor e clubes de compras coletivas, o varejo convencional é o local mais utilizado pelos consumidores. 64% dos consumidores compram produtos orgânicos em supermercados, 26% em feiras, 4% em lojas de produtos naturais, 3% direto do produtor e apenas 1% em clubes de compras (Figura 23). Além disso, “em grande maioria, os consumidores de produtos orgânicos ficam sabendo que os produtos são orgânicos no momento da compra, seja por informações no rótulo do produto ou por informações disponíveis no local de compra” (HARTMANN; LIU, 2017, p.20).

Figura 23 – Local de compra e fonte de informação de produtos orgânicos

FONTE: adaptado de Hartmann; Liu, 2017

Estes dados demonstram que, embora existam serviços que oferecem vegetais frescos orgânicos de forma mais direta, podendo entregar o produto sem embalagem, o cenário atual ainda apresenta uma grande necessidade do uso de embalagens destinados a estar nas estantes dos supermercados para providenciar informação e proteger os produtos que passam por um caminho mais extenso desde a sua coleta até o local de consumo. Além disso, a comercialização de produtos orgânicos está crescendo cada vez mais, tendo faturado R\$4 bilhões em 2018 no Brasil, o qual representa um aumento de 20% em relação ao ano anterior (BRASKEM, 2019)²⁰. De acordo com o Sebrae (2019), “estima-se que cerca de um milhão de hectares é cultivado organicamente no Brasil, e que os principais produtos são: Frutas, Hortaliças, Raízes, Tubérculos, Grãos e Produtos agroindustriais”.

²⁰ BRASKEM. Mercado brasileiro de orgânicos fatura R\$4 bilhões em um ano. **Bluevision**. maio 2019. Disponível em: <<https://bluevisionbraskem.com/inteligencia/mercado-brasileiro-de-organicos-fatura-r-4-bilhoes-em-um-ano/>>. Acesso em: 20 dezembro 2019.

Os consumidores gostam de ver os produtos frescos antes de comprá-los. Portanto, é importante que as embalagens possuam transparência para oferecer uma boa visibilidade do produto (MANGARAJ; GOSWAMI; MAHAJAN, 2009). A maioria das embalagens de vegetais frescos utiliza uma combinação de filmes flexíveis e bandejas rígidas. Estes filmes são aplicados em vários tipos de alimentos com o objetivo de modificar a interação do produto com a atmosfera do ambiente, que normalmente tem uma concentração de gases de aproximadamente 20% de oxigênio e 80% de nitrogênio (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM, 2015).

Os polímeros mais utilizados nestes filmes flexíveis são o cloreto de polivinil (PVC), o politereftalato de etileno (PET), o polipropileno (PP) e o polietileno (PE). Plásticos como o polivinilideno, o poliéster e o nylon têm uma permeabilidade a gases tão baixa que seriam adequados apenas para produtos com taxas de respiração muito baixas, o qual não é o caso dos vegetais frescos (MANGARAJ; GOSWAMI; MAHAJAN, 2009). A Associação Brasileira de embalagem (2015), explica que estes produtos continuam respirando após serem colhidos, consumindo oxigênio e produzindo dióxido de carbono e vapor de água. Assim, a vida útil destes produtos é diretamente relacionada à sua taxa de respiração, sendo que, quanto menor a taxa, maior a sua vida (Quadro 5).

Quadro 5 – Taxa de respiração relativa de alguns vegetais frescos

TAXA DE RESPIRAÇÃO	VEGETAL
muito baixa	tâmara, frutas secas, noz
baixa	maçã, frutas cítricas, alho, uva, kiwi, batata madura, batata-doce
moderada	damasco, banana, couve, cenoura, cereja, alface, manga, nectarina, pêssego, pera, pepino, ameixa, batata verde, tomate
alta	abacate, amora, couve-flor, framboesa, morango
muito alta	alcachofra, couve-de-bruxelas, flores cortadas, cebola verde, vagem
extremamente alta	aspargos, brócolis, champignons, ervilha, espinafre, milho verde

FONTE: Adaptado de Associação Brasileira de Embalagem, 2015, p. 18

Desta forma, para manter os vegetais frescos o maior tempo possível, procura-se reduzir a sua taxa de respiração (Tabela 2). Para isso, os materiais das embalagens devem ter “permeabilidade a gases adequada evitando, o acúmulo de CO₂ e etileno que, além de acelerar a deterioração do produto, podem gerar riscos de patogenicidade” (SARANTÓPOULOS; AMARAL; ITAL, 2012, p.149).

Tabela 2 – Aumento da vida útil de vegetais através de sistemas de embalagens flexíveis

Produto	Vida útil média em dias, sem acondicionamento em embalagem	Aumento da vida útil em dias, com embalagens adequadas	Embalagem e condições
Pimentão	4	20	Embalagem com atmosfera modificada (EAM) utilizando filmes perfurados de polipropileno
Manga	20	40	Filme altamente permeável a gases, não perfurado e com absorvedor de etileno
Floretes de brócolis	6	20	Sacos microperfurados de polipropileno orientado, contra 6 dias embalados em PVC
Fatias de abobrinha	1 a 2	4 a 5	Saco de polipropileno orientado
Feijão verde	7	19	Filme de PE não perfurado de 25 µm
Banana	15	36	PEAD e PEBD perfurado
Uva de mesa		70*	Sacos de EAM feitos com filmes de polipropileno orientado de 20, 40 e 80 µm (* com filme de 80 µm)
Cereja	14	18	Com EAM passivas. A perda de peso diminui de 24% para menos de 1%
Pera	7 a 10	15	Sacos não perfurados de PP de 0,025 mm

FONTE: Adaptado de Associação Brasileira de Embalagem, 2015, p. 19

Este tipo de embalagens, que procuram criar uma composição atmosférica específica por meio da interação natural da respiração do produto e a permeabilidade do material da embalagem, são chamados de embalagens com atmosfera modificada (EAM). As mesmas podem ser classificadas como ativas, quando os gases do interior das embalagens são deslocados e substituídos por uma mistura desejada, ou passivas, quando a atmosfera desejada é desenvolvida naturalmente como consequência da respiração do produto e da difusão dos gases através do material da embalagem. As

passivas são utilizadas comumente em frutas e vegetais frescos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM, 2015). A vantagem desta técnica de preservação de alimentos é que não é necessária a adição de produtos químicos sintéticos nos alimentos, pelo qual não é produzido nenhum resíduo tóxico (MANGARAJ; GOSWAMI; MAHAJAN, 2009).

Segundo a Associação Brasileira de Embalagem (2015, p.17) “a maioria dos produtos vegetais perde o seu frescor quando a perda de água chega entre 3% e 10% do seu peso inicial”. A perda de peso pode ser evitada com o uso das EAM, que melhoram a retenção de umidade consideravelmente. Este fator pode ter uma influência ainda maior na preservação dos vegetais do que os níveis de O_2 e CO_2 . Além disso, isolar o produto do ambiente externo reduz a exposição a patógenos e contaminantes (MANGARAJ; GOSWAMI; MAHAJAN, 2009). Assim, para vegetais frescos, a intervenção de uma EAM é considerada satisfatória quando consegue “restringir a taxa de perda de água para controlar a umidade relativa em torno do produto e reduzir a sua taxa de respiração” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM, 2015, p. 18).

Para Mangaraj, Goswami e Mahajan (2009, p.135), os principais fatores a serem considerados ao selecionar os materiais para as EAM são:

- (1) O tipo de embalagem (bolsa flexível ou bandeja com tampa rígida ou semi-rígida);
- (2) As propriedades de barreira necessárias (ou seja, permeabilidades a gases individuais e proporcional quando mais de um gás é usado);
- (3) As propriedades físicas de usinabilidade, resistência, clareza e durabilidade;
- (4) O fechamento e embaçamento do filme como resultado da respiração do produto;
- (5) A confiabilidade de vedação;
- (6) A taxa de transmissão de vapor de água;
- (7) A resistência à degradação química;
- (8) A não toxicidade e a composição quimicamente inerte;
- (9) A capacidade imprimir no material;
- (10) A viabilidade econômica e comercial.

3.4.2 Plastificantes para filmes

Os plastificantes reduzem as fortes interações intermoleculares das cadeias poliméricas, o qual resulta na maior mobilidade das cadeias e no aumento da flexibilidade e ductilidade dos filmes. O tipo e a concentração de plastificante aplicado influencia as propriedades físicas, térmicas, mecânicas e de barreira dos filmes (SANYANG *et al.*, 2015).

Uma vantagem para o desenvolvimento de filmes, é que a adição de plastificantes pode aumentar a transparência do material ao promover a homogeneidade, claridade e redução visível de impurezas dos filmes (DA MATTA, 2009). Os poliólcoois (como por exemplo o glicerol, o manitol e o sorbitol) possuem mais de dois grupos OH ligados à sua cadeia carbônica e são os plastificantes mais aplicados nesta área. No entanto, é importante considerar que a sua aplicação pode diminuir a resistência mecânica e barreira ao vapor de água, devido à sua higroscopicidade (COIMBRA, 2016).

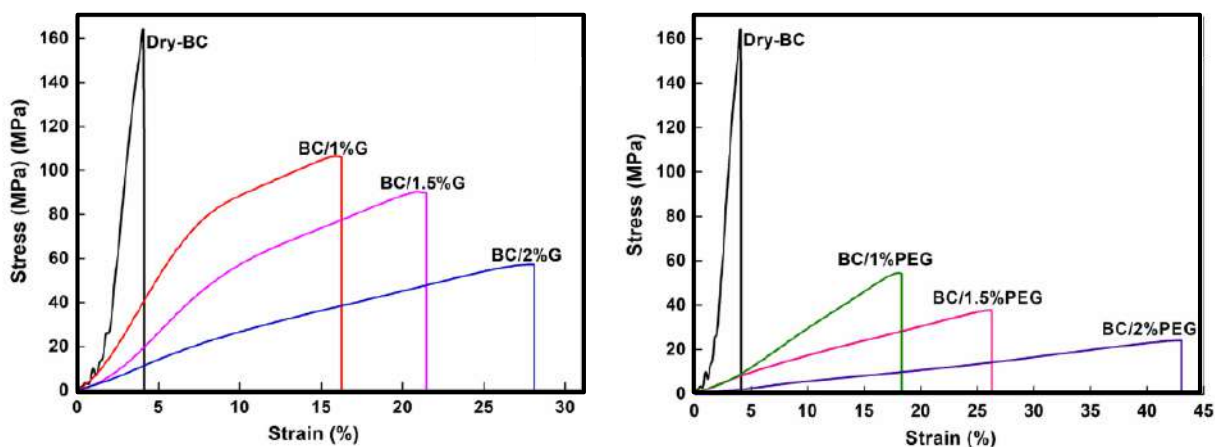
Alguns óleos vegetais também são utilizados como plastificantes e, em alguns casos, podem trazer outras vantagens relacionadas às características específicas do óleo utilizado, como por exemplo propriedades antimicrobianas. Gonçalves (2016), aponta que dependendo do tipo de óleo aplicado, são obtidas propriedades diferentes e descreve que, após realizar experimentos com óleos de canela, orégano e funcho, apenas o último atuou como plastificante ao ser aplicado em filmes de acetato de celulose. López de Dicastillo *et al.* (2013) utilizam o óleo de girassol, de oliva e lecitina de soja como agentes plastificantes em filmes de polipropileno, com a finalidade de serem aplicados em embalagens ativas com liberação de antioxidantes.

Geralmente os plastificantes são adicionados na solução filmogênica, antes de realizar o processo de conformação do filme. Porém, ao trabalhar com filmes produzidos com a película inteira de CB, é possível aplicar estes compostos de outras formas, como por exemplo através da imersão. Este é o método utilizado por Cielecka *et al.* (2019), no qual a película úmida de CB foi imersa em uma solução aquosa de 0,5

- 10% v/v de glicerol, resultando em uma membrana flexível, após passar pelo processo de secagem. Os autores apontam que, além de melhorar a flexibilidade e prevenir que o material seja quebradiço, o glicerol faz com que a película seja mais transparente, o que é ideal para filmes de embalagens de alimentos.

Sun, *et al.* (2018) também utilizam o processo de imersão para plastificar películas de CB com 3 mm de espessura no seu estado úmido. Os autores aplicam tanto o glicerol quanto o PEG nas películas previamente centrifugadas a 3.000 rpm, durante 5 minutos, para eliminar o excesso de umidade do material. Após esse processo, o material é imerso em 300 ml de solução aquosa de plastificante (glicerol ou PEG) com concentração de 1%, 1,5% e 2% (m/m) durante 24 horas. Finalmente, o material é seco a temperatura ambiente em uma superfície de plástico. Na Figura 24, é apresentado o efeito que produzem as diferentes concentrações de glicerol e o PEG na curva de tensão-deformação das películas de celulose após a sua secagem.

Figura 24 – Curva de tensão – deformação das películas de CB com glicerol (G) e PEG



FONTE: Sun, *et al.*, 2018

3.5 Caracterizações

A seguir são apresentadas, de forma resumida, a descrição das caracterizações que foram realizadas no substrato nutritivo utilizado para alimentar aos microrganismos, na celulose produzida e no filme desenvolvido com o intuito de facilitar a leitura da fase experimental da presente dissertação.

3.5.1 Propriedades do substrato nutritivo

3.5.1.1 Composição centesimal

De acordo com Molin, *et al.* (2020), o estudo da composição centesimal dos alimentos indica a proporção em que aparecem grupos homogêneos das substâncias em cada 100 g de alimento. É realizado para obter o valor nutricional e a proporção de componentes como carboidratos, proteínas, lipídeos e fibras, entre outros. No presente trabalho, este teste foi realizado em uma amostra de *trub* com o intuito de registrar as características do ingrediente principal do substrato nutritivo que alimentou as bactérias produtoras de celulose.

3.5.1.2 Teor de açúcares

O refratômetro possibilita a determinação do teor de sólidos dissolvidos em uma solução. O mesmo, é um aparelho ótico que mede o índice de refração, que é a razão entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz no meio que está sendo estudado. Ao transitar entre dois meios diferentes, ao mesmo tempo que ocorre uma mudança de velocidade, o percurso da luz é desviado. A mudança no desvio é proporcional à densidade da solução (MUNDT; SHANAHAN, 2016).

O grau brix (°Brix) é a unidade de medida do refratômetro e tem uma relação direta com o índice de refração e com o teor de açúcares. Assim, a medida de 1 °Brix expressa que uma solução possui 1% (p) de sólidos ou 1g de sólidos em 100 g de água. O termo “Brix” faz referência ao cientista australiano Adolf Brix, que inventou o hidrômetro, com o qual foi possível ler diretamente a porcentagem de açúcar em uma solução (PAL, 2020).

No presente trabalho, para realizar a medição com o refratômetro, uma gota de solução é colocada no porta amostra. O resultado pode ser observado instantaneamente no ocular do aparelho.

3.5.1.3 **Potencial Hidrogeniônico**

O potencial hidrogeniônico (pH) é uma medida da acidez e alcalinidade de uma solução, ou seja, a concentração de íons hidrogênio (H^+) em uma solução. O pH é medido em uma escala, na qual 7 representa acidez neutra, números inferiores a 7 indicam o aumento da acidez e números superiores a 7 indicam o aumento da alcalinidade (NELSON; ELEVITCH, 2006)²¹. Para determinar o pH, pode ser utilizado um pHmetro digital. Estes aparelhos funcionam utilizando um voltímetro que mede a diferença de potencial entre um eletrodo responsivo e um de referência. O potencial elétrico está diretamente relacionado à concentração de íons de hidrogênio na solução, sendo 59,2 mV equivalentes a cada unidade de pH, para uma amostra mantida a 25 °C (PINTO, 2010). É por meio desta relação que o pHmetro calcula o pH da amostra.

3.5.2 **Propriedades físico-químicas do material obtido**

3.5.2.1 **Calorimetria Exploratória Experimental (DSC)**

A DSC é uma análise térmica muito utilizada com a qual é possível determinar eventos como a temperatura de fusão, de cristalização, transição vítrea, reações de decomposição, entre outras. O equipamento consiste em uma câmara com temperatura controlada na qual é medida a quantidade de calor necessária para aumentar a temperatura de uma amostra em comparação com um material de referência, quando aquecidos ou resfriados na mesma taxa (ZHANG; LI; KUMAR, 2008).

O resultado da calorimetria pode ser analisado através da curva obtida no gráfico, onde um eixo é referente ao fluxo de calor e o outro eixo à temperatura. No presente trabalho, a DSC foi utilizado para verificar se a CB produzida com a infusão de *trub* possui um comportamento térmico similar ao da CB produzida durante a fermentação do chá com açúcar, com o objetivo de comprovar que a produção de celulose com o resíduo foi exitosa.

²¹ NELSON, S. ; ELEVITCH, C. **Noni**: the complete guide for consumer and growers. Holualoa: Permanent Agriculture Resources, 2006. 104 p.

3.5.2.2 Morfologia Superficial

“Os microscópios ópticos convencionais ficam limitados a um aumento máximo de 2000 vezes (...) Para aumentar a resolução pode-se utilizar uma radiação com comprimento de onda menor que a luz visível como fonte de iluminação do objeto” (DEAVID; GOMES; MACHADO, 2007, p. 9). A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) registra imagens utilizando um feixe de elétrons, em lugar de fótons, que ao atingir uma determinada amostra, gera sinais que são coletadas pelo microscópio.

Em alguns modelos do equipamentos, para obter as imagens é necessário que a amostra seja condutora ou, caso contrário, adicionar um material condutor na sua superfície (SANTANA, 2015). Este tipo de microscopia possibilita a obtenção de imagens de alta resolução da superfície de uma amostra sólida (DEDAVID; GOMES; MACHADO, 2007). No estudo da produção de CB pode ser usado para medir a distribuição, largura e diâmetro das fibras do material (KARIM; AFRIN, 2017).

3.5.2.3 Resistência à tração

Existem dois tipos básicos de tensões que podem ser aplicadas a um material. As tensões normais, que são aplicadas de forma perpendicular à superfície do material, e as tensões de cisalhamento, que são aplicadas de forma tangente. Para avaliar a resistência à tração de um material, é aplicada uma tensão na direção perpendicular à superfície, de forma a esticar ou alongar o material. A resistência à tração diz respeito à capacidade de um material de resistir às forças de tração sem fraturar (BHARGAVA; SHARMA, 2011).

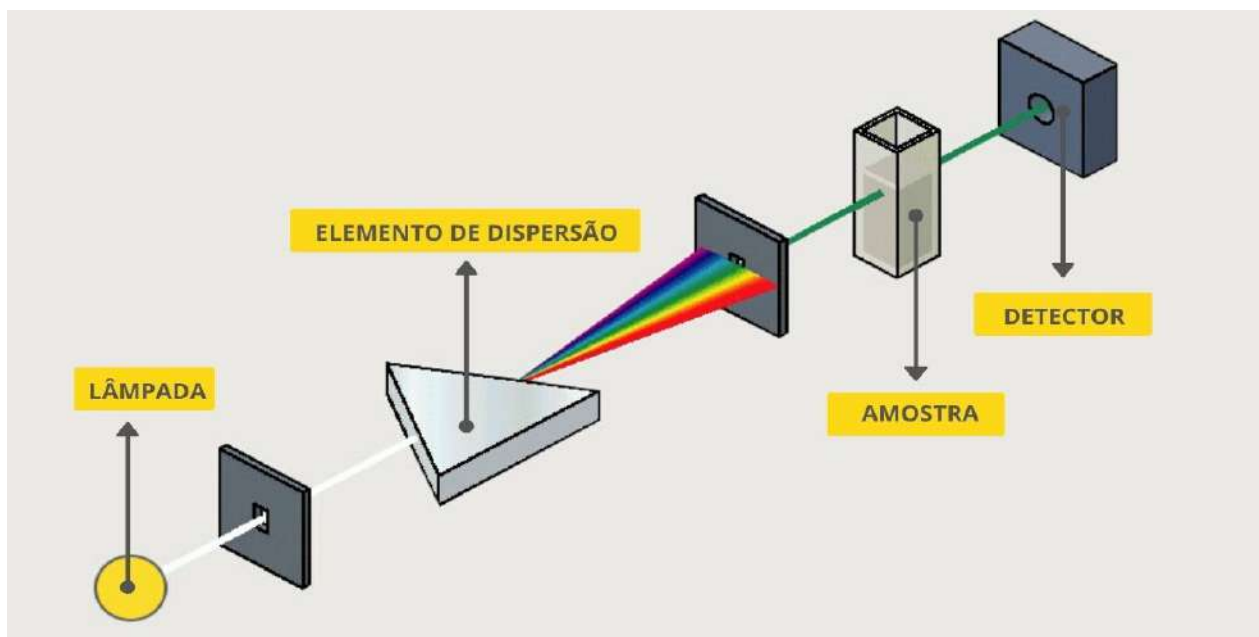
3.5.2.4 Transparência

A transparência é uma propriedade ótica que expressa a capacidade da luz de atravessá-lo sem ser bloqueada. Quando a luz entra em contato com um material, uma porção da mesma é refletida, outra absorvida e outra transmitida. É relevante avaliar a transparência de filmes para embalagens pois os consumidores demandam que seja oferecida uma boa visibilidade do produto (ARQUELAU, 2018). De acordo com Callister

(2008, p. 575) “os materiais capazes de transmitir a luz com absorção e reflexão relativamente pequenas são transparentes – pode-se ver através deles.”

Utilizando um espectrofotômetro, a transparência de um filme pode ser avaliada a partir da variação entre os valores de cromaticidade e refletância de um objeto antes e depois de ser coberto com o material. Como ilustrado na Figura 25, de forma geral, o equipamento é formado por uma lâmpada, um elemento de dispersão que divide a luz em componentes espectrais, um detector de luz e um dispositivo para registrar o resultado (BJÖRN, 2007).

Figura 25 – Esquema dos elementos de um espectrofotômetro



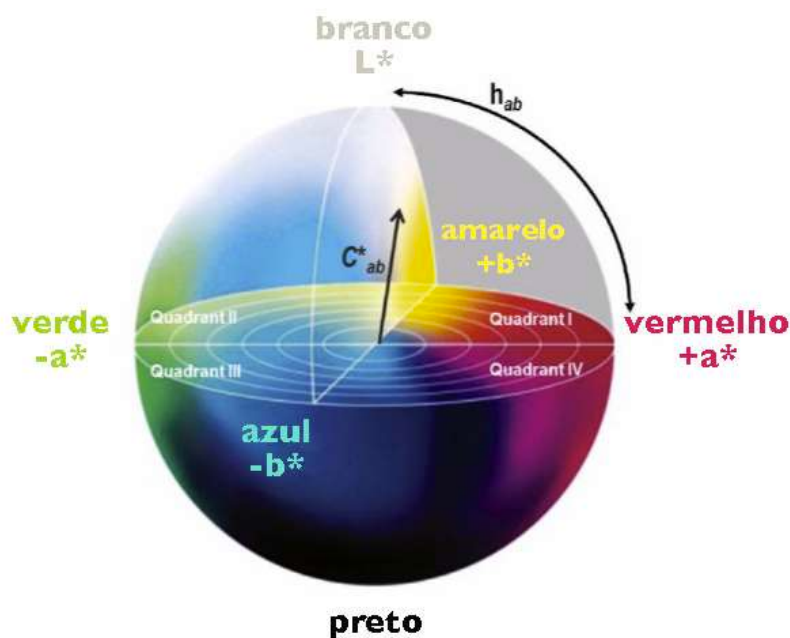
FONTE: Adaptado de Shimadzu, 2020²²

A cor é a percepção qualitativa ou quantitativa das propriedades físicas de fontes de luz cromática – uma subdivisão da luz visível, que consiste na radiação eletromagnética com comprimentos de onda entre 400 e 700 nm. Um espaço de cor é

²² SHIMADZU. **UV-Vis Frequently Asked Questions** - Instrument Design Disponível em: <<https://www.ssi.shimadzu.com/products/uv-vis-spectrophotometers/faqs/instrument-design.html>>. Acesso em: 11 out. 2020.

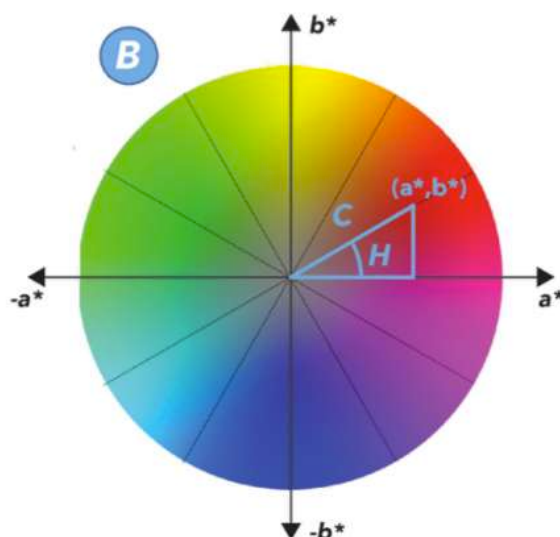
um método teórico para facilitar a identificação das cores e as suas características, através de uma notação quantificável, dentro de um espaço tridimensional (FEHIR, 2016). Um dos espaços de cor mais populares é o CIE $L^*A^*B^*$ (Figura 26). Neste espaço esférico, definido pela *Commission Internationale d'Eclairage* (CIE), são quantificados três componentes da cor (EISSA *et al.*, 2013). O parâmetro L^* (luminosidade), varia de 0 (preto) a 100 (branco), os parâmetros A^* e B^* (cromaticidade), variam do verde ($-a^*$) ao vermelho ($+a^*$) e do azul ($-b^*$) ao amarelo ($+b^*$) (GONÇALVES, 2016).

Figura 26 – Espaço CIE $L^*A^*B^*$



FONTE: Fehir, 2016

A escala de cor CIE $L^*C^*h^*$ é o standard de cor desenvolvido pela CIE. Os valores de luminosidade (L), chroma (C) e tonalidade (h) são mais intuitivos do que as coordenadas CIE $L^*A^*B^*$ (GOMEZ-POLO, *et al.*, 2015). Como apresentado na Figura 27, a partir dos valores dos parâmetros $L^*A^*B^*$ providenciados pelo equipamento, é possível calcular geometricamente a tonalidade – expressa através do ângulo de tonalidade (h°) – e a saturação ou “chroma” (C^*) (DELAZIO; ISRAR; KLATZKY, 2017).

Figura 27 – Representação geométrica do ângulo de tonalidade e Chroma

FONTE: Delazio; Israr; Klatzky, 2017

3.5.2.5 Análise experiencial no nível sensorial (Ma2E4)

Na literatura científica, ao se tratar do desenvolvimento de materiais, observa-se que muitos trabalhos discutem propriedades físicas e químicas dos materiais mas poucos incluem informações sensoriais. A proposta do presente trabalho é incluir a análise da percepção como parte da sequência de caracterizações realizadas ao filme desenvolvido. A autoavaliação do material foi realizada pela pesquisadora utilizando como base a ferramenta Ma2E4 das autoras Camere e Karana (2018 b).

A Ma2E4 – acrônimo de *Materials-to-Experiences at four levels* foi desenvolvida com o intuito de estruturar uma ferramentas sistemáticas para guiar a caracterização da experiência dos usuários em relação aos materiais. O layout foi projetado com foco nos profissionais de design, que de acordo com as autoras, mostram preferência por representações visuais, com menos texto, como por exemplo diagramas e gráficos em lugar de longos relatórios escritos. A ferramenta registra a interação que as pessoas têm com os materiais nos níveis experienciais sensorial, afetivo, performativo e interpretativo. Para o presente trabalho foram avaliado apenas o nível sensorial.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi estruturada em três etapas: contextualização, experimentação e aplicação. Na primeira etapa foram documentados assuntos que fundamentam e contribuem na elaboração do presente trabalho. Na etapa de experimentação, foi desenvolvido e caracterizado o filme transparente de CB que foi utilizado posteriormente para projetar a embalagem para pimentões “Palermo” da empresa Vista Alegre na etapa de aplicação (Figura 28).

Figura 28 – Etapas envolvidas



FONTE: elaborado pela autora, 2020

4.1 Material

4.1.1 Microrganismos

O inóculo utilizado foi obtido por meio de uma amostra de SCOBY (*Symbiotic Culture of Bacteria and Yeasts*) de kombucha adquirida de uma produtora local. O Quadro 6 apresenta os grupos microbianos majoritários quantificados pelo Laboratório de Microbiologia de Produtos Fermentados (FERMICRO) da Universidade Federal de Viçosa, expressos em log de quantidade de Unidades Formadoras de Colônias (UFC) por grama (log UFC/g) da película de celulose bacteriana.

Quadro 6 – Grupos microbianos majoritários

Grupos Microbianos	Log UFC/g de SCOBY
Bactérias acéticas	6,48
Bactérias lácticas	6,69
Leveduras	6,45

FONTE: elaborado pela autora, 2020

4.1.2 Infusão de *trub*

O *trub* foi fornecido por uma empresa local, oriundo da produção da cerveja tipo Pilsen (Figura 29). Foi mantido a -5°C a fim de preservar suas propriedades e evitar fermentações indesejadas. O mesmo foi descongelado, fervido durante 20 min. e filtrado, obtendo-se uma infusão de *trub* que foi utilizada para o cultivo da CB.

Figura 29 – *Trub* seco da produção de cerveja tipo Pilsen



FONTE: elaborado pela autora, 2020

4.1.3 Infusão de *Camelia sinensis*

A infusão de *Camelia sinensis* foi preparada com 5 g/L de chá verde da marca Amaya, 100 g/L de açúcar cristal orgânico branco da marca Nature e água mineral da marca Ingá.

4.1.4 Plastificantes

Os plastificantes utilizados foram o glicerol bidestilado, da maraca Farmax, fornecido pela Distribuidora Amaral Ltda. e o Polietileno glicol (PEG), Mn600, fornecido pela Sigma-Aldrich.

4.2 Experimentação – Desenvolvimento do filme

Nesta etapa foi realizada a produção de CB, o desenvolvimento do filme e suas caracterizações. A nomenclatura das amostras foi definida conforme o descrito na Figura 30.

30 – Nomenclatura das amostras



FONTE: elaborado pela autora

4.2.1 Obtenção da CB

O inóculo é utilizado para a introdução de microrganismos em um meio de cultura ou matriz onde possam crescer e reproduzir-se (WALSH, 2019)²³. No presente trabalho, foi utilizado como inóculo uma amostra de chá fermentado pela consórcio microbiano de bactérias e leveduras característica da Kombucha. No preparo desta bebida, o inóculo é colocado em uma nova infusão de chá com açúcar, que é o meio nutritivo onde os microrganismos continuarão se desenvolvendo até finalizar a

²³ WALSH, E. What does inoculum mean in microbiology? **Sciencing**. 17 jun. 2019. Disponível em: <<https://sciencing.com/different-agar-plates-8040091.html>>. Acesso em: 9 nov. 2020.

fermentação de um novo lote de Kombucha. Geralmente, o volume de inóculo utilizado corresponde a 10% do meio de cultura (MARSH, *et al.*, 2014).

De acordo com Duarte (2014) o meio sintético para o cultivo de CB chamado ALABAN, possui 10,4 °Brix. Khami, *et al.* (2014) prepararam meios de cultivo com concentrações de açúcar de 0, 5 e 11 °Brix, sendo a de 11 °Brix a que resultou em uma maior quantidade de CB. Da mesma forma, Kaewkod; Bovonsombut e Tragoolpua (2019), registram um °Brix inicial de 10% no meio de cultivo preparado com chá e açúcar com o qual realizam a fermentação do Kombucha. Assim, baseando-se nestes autores, na presente pesquisa o inóculo foi preparado com 10% (v/v) de Kombucha e 90% (v/v) de infusão de *C. sinensis* (5 g de folhas secas por litro, infusionadas durante 15 min.) com concentração de açúcar de 10 °Brix, mantendo a solução em cultura estática a uma temperatura média de 28 °C, por 168 h, antes de ser utilizada para inocular o substrato preparado com o *trub*.

Para obter a CB foram preparados substratos nutritivos, modificando-se os seguintes parâmetros: (1) teor de açúcar da infusão de *trub*, (2) concentração de inóculo. Estes parâmetros foram variados de forma independente, isto é, o melhor resultado da variação do primeiro parâmetro foi fixado quando na variação do segundo parâmetro (Figura 31).

Figura 31 – Fluxo de análise de fatores para a obtenção da CB



FONTE: elaborado pela autora

Todos os testes foram feitos em triplicata, mantidos sobre uma manta térmica, a uma temperatura média de 28 °C. Os recipientes foram cobertos com uma peça de papel absorvente, fixada com um elástico, permitindo o fluxo de ar e evitando a entrada de insetos e partículas contaminantes no cultivo. Ao finalizar as 168 horas de fermentação, para avaliar os resultados obtidos, a celulose úmida foi pesada em balança eletrônica digital, sua espessura também foi medida. Além disso, no início e no final do período de fermentação, foi realizada a medição do pH e do teor de açúcar do substrato nutritivo.

A Figura 32 ilustra a sequência dos 2 ciclos que foram realizados nesta fase de experimentação, suas respectivas caracterizações e a nomenclatura das amostras.

Figura 32 – Ciclos de testes para a obtenção de CB



FONTE: elaborado pela autora

O primeiro ciclo de testes teve o objetivo de avaliar o impacto que provoca a variação do teor de açúcar da infusão de *trub* na produção de CB. Foram preparados três substratos nutritivos contendo 10% (v/v) de inóculo e 90% (v/v) de infusão de *trub* de 5, 10 e 15 °Brix respectivamente. O teor de açúcar da infusão de *trub* foi medido com

o refratômetro e ajustado por meio da adição de água mineral natural da marca Ingá, da fonte Ingá sessilis V, com composição química e características físico-químicas descritas no Quadro 7. Os recipientes foram mantidos a uma temperatura média de 28 °C por 168 hrs. O pH inicial natural dos substratos nutritivos não foi ajustado. O meio de controle foi preparado com 10% (v/v) de inóculo e 90% (v/v) de água.

Quadro 7 – Composição química e características físico-químicas da água mineral Ingá

Parâmetro	Valor
Bicarbonato	81,73 mg/L
Cálcio	10,56 mg/L
Magnésio	9,693 mg/L
Sulfato	3,33 mg/L
Potássio	0,89 mg/L
Sódio	0,78 mg/L
Cloreto	0,13 mg/L
Nitrato	0,10 mg/L
Fluoreto	0,09 mg/L
Estrôncio	0,029 mg/L
pH a 25 °C	7,57
Temperatura de água na fonte	21,7 °C
Condutividade elétrica a 25 °C	125,5 uS/cm
Resíduo de evaporação a 180 °C	81,01 mg/L

FONTE: Água Mineral Ingá, 2021²⁴

No segundo ciclo, foi avaliado o impacto provocado pela variação da concentração do inóculo no substrato nutritivo. Foram preparados três substratos utilizando a infusão de *trub* com o teor de açúcar selecionado no ciclo 1. Os substratos foram inoculados com concentrações de 10, 20 e 40% (v/v) de inóculo e foram mantidos a uma temperatura média de 28°C por 168 horas, sem modificar o pH natural da solução. O meio de controle consistiu em apenas a infusão de *trub* sem a adição de inóculo. O Quadro 8 resume a planificação dos experimentos, apresentando os fatores

²⁴ ÁGUA MINERAL INGÁ. **Processo Produtivo e Qualidade**. Disponível em: <<http://www.aguamineralinga.com.br/processo-produtivo-e-qualidade>>. Acesso em: 15 fev. 2022.

variáveis de teste, os níveis que foram utilizados, a variável de resposta e como esta foi avaliada.

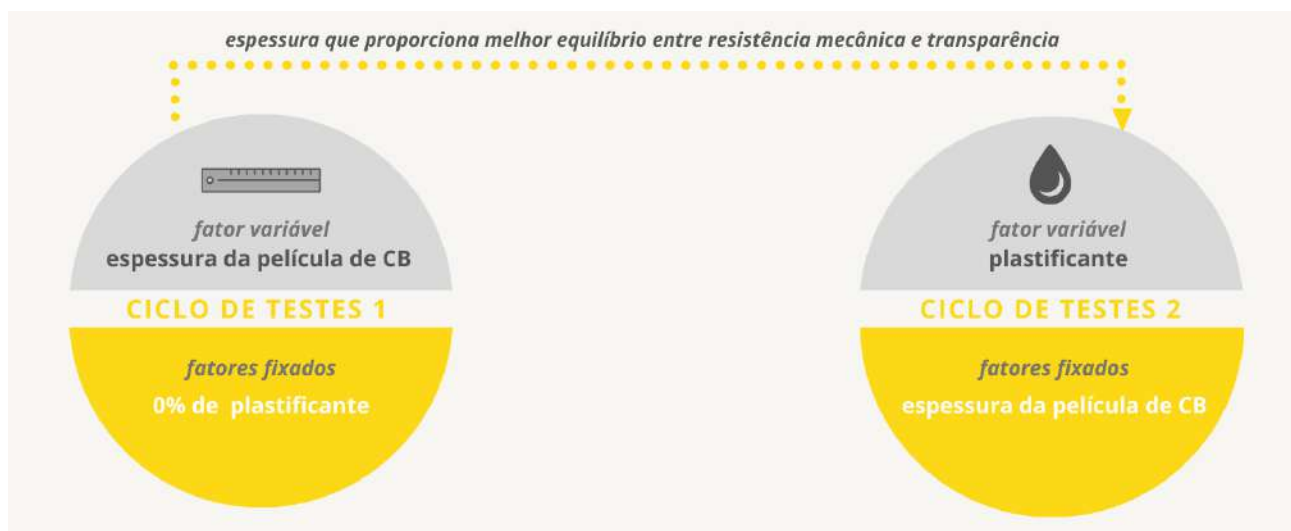
Quadro 8 –Planificação de experimentos para a obtenção de CB

Fatores fixados	Fator variável	Níveis do fator variável e nome das amostras	Variável de resposta	Avaliação da resposta
CICLO 1				
• Concentração de inóculo – 10% (v/v)	teor de açúcar da infusão de <i>trub</i>	• 0 °Brix (sem <i>trub</i>) C.1ctl • 5 °Brix C.1a • 10 °Brix C.1b • 15 °Brix C.1c	quantidade de CB obtida	• peso • espessura
CICLO 2				
• Teor de açúcar da infusão de <i>trub</i> – melhor resultado do ciclo 1	Concentração de inóculo	• 0% (v/v) C.2ctl • 10% (v/v) C.2a • 20% (v/v) C.2b • 40% (v/v) C.2c	quantidade de CB obtida	• peso • espessura

FONTE: elaborado pela autora, 2020

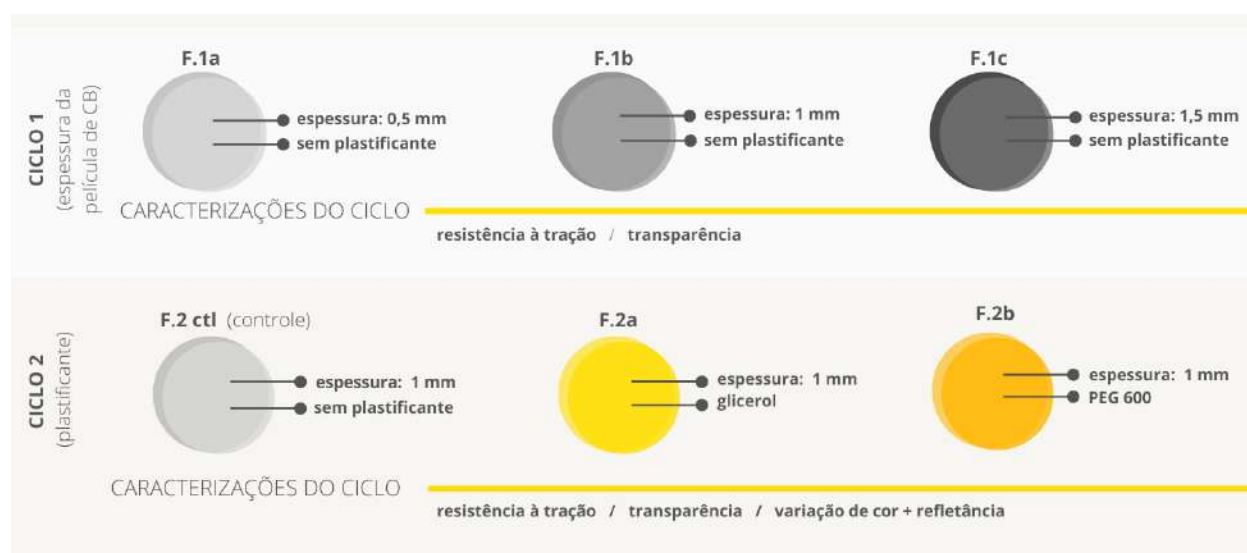
4.2.2 Obtenção do filme de CB

O filme foi obtido por meio da secagem da película íntegra de CB. As principais características desejadas para o filme são a transparência, resistência mecânica e plasticidade. As variáveis de espessura da película de CB e plastificante utilizado foram avaliadas em 2 ciclos de testes (Figura 33).

Figura 33 – Fluxo de análise de fatores para a obtenção do filme de CB

FONTE: elaborado pela autora

Todos os testes foram feitos em triplicata. Os plastificantes avaliados foram o glicerol e o PEG 600. A Figura 34 ilustra a sequência de ciclos que foram realizados, suas respectivas caracterizações e a nomenclatura das amostras.

Figura 34 – Ciclos de testes para a obtenção de filme de CB

FONTE: elaborado pela autora

O objetivo do primeiro ciclo de testes desta fase foi definir a menor espessura da película de CB úmida que, após a sua secagem, proporciona boa resistência mecânica em comparação com o filme PVC. Espera-se que quanto menor a espessura da

película, maior transparência do filme após a secagem. Para isso, foram preparados substratos nutritivos utilizando o volume de inóculo e a infusão de *trub* com o teor de açúcar definidos na etapa de “Obtenção da CB” (item 4.2.1).

Os substratos nutritivos foram mantidos em fermentação estática até que as películas de CB úmidas adquirissem 0,5, 1 e 1,5 mm de espessura. Após a sua limpeza, as películas foram secas a temperatura ambiente por 24 horas. Para selecionar o melhor resultado, foi avaliada a resistência à tração e a transparência das amostras em relação ao filme PVC (material utilizado atualmente nas embalagens de alimentos frescos da empresa Vista Alegre).

Para o segundo ciclo de testes, foram produzidas películas de CB com a melhor espessura definida no ciclo anterior. As películas foram imersas em 300 mL de solução aquosa de plastificante, com concentração de 2% (m/m), durante 24 horas como realizado por Sun *et al.* (2018). Posteriormente, as películas foram secas a temperatura ambiente por 24 horas.

Para escolher o melhor resultado do ciclo 2, foi avaliada a resistência à tração e a transparência das amostras em relação ao filme PVC. O Quadro 9 resume a planificação dos experimentos, apresentando os fatores variáveis de teste, os níveis, a variável de resposta e como esta foi avaliada.

Quadro 9 –Planificação de experimentos para a obtenção do filme de CB

Fatores fixados	Fator variável	Níveis do fator variável e nome das amostras	Variável de resposta	Avaliação da resposta
CICLO 1				
• Plastificante – 0%	Espessura da CB úmida	• 0,5 mm F.1a • 1 mm F.1b • 1,5 mm F.1c	• resistência mecânica • transparência	• resistência à tração • deformação • variação de cor e refletância
CICLO 2				
• Espessura da película de CB úmida – melhor resultado do ciclo 1	Plastificante	• sem plastificante ... F2ctl • glicerol F2a • PEG 600 F2b	• resistência mecânica • transparência	• resistência à tração • deformação • variação de cor e refletância

FONTE: elaborado pela autora, 2020

4.2.3 Caracterizações

Foram registradas as características dos substratos nutritivos, a CB resultante, o filme de CB e amostras de filmes de PVC, que é um dos materiais mais utilizados atualmente no mercado para este tipo de embalagens. O Quadro 10 apresenta quais as caracterizações realizadas para cada amostra.

Quadro 10 – Caracterizações

CARACTERIZAÇÃO	LOCAL - EQUIPAMENTO	AMOSTRAS
SUBSTRATO NUTRITIVO E CB		
Composição centesimal	FERMICRO – UFV	<i>trub</i>
Teor de açúcar	CDE – UEMG Refratômetro	substrato nutritivo inicial e final de: <i>C.1, C.2</i>
pH	CDE – UEMG PHmetro	substrato nutritivo inicial e final de: <i>C.1, C.2</i>
Peso	CDE – UEMG balança eletrônica	CB resultante de: <i>C.1, C.2</i>
Espessura	CDE – UEMG Paquímetro	CB resultante de: <i>C.1, C.2</i>
FILME		
DSC	PerkinElmer DSC800	<i>F.2ctl, filme cultivado com chá e açúcar</i>
Morfologia superficial	CDE – UEMG Microscópio Eletrônico de Varredura	<i>F.2, filme cultivado com chá e açúcar</i>
Resistência à Tração	CDE – UEMG Equipamento de ensaios universais para testes mecânicos	<i>F.1, F.2, PVC</i>
Transparência	CDE – UEMG Espectrofotômetro	<i>F.1, F.2, PVC</i>
Análise experiencial no	CDE - UEMG	<i>F.2, PVC</i>

nível sensorial Ma2E4

FONTE: elaborado pela autora, 2020

4.2.3.1 Composição centesimal – *trub*

Foi estudada a composição centesimal de lipídeos, umidade, cinzas, proteínas, fibras e carboidratos do *trub*, realizando 4 repetições para cada teste. A caracterização foi realizada pelo Laboratório de Microbiologia de Produtos Fermentados (FERMICRO) da Universidade Federal de Viçosa. O Quadro 11 apresenta os métodos utilizados para quantificar cada grupo de substâncias.

Quadro 11 – Métodos utilizados para determinar a composição centesimal do *trub*

Parâmetro	Método
Lipídeos	Soxhlet Modificado
Umidade	Por gravimetria (em estufa)
Cinzas	Por gravimetria (em mufla)
Proteína	Kjeldahl
Fibra bruta	Método descrito no Anexo A ²⁵
Carboidratos	Obtenção por sustação da soma das análises anteriores

FONTE: elaborado pela autora, 2020

4.2.3.2 Teor de açúcares – *substrato nutritivo*

A leitura do °Brix foi realizada para padronizar o teor de açúcar inicial e para analisar o teor de açúcar final de todos os substratos nutritivos. As amostras foram aplicadas a temperatura ambiente diretamente no refratômetro digital da marca Lorben, que tem capacidade de leitura de 0-32%. na escala Brix. Foram realizadas três leituras

²⁵ INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos** /coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea -- São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008, p. 1020.

em todos os testes para obter um valor médio do °Brix. Entre cada leitura, o refratômetro foi lavado com água.

4.2.3.3 pH – substrato nutritivo

Para determinar o valor inicial e final do pH dos substratos foi utilizado o pHmetro Lcd, com resolução de 0,01 pH, precisão de +/- 0,1 pH e escala de 0,0 a 14,0 pH. Foram realizadas três leituras nos substratos a fim de se obter valores médios.

4.2.3.4 Peso e espessura – CB úmida

O peso das amostras foi determinado em balança analítica, com calibração interna automática, da marca Shimadzu. O peso das películas úmidas de CB, cultivadas durante a etapa de obtenção de CB, foi registrado logo após as membranas terem sido separadas do substrato e retirado o excesso de líquido utilizando-se papel absorvente.

A espessura das películas úmidas de celulose, coletadas em todos os ciclos de teste de obtenção de CB, foi determinada medindo 3 pontos aleatórios com o paquímetro logo após o processo de pesagem. A espessura das amostras, expressa em mm, corresponde à média entre as 3 leituras de cada película de CB. A espessura dos filmes foi determinada medindo 3 pontos diferentes do material com um paquímetro digital e calculando a média entre as 3 leituras. Os resultados foram expressos em mm.

4.2.3.5 DSC - filme

O equipamento utilizado para realizar a calorimetria exploratória diferencial foi o calorímetro PerkinElmer® DSC800. O protocolo aplicado nas amostras consistiu no aquecimento de 25 °C a 400 °C com razão de aquecimento de 20°C/min.

4.2.3.6 Morfologia superficial - filme

Foi utilizado o microscópio eletrônico de varredura, modelo Hitachi 4000 Plus para a análise visual da morfologia superficial das amostras. As amostras de 10 x 10 mm, foram colocadas no suporte do equipamento com uma fita condutora de carbono e as micrografias foram captadas com uma ampliação de 1.000 e 3.000 vezes, com feixe

de elétrons operando a 15 kV. As amostras dos filmes de CB secos foram colocadas no suporte do equipamento com a fita condutora.

4.2.3.7 Resistência à tração - filme

O ensaio de tração foi realizado no equipamento de ensaios universais para testes mecânicos (EMIC modelo DL-2000), a temperatura ambiente, em 5 réplicas de cada amostra. O ensaio para os filmes foi realizado utilizando como referência a norma ASTM D 882, que padroniza o ensaio de tração para folhas e filmes de plástico finos. O equipamento foi utilizado com velocidade de 1 mm/min, célula de carga de 0,5 N e distância entre garras de 30 mm. Os filmes foram recortados formando corpos de prova com dimensões de 70 x 20 mm, como realizado por Costa *et al.* (2017).

4.2.3.8 Transparência - filme

A transparência dos materiais foi avaliada posicionando os filmes sobre uma superfície de controle de cor preta. Foi determinada a refletância e a variação de cor entre a superfície controle e os filmes, quando posicionados sobre a mesma (Figura 35). Quanto menor a variação dos resultados destes parâmetros em relação aos da superfície controle, maior a transparência do material. Este método foi estabelecido utilizando como referência o processo descrito pela empresa X-Rite (2020)²⁶.

²⁶ X-RITE. **Tips to Measure Color on Transparent Flexible Film**. 5 nov. 2020. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=oC1VXIFZMog&t=558s>>. Acesso em: 13 nov. 2021.

35 – Amostra do filme de CB sobre base utilizada como padrão para a análise da transparência

FONTE: elaborado pela autora

Foi utilizado o sistema CIE L*A*B*, descrito no item 3.5.2.6 deste trabalho, para determinar os parâmetros de luminosidade (L*) e de cromaticidade (A* e B*) dos filmes e a variação de cor (ΔE^*) que é calculada através da equação Eq. (1). Estes valores e a porcentagem de refletância foram obtidos utilizando o espectrofotômetro CM-600D Konica Minolta, realizando medições em 5 pontos aleatórios de cada uma das 3 réplicas de cada amostra.

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad \text{Eq. (1)}$$

4.2.3.9 Análise experiencial no nível sensorial (Ma2E4)

Foi realizada uma autoavaliação das amostras no nível sensorial, incluindo testes hápticos e visuais. Na Figura 36 é apresentado o layout utilizado para avaliar comparativamente o filme de CB sem plastificante, com glicerol, com PEG e o filme de PVC. Os materiais foram avaliados no nível experiencial sensitivo, distribuindo as amostras numa escala de -2 a +2, sendo -2 uma determinada sensação, +2 a sensação oposta e 0 neutro.

Figura 36 – Layout da análise sensorial

	-2	-1	0	+1	+2
DURO 					SUAVE 
LISO 					RUGOSO 
MATE 					BRILHANTE 
NÃO REFLETIVO 					REFLETIVO 
FRIO 					QUENTE 
NÃO ELÁSTICO 					ELÁSTICO 
OPACO 					TRANSPARENTE 
RÍGIDO 					MALEÁVEL 
RESISTENTE 					FRÁGIL 
LEVE 					PESADO 
TEXTURA REGULAR 					TEXTURA IRREGULAR 
FIBROSO 					NÃO FIBROSO 

FONTE: Adaptado de Camere; Karana, 2018b

4.3 Design da Embalagem

Foi criada uma embalagem composta por uma bandeja e um filme flexível para os pimentões “Palermo” da empresa Vista Alegre, aplicando o material de CB desenvolvido. Para isso, foram coletados dados a respeito das embalagens de vegetais frescos utilizadas pela empresa e foi realizada uma análise comparativa de produtos similares existentes no mercado global para identificar estratégias e elementos já aplicados atualmente.

As necessidades do mercado foram transformadas em requisitos técnicos, funcionais e estéticos para o projeto. Os requisitos foram vinculados às propriedades do filme obtido e do material sugerido para a bandeja. Posteriormente, foram geradas alternativas pensando em soluções formais, estruturais e gráficas através de *sketches* e modelos que estimularam a produção de soluções.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Experimentação – Desenvolvimento do filme

5.1.1 Obtenção da CB

Os dados obtidos nesta etapa foram analisados considerando pesquisas sobre o cultivo de CB em geral devido à falta documentação sobre a aplicação do *trub* como fonte de nutrientes para esta finalidade. Como mencionado, na revisão da literatura foram encontrados apenas relatórios científicos que utilizam o melaço e a levedura residual da produção cervejeira como nutrientes para o crescimento da CB.

5.1.1.1 Composição centesimal - *trub*

Corroborando o ótimo desempenho das bactérias na produção de CB, observado na etapa de “obtenção de CB”, os resultados da composição centesimal indicam que o *trub* é uma boa fonte de nutriente para as bactérias. O *trub* utilizado na presente

pesquisa era composto por 25,17% de proteínas, que têm um efeito importante na síntese de CB pois, de acordo com Yodsuwan *et al.* (2012), favorece o metabolismo celular, compreendendo de 8 a 14% da massa celular seca das bactérias (Quadro 12).

Quadro 12 – Composição centesimal do *trub*

Parâmetro	Porcentagem
Lipídeos	1,18%
Umidade	8,19%
Cinzas	2,43%
Proteína	25,17%
Fibra bruta	11%
Carboidratos	52,03 %

FONTE: elaborado pela autora, 2020

Além disso, o alto teor de carboidratos indica que o *trub* é uma boa fonte de carbono. De acordo com Lee, *et al.* (2014), a fonte de carbono usada no meio de cultura é um dos fatores mais importantes que interferem na quantidade de CB produzida. Este elemento é a principal fonte nutritiva para as bactérias produtoras de CB e promove o seu crescimento (DARY *et al.*, 2012).

O *trub* passou por um processo de desidratação antes de ser encaminhado ao laboratório para a análise de composição centesimal. O processo consistiu secar o material em estufa a 70 °C durante 6 horas. De acordo com a análise, o *trub* previamente seco possui 8,19% de umidade. Este valor é similar ao achado por Mathias (2015), quem registrou o teor de umidade de 7,3% no *trub* seco obtido na produção de uma cerveja também do tipo Pilsen.

5.1.1.2 Teor de açúcares, pH, peso e espessura

O Quadro 13, mostra os resultados médios da medição do °Brix e do pH dos substratos nutritivos preparados com diferentes concentrações de inóculo e teores de açúcar. Antes de ser diluída, a infusão de *trub* apresentava valores entre 15 e 16 °Brix.

No grupo de amostras C1 foi fixada a concentração do inóculo em 10% (v/v) e variado o teor de açúcar. No grupo de amostras C2 foi fixado o teor de açúcar com o qual se obteve melhor resultado no ciclo C1 (10 °Brix) e variada a concentração de inóculo utilizada no cultivo da CB.

Quadro 13 – Resultados dos testes da obtenção da CB

Amostra	°Brix (inicial - final) do substrato	pH (inicial - final) do substrato	Peso da CB resultante	Espessura da CB resultante
C1 (variação no teor de açúcar)				
C1 a	5º - 5º	3,44 – 3,15	15,86	3,3 mm
C1 b	10º - 10º	3,70 – 3,25	17,45 g	4,1 mm
C1 c	15º - 14,1º	3,89 – 3,23	14,93 g	2,5 mm
C1 ctl (sem <i>trub</i>)	0,1º - 0,1º	2,71 – 2,33	4,5 g	≅ 0,02 mm
C2 (variação na concentração de inóculo)				
C2 a	10º - 10º	4,07 – 3,12	11,49 g	2,6 mm
C2 b	9,5º - 9,2º	3,71 – 2,81	17,04 g	4,6 mm
C2 c	9º - 8,6º	3,35 – 2,62	28,70 g	7,2 mm
C2 ctl (sem inóculo)	10º - 9,7º	5,69 – 4,61	0 g	0 mm (sem formação de CB)

FONTE: elaborado pela autora

De acordo com Silva *et al.* (2021), a pouca ou nenhuma variação entre o teor de açúcar inicial e o final dos meios de cultivo, registrada pelo refratômetro, pode ser atribuída ao fato de que a produção de ácidos orgânicos e outros compostos complexos durante a fermentação provocam o desvio da leitura ótica da refração da luz. Este desvio faz com que a medida apresentada pelo refratômetro seja maior do que o teor de açúcar que de fato possui a amostra, portanto, deve ser desconsiderada.

Kayisoglu e Coskun (2020) registraram uma variação máxima de 2,15 °Brix e mínima de 0,45 °Brix durante o processo de fermentação de Kombucha, durante 14 dias, utilizando diversas infusões (Quadro 14). Como observado no Quadro 13, no presente trabalho, realizando a fermentação durante um período de 7 dias, a maior variação no teor de açúcar foi de 1 °Brix e ocorreu no grupo de amostras C1c, que

foram preparadas com o maior teor de açúcar inicial (15 °Brix). A medição do °Brix inicial foi relevante para o preparo e padronização dos meios de cultivo, no entanto o °Brix final não apresentou variações significativas e foi desconsiderado devido ao possível desvio da leitura ótica do refratômetro.

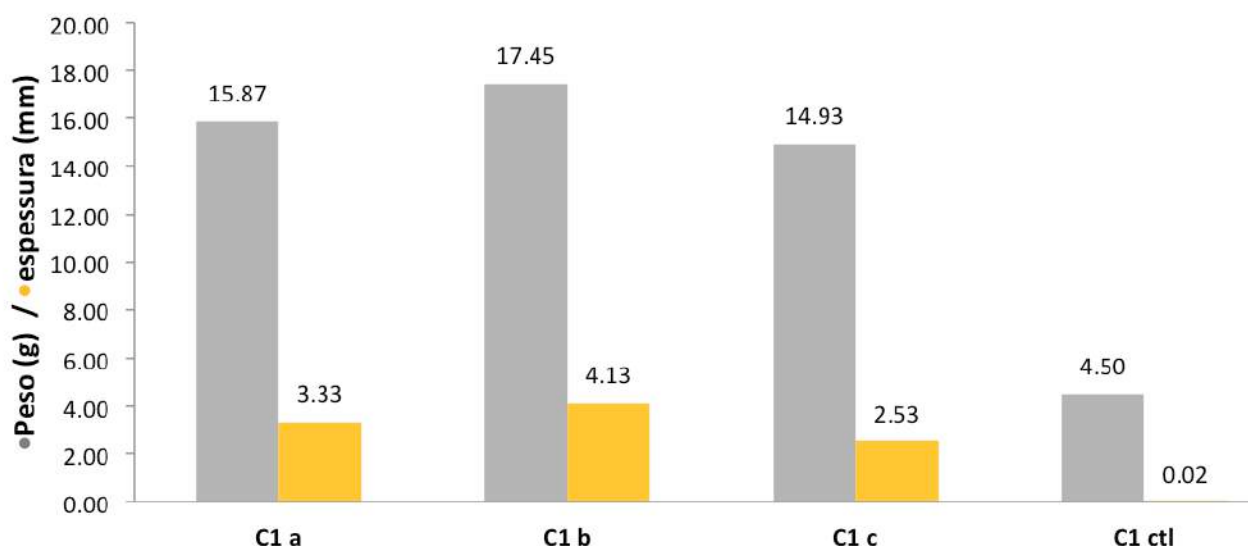
Quadro 14 – Valores de °Brix inicial e final na fermentação de Kombucha utilizando infusões diferentes

Infusão	°Brix inicial	°Brix final	Taxa de variação (%)
Chá preto	7,60	5,45	-28,3
Chá verde	7,40	6,75	-8,8
Menta	8,10	7,60	-6,2
Tília	7,60	6,60	-13,2
Sábida	7,50	7,05	-6,0

FONTE: adaptado de Kayisoglu, Coskun, 2020

O gráfico da Figura 37 apresenta os pesos e espessuras médias das películas de CB obtidas no ciclo de teste C1. No mesmo é possível visualizar que, no substrato nutritivo de 10 ° Brix, existiu uma maior produção de CB.

Figura 37 – Peso e espessura da CB úmida no ciclo C1, variando apenas o teor de açúcar



FONTE: elaborado pela autora

O maior consumo de açúcar ocorrido nas amostras C1c não significou o aumento da produção de CB. A diminuição da quantidade de celulose produzida no meio de cultivo de 15° Brix pode ser atribuída ao fato de que um alto teor de açúcar faz com que os organismos produzam mais ácidos que, como mencionado no item 3.2.1 do presente trabalho, pode diminuir a glicose disponível para a polimerização da celulose e o pH do substrato, afetando a viabilidade celular. O pH final de todos os cultivos do ciclo C1 foi menor que o pH inicial. Este dado sugere que existiu a produção dos ácidos característicos da fermentação realizada pelos microrganismos.

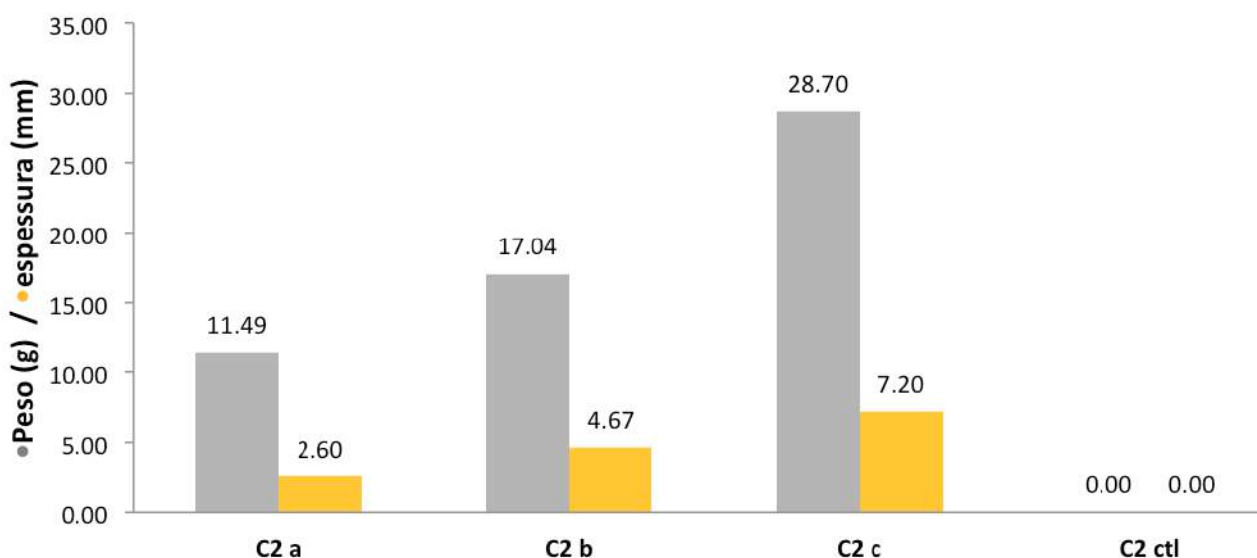
O resultado obtido com a amostra controle do ciclo 1 demonstrou que o *trub* serviu como um agente de enriquecimento no substrato; esta amostra foi preparada e mantida nas mesmas condições que demais, sem a adição do *trub*. Nestas condições foram produzidos apenas 4,5 g de CB, resultado que pode estar relacionado ao consumo do açúcar residual ainda contido no inóculo.

Em concordância com os resultados da presente pesquisa, encontra-se na literatura exemplos de estudos do crescimento de CB com fontes alternativas de nutrientes, onde teores de açúcar entre 10 – 12° Brix resultaram numa maior produção do biopolímero. Khami *et al.* (2014) avaliaram o crescimento de CB utilizando a casca de banana como nutriente para cultivo de CB e concluíram que o melhor rendimento de

celulose foi obtido no meio de cultura com 11°Brix. Como forma de comparação, pode-se utilizar o meio sintético nutritivo chamado ALBORAN, que de acordo com a medida registrada por Duarte (2014), este meio sintético de referência possui 12 °Brix.

Devido ao fato das amostras cultivadas no substrato a 10 °Brix resultarem em películas com maior peso e espessura, esta variável foi fixada para a produção das amostras do ciclo 2. Os gráficos da Figura 38 apresentam os pesos e espessuras das películas de CB úmidas obtidas a partir deste ciclo.

Figura 38 – Peso e espessura da CB úmida C2, variando a concentração de inóculo

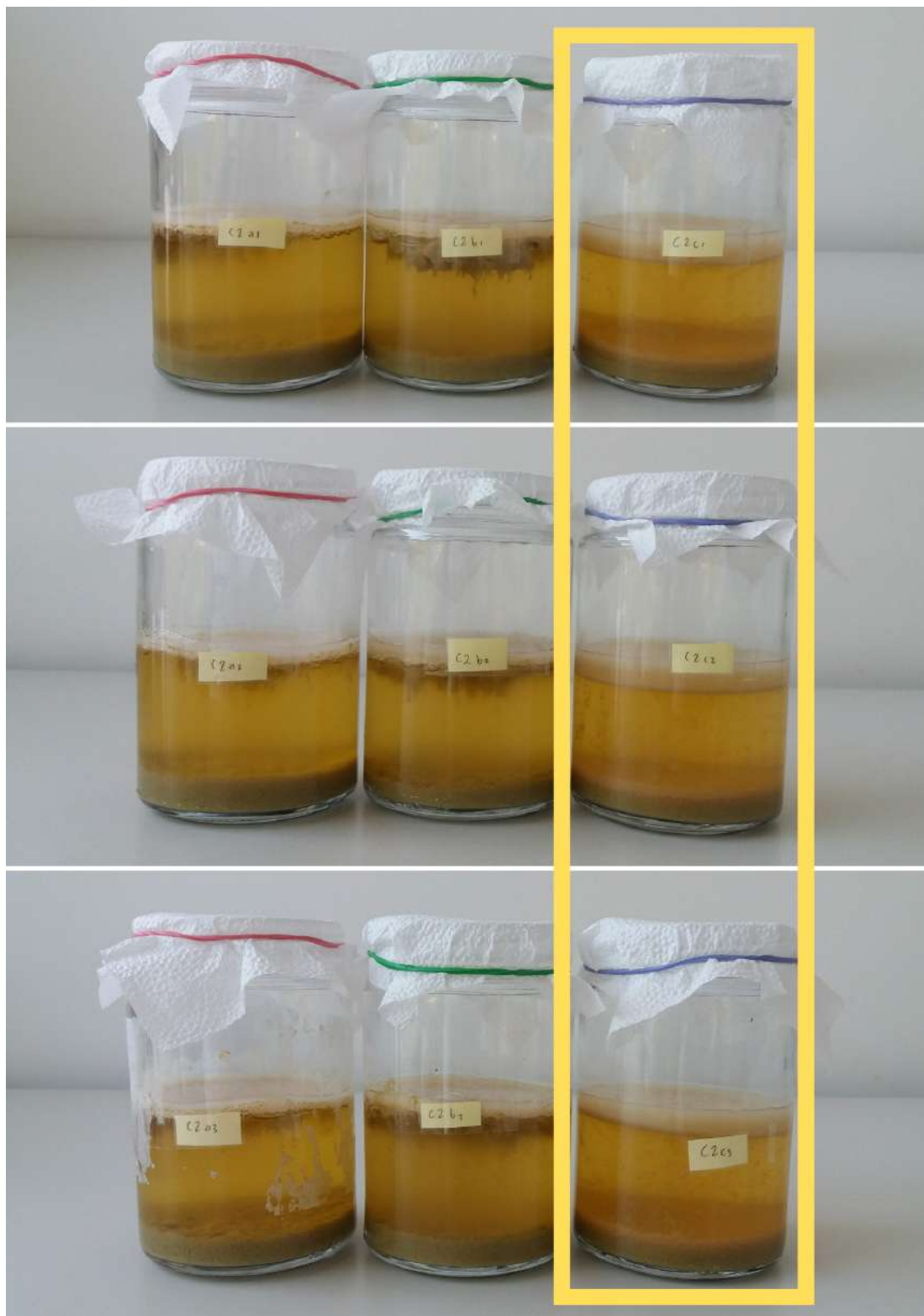


FONTE: elaborado pela autora

De acordo com os resultados, a maior produção de CB aconteceu nas amostras C2 c, as quais foram preparadas com 10° Brix e 40% (v/v) de inóculo. Os meios de cultivo preparados com 40% de inóculo resultaram em películas de CB úmida com peso médio de 28,70 g, que equivale a um aumento de 149,78% e 68,43% em relação às amostras preparadas com 10 e 20% de inóculo, respectivamente.

Para pesquisas futuras, recomenda-se avaliar concentrações de inóculo maiores para determinar aquela na qual a produção de CB começa a decrescer. A Figura 39 apresenta fotografias dos cultivos do C2, onde é possível observar claramente que a variável C2c resultou na maior produção de CB.

Figura 39 – Produção de CB nas amostras C2c 1 (10% v/v de inóculo), C2c2 (20% v/v de inóculo), C2c3 (40% v/v de inóculo)



FONTE: elaborado pela autora

5.1.2 Obtenção do filme de CB

Para obter os filmes, foram cultivadas películas de CB em recipientes com abertura quadrada de 10 x 10 cm utilizando as condições selecionadas nos ciclos de teste C1 e C2 (Figura 40). O objetivo do primeiro ciclo de testes desta fase foi definir a menor espessura da película de CB úmida que, após a sua secagem, apresentasse resistência mecânica similar ou maior ao filme PVC.

Figura 40 – Cultivo de CB com *trub* para a obtenção dos filmes



FONTE: elaborado pela autora

As películas de CB foram colocadas em uma superfície lisa de secagem, como apresentado na Figura 41.

Figura 41 – Películas de CB úmidas na superfície de secagem



FONTE: elaborado pela autora

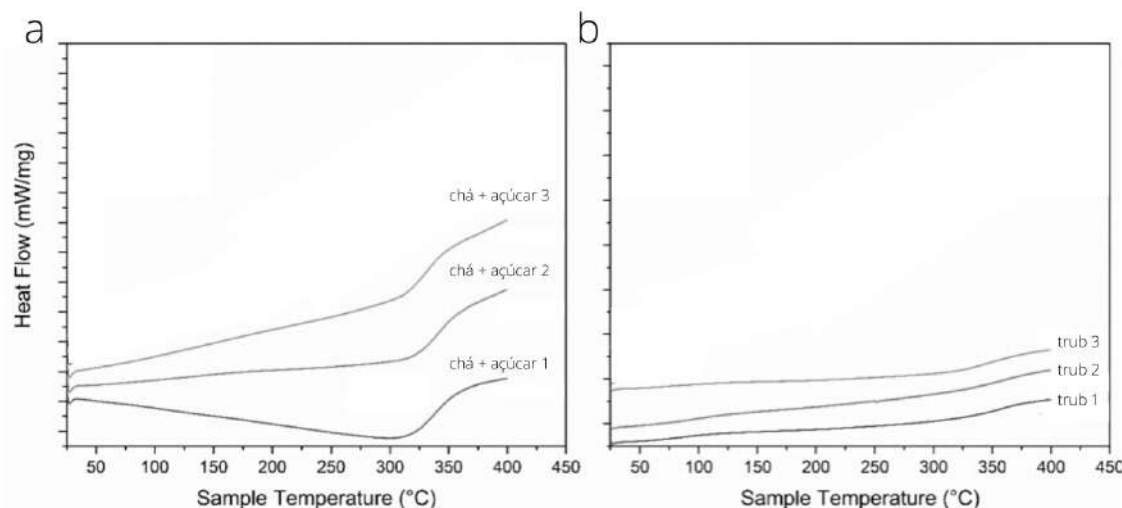
5.1.2.1 DSC

O DSC foi utilizado para comparar o comportamento térmico da CB produzida com sustrato preparado com chá e açúcar (ingredientes utilizados na produção de kombucha) e da CB obtida a partir do substrato com *trub*. Os resultados são ilustrados na Figura 41, onde é possível observar um evento amplo entre 100 e 300 °C em todos os termogramas que, de acordo com Duarte (2014), pode corresponder à desidratação do material. Burke, Bennet-Woods (2016), registram o início da degradação do material a 200°C, e apontam que é produzido um único pico exotérmico amplo a 273°C.

Surma-Slusarska; Presler e Danielewicz (2008), apontam que após a evaporação da água, a CB possui estabilidade térmica considerável até atingir temperaturas próximas a 335 °C, onde ocorre uma transformação exotérmica referente à decomposição do material. Desta forma, o fenômeno exotérmico ocorrido nas amostras de CB a partir de 300 °C, pode ser atribuído ao início da degradação do material (Figura 41).

Morán *et al.* (2008) estudaram a extração de nanocelulose a partir da fibra de sisal. Da mesma forma que no presente trabalho, não foram observados picos endotérmicos pronunciados no gráfico obtido na calorimetria das amostras. De acordo com os autores, esse comportamento pode estar relacionado à quantidade de celulose amorfa na amostra. Além disso, a energia térmica necessária para quebrar as ligações intermoleculares e a temperatura de transição vítrea destas amostras é maior do que a temperatura onde já houve decomposição substancial do material (SCHROETER; FELIX, 2005).

Como apresentado na Figura 42, o fato das curvas da CB produzida com chá e açúcar e da CB produzida com *trub* serem similares, sugere que a produção do celulose com o resíduo cervejeiro foi bem-sucedida.

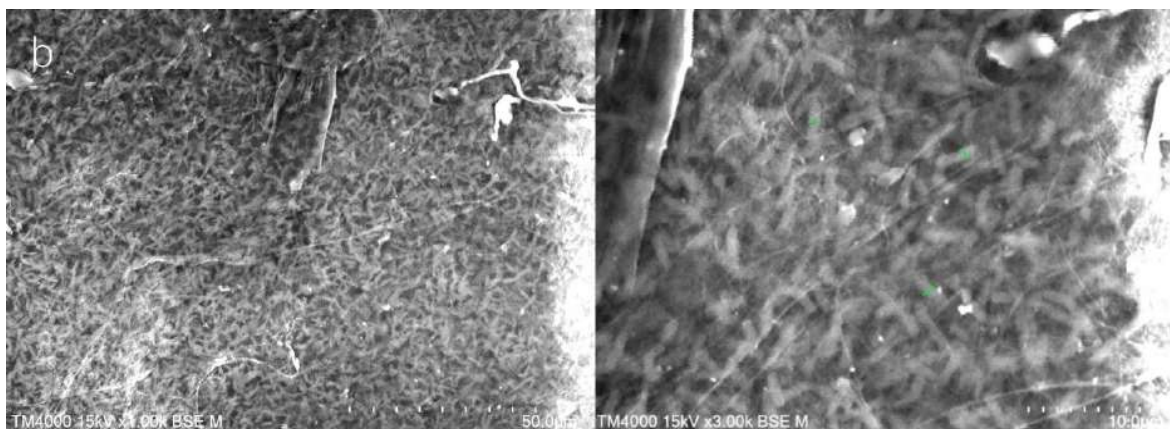
Figura 42 – Curvas do DSC das amostras de celulose produzida com chá e açúcar (a) e com *trub* (b)

FONTE: elaborado pela autora

5.1.2.2 Morfologia Superficial

A Figura 43 mostra as microscopias de uma amostra da película de CB produzida com o *trub* com aproximação de 1.000 vezes e 3.000 vezes, que foi a aproximação máxima permitida pelo equipamento mantendo a clareza das imagens. Devido ao fato das fibras de CB possuírem tamanho nanométrico, na microscopia não foi possível observar a estrutura característica deste material claramente, que como afirma Abdelraoof; Hansanin e El-saied (2019) consiste em uma rede de fibras compacta e homogênea.

Nas imagens das amostras produzidas com o resíduo cervejeiro observam-se impurezas que pode ter sido causada pela flutuação de partículas de *trub* na superfície e que permaneceram imersas na rede de nanocelulose. As larguras das pequenas unidades observadas na Figura 43 medem em média 8,66 μm . Esta dimensão e o formato das unidades sugere que a imagem mostra os restos celulares dos microrganismos utilizados nos cultivos que permaneceram fundidos às fibras de celulose devido à escolha por não utilizar métodos de purificação agressivos como o uso de NaOH (COIMBRA, 2016).

Figura 43 – MEV do filme de CB cultivado *trub*

FONTE: elaborado pela autora

A Figura 44 apresenta as microfotografias de MEV para filmes de CB produzidos por *Komagataeibacter hansenii* (a) e *Gluconoacetobacter sp.* (b) obtidas por Franco, *et al.* (2019). A microscopia foi capturada com uma magnificação de 6.000 vezes, começando a fazer visível as pequenas fibras de CB. De forma similar, registrado por Basu, Vadanam e Lim (2018), na Figura 45 são apresentadas microfotografias de MEV das bactérias produtoras de CB *Gluconacetobacter hansenii* 53582 (a), *Gluconacetobacter xylinus* 700178 (b) e *Komagataeibacter rhaeticus* iGEM (c). As mesmas foram registradas com maior magnificação, onde a barra de escala da imagem equivale a 100 nm, permitindo uma melhor visibilidade das fibras de nanocelulose. O tamanho e formato dos organismos e das fibras destas imagens condiz com a hipótese de que as microscopias realizadas para a presente dissertação foram capazes de registrar apenas o conjunto de microrganismos e não as fibras de CB.

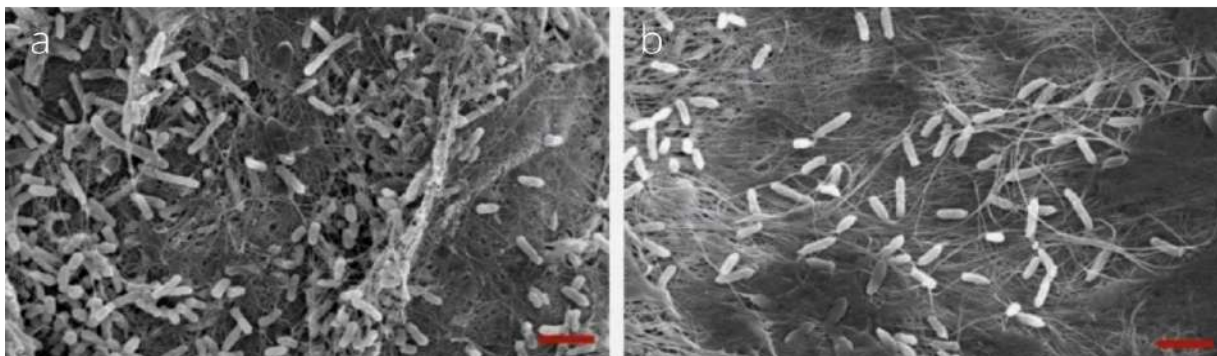
Figura 44 – MEV das bactérias *Komagataeibacter hansenii* (a) e *Gluconoacetobacter sp.* (b)FONTE: Franco, *et al.* (2019)

Figura 45 – MEV das bactérias *Gluconacetobacter hansenii* 53582 (a), *Gluconacetobacter xylinus* 700178 (b) e *Komagataeibacter rhaeticus* iGEM (c).

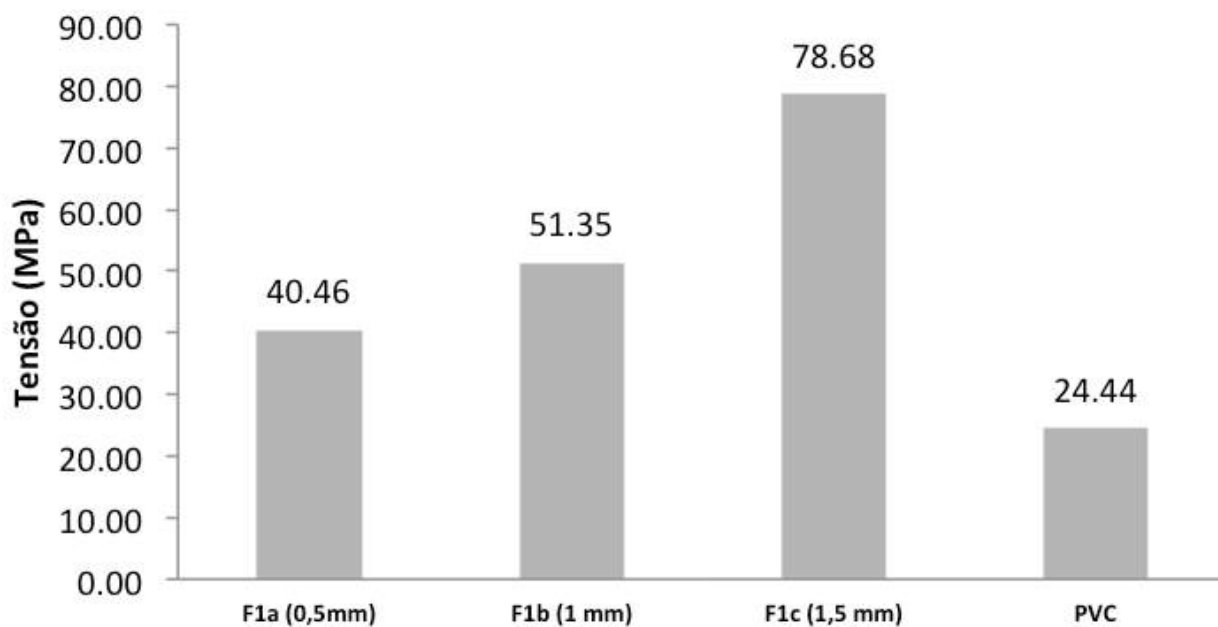


FONTE: Basu; Vadanani; Lim (2018)

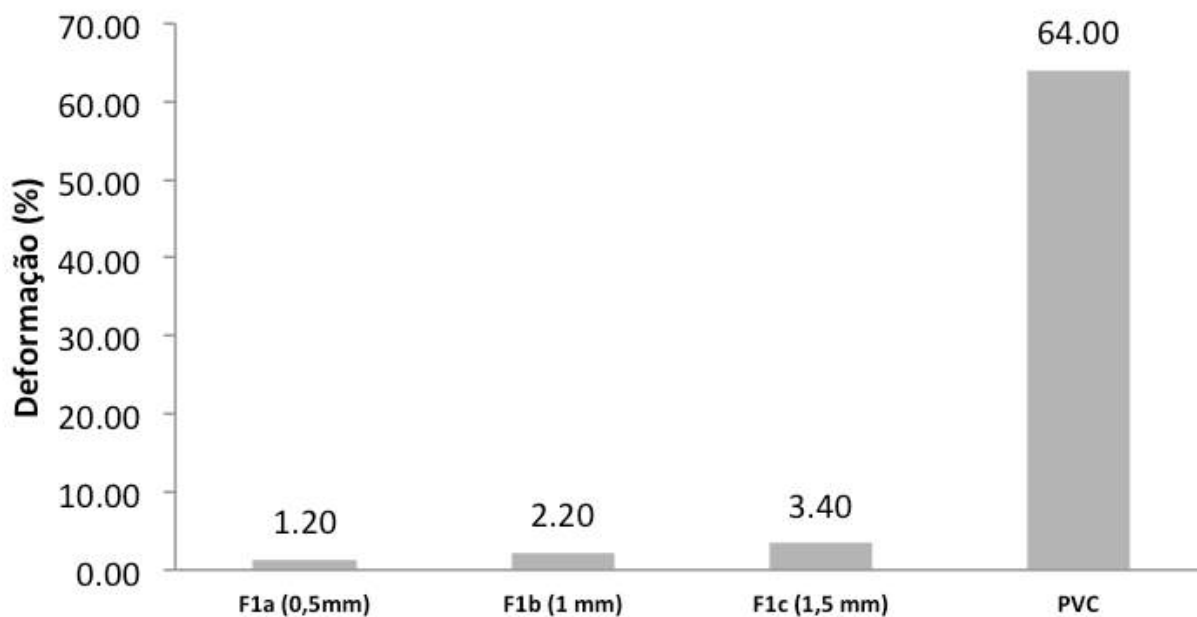
5.1.2.3 Resistência à tração

Juntamente à análise de transparência, os resultados do ensaio de tração foram utilizados no ciclo de testes F1 com o objetivo de selecionar a espessura da película de CB úmida que proporciona boa resistência mecânica e mantém a transparência no filme após a secagem do material. As Figuras 46 e 47 apresentam os valores de resistência à tração e deformação obtidos nas amostras deste ciclo e na amostra do filme PVC.

Figura 46 – Resistência à tração dos filmes do F1 e PVC



FONTE: elaborado pela autora

Figura 47 – Deformação dos filmes do F1 e PVC

FONTE: elaborado pela autora

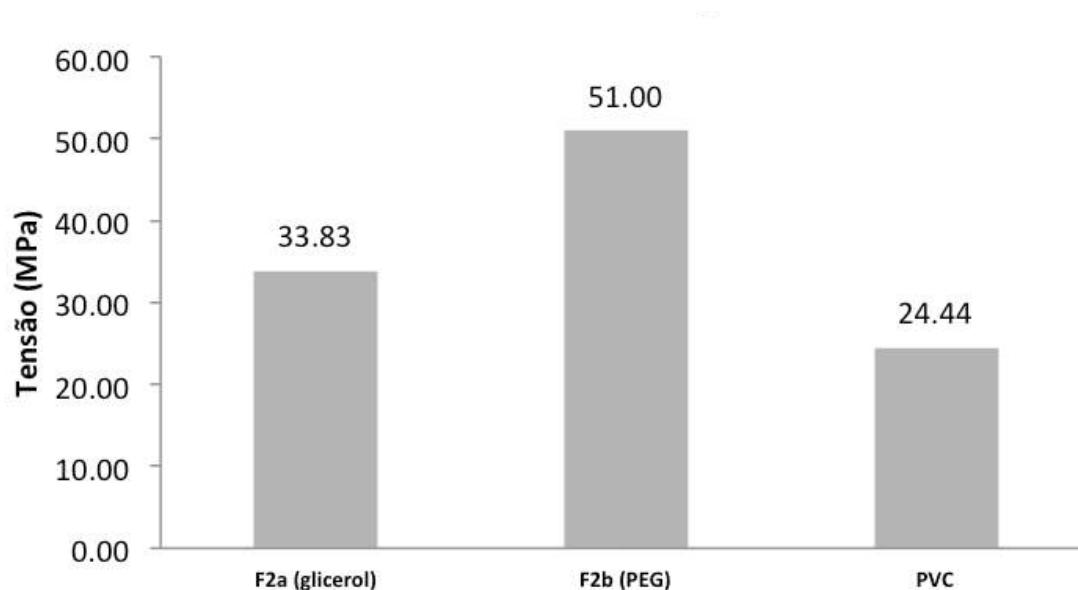
Duarte (2014) avaliou a produção da CB em cultivo estático durante 7 dias, utilizando 3% de inóculo, temperatura de incubação de 30°C no meio de cultura HS e com resíduo líquido de sisal. As membranas de CB produzidas foram purificadas com NaOH. Os valores de tensão máxima exibidos pelos materiais resultantes foram 23,3 e 20,2 MPa, respectivamente. De acordo com o autor, quando não é realizado o tratamento ou purificação com NaOH, a resistência à tração das membranas de CB apresentam valores geralmente maiores que 65 MPa, o qual condiz com os resultados da presente pesquisa nas amostras F1c, cultivadas num período de aproximadamente 7 dias, que apresentaram valores de resistência à tração média de 78,68 MPa.

Também em concordância com os resultados da presente pesquisa, em estudos de Khattak, *et al.* (2015), as amostras de CB produzidas a partir de três substratos diferentes (HS, melaço residual da produção de cerveja e melaço de cana) apresentaram valores de resistência à tração de 56,3 MPa, 46,25 MPa e 43,64 MPa. A CB dos autores foi produzida em cultivo estático durante 9 dias, utilizando 5% de inóculo, com temperatura de 30 °C em meio nutritivo padrão HS e em meios nutritivos aplicando melaço da cervejaria *Murree Brewery*.

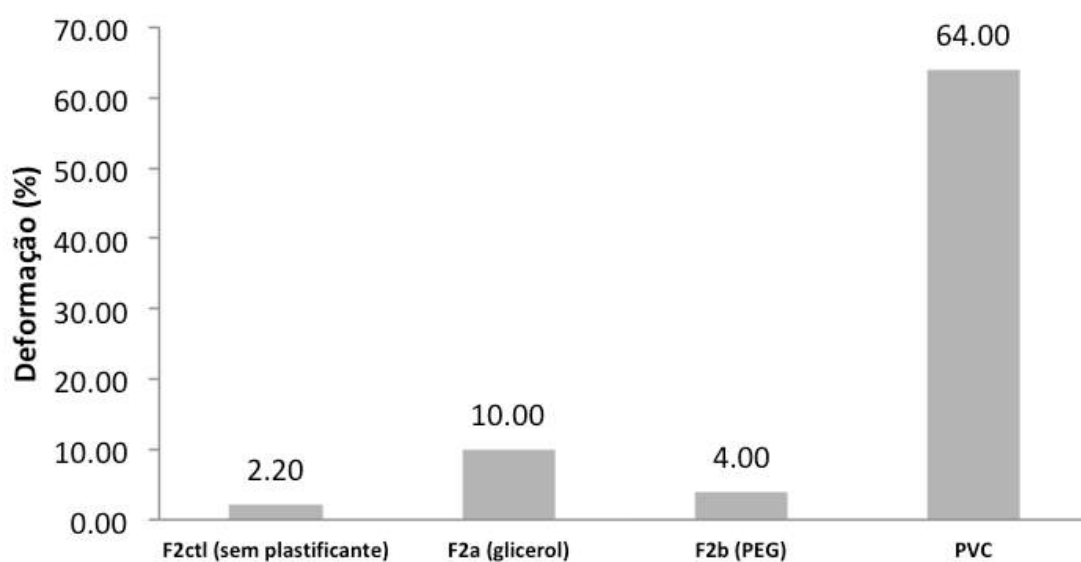
Os filmes do ciclo F1 apresentaram valores de deformação baixos em relação ao filme de PVC. Sun, *et al.* (2018) produziram um filme secando uma película de CB de 3mm no seu estado úmido. A mesma apresentou resistência à tração de 165 MPa e deformação de 4%, sendo esta porcentagem de deformação similar ao da amostra F1c, produzida com 1,5 mm de espessura no seu estado úmido.

Como esperado, quanto maior a espessura da película de CB úmida, maior o valor da resistência à tração e deformação do filme após a sua secagem. Como será apresentado no item 5.1.2.4, uma vez que não houve diferença significativa na transparência entre os filmes antes da adição dos plastificantes, foi selecionada a espessura do filme F1b (CB de 1 mm antes da secagem) como fator fixado para o ciclo de testes do F2, pois sua resistência à tração foi de 51,35 MPa, que é maior que a dos filmes F1a, mas pode ser cultivada em um período de tempo menor do que os filmes F1c.

No ciclo de testes F2 foi realizada a adição de plastificantes nos filmes para obter maior transparência. Os mesmos foram preparados a partir da secagem das películas de CB de 1 mm de espessura. O ensaio mecânico do ciclo de testes F2 resultou em informações essenciais para a escolha de qual plastificante seria a melhor opção para produzir o filme da embalagem, considerando a deformação e a resistência à tração das amostras em relação ao filme PVC. As Figuras 48 e 49 apresentam os valores de resistência à tração e deformação obtidos nas amostras deste ciclo.

Figura 48 – Resistência à tração dos filmes do F2 e PVC

FONTE: elaborado pela autora

Figura 49 – Deformação dos filmes do F2 e PVC

FONTE: elaborado pela autora

Como esperado, os resultados indicam que a adição de plastificantes na CB diminui a resistência à tração e aumenta a porcentagem de deformação. Os filmes plastificados com PEG apresentaram maior resistência à tração e menor deformação (51 MPa e 4%) em comparação aos filmes plastificados com glicerol (33,83 MPa e

10%), motivo pelo qual a análise de transparência foi decisiva no processo de escolha da melhor opção a ser aplicada na embalagem. Este comportamento pode ser explicado devido ao aumento do espaço interno e à redução da formação das ligações de hidrogênio entre as cadeias de celulose adjacentes causadas pela adição de plastificante (KARINA *et al.*, 2012).

A deformação dos filmes F2ctl (sem plastificante), F2a (glicerol), F2b (PEG) e PVC foi, respectivamente, de 2,20%, 10%, 4% e 64%. Nenhum dos materiais produzidos com CB apresentou porcentagens de deformação similares ao PVC; no entanto, foi possível observar uma diferença de 1,8% e 7,8% em relação ao filme de CB sem plastificante ao adicionar o PEG e o glicerol, respectivamente, indicando que a flexibilidade foi melhorada.

Os resultados de Sun, *et al.* (2018) indicam que os filmes plastificados em imersão com glicerol a 1% possuem resistência à tração de 103 MPa e valores de deformação de 16,7%. Já os filmes plastificados em imersão com PEG a 1% apresentaram resistência à tração de 59 MPa e deformação de 26%. Ao contrário dos resultados obtidos no presente estudo, estes valores indicaram que os filmes plastificados com PEG apresentaram menor resistência à tração e maior deformação que os filmes plastificados com glicerol. A Figura 50 mostra o comportamento do filme com glicerol ao ser alongado. De acordo com Gonçalves (2016), este comportamento mecânico pode ser justificado devido à diminuição do grau de cristalinidade do material promovida pela adição de plastificante.

Figura 50 – Amostra de CB com glicerol

FONTE: elaborado pela autora

5.1.2.4 Transparência

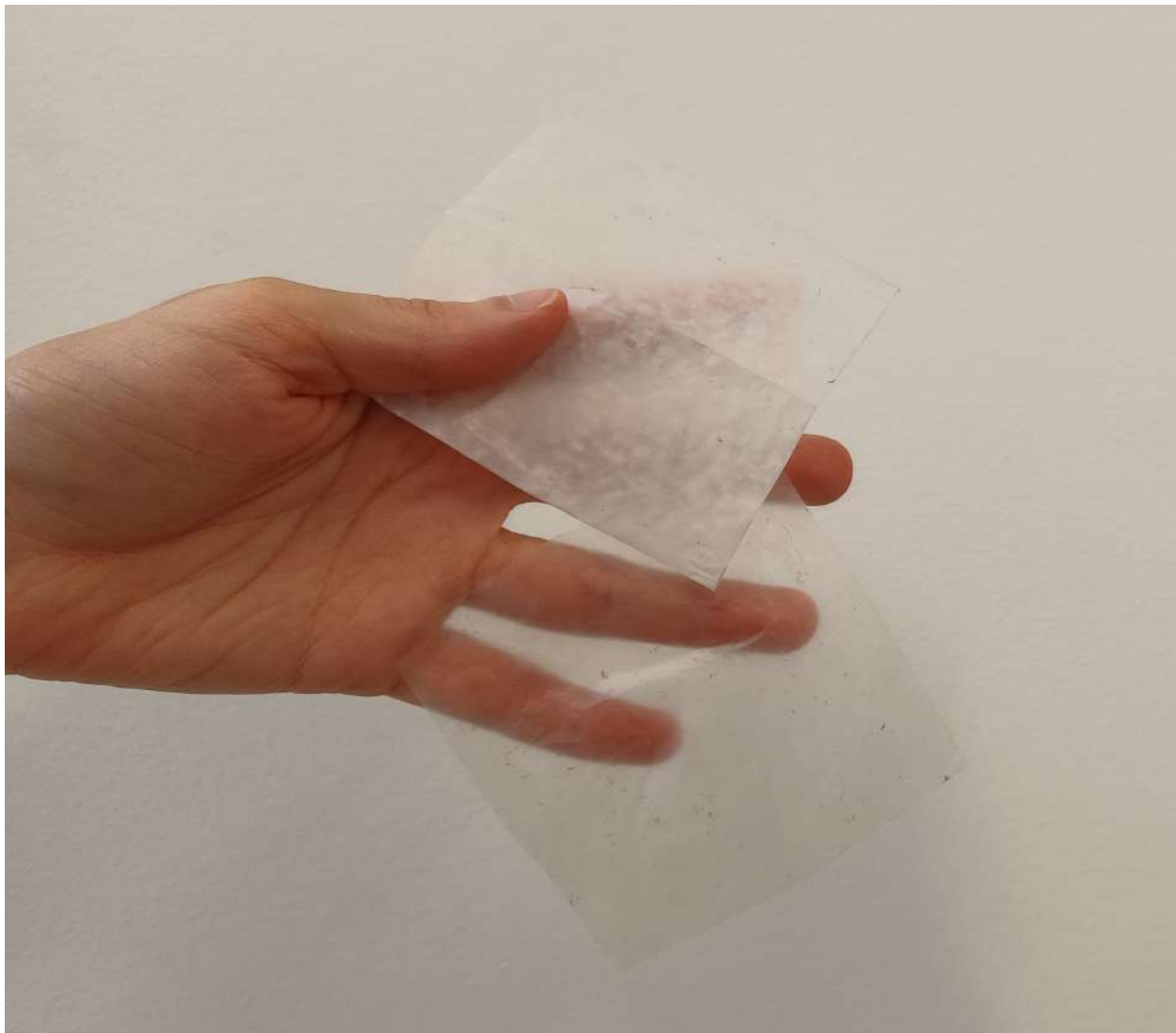
A CB obtida com o *trub* possui uma tonalidade visivelmente mais branca do que a CB obtida com outros meios como o HS, infusões de *C. sinensis* e outros resíduos alimentícios (Figura 51). Esse fator é esteticamente positivo, considerando que o material será utilizado para produzir um filme translúcido para embalar alimentos.

Figura 51 – Películas de CB cultivadas com *C. sinensis* (a); beterraba (b); *trub* (c)

FONTE: elaborado pela autora

Como observado na Figura 52, após a adição de plastificante, o filme adquire maior transparência.

Figura 52 – Filme de CB sem plastificante (amostra superior) e com plastificante (amostra inferior)



FONTE: elaborado pela autora

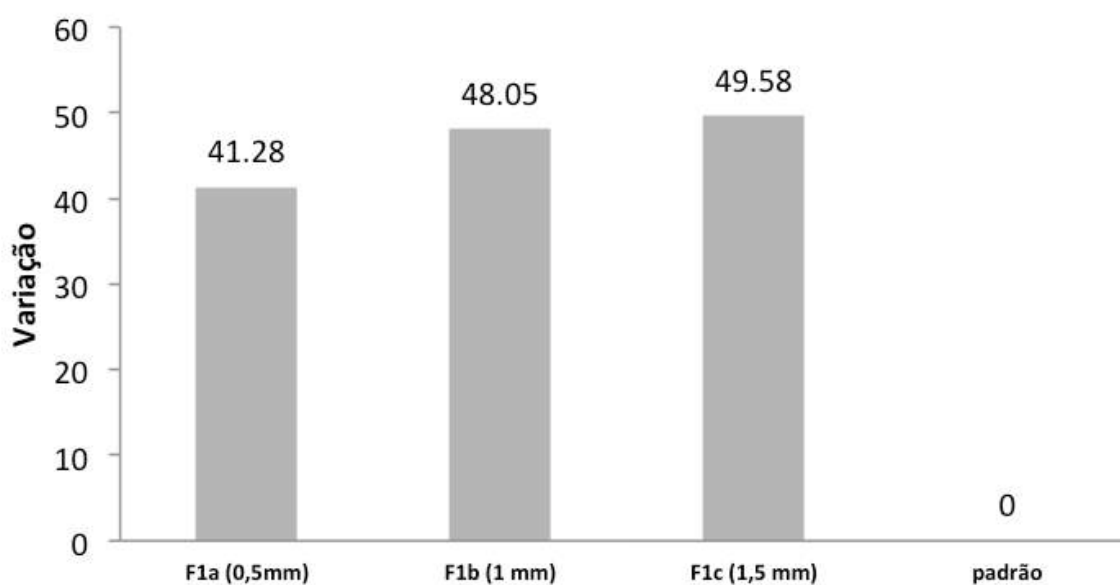
O Quadro 15 apresenta os valores de luminosidade (L^*) e cromaticidade (a^* e b^*) das amostras posicionadas sobre a superfície controle “padrão”, obtidos através da espectrofotometria. Através destes valores foi possível determinar as cores apresentadas na última coluna. Na mesma é possível observar que as amostras com plastificante e a amostra de PVC resultaram em cores mais próximas à cor padrão, o que significa que possuem maior transparência.

Quadro 15 – Resultados da espectrofotometria realizada nos filmes

Amostra	Luminosidade (L*)	cromaticidade (a*)	cromaticidade (b*)	cor
F1 (variação na espessura da película de celulose)				
F1 a	64,81	-1,31	-1,56	
F1 b	71,18	-1,21	-1,41	
F1 c	72,07	-1,31	-1,77	
F2 (variação no plastificante usado)				
F2 a	41,80	-0,45	-1,42	
F2 b	37,35	-0,26	-1,71	
PVC				
PVC	33,54	-0,14	-0,87	
SUPERFÍCIE PRETA (PADRÃO)				
padrão	23,72	-0,19	-0,65	

FONTE: elaborado pela autora

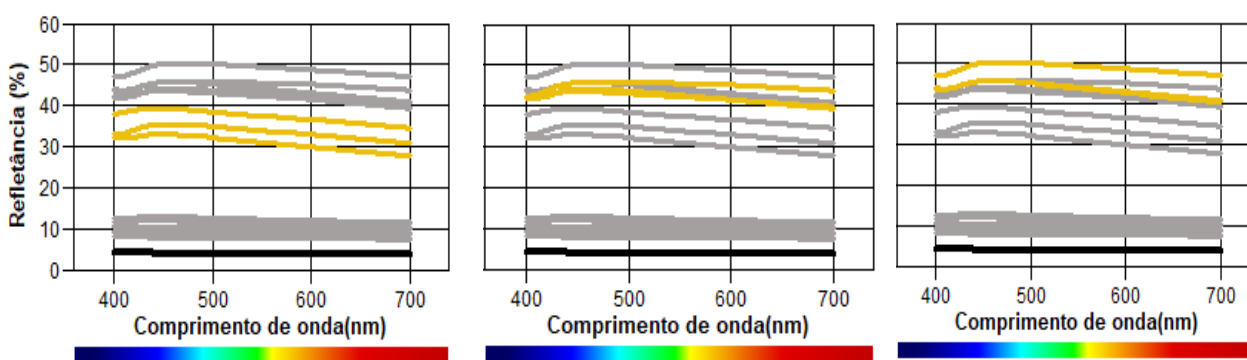
Na Figura 53 podem ser observados os valores das variações de cor (ΔE^*) entre as amostras do ciclo F1 e a cor da superfície padrão. A variação média de cor entre os filmes do ciclo F1 e o padrão é de 41,28 (F1a), 48,05 (F1b) e 49,58 (F1c).

Figura 53 – Variação de cor (ΔE^*) entre os filmes do F1 e a superfície padrão

FONTE: elaborado pela autora

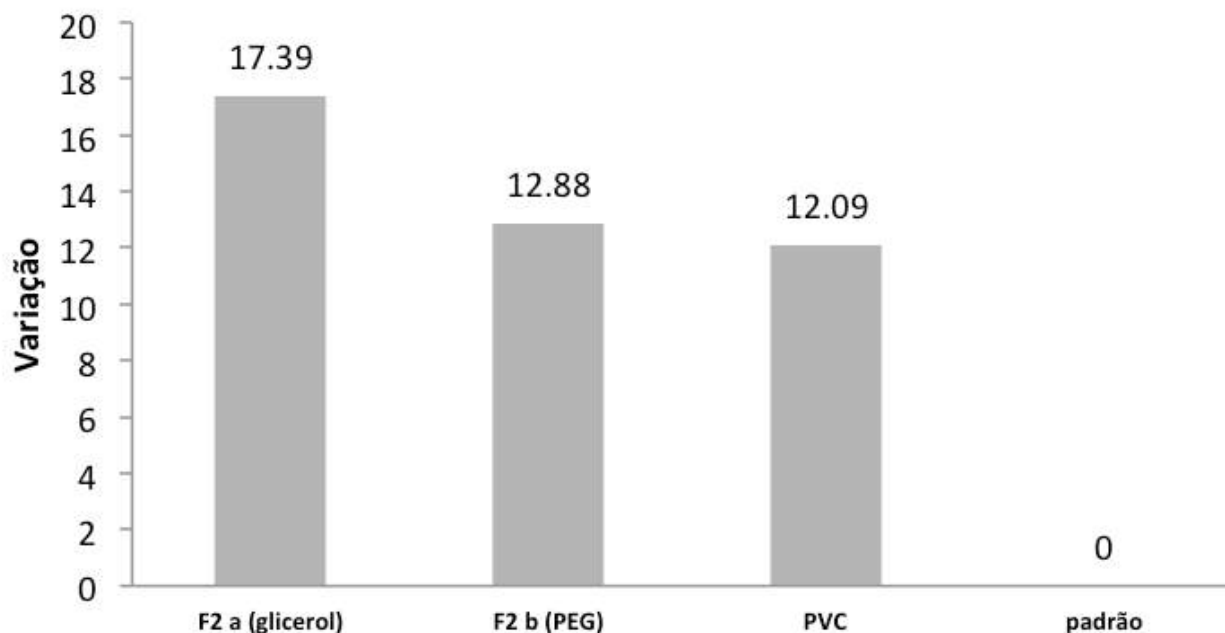
Em concordância com o resultado da variação de cor, na Figura 54 são apresentadas na cor amarela as porcentagens de refletância nos comprimentos de onda entre 400 e 700 nm das amostras do ciclo de teste F1. Como esperado, de forma geral, os filmes com menor a espessura (F1a) apresentaram maior transparência que os filmes de maior espessura (F1c), resultando em porcentagens de refletância mais próximas às porcentagens da superfície padrão preta. No entanto, esta variação não foi visivelmente significativa a olho nu.

Figura 54 – Gráfico refletância – comprimento de onda F1a, F1b, F1c



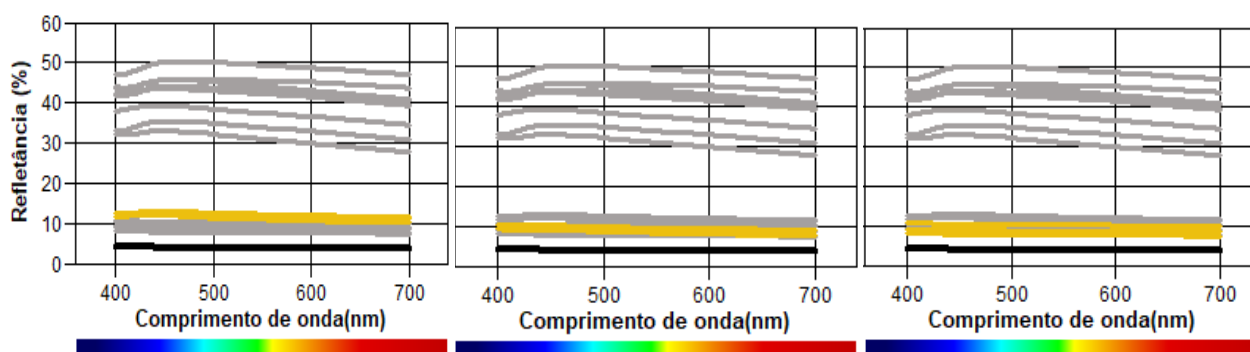
FONTE: elaborado pela autora

Assim, considerando que quanto menor a variação de cor, maior a transparência do filme, é possível concluir que a espessura da película de CB úmida com a qual se obteve um melhor equilíbrio entre a resistência à tração e a transparência foi a de 1 mm. Portanto, para o ciclo de teste F2, a película de CB foi cultivada com essa espessura. A Figura 55 apresenta os valores das variações de cor (ΔE^*) entre as amostras do ciclo F2, o filme PVC e a cor da superfície padrão. A variação média de cor entre estes filmes foi de 17,39 (F2a), 12,88 (F2b) e 12,09 (PVC).

Figura 55 – Variação de cor (ΔE^*) entre os filmes do F2, PVC e a superfície padrão

FONTE: elaborado pela autora

Na Figura 56 são apresentadas na cor amarela as porcentagens de refletância das amostras do ciclo de teste F2 e do PVC. No gráfico é possível observar claramente que a aplicação de plastificante nas amostras causou o aumento na transparência dos filmes de CB, atingindo porcentagens de refletância próximos aos do filme PVC nos comprimentos de onda entre 400 e 700 nm.

Figura 56 – Gráfico refletância – comprimento de onda F2a, F2b, PVC

FONTE: elaborado pela autora

A partir destes resultados, foi possível concluir que os filmes plastificados com glicerol (F2a) apresentaram menor transparência do que os filmes plastificados com

PEG (F2b) e, como mostra a Figura 57, também foi possível verificar esta diferença visualmente. Assim, pode-se concluir que o uso do PEG como plastificante para obter a transparência desejada foi satisfatória, pois a diferença de ΔE^* média entre a CB plastificada com PEG e o PVC foi de apenas 0,79.

Figura 57 – Filme de CB com PEG 600 plastificante (amostra superior) e com glicerol (amostra inferior)

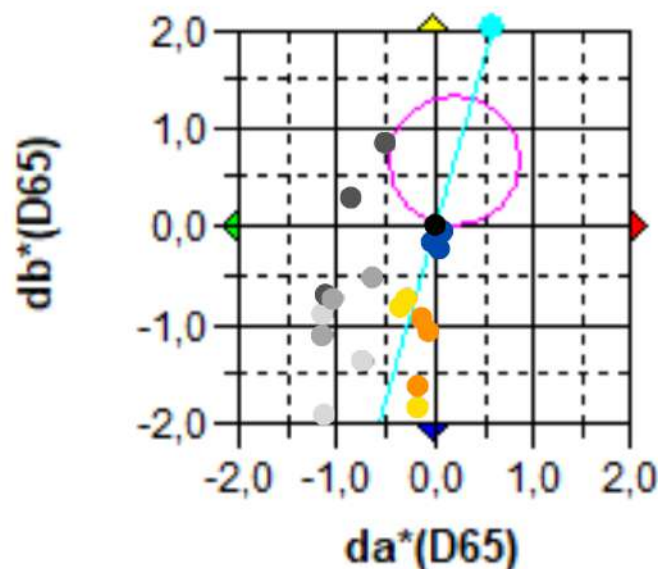


FONTE: elaborado pela autora

A Figura 58 representa o posicionamento das amostras nos eixos a e b do espaço de cor CIElab, considerando-se os valores da amostra preta padrão como a origem do plano cartesiano. No mesmo, se observa que todos os filmes de CB apresentaram-se levemente esverdeados (-b) e que a maioria tende a estar posicionada no quadrante verde-azul (-b, -a), o que pode ser atribuído à cor do *trib* utilizado como nutriente no processo de cultivo do material.

Figura 58 – Posicionamento das amostras dos filmes no plano cartesiano do espaço de cor CIElab**IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS**

F1a		0,5 mm / x plastificante
F1b		1 mm / x plastificante
F1c		1,5 mm / x plastificante
F2a		1 mm / glicerol
F2b		1 mm / PEG
PVC		
padrão		



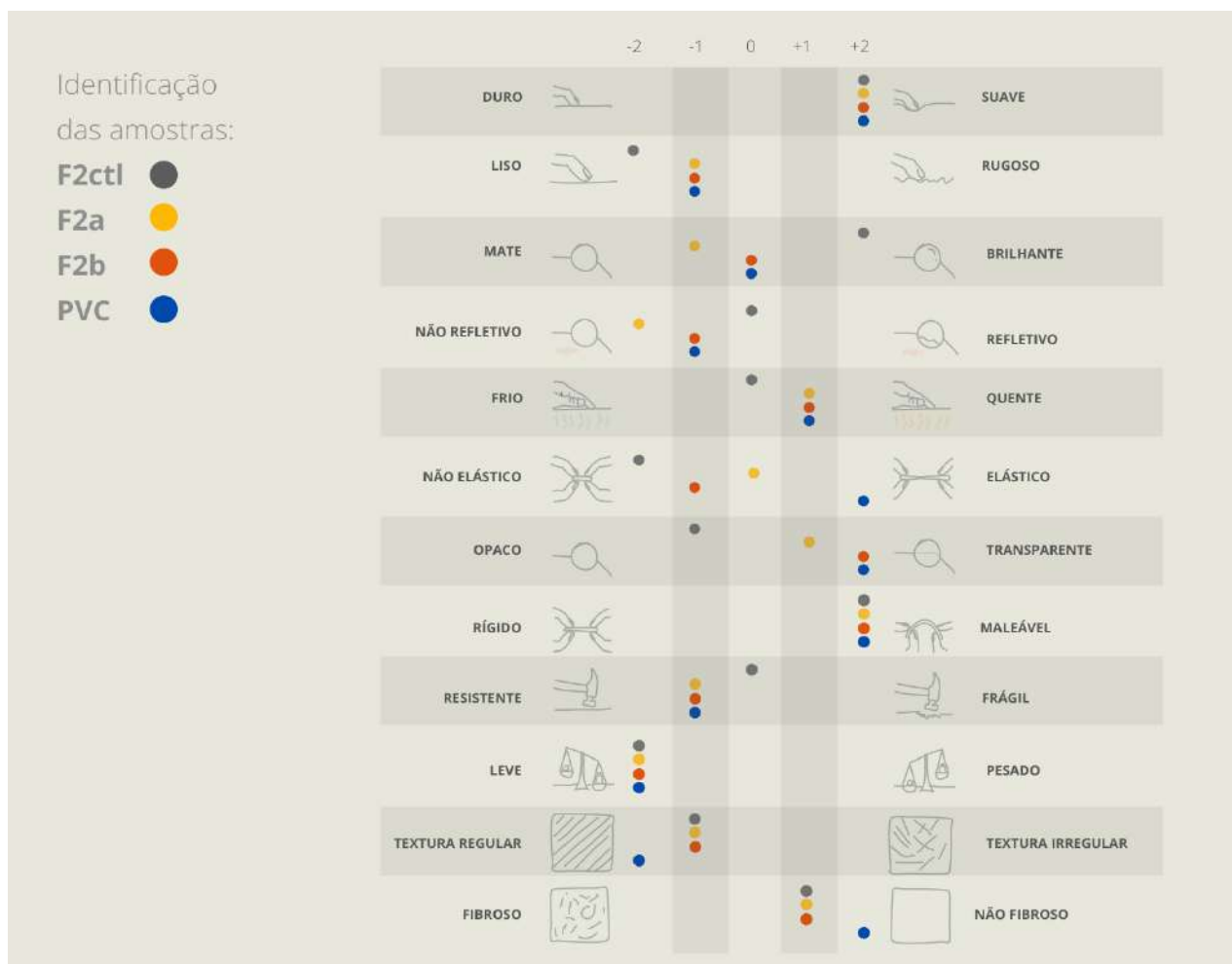
FONTE: elaborado pela autora

No ensaio mecânico observou-se que os filmes plastificados com PEG 600 apresentaram maior resistência à tração, porém, menor deformação que os filmes contendo glicerol. Desta forma a análise de transparência foi importante para concluir que o PEG 600 representou a melhor opção dos plastificantes testados para a aplicação pretendida no presente trabalho.

5.1.2.5 *Análise experiencial no nível sensorial (Ma2E4)*

O resultado do teste háptico vinculado à análise experiencial sensitiva e a identificação dos filmes avaliados encontra-se na Figura 59. O filme de CB sem plastificante (F2ctl) resultou em uma textura mais lisa, brilhante, sem elasticidade nem transparência. No quesito resistência, o F2ctl foi avaliado como menos resistente, pois resultou na sensação de ser mais quebradiço do que as amostras plastificadas e o PVC, mesmo que os filmes sem plastificante tenham apresentado maior resistência à tração, conforme apresentado anteriormente.

Figura 59 – Análise sensorial dos materiais



FONTE: elaborado pela autora

Entre os dois plastificantes, o PEG 600 resultou na produção de um filme um pouco mais refletivo do que o glicerol. Tanto os filmes plastificados quanto o filme PVC apresentaram texturas menos lisas do que o filme sem plastificante. O filme de PVC foi classificado como o material com textura mais regular e não fibrosa em comparação com os filmes de CB, que apresentaram textura levemente irregular e mais fibrosa devido à impregnação de pequenas partículas de *trub* na superfície durante o período de cultivo. Todos os filmes foram classificados como suaves, maleáveis e leves. Em concordância com os resultados obtidos com o espectrofotômetro, a pontuação crescente dos filmes de acordo com a análise visual da transparência foi F2ctl (-1), F2a (+1), F2b e PVC (+2), sendo -2 para a maior opacidade e +2 para a maior transparência.

Como uma primeira forma de análise, a experiência sensorial foi realizada através da autoavaliação da pesquisadora. No entanto, recomenda-se a futura organização de um grupo focal para avaliar os filmes de forma comparativa nos níveis performativo, sensorial, afetivo e interpretativo, propostos na ferramenta Ma2E4.

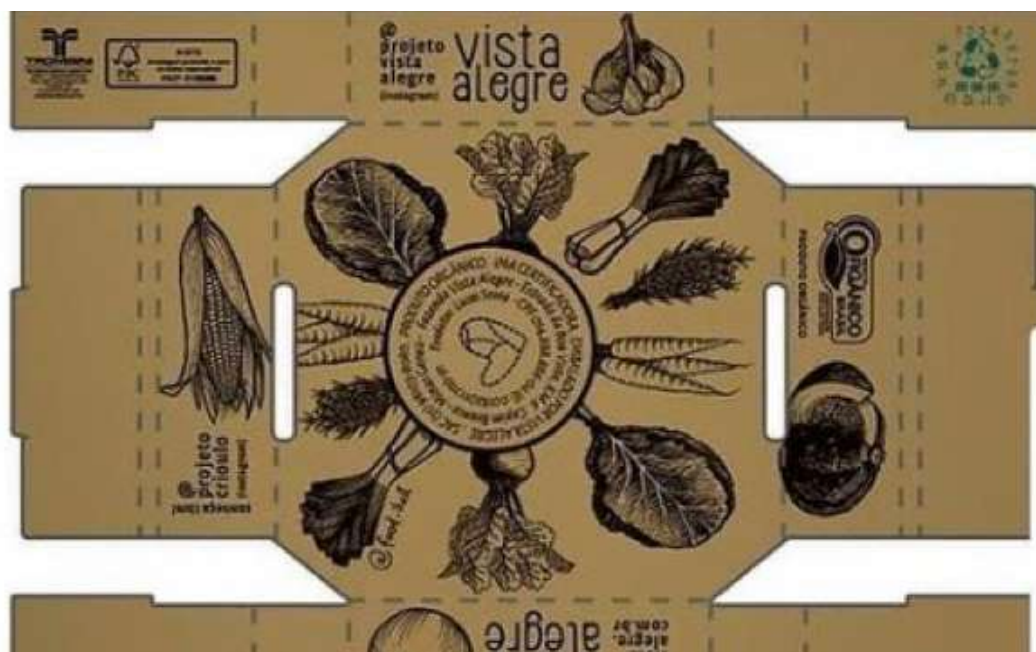
5.2 Design da Embalagem

5.2.1 Coleta de dados

A empresa Vista Alegre utilizava principalmente bandejas de poliestireno e filme de PVC para embalar seus alimentos. Em agosto de 2020 começaram a substituir as embalagens por soluções mais sustentáveis e coerentes com o seu propósito (PROJETO VISTA ALEGRE, 2020 b)²⁷. Para a venda em supermercados e outros estabelecimentos de vendas, as bandejas utilizadas são de papelão. Para as vendas diretas ao consumidor, os produtos são entregues sem embalagem. O filme da embalagem continua sendo de PVC e é colocado ao redor da bandeja para realizar o fechamento. A bandeja de papelão tem um formato retangular de 150 x 200 x 35 mm e possui chanfros nas arestas (Figura 60). O design da bandeja foi realizado pela Casa Guasti e as ilustrações aplicadas foram feitas pelo artista Ivo Campelo da empresa Food.ilust (PROJETO VISTA ALEGRE, 2020²⁸ c).

²⁷ PROJETO VISTA ALEGRE. Alinhando propósito com soluções sustentáveis. **Instagram**. 7 out. 2020. Disponível em: <<https://www.instagram.com/p/CGChk7uhmWm/>>. Acesso em: 28 fev. 2021. b.

²⁸ PROJETO VISTA ALEGRE. Saindo do digital e indo para o concreto!. **Instagram**. 13 out. 2020. Disponível em: <<https://www.instagram.com/p/CGTQIFbBsON/>>. Acesso em: 28 fev. 2021. c.

Figura 60 – Planificação e ilustração da bandeja de papelão

FONTE: Projeto Vista Alegre, 2020 c

Como apresentado na Figura 61, em alguns casos a marca da empresa é colocada na embalagem utilizando um adesivo que é colado sobre o filme de PVC.

Figura 61 – Uso de adesivo colado no filme de PVC da embalagem

FONTE: Tomato Distribuidora, 2021²⁹

²⁹ TOMATO DISTRIBUIDORA. Esse é o queridinho e saboroso tomate orgânico! Já experimentaram? **Instagram**. 14 abr. 2021. Disponível em: <<https://www.instagram.com/p/CHOv6l-hsEh/>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

Por meio da observação do site da empresa, foi possível identificar alguns elementos que compõem a identidade visual da marca. A logo é formada por um coração composto por 5 divisões das cores vermelha, verde, amarela, laranja e roxa e o texto “Vista Alegre” e “orgânicos” na cor marrom e cinza respectivamente. A mesma é aplicada em fundos claros como branco e bege. A fonte utilizada contribui com o conceito de proximidade e familiaridade que a marca visa transmitir (Figura 62).

Figura 62 – Logo Vista Alegre



FONTE: Vista Alegre Orgânicos, 2021³⁰

A empresa se dirige ao seu público de uma forma próxima, casual, com transparência e com a intenção de informar e conscientizar sobre os benefícios dos seus produtos. Um elemento característico da identidade é a aplicação de ilustrações feitas com linhas livres num estilo de *sketch*. As mesmas são aplicadas utilizando as cores da marca ou em preto e branco quando impressas nas bandejas de papelão. A Figura 63 apresenta alguns dos elementos gráficos utilizado no *site* da empresa, formando um painel que reflete a identidade visual atual da marca.

³⁰ VISTA ALEGRE ORGÂNICOS. **História**. Disponível em: <<https://www.vivavistaalegre.com.br/paginas/historia>>. Acesso em: 28 fev. 2020.

Figura 63 – Painel Identidade Visual

FONTE: Adaptado de Vista Alegre Orgânicos, 2021³¹

Foram selecionadas algumas embalagens de alimentos disponíveis no mercado, compostas por uma bandeja compostável e um filme flexível, para analisar diversos formatos, mecanismos de fechamento, colocação das informações do produto e pontos positivos e negativos de cada uma. Foi observado que a maioria de bandejas possui tonalidades de bege e uma textura rústica. Estes aspectos são normalmente associados com materiais mais sustentável, no entanto, seria preferível aliar a

³¹ VISTA ALEGRE ORGÂNICOS. Disponível em: <<https://www.vivavistaalegre.com>>. Acesso em: 28 fev. 2020.

sustentabilidade com produtos esteticamente atraentes. Conseguir aplicar ambos os elementos no design de embalagens gera um diferencial importante no cenário atual do mercado (Quadro 16).

Quadro 16 – Análise de concorrentes

		FORMATO	FECHAMENTO	INFORMAÇÕES	+ / -
KM PACKAGING		bandeja alta produto abaixo da borda material rígido relevo inferior na bandeja	filme colado no contorno da borda superior da bandeja	impressão no filme	(+) colagem esteticamente agradável (+) Produto protegido integralmente pela bandeja (-) O produto não pode ultrapassar a altura da bandeja
TRIPONTO		bandeja baixa produto acima da borda material maleável	sacola envolvendo totalmente o produto. Selado com calor	impressão na bandeja	(+) O produto pode ultrapassar a altura da bandeja (-) fechamento esteticamente desarranjado (-) Produto não é protegido integralmente pela bandeja
PUNCHBOWL		bandeja alta produto abaixo da borda material rígido Tampa flexível de encaixe	filme colado na janela de visualização da tampa de encaixe deslizável	impressão na tampa	(+) fechamento esteticamente agradável (+) Produto protegido integralmente pela bandeja (-) O produto não pode ultrapassar a altura da bandeja
TAMOIOS		bandeja baixa produto acima da borda material rígido	filme envolvente totalmente o produto. fechado autoadesão do filme	adesão de sticker	(+) O produto pode ultrapassar a altura da bandeja (-) Necessário utilizar maior quantidade de filme (-) Produto não é protegido integralmente pela bandeja
SEALED AIR		bandeja baixa produto abaixo da borda material rígido	filme colado no contorno da borda superior da bandeja	Uso de acessório em formato de banda colocado ao redor do produto	(+) colagem esteticamente agradável (+) Produto protegido integralmente pela bandeja (-) O produto não pode ultrapassar a altura da bandeja

FONTE: elaborado pela autora

Por ser um resíduo orgânico abundante e proporcionar uma cor marrom escura e textura homogênea ao produto, foi selecionada a casca de banana como proposta de matéria prima para a produção da bandeja. A banana é uma das frutas tropicais mais conhecidas e populares e está disponível durante todo o ano. É a segunda fruta mais produzida no mundo, representando 16% da produção total de frutas. O peso médio da banana é por volta de 125 g, do qual 30-40% é referente à casca, que é descartada, gerando aproximadamente 22 bilhões de toneladas anuais de resíduo sólido orgânico no mundo (SANCHEZ-VAZQUEZ; HAILES; EVANS, 2013).

De acordo com a informação disponibilizada na base de dados da Embrapa, o Brasil é o quarto maior produtor de banana no mundo, ficando atrás da Índia, China e Indonésia. A sua produção total foi de 6.752.171 toneladas em 2018, sendo Minas Gerais o terceiro estado com maior produção, responsável pela produção de 766.966 toneladas (BRASIL, 2019). Cunha (2016) aponta que ao redor de 0,5% da área de produção de banana no país é de cultivo orgânico, o qual representa em torno de 2.400 hectares.

Além disso, segundo Pathak; Mandavgane e Kulkarni (2017), tem sido demonstrado que os óleos, fenóis, lipídios e taninos presentes na casca de banana lhe conferem atividade antimicrobiana. Arquelau (2018) também afirma que o material tem capacidade antioxidante e que o seu alto teor de fibras pode contribuir com a melhora de propriedades mecânicas dos materiais.

De acordo com Jamal, Saheed e Alam (2012), nos últimos anos, este material tem sido utilizado em diversas aplicações incluindo a produção de biocombustíveis, polpa e papel, cosméticos, fertilizantes orgânicos, processos de biotecnologia e como bioadsorvente. Abdullah *et al.* (2016) explicam que o potencial de adsorção da casca se deve a sua estrutura microporosa, sua superfície áspera e heterogênea com poros semelhantes a crateras e a alta hidrofobicidade das suas fibras. Além disso, a casca de banana tem um tempo de biodegradação curto, variando entre 2 a 10 dias (SPEER *et al.*, 2015).

5.2.2 Análise de dados

Considerando que geralmente os consumidores associam cores escuras a produtos com preço e qualidade mais alta, e devido ao fato de estar sendo utilizado um material em fase experimental, foi decidido direcionar o design da embalagem para um produto *premium*: o pimentão Palermo (Figura 64). A empresa Rijk Zwaan³² aponta que o sabor doce único, a versatilidade, a casca macia e a quantidade reduzida de sementes no seu interior, fazem do pimentão Palermo um produto *premium*.

Os produtos *premium* são aqueles que geram percepções gerais de qualidade e preço maior por meio de atributos seletos que são associados a aspectos como a exclusividade do produto ou à imagem social. Lyons e Wien (2018), apontam a que embalagem serve como indicadora da qualidade do produto contido e sinaliza ao consumidor se é justificável pagar um preço maior.

Figura 64 – Pimentão Palermo



FONTE: elaborado pela autora, 2021

³² RIJK SWAAN. **Learn more about Rijk Zwaan's consumer brand, Sweet Palermo®.** Disponível em: <<https://www.rijkszwaan.com/sweet-palermo>>. Acesso em: 7 abr. 2022.

O Quadro 17 apresenta a lista dos requisitos do projeto, relacionando cada um às necessidades do mercado identificadas durante a revisão bibliográfica e às propriedades dos materiais propostos.

Quadro 17 – Requisitos do projeto

NECESSIDADE DO MERCADO	REQUISITO DO PROJETO	PROPRIEDADE DO MATERIAL
Ver o produto antes de comprá-lo	Permitir a visualização do produto interno	Filme celulósico com transparência análoga ao filme de PVC, produzindo variações de cor (ΔE^*) de 12,88 e 12,09, respectivamente, em relação à superfície na qual encontram-se colocados
Apoiar a economia local	Utilizar matéria-prima e manufatura local	Uso de resíduos produzidos em Belo Horizonte como matéria-prima
Aplicar a economia circular sem comprometer a praticidade e conveniência tanto do produtor quanto do consumidor	Utilizar materiais que diminuam a necessidade de extração de recursos virgens e que sejam compostáveis para poder retornar ao ciclo biológico de forma saudável	Materiais feitos com resíduos orgânicos e ingredientes compostáveis
Atrair os consumidores	Proporcionar estética e apelo de venda	Bandeja com textura lisa, coloração escura e homogênea que contraste com as cores do pimentão Palermo
Realizar o processo de embalagem de forma intuitiva e eficiente	Projetar mecanismo de fechamento efetivo, simples e esteticamente apurado	Material de casca rígido com potencial para desenvolver um frame para tampa
Proteger o produto de impactos mecânicos	Utilizar materiais com propriedades similares às do filme PVC	Filme celulósico com resistência à tração de 51 MPa e deformação de 10%

FONTE: elaborado pela autora

Para alinhar a geração de alternativas com o posicionamento proposto, além do cumprimento dos requisitos listados no quadro acima, foram utilizados elementos simples e limpos. Isso também contribuiu para que o alimento contido e a marca da empresa fossem os protagonistas do conjunto, destacando as ilustrações características da empresa Vista Alegre e as cores amarela, laranja e vermelha do pimentão Palermo.

5.2.3 Geração de alternativas

As Figuras 65, 66 e 67 apresentam os elementos formais, funcionais e estéticos escolhidos para a embalagem, considerando as características do pimentão Palermo. Nos desenhos é possível observar o formato e espessura da parede da bandeja, os seus cantos arredondados e as suas dimensões. As medidas da vista superior do produto e da etiqueta foram projetadas de acordo com a proporção áurea, a qual gera sensação de harmonia estética.

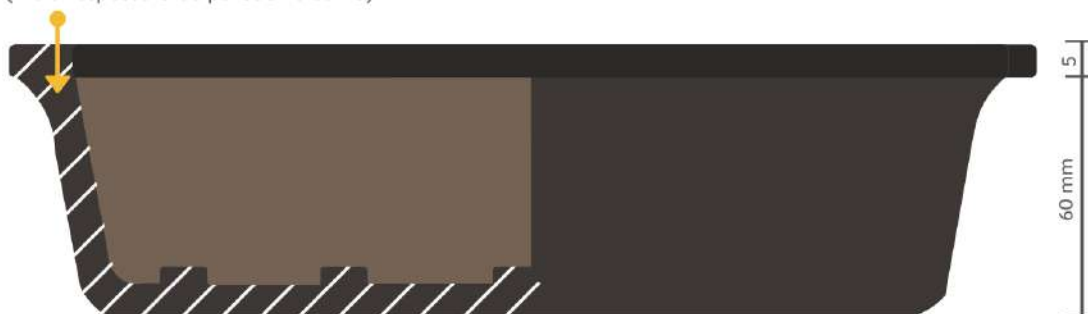
A tampa é composta por uma moldura rígida onde é colado o filme transparente. A moldura possui uma aba arredondada para facilitar a forma de abertura. Na base interna da bandeja foram colocados retângulos em relevo criando irregularidades que permitem que, quando os pimentões exsudam umidade, esta seja absorvida pela bandeja diminuindo a área de contato entre o material da embalagem e o vegetal.

As dimensões da embalagem foram definidas de acordo com o estudo das medidas e pesos dos pimentões Palermo. A mesma pode conter 200 g de pimentões mantendo-os abaixo da borda da bandeja permitindo a colagem da moldura da tampa. Foram comparadas diversas combinações de cores para as etiquetas, considerando o uso da impressão com tintas comestíveis em papel claro ou o uso de gravação com laser. Além da etiqueta com as informações do pimentão Palermo e do Vista Alegre, foi projetada uma etiqueta que apresenta as informações sobre a produção da embalagem, os materiais utilizados e como a mesma deve ser descartada para voltar ao ciclo biológico de forma saudável.

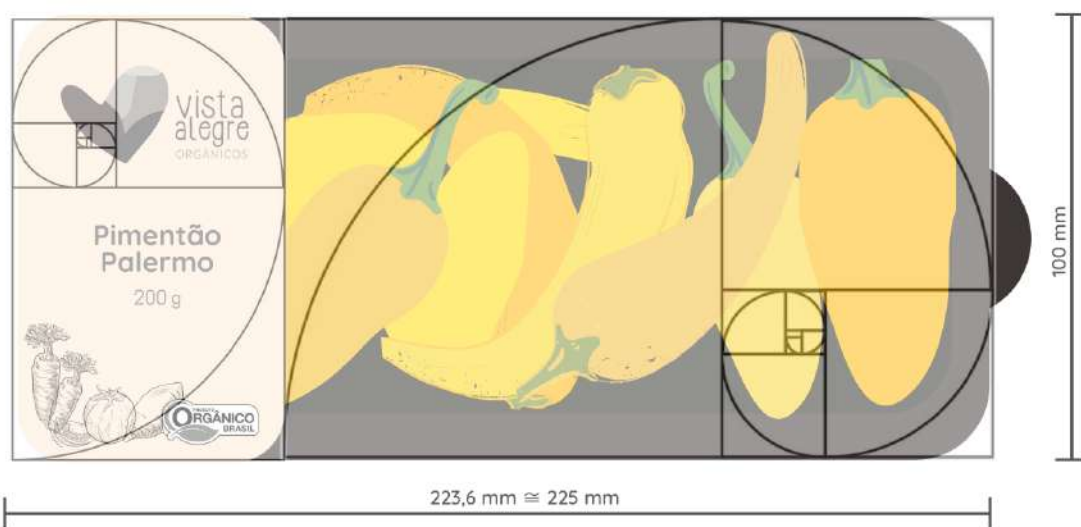
Spence (2016), afirma que quando a embalagem tem janelas transparentes de visualização, uma boa aplicação de cor fornece contraste de cores entre a embalagem e o produto. A cor escura e textura homogênea proposta para a bandeja atuam como um fundo sóbrio e apurado, permitindo a criação de contrastes marcantes com os alimentos embalados. Nesse sentido, foi proposto o uso da logo da empresa em escala de cinza de forma a dialogar com a linguagem do produto *premium* que procurou-se transmitir.

Figura 65 – Página 1 dos desenhos dos elementos da embalagem

FORMATO E ESPESSURA DA PAREDE
(maior espessura de parede na curva)



PROPORÇÃO AUREA



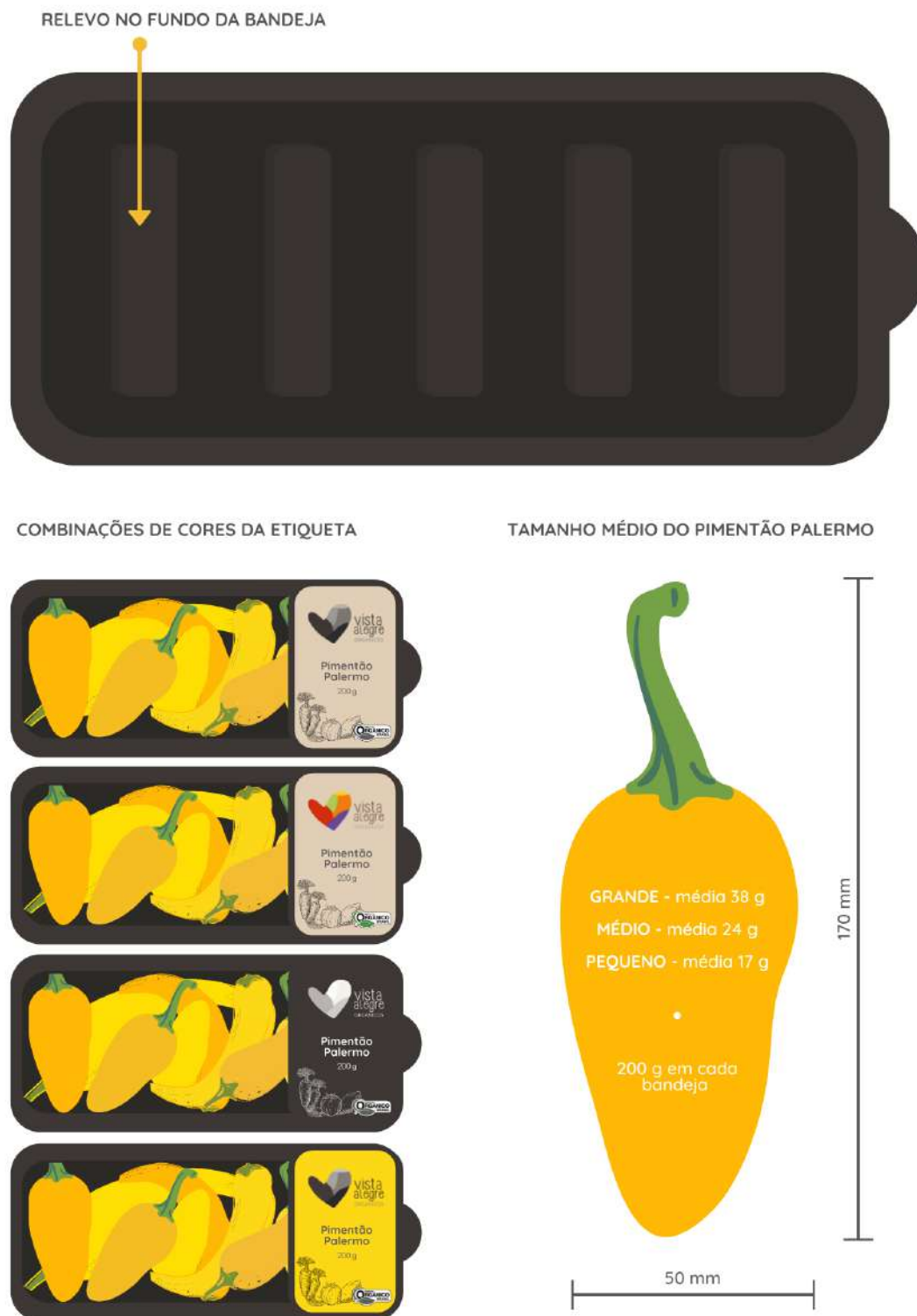
COLAGEM DO FILME
(parte inferior da tampa)

TAMPA - FRAME



FONTE: elaborado pela autora, 2021

Figura 66 – Página 2 dos desenhos dos elementos da embalagem



FONTE: elaborado pela autora, 2021

Figura 67 – Página 3 dos desenhos dos elementos da embalagem



FONTE: elaborado pela autora, 2021

Com o intuito de verificar as dimensões propostas de forma tangível, foi modificada uma bandeja de polpa moldada da marca Tamoios e posteriormente elaborado um modelo tridimensional de cerâmica (Figura 68).

Figura 68 – Modelo físico tridimensional



FONTE: elaborado pela autora, 2021

Foram realizados diversos testes de composição e moldagem para desenvolver o material de casca de banana. Inicialmente foi testado o desenvolvimento de um biocompósito elaborado com casca e banana e CB. Para isso, a casca de banana foi higienizada por meio do aquecimento em água a 100°C por 30 min. A matriz foi preparada com fragmentos de CB úmidas de 30 x 30 mm, trituradas por 1 min. com água destilada em proporção 1:2 (m/m). Logo após, foram adicionados 40% (m/m) de casca de banana. A mistura foi triturada por 1 min. e em seguida filtrada para retirar 40% (m/m) de umidade, obtendo uma pasta.

Para o primeiro teste de moldagem, foram moldadas 100 g da pasta, a temperatura ambiente, utilizando duas bandejas de poliestireno (Figura 69). Após a secagem, o material apresentou uma aparência lisa e homogênea, o que sugere que existe boa compatibilidade interfacial entre a casca de banana e a CB, possivelmente devido ao fato de ambos os materiais possuírem alto teor celulósico na sua composição. Além disso, a bandeja indicou possuir a rigidez e resistência mecânica adequadas para a aplicação para a qual está sendo projetada. Possivelmente, a rigidez e resistência mecânica do material foram obtidas devido à lignina e à hemicelulose, respectivamente. De acordo com Kalia, *et al.* (2011), a hemicelulose atua como compatibilizador entre a celulose e a lignina, fortalecendo a integração das fases do compósito.

Figura 69 – Moldagem do biocompósito de casca de banana a temperatura ambiente



FONTE: elaborado pela autora

Não foi obtido um resultado satisfatório em relação à moldagem, pois o material contraiu-se durante a secagem, gerando alterações na geometria do produto. Com o intuito de melhorar o processo de moldagem, foram realizados testes de conformação do material aplicando a termoprensagem com os parâmetros apresentados no Quadro 18.

Quadro 18 – Teste de termoprensagem do material de casca de banana

Temperatura	Pressão	Tempo	Resultado
200 °C + sem aquecimento	1 ton + 1 ton	15 min + 5 min	
150 °C + sem aquecimento	1 ton + 1 ton	10 min + 5 min	
120 °C + sem aquecimento	0,5 ton + 0,5 ton	15 min + 5 min	
100 °C + sem aquecimento	0,5 ton + 0,5 ton	20 min + 10 min	

FONTE: elaborado pela autora

A aplicação da termoprensagem com os parâmetros citados, resultou em amostras quebradiças, com texturas rugosas e heterogêneas. Portanto, foi decidido realizar a secagem do material em estufa ventilada a uma temperatura de 70 °C por um período de 6 horas e aplicando uma leve pressão durante o processo com uma prancha de aço. Como apresentado na figura 70, o material resultante apresentou textura lisa, homogênea, com boa resistência mecânica e rigidez perceptíveis ao manipulá-lo. Ainda assim, não foi obtido um resultado satisfatório em relação à moldagem devido à contração e deformação da amostra.

Figura 70 – Moldagem de polpa de casca de banana em estufa ventilada



FONTE: elaborado pela autora

A cor escura e textura visual homogênea do material passam uma sensação de uniformidade, não apresentando o aspecto rústico e cores esmaecidas que, como apontado por Sauerwein; Karana e Rognoli (2017), com frequência são observadas em materiais bio-baseados para reforçar a sua “estética verde”. De acordo com Spence (2016), a cor é uma das características sensoriais mais importantes da embalagem de um produto. A mesma pode ser muito eficiente para chamar a atenção das pessoas, o

que é de grande relevância, especialmente no varejo, pois o consumidor médio chega a visualizar até 1.000 produtos diferentes a cada minuto enquanto caminha pelos corredores de um supermercado comum.

O biocompósito de cor escura possibilita a criação de um forte contraste com os vegetais frescos, o que é um aspecto estético positivo mencionado nos requisitos do projeto de design da embalagem (Figura 71). Ainda mais para produtos *premium* pois, como indicam alguns estudos, cores mais escuras levam a percepções de preço e qualidade mais altas (LYONS; WIEN, 2018).

Figura 71 – Exemplo de contraste visual que permite a cor escura do biocompósito



FONTE: elaborado pela autora

Mesmo tendo uniformidade de forma geral, observando o material detalhadamente, é possível distinguir elementos da fibra e imperfeições que mantêm a singularidade da matéria prima natural. Assim, o material apresenta um equilíbrio sensorial entre a uniformidade e a variedade em relação aos aspectos visuais e táteis, que são os que geralmente predominam na apreciação de materiais (SAUERWEIN; KARANA; ROGNOLI, 2017). Lyons e Wien (2018) explicam que os consumidores veem produtos moderadamente incongruentes de forma mais favorável do que aqueles que são congruentes ou extremamente incongruentes devido a que gera uma dinâmica de percepção mais estimulante emocionalmente.

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho apontam que o *trub* é uma boa fonte de nutriente para o cultivo de celulose bacteriana. Foi demonstrado que este resíduo cervejeiro, raramente aproveitado, pode ser reintegrado ao ciclo produtivo através do metabolismo bacteriano para a biofabricação de celulose bacteriana (CB). Os resultados da análise de composição centesimal do *trub*, demonstrando seu alto teor de proteínas e carboidratos, indicam ser um bom substrato para o desenvolvimento dos microrganismos envolvidos na produção de CB.

Os filmes de celulose obtidos apresentaram valores de resistência à tração superiores às do PVC. No entanto, mesmo após a adição de plastificante, nenhum dos filmes de CB apresentou porcentagens de deformação similares ao PVC, que é superior. Ainda assim, foi possível observar o aumento na porcentagem de deformação entre os filmes de CB e os filmes de CB plastificados com PEG e glicerol, demonstrando que a flexibilidade foi efetivamente melhorada. Como esperado, os resultados indicam que a adição de plastificantes na CB diminui a sua resistência à tração e aumentam a sua porcentagem de deformação.

Os filmes de CB plastificados com glicerol resultaram em menor transparência e menor resistência à tração que os filmes plastificados com PEG-600. Demonstrou-se que a aplicação de PEG-600 como plastificante confere indicadores de transparência análogos aos do filme PVC, confirmando que o filme de CB produzido tem potencial para ser aplicado na elaboração de embalagens considerando a necessidade do mercado de aplicar materiais que permitam a visualização do produto interno.

Os resultados da análise experiencial no nível sensorial condizem com os resultados obtidos com o espectrofotômetro, no entanto, é interessante observar que, no quesito resistência, o filme de CB sem plastificante foi avaliado como menos resistente pois a menor elasticidade passa a sensação de ser mais frágil do que as amostras plastificadas e o PVC, mesmo que no ensaio de tração tenha apresentado a maior

resistência à tração. De acordo com a análise de percepção, o filme de CB plastificado com PEG 600 pode ser classificado como: suave, liso, não reflexivo, levemente elástico, translúcido, maleável, resistente, leve, regular e não fibroso.

Embora um dos objetivos iniciais da pesquisa tenha sido o desenvolvimento de um biocompósito de casca de banana com CB, não foi obtido um resultado satisfatório em relação à moldagem devido à contração e deformação das amostras. No entanto, os resultados sugerem que o material de casca de banana proposto tem grande potencial e pode oferecer bons resultados em pesquisas futuras, pois é um material que alia a sustentabilidade com uma estética atraente, pela sua cor marrom escura, a sua textura lisa, homogênea, a sua rigidez e resistência mecânica perceptíveis ao manipulá-lo.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante o desenvolvimento da presente dissertação, surgiram sugestões para trabalhos futuros que podem complementar os resultados obtidos, sendo estas:

- 1) Avaliar concentrações de inóculo maiores que 40% (v/v) no cultivo da CB para determinar a concentração na qual a produção começa a decrescer;
- 2) Realizar a análise de migração de partículas, permeabilidade a gases e ao vapor d'água do filme de CB plastificado com PEG-600 em comparação com o filme PVC;
- 3) Estudar a biodeterioração das amostras por enterro laboratorial no solo;
- 4) Avaliar a mudança de temperatura e perda de peso de um vegetal fresco embalado com o filme de CB e o filme de PVC, sendo que a maioria dos produtos vegetais perde o seu frescor quando a perda de água chega entre 3% e 10% do seu peso inicial;
- 5) Desenvolver a composição e o processamento ideal para conformar o biocompósito de casca de banana e CB com a adição de plastificante e realizar as suas caracterizações comparando os resultados com as bandejas de poliestireno utilizadas amplamente no mercado.

REFERÊNCIAS

- ABDELRAOF, M.; HASANIN, M. S.; EL-SAIED, H. Ecofriendly green conversion of potato peel wastes to high productivity bacterial cellulose. **Carbohydrate Polymers**, v. 211, p. 75–83, 2019.
- ABDULLAH, M. et al. Preliminary Study of Oil Removal using Hybrid peel waste: Musa balbisiana and Citrus sinensis. **Journal of Applied Science and Biological Science**, v. 6, p. 59–63, 2016.
- ANVISA. **Instrução Normativa Conjunta – INC Nº 2 fev/182018**. Publicada no DOU nº 28, de 8 de fevereiro de 2018.
- ANVISA. **Materiais em contato com alimentos Gerência de Avaliação de Risco e Eficácia de**. 5. ed. Brasília: Gerência Geral de Alimentos, 2020.
- AQUALOSE. **Customisable ultrafiltration** membranes from bacterial cellulose. Imperial College London. Londres, 2014. Disponível em: <<http://2014.igem.org/Team:Imperial/Safety>>. Acesso em: 3 maio. 2020.
- AQUARY, I. D. et al. Optimization of the Production of Microbial Cellulose by Acetobacter xylinum in Aloe barbadensis Mill . Medium. **International Journal of Pure & Applied Bioscience**. v. 2, n. 6, p. 215–222, 2014.
- ARQUELAU, P. B. de F. **Desenvolvimento e caracterização de revestimentos comestíveis a partir de farinha de casca de banana (Musa spp.) prata**. 2018. 139 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.
- ASHBY, M. **Seleção de Materiais no Projeto Mecânico**. [tradução de Arlete Simille]. Rio de Janeiro : Elsevier, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM. **O Valor das Embalagens Flexíveis no Aumento da Vida Útil e na Redução do Desperdício de Alimentos**. Maryland: Flexible Packaging Association (FPA), 2015.
- AZEREDO, H. et al. Bacterial Cellulose as a Raw Material for Food and Food Packaging Applications. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v.3. fev, 2019.
- BAIZLEY, D. Sustainability and the consumer 2018. **WGSN**. 10 jan. 2018. Disponível em: <https://www.wgsn.com/content/board_viewer/#/77358/page/2>. Acesso em: 15 fev. 2018.
- BANDYOPADHYAY, S.; SAHA, N.; SAHA, P. Characterization of Bacterial Cellulose Produced using Media Containing Waste Apple Juice. **Applied Biochemistry and Microbiology**, v. 54, n. 6, p. 649–657, 2018.
- BASU, A.; VADANAN, S. V.; LIM, S. Rational design of a scalable bioprocess platform for bacterial cellulose production. **Carbohydrate Polymers**, v. 207, p. 684–693, 2019.
- _____. A Novel Platform for Evaluating the Environmental Impacts on Bacterial Cellulose Production. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1–9, 2018.
- BHARGAVA, A.; SHARMA, P. **Mechanical behaviour and testing of materials**. Delhi: PHI Learning Pvt. Ltd., 2011. 568 p.
- BJÖRN, L. **Photobiology: the Science of life and light**. 2 ed. Lund: Springer Science & Business Media, 2007. 684 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Gestão de resíduos orgânicos**. 2017. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/gestao-de-res%C3%ADduos-org%C3%A2nicos.html#o-que-sao-residuos-organicos>>. Acesso em: 4 fev. 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Produção brasileira de banana em 2018**. Embrapa. Mandioca e Fruticultura. set. 2019. Disponível em: <http://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_pdf/dados/brasil/banana/b1_banana.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2020.

BRIGNALL, M. Why do supermarkets sell organic food wrapped in plastic?. **The Guardian**. jan. 2018. Disponível em: <<https://www.theguardian.com/environment/2018/jan/20/supermarkets-organic-food-packaging>>. Acesso em: 10 fev. 2020.

BURKE, M. T.; BENNETT-WOODS, D. **Bacterial NanoCellulose**: a sophisticated multifunctional material. Boca Ratón: CRC Press Taylor, 2016.

CALLISTER, Jr., W. D. **Ciência e engenharia de materiais**: uma introdução. Tradução Sérgio Murilo Stamile Soares. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 709 p.

CAMERE, S.; KARANA, E. Growing materials for product design. **EKSIG 2017: Alive.Active.Adaptive**, p. 101–115, 2017.

_____. Fabricating materials from living organisms: An emerging design practice. **Journal of Cleaner Production**, v. 186, p. 570–584, 2018. a.

_____. MA2E4 Toolkit: experiential characterization of materials. **Design Research Society**. University of Limerick. 2018. b.

CHOI, S. M.; SHIN, E. J. The nanofication and functionalization of bacterial cellulose and its applications. **Nanomaterials**, v. 10, n. 3, 2020.

CIELECKA, I. et al. Glycerol-plasticized bacterial nanocellulose-based composites with enhanced flexibility and liquid sorption capacity. **Cellulose**, v. 26, n. 9, p. 5409–5426, 2019.

COHEN, N.; SICHER, E.; YAVUZ, S. U. Designing with microbial cellulose to feed new biological cycles. **International Journal of Food Design**, v. 4, n. 2, p. 155–171, 2019.

COIMBRA, C. G. de O. **Produção de celulose bacteriana por *Gluconacetobacter xylinus* e elaboração de filmes comestíveis**. 2016. 138 p. Tese (Doutorado em Biotecnologia) – RENORBIO, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2016.

COLLET, C. Biotextiles: Evolving Textile Design Practices for the Bioeconomy and the Emerging Organism Industry. **Soft Landing**, Helsinki, p. 87–99, 2018.

CORRADO, S.; SALA, S. Designing Sustainable Technologies, Products and Policies. **Designing Sustainable Technologies, Products and Policies**, p. 49–59, 2018.

COSTA, A. F. S. et al. Production of bacterial cellulose by *Gluconacetobacter hansenii* using corn steep liquor as nutrient sources. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, p. 1–12, 2017.

COSTA, C. C.; ANDRADE, G. R. S.; ALMEIDA, L. E. Biodegradação em solo simulado de compósitos de pead/pró-oxidante/ casca de arroz: aplicação em tubetes agrí-colas. **Revista Materia**, v. 23, n. 4, 2018.

CUNHA, L. Bananeira Orgânica é Bom Negócio para Pequeno Produtor. **Embrapa**. jan. 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/8645154/bananeira-organica-e-bom-negocio->>

para-pequeno-produtor>. Acesso em: 18 jun. 2020.

DA MATTA, M. **Caracterização de biofilmes obtidos a partir de amido de ervilha (*Pisum sativum*) associado à goma xantana e glicerol**. 2009. 113 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologias de Alimentos) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2009.

DARY, L. et al. Ingeniería y Ciencia Técnicas de fermentación y aplicaciones de la celulosa bacteriana: una revisión. **Ing. Cienc**, v. 8, n. 16, p. 307–335, 2012.

DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. **Microscopia Eletrônica de Varredura**: aplicações e preparação de amostras. materiais Poliméricos, metálicos e semicondutores. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007. 60 p.

DELAZIO, A.; ISRAR, A.; KLATZKY, R. L. Cross-modal correspondence between vibrations and colors. **2017 IEEE World Haptics Conference, WHC 2017**, p. 219–224, 2017.

DIMA, S. O. et al. Bacterial nanocellulose from side-streams of kombucha beverages production: Preparation and physical-chemical properties. **Polymers**, v. 9, n. 8, p. 374, 2017.

DUARTE, E. **Produção de Nanocompósitos de Celulose Bacteriana e Hidroxiapatita como Rota para Valorização de Resíduos Agroindustriais**. 2014. 117 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Materiais) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

EISSA, H. A. et al. Optimizing Oil Reduction in Fried Eggplant Rings. **Journal of Applied Sciences Research**, v. 9, n. 6, p. 3708–3717, 2013.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Cities and circular economy for food**. 2019, p. 66.

FEHIR, A. **Taphonomy 's Rainbow : The Introduction and Application of Chromophoric**. 2016. 101 p. Diissertação (Mestrado em Osteoarqueologia) - The University of Sheffield, 2016.

FRANCO, R. A. et al. Characterization of bacterial nanocellulose produced by isolates from Philippine nata starter and its biocompatibility. **Journal of Biomaterials Applications**, v. 34, n. 3, p. 339–350, 2019.

GAYATHRY, G. Production of Nata de Coco - a Natural Dietary Fibre Product from Mature Coconut Water using *Gluconacetobacter xylinum* (sju-1) . **International Journal of Food and Fermentation Technology**, v. 5, n. 2, p. 231, 2015.

GÓMEZ-POLO, C. et al. A clinical study relating CIELCH coordinates to the color dimensions of the 3D-Master System in a Spanish population. **Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 113, n. 3, p. 185–190, 2015.

GONÇALVES, S. **Caracterização das propriedades funcionais de filmes ativos antimicrobianos aditivados com óleos essenciais e plastificante**. 2016. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

GOTTSCHALK, L. M. F. et al. Produção de celulose bacteriana pela cepa *Gluconacetobacter* Resultados e discussão Materiais e métodos. **Embrapa Instrumentação**, VII Workshop de Nanotecnologia Aplicada ao Agronegócio, p. 315–317, 2013.

GREENWALT, C. J.; STEINKRAUS, K. H.; LEDFORD, R. A. Kombucha, the fermented tea: Microbiology, composition, and claimed health effects. **Journal of Food Protection**, v. 63, n. 7, p. 976–981, 2000.

GROLL, J. et al. Biofabrication: Reappraising the definition of an evolving field. **Biofabrication**, v. 8, n. 1, 2016.

HA, J. H. et al. Production of bacterial cellulose by a static cultivation using the waste from beer culture broth. **Korean Journal of Chemical Engineering**, v. 25, n. 4, p. 812–815, 2008.

HARTMANN, M.; LIU, M. **Consumo de produtos orgânicos no Brasil**. Disponível em: <https://www.organicsnewsbrasil.com.br/wp-content/uploads/2017/06/Pesquisa-Consumo-de-Produtos-Org_nicos-no-Brasil-Palestra-07Jun-1.pdf>. Acesso em: 3 ago. 2020.

HUSSAIN, Z. et al. Production of bacterial cellulose from industrial wastes: a review. **Cellulose**, v. 26, n. 5, p. 2895–2911, 2019.

JACEK, P. et al. Molecular aspects of bacterial nanocellulose biosynthesis. **Microbial Biotechnology**, v. 12, n. 4, p. 633–649, 2019.

JAMAL, P.; SAHEED, O.; ALAM, Z. Bio-Valorization Potentil of Banana Peels. **Asian Journal of Biotechnology**, v. 4, n. 1, p. 1-14, 2012.

KAEWKOD, T.; BOVONSOMBUT, S.; TRAGOOLPUA, Y. Efficacy of kombucha obtained from green, oolong and black teas on inhibition of pathogenic bacteria, antioxidation, and toxicity on colorectal cancer cell line. **Microorganisms**, v. 7, n. 12, p. 1–18, 2019.

KALIA, S. et al. Cellulose-based bio- and nanocomposites: A review. **International Journal of Polymer Science**, 2011.

KARANA, E. et al. Alive. Active. Adaptive: Experiential knowledge and emerging materials. **International Journal of Design**, v. 13, n. 2, p. 1–5, 2019.

KARASKI, T. U. et al. **Embalagem e Sustentabilidade Desafios e orientações no contexto da Economia Circular**. São Paulo: CETESB; ABRE; CETEA/ITAL, 2016.

KARIM, Z.; AFRIN, S. Bacterial cellulose: Preparation and characterization. In.: JAWAID, M.; BOUFI, S.; KHALIL, A. **Cellulose-Reinforced Nanofibre Composites**: production, properties and applications. Elsevier Ltd, Woodhead Publishing, 2017, p. 327-340.

KARINA, M. et al. Alteration of Bacterial Cellulose Properties by Diacetylglycerol. **Procedia Chemistry**, v. 4, p. 268–274, 2012.

KAYISOGLU, S.; COSKUN, F. Determination of physical and chemical properties of kombucha teas prepared with different herbal teas. **Food Science and Technology**, v. 2061, p. 1–5, 2020.

KHAMI, S. et al. Characteristics of bacterial cellulose production from agricultural wastes. **Advanced Materials Research**, v. 931–932, p. 693–697, 2014.

KHATTAK, W. A. et al. Production, Characterization and Physico-mechanical Properties of Bacterial Cellulose from Industrial Wastes. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 23, n. 1, p. 45–53, 2015.

KLEMM, D. et al. Nanocellulose as a natural source for groundbreaking applications in materials science: Today's state. **Materials Today**, v. 21, n. 7, p. 720–748, 2018.

LAKHUNDI, S.; SIDDIQUI, R.; KHAN, N. A. Cellulose degradation: A therapeutic strategy in the improved treatment of Acanthamoeba infections. **Parasites and Vectors**, v. 8, n. 1, p. 1–16, 2015.

LEE, K.-Y. et al. More than meets the eye in bacterial cellulose: biosynthesis, bioprocessing and applications in advanced composites. **Macromolecular Bioscience**, v. 14, n. 1, p. 10-32, 2014.

LEE, S. et al. **Understanding “Bio”material innovations: a primer for the fashion industry**. Biofabricate & Fashion for Good, 2020. Disponível em: <<https://reports.fashionforgood.com/wp-content/uploads/2020/12/Understanding-Bio-Material-Innovations-Report.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2021.

LI, Z. et al. Production of nano bacterial cellulose from waste water of candied jujube-processing industry using *Acetobacter xylinum*. **Carbohydrate Polymers**, v. 120, p. 115–119, 2015.

LIN, D. et al. Production of bacterial cellulose by *Gluconacetobacter hansenii* CGMCC 3917 using only waste beer yeast as nutrient source. **Bioresource Technology**, v. 151, p. 113–119, 2014.

LÓPEZ DE DICASTILLO, C. et al. Enhancing the release of the antioxidant tocopherol from polypropylene films by incorporating the natural plasticizers lecithin, olive oil, or sunflower oil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 48, p. 11848–11857, 2013.

LUO, X. Biofabrication in Microfluidics: A Converging Fabrication Paradigm to Exploit Biology in Microsystems. **Journal of Bioengineering and Biomedical Sciences**, v. 02, n. 03, p. 2–4, 2012.

LUTTENBERGER, D.; PUNCHARD, B.; MAISEVIČIŪTĖ-HAYDON, R. **Global Packaging Trends 2019**. Mintel Group Ltd, 2019.

LYONS, S. J.; WIEN, A. H. Evoking premiumness: How color-product congruency influences premium evaluations. **Food Quality and Preference**, v. 64, p. 103–110, 2018.

MANGARAJ, S.; GOSWAMI, T. K.; MAHAJAN, P. V. Applications of Plastic Films for Modified Atmosphere Packaging of Fruits and Vegetables: A Review. **Food Engineering Reviews**, v. 1, n. 2, p. 133–158, 2009.

MARSH, A. et al. Sequence-based analysis of the bacterial and fungal compositions of multiple kombucha (tea fungus) samples. **Food Microbiology**, v. 38, p. 171–178, 2014.

MATHIAS, T. **Aproveitamento biotecnológico de resíduos industriais cervejeiro**. 2015. 198 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

MATHIAS, T.; DE MELLO, P. P.; SÉRVULO, E. F. Solid wastes in brewing process: A review. **Journal of Brewing and Distilling**, v. 5, n. 1, p. 1–9, 2014.

MATHIAS, T. R. S.; MELLO, P. P. M. De; SERVULO, E. F. C. Caracterização De Resíduos Cervejeiros. **Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**. Florianópolis, p. 3805–3812, 2015.

MAY, A. et al. Kombucha: A novel model system for cooperation and conflict in a complex multi-species microbial ecosystem. **PeerJ**, v. 2019, n. 9, p. 1–22, 2019.

MIRONOV, V. et al. Biofabrication: A 21st century manufacturing paradigm. **Biofabrication**, v. 1, n. 2, 2009.

MOLIN, T. R. et al. Composição centesimal. **Revista Brasileira de Nutrição Esportiva**, v. 14, n. 86, p. 251–267, 2020.

MORÁN, J. I. et al. Extraction of cellulose and preparation of nanocellulose from sisal fibers. **Cellulose**, v. 15, n. 1, p. 149–159, 2008.

MUNDT, L.; SHANAHAN, K. **Exame de urina e de fluidos corporais de graff**. 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 2016. 352 p.

MUSSATTO, S. A. Biotechnology for agro-industrial residues utilisation: Utilisation of agro-residues. In: NIGAM, P.; PANDEY, A. **Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilisation**: utilisation of agro-residues. Dordrecht: Springer, 2009, p. 314–324.

MURALIKRISHNA, I.; MANICKAM, V. Solid Waste Management Solid Waste Management. In: _____. **Environmental Management**: science and engineering for industry. Butterworth-Heinemann; Elsevier, 2017, 431-462 p.

NAPOLITANO, A.; CAVERNI, R. O Mercado de Embalagem no Brasil e no Mundo. In: NAPOLITANO, A. (coord.). **Embalagens**: design, materiais, processos, máquinas e sustentabilidade. São Paulo: Instituto de Embalagens, 2011. p. 31-34.

NEVES, A. C. et al. Acceptability and Societal Impact of the Introduction of Bioplastics as Novel Environmentally Friendly Packaging Materials in Ireland. **Clean Technologies**, v. 2, n. 1, p. 127–143, 2020.

ORZAN, G. et al. Consumers' behavior concerning sustainable packaging: An exploratory study on Romanian consumers. **Sustainability**, v. 10, n. 6, 2018.

PACHECO, G. et al. Development and characterization of bacterial cellulose produced by cashew tree residues as alternative carbon source. **Industrial Crops and Products**, v. 107, n. May, p. 13–19, 2017.

PAL, P. **Membrane-based Technologies for environmental pollution control**. Cambridge: Butterworth Heinemann, 2020. 784 p.

PATHAK, P. D.; MANDAVGANE, S. A.; KULKARNI, B. D. Fruit peel waste: Characterization and its potential uses. **Current Science**, v. 113, n. 3, p. 444–454, 2017.

PEREIRA, P. Z. **Proposição de Metodologia para o Design de Embalagem Orientada à Sustentabilidade**. 2012. 421 f. Dissertação (Mestrado em Design) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

PINTO, M. **Desenvolvimento de um sistema para o controle do pH da água para irrigação localizada**. 2010. 83p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2010.

QUIJANO, L. Embracing Bacterial Cellulose as a Catalyst for Sustainable Fashion. **Journal of Chemical Information and Modeling**, p. 40, 2017.

REVIN, V. et al. Cost-effective production of bacterial cellulose using acidic food industry by-products. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 49, p. 151–159, 2018.

ROGNOLI, V.; PARISI, S.; GARCIA, C. The material experiences as DIY-Materials : self production of wool filled starch based composite (NeWool). **ResearchGate**, jun. p. 1–10, 2016.

RUSO, I. et al. From trash to treasure: The impact of consumer perception of bio-waste products in closed-loop supply chains. **Journal of Cleaner Production**, v. 218, p. 966–974, 2019.

SANCHEZ-VAZQUEZ, S. A.; HAILES, H. C.; EVANS, J. R. G. Hydrophobic polymers from food waste: Resources and synthesis. **Polymer Reviews**, v. 53, n. 4, p. 627–694, 2013.

SANTANA, G. M. De. **Desenvolvimento e caracterização de filmes poliméricos baseados em agarose com a incorporação de ciprofloxacina para utilização como novo substituto temporário de pele**. 2015. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) – Universidade Federal de

Pernambuco, Recife, 2015.

SANYANG, M. L. et al. Effect of plasticizer type and concentration on tensile, thermal and barrier properties of biodegradable films based on sugar palm (*Arenga pinnata*) starch. **Polymers**, v. 7, n. 6, p. 1106–1124, 2015.

SARANTÓPOULOS, C.; AMARAL, R. **Brasil Pack Trends 2020**. 1. ed. Campinas: ITAL, 2012.

SAUERWEIN, M.; KARANA, E.; ROGNOLI, V. Revived Beauty: Research into Aesthetic Appreciation of Materials to Valorise Materials from Waste. **Sustainability**, v. 9, n. 4, p. 529, 2017.

SCHROETER, J.; FELIX, F. Melting cellulose. **Cellulose**, v. 12, n. 2, p. 159–165, 2005.

SEBRAE. **Agricultura orgânica: cenário brasileiro, tendências e expectativas**. dez. 2019. Disponível em: <<https://m.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/artigosOrganizacao/o-que-e-agricultura-organica,69d9438af1c92410VgnVCM100000b272010aRCRD>>. Acesso em: 18 mar. 2020.

SIJABAT, E. K. et al. Synthesis and Characterization of Bacterial Nanocellulose from Banana Peel for Water Filtration Membrane Application. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 1230, n. 1, 2019.

SILVA, K. A. et al. Kombucha beverage from non-conventional edible plant infusion and green tea: Characterization, toxicity, antioxidant activities and antimicrobial properties. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 34, n. maio, 2021.

SOFFIA, A., et al. **Biofabricación: materiales cultivados para la arquitectura y el diseño**. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile, 2017. Facultad de Arquitectura, diseño y Estudios Urbanos. 273 p. Disponível em: <https://issuu.com/alejandrosoffia/docs/biofabricacion_materiales_cultivado>. Acesso em: 14 nov. 2019.

SPEER, D. et al. **Biodegradable and compostable composition having improved physical and chemical properties**, Depositante: Chamness Biodegradables, LLC, Carpinteria, CA (US). Depósito: 3 de julho de 2008. Consessão: 6 de janeiro de 2015. Patente No: US 8,927,622 B2, 2015.

SPENCE, C. Multisensory Packaging Design: Color, Shape, Texture, Sound, and Smell. In: BURGESS, P. **Integrating the Packaging and Product Experience in Food and Beverages: a road-map to consumer satisfaction**. Oxford: Elsevier Ltd, 2016. p. 1-22.

STAHEL, W. et al. **Why Circular Economy?** 20 reasons to switch to the circular economy. Solutions & Co., Sparknews, 2017, 76 p.

SUN, Y. et al. The effects of two biocompatible plasticizers on the performance of dry bacterial cellulose membrane: a comparative study. **Cellulose**, v. 25, n. 10, p. 5893–5908, 2018.

SURMA-ŚLUSARSKA, B.; PRESLER, S.; DANIELEWICZ, D. Characteristics of bacterial cellulose obtained from *Acetobacter Xylinum* culture for application in papermaking. **Fibres and Textiles in Eastern Europe**, v. 16, n. 4, p. 108–111, 2008.

THOMAS, S.; HUNTLE, N.; CHITTENDEN, H. **Investigating the role of design in the circular economy**. London: RSA, 2013.

VAN ZYL, E. M.; COBURN, J. M. Hierarchical structure of bacterial-derived cellulose and its impact on biomedical applications. **Current Opinion in Chemical Engineering**, v. 24, p. 122–130, 2019.

WEBSTER, K. **The Economy has Changed**. Circular Economy: an introduction. TU Delft. 17 dez. 2015. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=tqV8VD05F5c>>. Acesso em: 15 fev. 2018.

WILKES, S. et al. Design tools for interdisciplinary translation of material experiences. **Materials and Design**, v. 90, p. 1228–1237, 2014.

WILLER, H.; LERNOUD, J. **The World of Organic Agriculture**. Frick: Research Institute of Organic Agriculture (FiBL); IFOM, 2019, 351 p.

WORLD ECONOMIC FORUM; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION; MCKINSEY & COMPANY. The New Plastics Economy - rethinking the future of plastics. **Ellen MacArthur Foundation**, 120 p., 2016.

YODSUWAN, N. et al. Effect of Carbon and Nitrogen Sources on Bacterial Cellulose Production for Bionanocomposite Materials. **School of Science, Mae Fah Luang University, Scientific and Technological Instruments Center (STIC), Mae**, p. 2005–2010, dez. 2012.

ZEGLER, J. **Global Food and Drink Trends**. Mintel Group Ltd, 2019, 36 p.

ZHANG, S.; LI, L.; KUMAR, A. **Materials Characterization Techniques**. Michigan: CRC Press, 2008, 328 p.

ANEXO A – MÉTODO DE ANÁLISE DE TEOR DE FIBRA BRUTA

Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos - 4ª Edição
1ª Edição Digital

044/IV Fibra bruta

Material

Estufa, mufla, dessecador com sílica indicadora de umidade, frasco Erlenmeyer de 750 mL com boca esmerilhada, refrigerador de refluxo longo com boca inferior esmerilhada, papel tornassol, proveta de 100 mL, pipetas de 20 mL e cadinho de Gooch com camada de filtração.

Reagentes

Éter

Álcool

Areia diatomácea (agente filtrante) para preparação do cadinho

Solução ácida – Em um béquer de 1000 mL misture 500 mL de ácido acético glacial, 450 mL de água, 50 mL de ácido nítrico e 20 g de ácido tricloracético.

Procedimento – Pese 2 g da amostra, envolva em papel de filtro e amarre com lá. Faça extração contínua em aparelho de Soxhlet, usando éter como solvente. Aqueça em estufa para eliminar o resto de solvente. Transfira o resíduo para um frasco Erlenmeyer de 750 mL, com boca esmerilhada. Adicione 100 mL de solução ácida e 0,5 g de agente de filtração. Adapte o frasco Erlenmeyer a um refrigerante de refluxo por 40 minutos a partir do tempo em que a solução ácida foi adicionada, mantendo sob aquecimento. Agite, freqüentemente, a fim de evitar que gotas sequem na parede do frasco. Filtre em cadinho de Gooch previamente preparado com areia diatomácea e com auxílio de vácuo. Lave com água fervente até que a água de lavagem não tenha reação ácida. Lave com 20 mL de álcool e 20 mL de éter. Aqueça em estufa a 105°C, por 2 horas. Resfrie em dessecador até a temperatura ambiente. Pese e repita as operações de aquecimento e resfriamento até peso constante. Incinere em mufla a 550°C. Resfrie em dessecador até a temperatura ambiente. Pese e repita as operações de aquecimento e resfriamento até peso constante. A perda de peso será igual à quantidade de fibra bruta.

Cálculo

$$\frac{100 \times N}{P} = \text{fibra bruta por cento, m/m}$$

N = nº de g de fibra

P = nº de g da amostra