

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**

**FACULDADE DE ENGENHARIA**

**CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**ERIKA TIEMI GANDA**

**REAPROVEITAMENTO DE TOMATES (*SOLANUM LYCOPERSICUM*) ORIUNDOS DE  
DESCARTE PARA DESENVOLVIMENTO DE BIOFILMES COMESTÍVEIS COM POTENCIAL  
USO EM EMBALAGENS**

Ilha Solteira

2023

**ERIKA TIEMI GANDA**

**REAPROVEITAMENTO DE TOMATES (*SOLANUM LYCOPERSICUM*) ORIUNDOS DE  
DESCARTE PARA DESENVOLVIMENTO DE BIOFILMES COMESTÍVEIS COM POTENCIAL  
USO EM EMBALAGENS**

Dissertação apresenta ao Programa de Pós-Graduação em  
Ciência dos Materiais, Universidade Estadual Paulista –  
UNESP, Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha  
Solteira – SP, como parte dos requisitos para obtenção do  
título de Mestre em Ciência dos Materiais. Área de  
concentração: Química dos materiais

Marcia Regina de Moura Aouada  
Orientadora

Ilha Solteira  
2023

#### FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

G196r      Ganda, Erika Tiemi.  
Reaproveitamento de tomates (*Solanum lycopersicum*) oriundos de descarte para desenvolvimento de biofilmes comestíveis com potencial uso em embalagens / Erika Tiemi Ganda Ganda. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023  
58 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Ciência e Engenharia dos Materiais, 2023

Orientador: Marcia Regina de Moura Aouada

Inclui bibliografia

1. Filmes comestíveis . 2. Biodegradáveis. 3. Polpa de tomate. 4. Orégano.

Esta folha destina-se à inserção da **FOLHA DE APROVAÇÃO**) que o autor receberá após a apresentação em público.



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

**Câmpus de Ilha Solteira**

**ATESTADO DE APROVAÇÃO - DEFESA**

Atestamos que **ERIKA TIEMI GANDA**, RA nº: CIE200361, RG nº 48.958.123-7, expedido pela SSP/SP, defendeu, no dia 23/08/2023, a dissertação intitulada **REAPROVEITAMENTO DE TOMATES (SOLANUM LYCOPERSICUM) ORIUNDOS DESCARTE PARA DESENVOLVIMENTO DE BIOFILMES COMESTÍVEIS COM POTENCIAL USO EM EMBALAGENS**, junto ao Programa de Pós Graduação em Ciência dos Materiais, Curso de Mestrado Acadêmico, tendo sido 'APROVADA'.

Atestamos ainda que a obtenção do título dependerá de homologação pelo Órgão Colegiado competente.

Ilha Solteira, 23 de agosto de 2023

**MARCIA REGINA  
NAGAMACHI**

**CHAVES:14202568826**

Assinado de forma digital por  
MARCIA REGINA NAGAMACHI  
CHAVES:14202568826

Dados: 2023.08.24 11:57:39  
-03'00'

## AGRECIAMENTOS

-

À Deus primeiramente, pela vida e por tudo que tem surgido em minha caminhada, graças ao seu amor e até mesmo os obstáculos, pois nos ensinam as maiores lições.

Aos meus pais, Morimitsu (in memoriam) e Luiza e meu irmão Vitor, que sempre me incentivaram, apoiaram e acreditaram em mim.

Ao meu namorado Victor, que com carinho e amor sempre me apoiou, me incentivou, me ouviu e aconselhou em momentos de dificuldades. Obrigada pela paciência, por me tratar sempre muito bem, companheirismo e por sempre me ajudar da melhor forma possível sem medir esforços. Eu te amo!

A minha orientadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Marcia Regina de Moura Aouada pela orientação, paciência e compreensão que foi fundamental para a realização do trabalho.

Aos meus amigos Nara, Leila, Beatriz, Mayara, Kely, Huéberton e Mateus, vocês foram muito importantes dentro e fora do laboratório, pelas nossas conversas e risadas.

A todos os professores do Departamento de Física e Química pelo conhecimento durante as aulas e contribuição durante a pesquisa.

Ao GCNH, pelo apoio na pesquisa e ensinamentos de dedicação a pesquisa.

Aos colegas e funcionários do Departamento de Física e Química que sempre me ajudaram durante o percurso da pesquisa.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais, pela oportunidade.

A quitanda do Koji por ter disponibilizado os tomates para pesquisa.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciência dos Materiais.

## RESUMO

Com o objetivo de reduzir o descarte de produtos de embalagens a base de polímeros sintéticos na natureza, pesquisas estão sendo realizadas para criar um material a base de biopolímeros apresentando novas propriedades como, biodegradáveis e comestíveis. Este trabalho teve como objetivo extrair e desenvolver filmes biodegradáveis contendo polpa de tomate (*Solanum lycopersicum*), orégano e carboximetilcelulose (CMC). Os tomates utilizados para fazer estes filmes foram reaproveitados do descarte de comércio local na cidade de Pereira Barreto – SP. Os filmes foram preparados por “*casting*” de uma solução aquosa de CMC a 2 (m/v)%. Os filmes foram caracterizados quanto a espessura, permeabilidade ao vapor d’ água, ângulo de contato, propriedades mecânicas, ensaios de biodegradação e espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier. A presença de polpa nos filmes aumentou a permeabilidade ao vapor de água e reduz a resistência mecânica, porque os açúcares agem como plastificantes que enfraquecem as interações intermoleculares. No teste de ângulo de contato os filmes apresentaram propriedades mais hidrofílicas apresentando ângulo de contato menores que 90°. A técnica de espectroscopia infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) nos auxiliou na visualização das ligações químicas e na identificação dos grupos funcionais presentes nos materiais que estudamos. Coletivamente, essas análises são úteis para futuras aplicações dos filmes, que se mostraram biodegradáveis em um curto tempo.

**Palavras chaves:** filmes comestíveis; biodegradáveis; polpa de tomate; orégano.

**ABSTRACT:**

With the aim of reducing the disposal of packaging products based on synthetic polymers in nature, research is being carried out to create a material based on biopolymers with new properties, such as biodegradable and edible. This work aimed to extract and develop biodegradable films containing tomato pulp (*Solanum lycopersicum*), oregano and carboxymethylcellulose (CMC). The tomatoes used to make these films were reused from local trade disposal in the city of Pereira Barreto - SP. Films were prepared by casting a 2% CMC aqueous solution. The films were characterized in terms of thickness, water vapor permeability, contact angle, mechanical properties, biodegradation tests and Fourier transform infrared spectroscopy. The presence of pulp in the films increased the permeability to water vapor and reduced the mechanical strength, because the plasticizer weakens the intermolecular interactions. In the contact angle test, the films showed more hydrophilic properties with contact angles smaller than 90°. The Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) technique helped us to visualize the chemical bonds and functional groups present in the materials we studied. Collectively, these analyzes are useful for future applications of the films.

**Keywords:** edible films; biodegradable; tomato paste; oregano

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1** - Representação estrutural do licopeno presente no tomate.

**Figura 2** – Estrutura química do betacaroteno

**Figura 3** – Estrutura química carboximetilcelulose

**Figura 4:** Ilustração das classificações das embalagens.

**Figura 5** – Obtenção da polpa de tomate

**Figura 6** – elaboração do filme controle e elaboração do filme com polpa de tomate, CMC e glicerol

**Figura 7** – Solução filmogênica de polpa de tomate com CMC e glicerol e solução filmogênica de polpa de tomate, CMC, glicerol e orégano pela técnica casting.

**Figura 8** – I filme CMC puro, II filme CMC e glicerol, III filme de polpa de tomate, CMC e glicerol, IV filme de polpa de tomate, CMC, glicerol e orégano

**Figura 9** – Micrometro utilizado para medir a espessura dos filmes.

**Figura 10-** Teste de permeabilidade do vapor de água e as placas com filmes de polpa de tomate, CMC, glicerol e orégano.

**Figura 11**– Teste de permeabilidade do vapor de água e as placas com os filmes de polpa de tomate, CMC e glicerol.

**Figura 12** – Cálculo para medição do ângulo de contato.

**Figura 13** – Equipamento do teste de ângulo de contato

**Figura 14** – Imagem do teste de degradação dos filmes na superfície do solo e um sachê de macarrão instantâneo para demonstrar que a embalagem demora muito mais tempo para se degradar em relação aos filmes.

**Figura 15** – Imagem do teste de degradação dos filmes enterrados no solo.

**Figura 16** – Gráfico dos resultados da permeabilidade do vapor de água.

**Figura 17** – Gráfico do resultado do teste mecânico.

**Figura 18** – Teste ângulo de contato para amostras para  $t = 0s$

**Figura 19** – Teste ângulo de contato

**Figura 20** - Espectros do FT IR do CMC puro e CMC com glicerol

**Figura 21** – Espectros do FT IR do filme de Polpa de tomate, CMC, glicerol e filme de Polpa de tomate, CMC, glicerol e orégano

**Figura 22** – Sistema completo montado para realização dos testes.

**Figura 23** – Amostras na superfície do solo



## **LISTA DE TABELAS**

**TABELA 1-** Resultados das espessuras média dos filmes elaborados

**TABELA 2 –** Resultados da permeabilidade de vapor de água

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

|                       |                                                                                                           |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>WVP</b>            | Inglês (Water Vapor Permeability) - Permeabilidade ao Vapor de Água                                       |
| <b>CMC</b>            | carboximetilcelulose                                                                                      |
| <b>CMCp</b>           | Filme de Carboximetilcelulose pura                                                                        |
| <b>CMCg</b>           | Filme de Carboximetilcelulose com glicerol                                                                |
| <b>PtCMCg</b>         | Filme de polpa de tomate, Carboximetilcelulose e glicerol                                                 |
| <b>PtCMCgO</b>        | Filme de polpa de tomate, Carboximetilcelulose, glicerol e orégano.                                       |
| <b>FT IR</b>          | Espectroscopia no Infravermelho com transformada de Fourier                                               |
| <b>EMBRAPA</b>        | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária                                                               |
| <b>ABIPLAST</b>       | Associação Brasileira da Indústria do Plástico                                                            |
| <b>FAO</b>            | Inglês (Food and Agriculture Organization) - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura |
| <b>CO<sub>2</sub></b> | Dióxido de carbono                                                                                        |

## SUMÁRIO

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Introdução .....                                                               | 1  |
| 2. Revisão Bibliográfica .....                                                    | 3  |
| 2.1. Produção e consumo de frutas e hortaliças .....                              | 3  |
| 2.2. Tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) .....                                 | 4  |
| 2.3. Carboximetilcelulose .....                                                   | 5  |
| 2.4. Orégano ( <i>Origanum vulgare</i> ) .....                                    | 6  |
| 2.5. Filmes biodegradáveis .....                                                  | 6  |
| 2.6. Embalagens .....                                                             | 8  |
| 3. Objetivos .....                                                                | 9  |
| 3.1. Objetivo geral .....                                                         | 9  |
| 3.2. Objetivo específico .....                                                    | 9  |
| 4. Materiais e métodos .....                                                      | 10 |
| 4.1. Materiais .....                                                              | 10 |
| 4.2. Métodos .....                                                                | 10 |
| 4.2.1. Higienização dos tomates .....                                             | 10 |
| 4.2.2. Obtenção da polpa de tomate .....                                          | 10 |
| 4.2.3. Elaboração dos filmes .....                                                | 11 |
| 4.3. Caracterização dos filmes .....                                              | 12 |
| 4.3.1. Espessura dos filmes .....                                                 | 12 |
| 4.3.2. Permeabilidade do vapor de água (WVP) .....                                | 13 |
| 4.3.3. Propriedades mecânicas .....                                               | 15 |
| 4.3.4. Ângulo de contato .....                                                    | 16 |
| 4.3.5. Espectroscopia no infravermelho como transformada de Fourier (FT-IR) ..... | 17 |
| 4.3.6. Biodegradação em solo .....                                                | 17 |
| 5. Resultados e discussão .....                                                   | 20 |
| 5.1. Caracterização dos filmes biodegradáveis .....                               | 20 |
| 5.1.1. Espessura .....                                                            | 20 |
| 5.1.2. Permeabilidade do vapor de água (WVP) .....                                | 20 |
| 5.1.3. Propriedades mecânicas .....                                               | 22 |
| 5.1.4. Angulo de contato .....                                                    | 23 |
| 5.1.5. Espectroscopia no infravermelho como transformada de Fourier (FT-IR) ...   | 25 |
| 5.1.6. Biodegradação em solo .....                                                | 26 |

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 6. Conclusão .....                  | 30 |
| 7. Próximas etapas .....            | 30 |
| 8. Referências bibliográficas ..... | 31 |

## 1 INTRODUÇÃO

As embalagens plásticas desempenham um papel fundamental em nossa sociedade para abastecer a população de forma eficiente e segura, tornando-se um material imprescindível. O Brasil produz cerca de 4 milhões de toneladas por ano desse material flexível e durável derivado do petróleo, também conhecido como material de ciclo curto, das quais apenas 23% são reaproveitadas. (ABIPLAST, 2020). O descarte inadequado desses materiais derivados do petróleo tem muitos impactos socioambientais devido ao seu longo tempo de degradação como, poluição de rios e mares e entupimento de valas e bueiros. Essas questões ambientais tornaram-se uma preocupação ambiental na década de 70. (AVELINO, 2019).

Devido a essas preocupações ambientais, pesquisas em embalagens são realizadas desde 1996 e têm como foco filmes e revestimentos comestíveis à base de biopolímeros como proteínas, polissacarídeos e lipídios, que podem ser totalmente biodegradáveis, contribuindo para reduzir a poluição ambiental e melhorar a sustentabilidade (ASSIS, 2010; BARROS, 2016; AZEREDO et al, 2012).

Biofilmes e revestimentos comestíveis são formados a partir de camadas finas contínuas e podem ser feitos de frutas e vegetais. Os biofilmes tornaram-se um tema de grande interesse devido ao seu potencial para evitar a deterioração dos alimentos e aproveitar os resíduos da indústria de alimentos. (CLARK, 2012).

A utilização de revestimentos comestíveis pode se formar ou se depositar nos alimentos e são feitas de materiais biológicos, esses materiais acabam agindo como um limitante para fatores externos como umidade, choque mecânico e trocas gasosas, portanto protegem o alimento prolongando sua presença no mercado. (SONG et. al, 2014). Alimentos protegidos por polímeros naturais podem ser consumidos com ou sem a película removida, além disso, está cobertura pode conter vitaminas e minerais (ATTILA, 2009). O revestimento que for descartado pelos consumidores é degradado por atividades biológicas naturais, devendo ser completamente degradado por microrganismos em um curto período em produtos como, dióxido de carbono, água, metano, hidrogênio e biomassa (CARISSIMI, 2018).

Segundo a Organização das Nações Unidas, a indústria alimentícia desperdiça 27 milhões de toneladas de alimentos todos os anos, portanto, o reaproveitamento de resíduos da indústria alimentícia, como frutas e verduras, pode ser um grande aliado no processamento de filmes comestíveis e biodegradáveis. (ONU, 2022). A EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) por meio de um intercâmbio com o Departamento de Agricultura

Americano, ARS – USDA adotou esse processo de reaproveitamento como linha de pesquisa na elaboração de filmes (MATTOSO, 2016). Os alimentos descartados e considerados impróprios para a ingestão do consumidor são reaproveitados e utilizados para a produção de filmes a partir de purê/polpa de frutas ou vegetais, podendo resultar em uma embalagem bioativa manejável e com propriedades semelhantes ao material sintético sem agredir o meio ambiente e que interaja ativamente com os alimentos (SOUSA et al., 2020).

O uso de polpa/purê de fruta surgiu como potencial candidato para a produção de filmes devido às suas diversas propriedades, como boa barreira contra o contato de alimentos com oxigênio, umidade baixa ou moderada e propriedades mecânicas aceitáveis para transporte e embalagem de pequenos produtos alimentícios. Outro atrativo dos filmes com polpa/purê de fruta é a preservação de sua cor, aroma e sabor. (BARROS et al., 2020) contribuindo ainda mais para a economia circular

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Produção e consumo de frutas e hortaliças**

Entre 2000 e 2018, a produção mundial de frutas e hortaliças aumentou 50%, sendo o continente asiático o principal produtor e a China o seu principal representante. Segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, cerca de 868 milhões de toneladas de frutas e 1.089 milhões de toneladas de vegetais foram produzidos globalmente em 2018. (FAO, 2016).

O Brasil é o terceiro maior produtor de frutas do mundo, sendo que os estados de São Paulo, Bahia, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Pará são os maiores produtores de frutas e hortaliças do país com uma produção de cerca de 5.300 toneladas, com uma taxa de crescimento anual de 3,2% de 2020 a 2025, cobrindo uma área de aproximadamente 5,1 milhões de hectares (JAIME et al. 2009)

O consumo de frutas e vegetais está crescendo, principalmente porque esses alimentos são considerados saudáveis, e consumir quantidades adequadas pode reduzir o risco de doenças cardiovasculares, diabetes e certos tipos de câncer. (BENLLOCH-TINOCO et al., 2014). Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), uma ingestão diária ideal de 400 gramas de frutas e vegetais pode combater as deficiências de micronutrientes.

A ingestão insuficiente de fibras alimentares, minerais e vitaminas é responsável por cerca de 3,9 milhões de mortes em todo o mundo, o que pode estar ligado à ingestão insuficiente de frutas, verduras e legumes. Segundo a Organização Mundial da Saúde, estima-se que a baixa ingestão pode estar ligada a 14% das mortes relacionadas ao câncer gastrointestinal em todo o mundo, 11% das doenças cardíacas e cerca de 9% das mortes relacionadas a acidente vascular cerebral (conhecido popularmente como derrame). Dessa forma é necessário promover a conscientização de hábitos alimentares saudáveis em crianças e adultos para que consumam frutas e hortaliças. Outra forma é o aproveitamento integral dos alimentos, utilizando resíduos de talos, folhas, bagaço que também possuem teores de vitaminas, minerais e compostos antioxidantes que são fundamentais para uma vida saudável. A utilização desses resíduos na forma de produtos aceitos pelo consumidor no mercado é uma forma sustentável de reduzir o desperdício da indústria alimentícia. (LIAO et al. 2015; MURIAL et al, 2015; MORETTI 2007).

## 2.2 Tomate (*Solanum lycopersicum*)

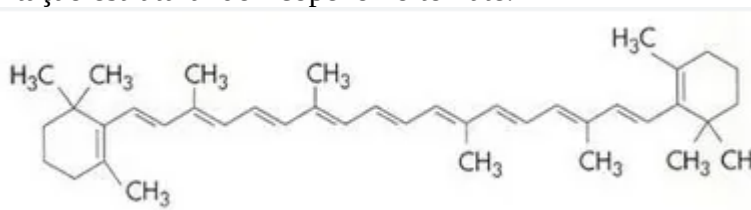
O tomate é uma das muitas plantas comestíveis nativas das Américas e foi incorporado à dieta de todos os países do mundo na era moderna com o fim do isolamento continental promovido pelo processo de globalização (CARNEIRO, 2003), portanto não é nenhuma novidade que se trata de uma das frutas mais consumidas do planeta (TONON et al, 2006).

Atualmente, o maior produtor mundial de tomate é a China, seguida pelos Estados Unidos, já o Brasil está entre os dez maiores produtores e sua produção ocorre em praticamente todos os seus estados. No entanto, neste contexto, o estado de Goiás se destaca como o maior produtor do país, com cerca de 50 mil fazendas de tomate. (IBGE, 2007).

O tomate, um alimento tão amplamente apreciado, também é considerado um importante alimento funcional devido aos seus altos níveis de compostos bioativos, como licopeno e betacaroteno, que promovem a saúde. Estes compostos bioativos são responsáveis pela pigmentação avermelhada ou alaranjada dos alimentos. (OLIVEIRA, 2011).

O licopeno é um composto lipossolúvel responsável pela cor vermelha do tomate, além de longas cadeias de hidrocarbonetos com ligações duplas alternadas, também promove a ação contra os radicais livres no organismo, sua representação estrutural pode ser observada na Figura 1 (OLIVEIRA, 2010).

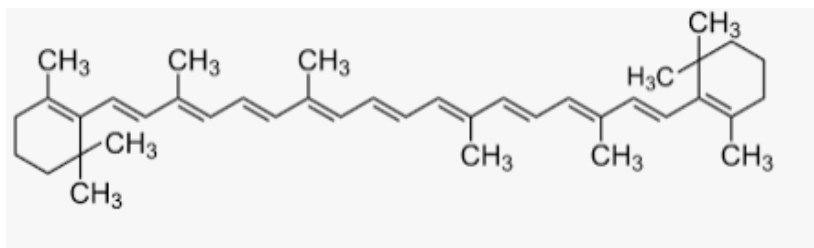
**Figura 1:** Representação estrutural do licopeno no tomate.



Fonte: PERIAGO et al., 2001, p.54.

O betacaroteno atua como antioxidante, prevenindo o envelhecimento, aumentando a imunidade e possui atividade provitamina A. Sua estrutura é mostrada na Figura 2 e há um ou mais anéis cíclicos nas extremidades (LADISLAU, 2018).



**Figura 2:** Estrutura química do betacaroteno

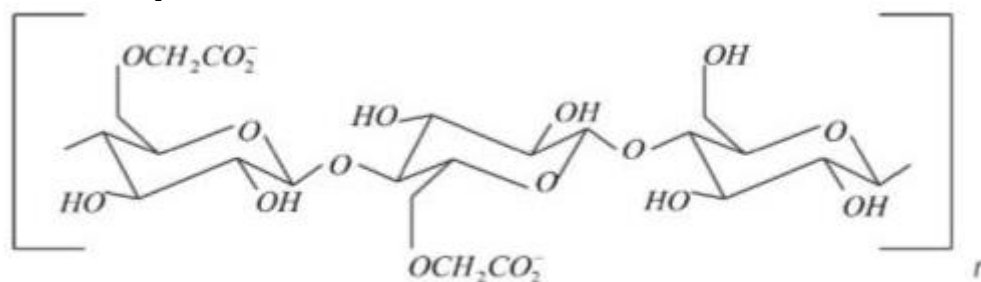
Fonte: AMBRÓSIO et al., 2006, p. 235

Ao consumir tomates, esses compostos podem prevenir certos tipos de doenças, como câncer, doenças cardiovasculares, diabetes, fortalecer o sistema imunológico contra as doenças do fígado, por isso é um alimento essencial para os seres humanos (MACEDO et al., 2017).

Os frutos do tomateiro são alimentos perecíveis e sua composição é de 93% a 95% de água. Nos 5% a 7% é constituído de compostos inorgânicos e ácidos orgânicos. (EMBRAPA, 2006). O tomate também possui intensa atividade metabólica, se aproximando da senescência rapidamente após a colheita, isso se deve ao alto índice de transpiração e atividade respiratória, que resulta em uma aparência, textura, murchamento e enrugamento da casca, características que fazem com que os consumidores os evitem levar para casa e sendo descartados pelo mercado (VIEITES et al., 1999). O desenvolvimento dos biofilmes tornou-se uma importante alternativa para substituir os polímeros sintéticos com aplicações específicas, reduzir a poluição ambiental e promover o desenvolvimento sustentável. (AVELINO, 2019).

### 2.3 Carboximetilcelulose

Carboximetilcelulose (CMC) possui uma estrutura química maior, como mostra a Figura 3, e é um polímero derivado da celulose usado atualmente na produção de filmes. A CMC se destaca principalmente por suas propriedades atóxicas, biocompatibilidade e hidrossolubilidade, além de ser derivado de recursos renováveis, o que o torna abundante e barato de produzir. Também são capazes de formar filmes transparentes de alta manipulação e matrizes contínuas, podendo ter suas estruturas químicas alteradas devido à presença de grupos hidroxila em suas estruturas, conforme demonstrado. (SHALABY, SHAH, 1991).

**Figura 3:** Estrutura química da carboximetilcelulose

Fonte: YONEZAWA, 2016

## 2.4 Orégano (*Origanum vulgare*)

O orégano é uma erva cultivada há séculos na região do Mediterrâneo, embora possa ser encontrada na maioria dos continentes. Devido à presença de compostos fenólicos, a planta apresenta diversos benefícios, como redução do colesterol, diabetes e câncer, além de sua alta atividade antioxidante e antibacteriana (carvacrol, carvacrol metileter e timol metileter) (PAGLIONE et al., 2019).

Estes compostos são um monoterpreno, ou seja, apresenta atividades antibacteriana, antifúngica, inseticida e antiparasita (SEYDYM, SARIKUS, 2006; ROYO et al., 2010). Devido a essas propriedades contra patógenos presentes nos alimentos, pode ser considerado um conservante natural de alimentos. Desta forma, vários estudos têm surgido na área de produção de filmes comestíveis e biodegradáveis, visando a obtenção de embalagens ativas que contribuam para a melhoria da qualidade sensorial, nutricional e microbiológica dos alimentos (ARFA et al., 2010; ROMANI et al., 2016).

## 2.5 Filmes biodegradáveis

Os plásticos convencionais podem ser um grande problema para os ecossistemas porque provêm de recursos não renováveis e levam 400 anos para se decompor. O filme biodegradável foi desenvolvido na busca de um material derivado de recursos renováveis, durável no uso e degradável após o descarte. Os filmes biodegradáveis, assim como sugere o nome, são elaborados de materiais biodegradáveis com propriedades físicas semelhantes aos plásticos convencionais, como resistência, textura e capacidade de proteger alimentos, dependendo da matéria-prima utilizada, podem ser consumidos com o produto embalado (NAZMI et al., 2017). Além disso, a utilização desse material pode prolongar a vida útil de alimentos como frutas ou legumes nas prateleiras de quitandas e supermercados, mantendo

a qualidade e os benefícios que determinado alimento pode oferecer, através do controle da transferência de umidade, oxigênio e dióxido de carbono (PIRES, 2016).

Para que os filmes biodegradáveis sejam utilizados como embalagens, eles precisam atender a uma série de requisitos funcionais específicos, como barreira ao vapor de água e/ou gás, solubilidade em água, propriedades mecânicas e não-toxicidade. Estes requisitos são dependentes da sua composição, do procedimento de formação e da espessura do filme (OLIVEIRA, QUEIROZ, 2008). No setor de embalagens, por exemplo, uma possível aplicação são sachês de tempero de sopas e macarrão instantâneo que se dissolvem em água fervente e evitam gerar lixo de plástico danoso ao meio-ambiente (EMBRAPA, 2015).

A formulação de um filme biodegradável implica na utilização de pelo menos um componente capaz de formar uma matriz com coesão e continuidade suficientes. Segundo pesquisas realizadas, esses filmes são feitos de polissacarídeos, proteínas e lipídios (PEREZ-CORDOBA, 2018).

Resíduos vegetais contendo pectina, celulose, pigmentos e outros compostos funcionais podem ser utilizados como matéria-prima para a formulação de filmes biodegradáveis. Esses filmes podem fornecer benefícios adicionais, como conferir sabor e cor aos vegetais, bem como antioxidantes presentes nos alimentos utilizados. (COOPLANTIO, 2003.)

A utilização de frutas e vegetais, principalmente na forma de purês, como matéria-prima para a elaboração de filmes biodegradáveis tem sido bastante relatada na literatura. Alguns autores como Park & Zhao (2006) elaboram filmes a partir de bagaço de *cranberry* e demonstram a viabilidade da utilização do estrato aquoso desta matéria-prima. Já Sothornvit e Pitak (2007) produziram filmes à base de farinha de banana e apresentaram boa capacidade de vedação, o que os torna filmes adequados para uso em sachês ou sacolas para alimentos secos. Du et al. (2011) desenvolveram um filme antimicrobiano com boas propriedades físicas a partir de purê de maçã com adição de polifenóis extraídos da casca da maçã.

Filmes e revestimentos biodegradáveis são formados a partir de polímeros naturais de origem animal ou vegetal, como polissacarídeos, lipídios e proteínas, que ao serem liberados no meio ambiente, são convertidos em compostos mineralizados simples que realizam a redistribuição cíclica de carbono, nitrogênio e enxofre sem prejudicar os sistemas biológicos. (TEIXEIRA, et al. 2001).

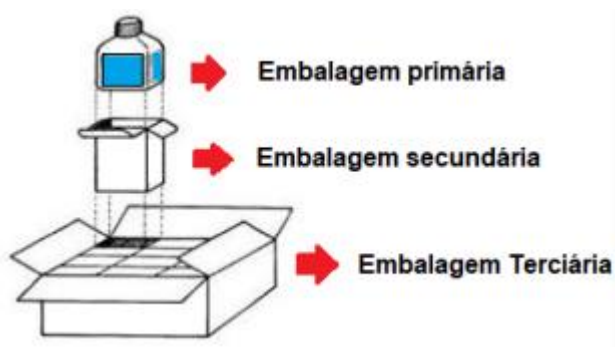
## 2.6 Embalagens

As embalagens foram desenvolvidas para atender determinados produtos e armazená-los para manter sua qualidade por mais tempo como é o caso das embalagens para alimento. Este tipo de embalagem é projetada para resguardar os alimentos contra os fatores externos, como temperatura, luz e umidade, que podem causar sua deterioração (SANTOS, et al., 2017).

As embalagens podem ser classificadas em primárias, secundárias e terciárias. A embalagem primária é a embalagem que entra em contato direto com o produto. A secundária é projetada para conter uma ou mais embalagens primárias, que em alguns casos, podem não ser adequadas para o transporte; já a embalagem terciária combina diversos tipos de embalagens primárias e secundárias que facilitam o transporte e armazenamento, como caixas de papelão ondulado e caixas de madeira. Na Figura 4, podemos observar as classificações das embalagens.

A ideia no trabalho desenvolvido é elaborar uma embalagem primária para uso como sachê de macarrão instantâneo.

**Figura 4:** Ilustração das classificações das embalagens.



Fonte: SEBRAE

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo Geral:**

O presente trabalho teve como objetivo investigar o aproveitamento de resíduos do setor alimentício no desenvolvimento de embalagens comestíveis, avançando a tecnologia e a ciência, e ao mesmo tempo servindo como uma inovação com potenciais aplicações para o mercado. Diante disso, desenvolveu-se a materialidade do projeto e aumentou-se o potencial dos materiais utilizados.

#### **3.2 Objetivos Específicos:**

Este trabalho teve como objetivo extrair e desenvolver filmes biodegradáveis de polpa de tomate e orégano incorporado a carboximetilcelulose;

- i) Preparar filmes comestíveis a base de carboximetilcelulose incorporando polpa de tomate;
- ii) Incorporar orégano nos filmes;
- iii) Caracterizar os filmes quanto seu aspecto visual, hidrofiliabilidade, resistência e biodegradação. Essas caracterizações ajudaram a avaliar a utilização de frutas e vegetais no uso como embalagem comestível.
- iv) Comparar sachê de tempero de macarrão instantâneo com os filmes produzidos em relação a biodegradação.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Materiais utilizados no desenvolvimento do trabalho

Para realizar esta pesquisa foi utilizado o tomate (*Solanum lycopersicum*) e orégano da marca Kodilar do comércio local de Pereira Barreto. A Carboximetilcelulose da marca LabySynth, o glicerol e hipoclorito de sódio da marca Sigma foram utilizados da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), campus de Ilha Solteira do Departamento de Física e Química (DFQ) do Grupo de Compósitos e Nanocompósitos Híbridos (GCNH).

### 4.2 Métodos

#### 4.2.1 Higienização dos tomates

Durante a higienização dos tomates (*Solanum lycopersicum*) a primeira lavagem consistiu na retirada de sujidades grosseiras em água corrente, em seguida, foi utilizado: 1 litro de água destilada em solução de hipoclorito comercial a 1% (constituído por um teor de cloro ativo equivalente entre 2,0% a 2,5% p/p), em imersão, para a redução da carga microbiana por 12 minutos, logo após realizou-se a segunda lavagem em água corrente para retirada de impurezas.

#### 4.2.2 Obtenção da polpa de tomate

Após o processo de higienização, os tomates foram cortados e colocados no liquidificador. O produto resultante foi passado por uma peneira plástica para retirar as sementes e as cascas do tomate para obter a polpa para elaboração de filmes.

**Figura 5:** Obtenção da polpa de tomate



Fonte: próprio autor.

### 4.2.3 Elaboração dos filmes

Foram produzidos quatro tipos de filmes: filme de CMC e água (CMCp), filme de CMC com glicerol (CMCg), filme com polpa de tomate, CMC e glicerol (PtCMCg), por último, filme de polpa de tomate, CMC, glicerol e orégano (PtCMCgO). Todos os filmes foram formados a partir da adição de 2 (mv)% de massa do polímero CMC em relação ao volume total da solução e a solubilização foi realizada em agitador magnético (500rpm).

Para preparar o filme de controle (CMCp), o polímero foi dissolvido diretamente em água destilada. Na solução CMCg o procedimento é o mesmo, a única diferença foi a adição do glicerol.

Na elaboração dos filmes de PtCMCg e PtCMCgO, o polímero foi disperso diretamente na solução da polpa de tomate previamente preparadas e após o CMC ser totalmente solubilizado foi adicionado o glicerol. Na solução de PtCMCgO, o procedimento foi o mesmo exceto pelo acréscimo de 0,100g de orégano. No preparo deste filme, o objetivo foi produzir filmes antimicrobiano ativos. Na Figura 6 podemos observar o processo de preparação dos filmes para o trabalho, em relação as agitações e diferentes características visuais.

**Figura 6:** Elaboração do filme controle e contendo polpa de tomate, CMC, glicerol e orégano.



Filme controle



Filme PtCMCg

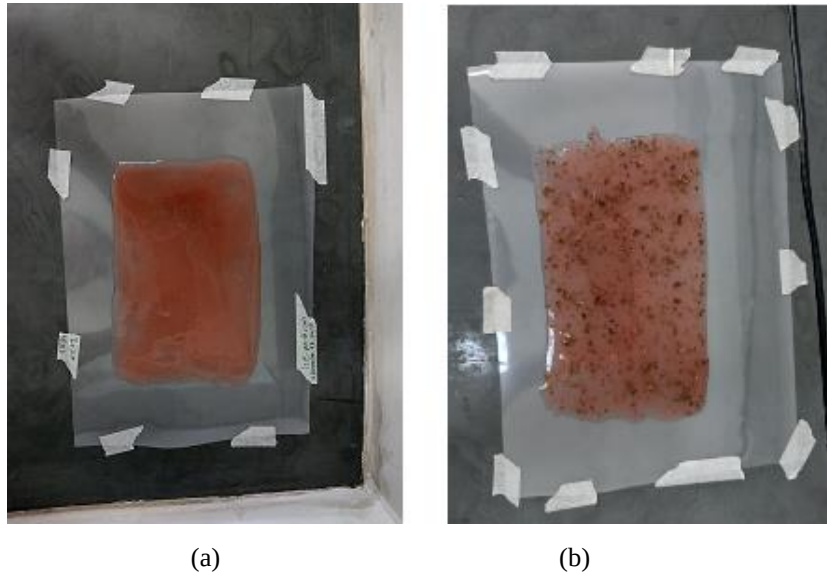


Filme PtCMCgO

Fonte: próprio autor

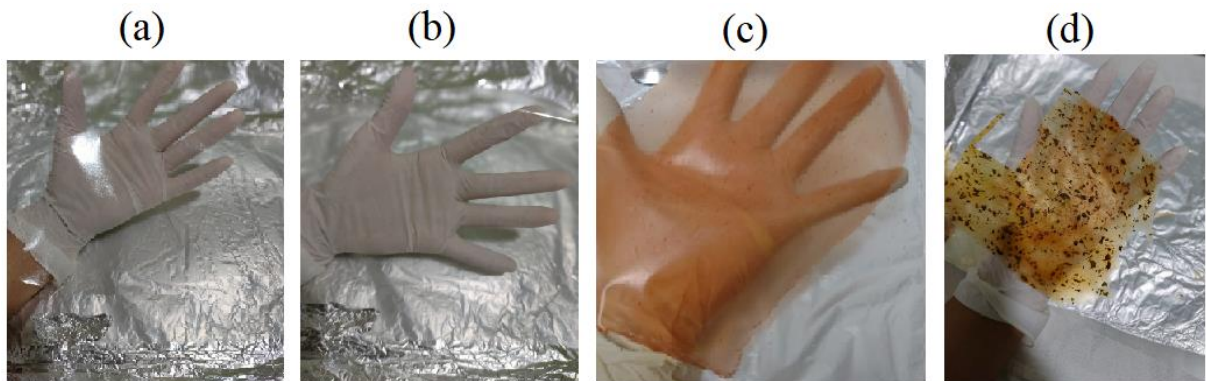
Os filmes foram preparados utilizando a técnica de *casting*. A técnica *casting* é um método de secagem por evaporação do solvente. No nosso caso consistiu de deposição de uma suspensão coloidal sobre um suporte de poliéster e secagem à temperatura ambiente ( $25 \pm 5$  °C) por 30 horas, conforme mostrado na Figura 7 e Figura 8, respectivamente.

**Figura 7:** Solução filmogênica de polpa de tomate com CMC e glicerol (a) e solução filmogênica de polpa de tomate, CMC, glicerol e orégano (b) pela técnica casting.



Fonte: próprio autor

**Figura 8:** (a) filme CMC puro, (b) filme CMC e glicerol, (c) filme de polpa de tomate, CMC e glicerol, (d) filme polpa de tomate, CMC, glicerol e orégano.



Fonte: próprio autor



### 4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES

#### 4.3.1 Espessura dos filmes.

As espessuras dos filmes foram medidas utilizando um micrometro digital ( (No. 7326, Mitutoyo Corp., Kanogawa, Japan) em 5 pontos diferentes ao redor dos filmes (Figura 9). Os valores das espessuras foram utilizados para obter as medidas das propriedades mecânicas e permeabilidade ao vapor de água.

**Figura 9:** Micrometro utilizado para medir a espessura dos filmes



Fonte: próprio autor.

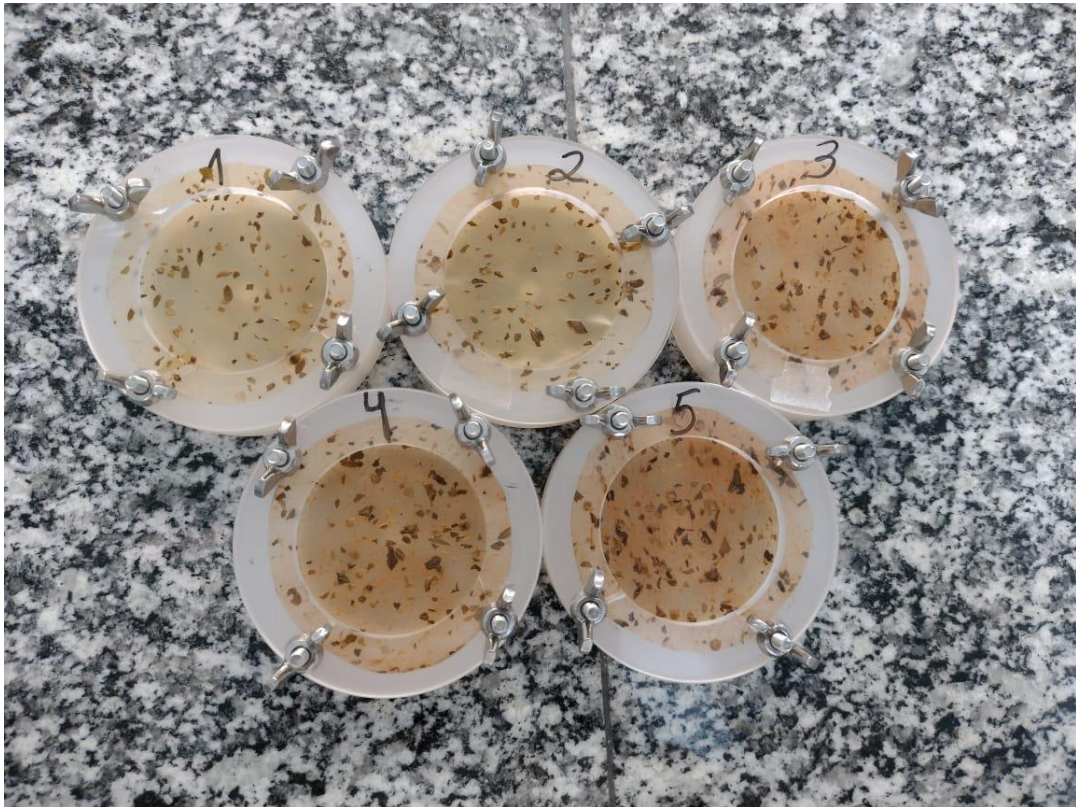
#### 4.3.2 Permeabilidade do vapor de água (WVP)

Para as análises de WVP foi utilizado o método adaptado da norma ASTM E96-8055 (ASTM, 1980) como descrita na literatura por Mc Hugh et al (1993). No processo os filmes foram cortados na forma de um círculo com 5 cm de diâmetro e colocados sobre células de permeação. Para promover um aumento da umidade relativa, propiciando uma diferença de umidade entre o interior da célula e o meio externo, que no interior das células de permeação foi adicionado 6 ml de água destilada, com esse procedimento, pode-se avaliar o desempenho do filme como barreira semipermeável entre esses dois ambientes. Uma segunda placa foi colocada em cima da primeira placa e ambas foram fixadas por parafusos conforme mostrado na Figura 10 e na Figura 11. Todos os filmes foram analisados em triplicata.

As placas com os filmes foram colocadas em uma estufa com a temperatura controlada de  $25 \pm 2$  °C e umidade de  $(50 \pm 3)$  % na presença de sílica para o controle da umidade

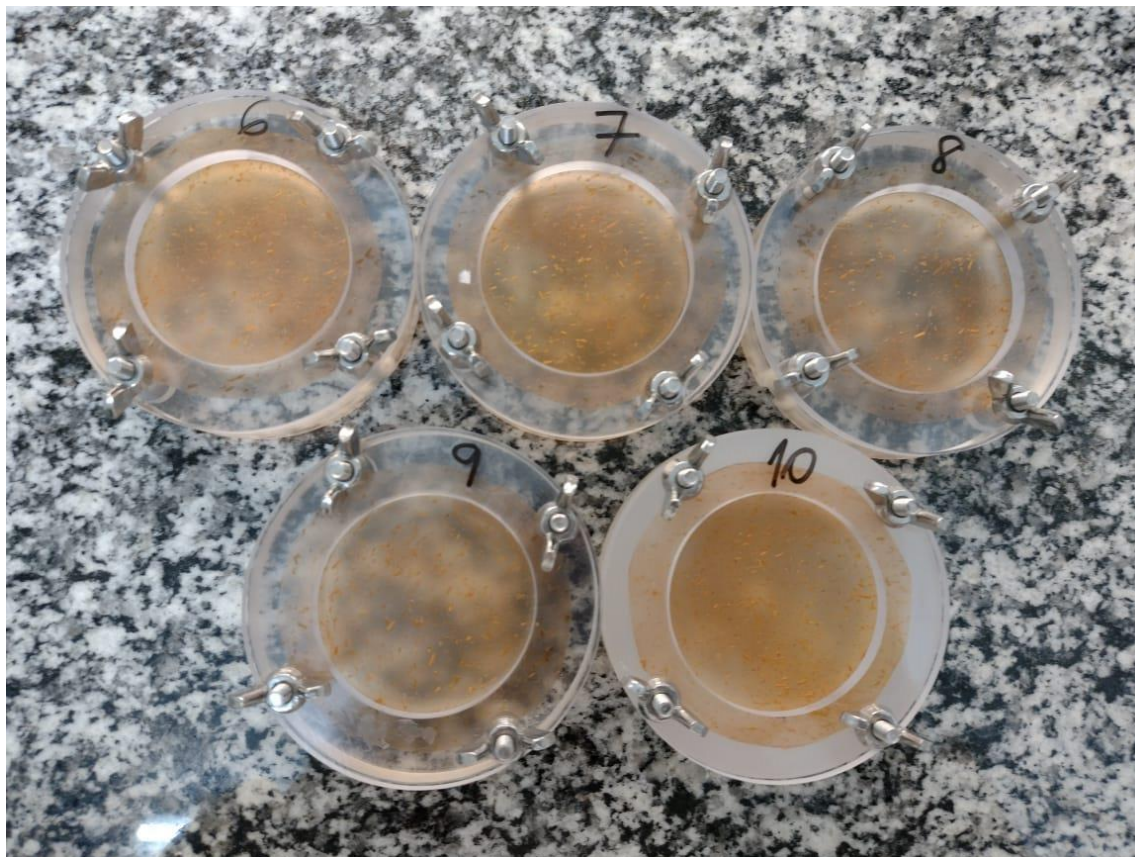
interna. Regularmente foram realizadas pesagens das placas (hora em hora) e suas massas foram registradas para uso na determinação da WVP.

**Figura 10:** Figura representativa do teste de permeabilidade do vapor de água e as placas com os filmes de polpa de tomate, CMC, glicerol e orégano.



Fonte: próprio autor.

**Figura 11:** Figura representativa do teste de permeabilidade do vapor de água e as placas com os filmes de polpa de tomate, CMC, glicerol.



Fonte: próprio autor.

#### 4.3.3 Propriedades Mecânicas

Para determinar a resistência mecânica dos filmes produzidos neste trabalho, foi realizada a análise de tensão x deformação utilizando o teste de tração. As amostras foram cortadas em dimensões de 100 mm de comprimento e 13 mm de largura, de acordo com a norma ASTM D882-97, e acondicionadas a 25 °C em ambiente a  $(50 \pm 2) \%$  de umidade relativa durante 24 horas antes dos testes.

O equipamento utilizado para a análise foi o *Instron Universal Testing Machine* (Modelo 3369, *Instron Corp.*, *Canton, Mass., U.S.A.*), e operou com cela de carga de 100 N e velocidade de tracionamento de 10 mm/min.

A deformação ( $\epsilon$ ) dos filmes foi determinada pela Equação 1, onde L e  $L_0$  são os comprimentos de alongação do filme durante o experimento e o comprimento inicial do filme (JUNIOR, 2007), respectivamente.

$$\epsilon = \ln (L/ L_0) \quad (1)$$

A tensão ( $\sigma$ ) foi determinada através da medição da força necessária para romper o filme analisado e foi calculado pela Equação 2, onde F é o valor da força de ruptura exercida e S é a área seccional do filme (JUNIOR, 2007).

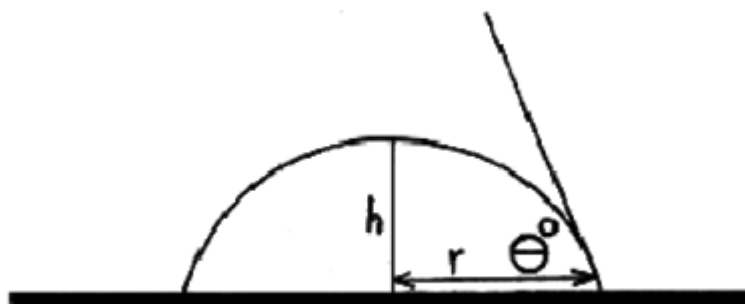
$$\sigma = F / S \quad (2)$$

O módulo de elasticidade (E) foi calculado pela inclinação inicial da curva tensão-deformação obtida (JUNIOR, 2007).

#### 4.3.4 Ângulo de Contato

A medição da molhabilidade de superfície dos quatro tipos de filmes é um parâmetro importante para a caracterização superficial dos filmes, possibilitando a avaliação da hidrofobicidade ou hidrofiliabilidade de suas respectivas superfícies. A técnica foi realizada através de um medidor de ângulo de contato, localizado na UNESP campus de Ilha Solteira - SP. No teste, uma gota (5-9  $\mu\text{L}$ ) do líquido padrão (água destilada) foi depositada sobre a superfície do filme com o auxílio de uma seringa de precisão, sendo realizadas seis repetições a 25 °C para cada filme. Em um intervalo de tempo de 60 segundos foi calculado o valor do ângulo de contato através da média dos ângulos determinados nas extremidades direita e esquerda da gota, como pode ser observado na Figura 12, e na Figura 13 podemos observar o equipamento utilizado no teste.

**Figura 12:** Desenho da gota de água sob a superfície do filme para medição do ângulo de contato para realização do teste.

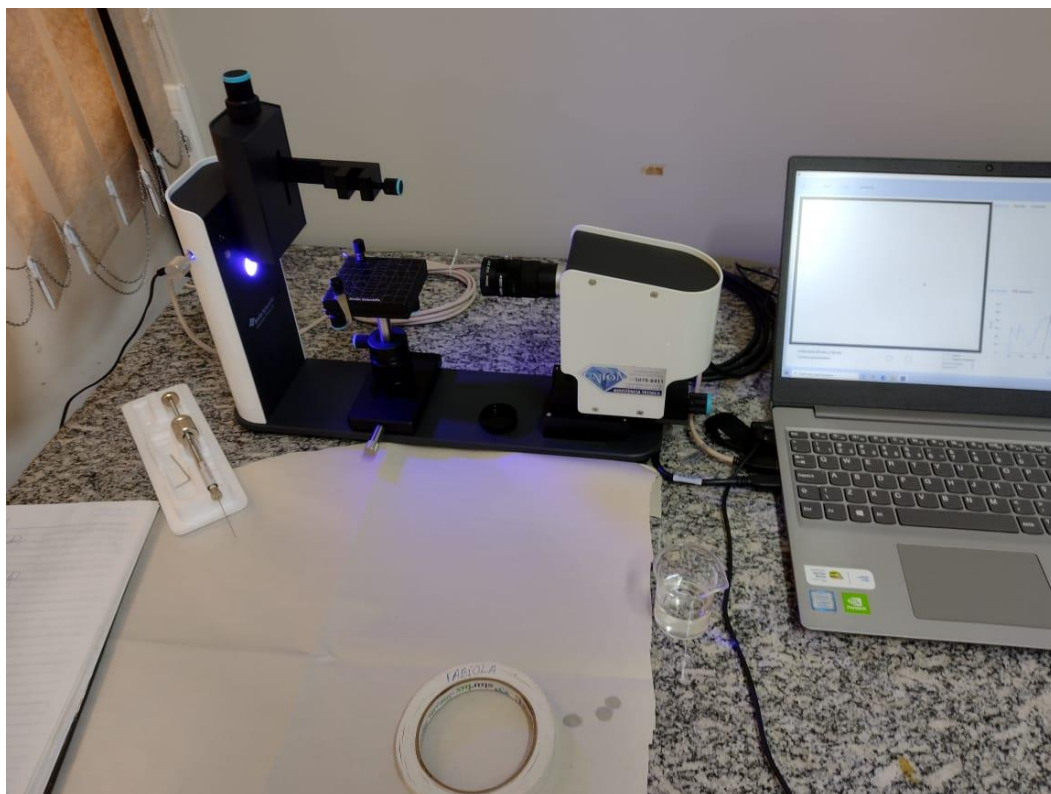


Fonte: COSTA, 2008, p.4

Onde  $r$  é o raio da gota, a altura ( $h$ ) da gota e teta ( $\Theta$ ) é o ângulo de contato formado entre a gota e o filme analisado.

**Figura 13:** Equipamento utilizado no teste de ângulo de contato dos filmes analisados.





Fonte: próprio autor.

#### 4.3.5 Espectroscopia no Infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)

Esta técnica espectroscópica foi a utilizada nas amostras para investigar os grupos funcionais e possíveis interações entre eles. Para tanto, foi utilizado um espectrofotômetro modelo NEXUS 670, da marca *Nicolet Instrument Corporation*. Para esta análise as amostras foram mantidas em um dessecador a 30% de umidade relativa por 48 horas, maceradas, misturados com brometo de potássio (KBr) e prensadas para obtenção de uma pastilha. A faixa espectral investigada foi de 4000 a 400  $\text{cm}^{-1}$  registrando neste intervalo 128 varreduras com resolução de 2  $\text{cm}^{-1}$ .

#### 4.3.6 Biodegradação em solo

Para avaliar a biodegradação dos filmes em solo a técnica utilizada foi a de enterrar o material no solo. Os experimentos foram realizados em recipientes herméticos com adição de solo em umidade constante, simulando o processo natural de biodegradação (MARAN et al., 2014).

Para a realização dos experimentos, o solo utilizado foi o da terra vegetal da Big Flower Ind. e Comércio – Industria Brasileira. Os filmes foram cortados com dimensão de 3  $\text{cm}^2$ , pesados em uma balança analítica (precisão) e colocados em recipientes contendo solo,

mantidos em temperatura de bancada ambiente. No processo o solo foi mantido umedecido, com adição de 1 mL de água todos os dias. Em um dos recipientes foi colocado uma embalagem de tempero de macarrão para realizar uma comparação do tempo de degradação dos filmes em relação a embalagem de plástico sintética.

Para realizar este estudo, dois sistemas de degradação foram desenvolvidos. A primeira com a amostra alocada na superfície do solo, e a segunda com a amostra enterrada entre um primeira e uma segunda camadas do solo, conforme mostrado na Figura 14 e Figura 15, respectivamente.

**Figura 14:** Imagem de teste de degradação dos filmes na superfície do solo e um sachê de macarrão instantâneo para demonstrar que a embalagem demora muito mais tempo para se degradar em relação aos filmes.



Fonte: próprio autor.

**Figura 15:** Imagem do teste de degradação dos filmes enterrados no solo.



Fonte: próprio autor

#### 4. 3. 7 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As análises da morfologia dos filmes foram obtidas utilizando o equipamento computadorizado da marca ZEISS modelo EVO 15 LS, da UNESP localizado na cidade de Ilha Solteira, com voltagem de 12 kV. Os filmes foram fixados em uma fita de carbono de dupla face e metalizados por um Sputter Coater (metalizador) da marca Quorum, modelo Q150 T, durante um minuto e meio para que houvesse a deposição de uma fina camada de ouro sobre as amostras.

Para essa análise, os filmes foram colocados em um dessecador de vidro com sílica durante 24 horas, para eliminar a umidade presente nos filmes. Após esse período os filmes foram cortados para serem analisados.

#### 4. 3. 8. Selagem térmica

Os filmes foram cortados com medidas de três centímetros de comprimento e dois centímetros de largura. Em seguida, foram selados duas partes de cada filme manualmente com ferro de passar (simulando uma seladora térmica), da marca Black & Decker VFA, no nível 4, por cerca de 1 minuto de contato com o filme. Na Figura 16, podemos observar o

filme sendo selado e foi utilizado papel alumínio para que o ferro não tivesse contato direto com a amostra.

**Figura 16:** Filme de carboximetilcelulose e glicerol com papel alumínio em volta da amostra para que o ferro não tivesse contato direto com o filme e não danifique para a pesquisa.



Fonte: próprio autor



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.

### 5.1 Caracterização dos filmes biodegradáveis

#### 5.1.1 Espessura

A espessura do filme é definida como a distância entre as duas superfícies principais de um material e é um dos parâmetros que induzem as propriedades dos filmes, pois conhecendo a espessura podemos obter informações sobre resistência mecânica, propriedades de barreira a gases e vapor de água (CETEA, 1996).

Além disso, a espessura do filme é importante para avaliar a uniformidade, definir a homogeneidade da amostra, a repetibilidade das medições de propriedades e a validade das comparações entre as propriedades dos filmes (CUQ et al., 1996). A Tabela 1 apresenta os resultados da espessura média (mm) dos diferentes tipos de filmes obtidos no estudo.

**Tabela 1:** Resultados das espessuras média dos filmes

| <b>Tipos de filme</b> | <b>Espessura (mm)</b> |
|-----------------------|-----------------------|
| <b>CMCp</b>           | 0,030 ± 0,002         |
| <b>CMCg</b>           | 0,034 ± 0,011         |
| <b>PtCMCg</b>         | 0,162 ± 0,002         |
| <b>PtCMCgO</b>        | 0,266 ± 0,010         |

**Fonte:** próprio autor

#### 5.1.2 Permeabilidade do vapor de água (WVP)

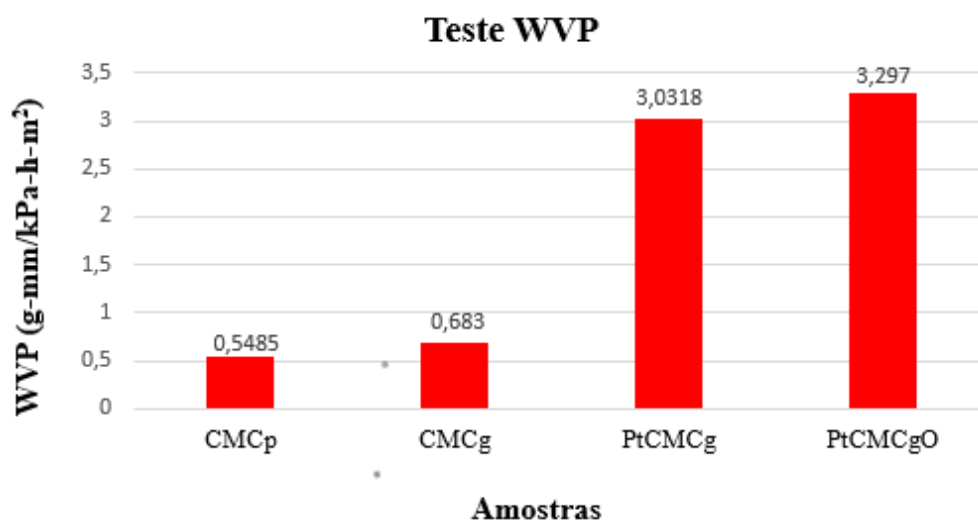
Os resultados obtidos para os testes de permeabilidade ao vapor de água podem ser vistos na Figura 17 e na Tabela 2. Este teste é resultado da diferença da umidade relativa (RH) dentro das celas que estão sendo analisadas, pois mede a capacidade do vapor d'água de se difundir de um ambiente de baixa pressão para região de maior pressão (CHIN; et al., 2017).

A embalagem deve apresentar como função principal de evitar ou diminuir a transferência de umidade entre o alimento e o meio externo, ou entre os dois componentes de alimento heterogêneo (MALI et al., 2004) para prolongar a vida útil do alimento.

**Tabela 2:** Resultados da permeabilidade ao vapor de água.

| Tipo de filme | WVP ( $g\text{-mm/kPa-h-m}^2$ ) | Desvio (%) |
|---------------|---------------------------------|------------|
| CMCp          | 0,5485                          | 0,070      |
| CMCg          | 0,683                           | 0,011      |
| PtCMCg        | 3,0318                          | 0,044      |
| PtCMCgO       | 3,297                           | 0,091      |

Fonte: próprio

**Figura 17:** Gráfico dos resultados da permeabilidade ao vapor de água

Fonte: próprio autor.

A partir dos resultados obtidos, podemos observar que os filmes contendo glicerol possuem maior permeabilidade ao vapor de água em comparação ao filme controle de CMC puro, ou seja, o vapor passa mais facilmente pela barreira (filmes). Este resultado pode ser explicado pelo fato do glicerol ser mais higroscópico, ou seja, apresenta maior afinidade com a água, incorporando a matriz polimérica (MALI et al, 2005). A adição do plastificante glicerol pode modificar as interações entre as macromoléculas, o que leva ao aumento do espaço disponível no sistema. Como resultado, as cadeias tem maior liberdade de movimento, resultando em uma diminuição na densidade da rede, tornando-se menos compacta e permitindo que substâncias permeiem facilmente através dela (BERGO et al, 2008).

O filme de polpa de tomate, CMC, glicerol (PtCMCg) e polpa de tomate, CMC, glicerol e orégano (PtCMCgO) apresentaram valores mais alto para o teste. Pois, o tomate por ser uma fruta apresenta quantidades de açúcar em sua composição e esta substância pode

atuar como agentes plastificantes em filmes a base de frutas (MCHUG et al, 1996). Na pesquisa de Singh et al (2018), perceberam que medida que diminuíram a concentração de purê de tomate, a permeabilidade ao vapor de água foi reforçada, ou seja, o vapor de água passou com dificuldades pela barreira. O mesmo foi observado por Nogueira et al (2019) que constataram que a inclusão de diferentes quantidade de polpa de amora em filmes de araruta resultou no aumento na capacidade de permitir a passage de vapor de água. Este efeito foi atribuído à incorporação de diversos component da polpa (compostos bioativos, lipídeos, proteínas e açucares) promoveram a descontinuidade da matriz polimérica.

O filme contendo orégano apresentou também um pequeno aumento no teste. Isso pode ser explicado pelo oregano funcionar também como um plastificant resultou na diminuição da interação entre as moléculas do polímero, causando a desestabilização da estrutura do filme e facilitando a formação de espaços pelos quais a água pôde penetrar com maior facilidade e resultando na diminuição da interação entre as moléculas do polímero, causando a desestabilização da estrutura do filme e facilitando a formação de espaços pelos quais a água pode penetrar com maior facilidade (PAGLIONE, 2019 ).

Para Gontarde e Guilbert (1996), filmes que possuem propriedades de barreira a umidade satisfatória, pois são amplamente utilizados em diversas aplicações paraprevenir a entrada ou saída de umidade. Dessa forma, as embalagens que aprensntam boa barreira de vapor de água são essenciais para produtos sensíves a umidade pois permite a preservação e qualidade do produto por um periodo mais longo. Sendo assim, de CMC e CMCg apresentam características mais satisfatória quando aplicado ao teste de WVP.

### **5.1.3 Propriedades Mecânicas**

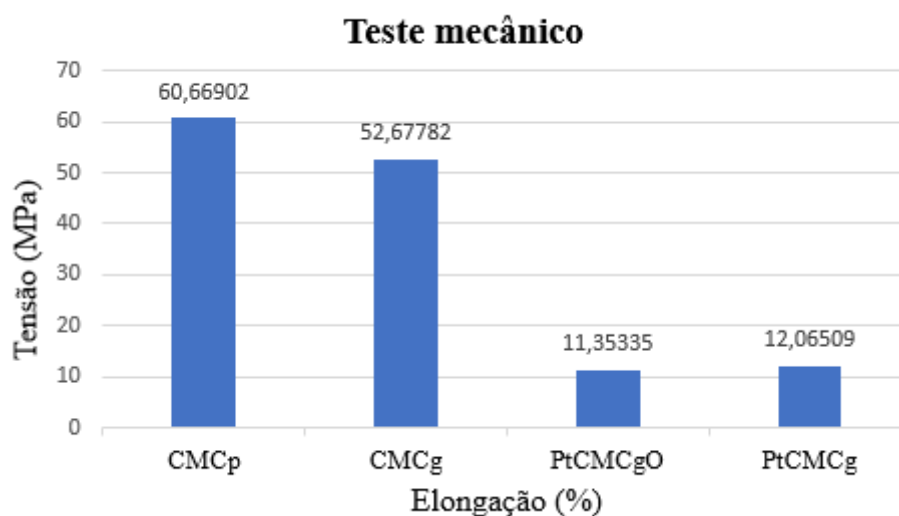
A análise das propriedades mecânicas é crucial para embalagens de alimentos devido à sua resistência à ruptura e ao alongamento. Este processo liga as propriedades mecânicas do filme à sua estrutura química. (McHUGH e KROCHATA, 1994).

A tensão máxima de ruptura TM é a carga máxima que o filme pode suportar antes de se romper, enquanto a elongação na ruptura (E) representa a deformação máxima que uma amostra pode sofrer antes de se romper. Esses parâmetros são utilizado para relacionar características mecânicas as estruturas químicas dos materiais. Várias condições podem afetar as propriedades mecânicas, como o processo de secagem e as interações entre os componentes. Esses fatores têm influencia na associação entre as propriedades mecânicas e as estruturas químicas dos materiais (OTONI et al., 2014).

Através dos ensaios mecânicos foi possível observar os valores referentes a tensão máxima na ruptura ( $\sigma$ ) e o percentual máximo de elongação na ruptura dos filmes.

Na Figura 18, podemos observar que os filmes mais resistentes foram de CMC puro e CMC contendo glicerol, enquanto os filmes menos resistentes correspondem à filmes contendo plastificante glicerol e polpa de tomate.

**Figura 18:** Gráfico do resultado do teste mecânico.



**Fonte:** próprio autor

Esse resultado se deve à maior viscosidade da solução de CMC e a proximidade entre as cadeias poliméricas que melhora as interações intermoleculares, o que contribui para a formação de filmes mais resistentes (OLIVEIRA, 2019).

A adição de glicerol nos outros filmes teve uma diminuição no teste de ruptura, pois o glicerol favorece o volume livre entre as cadeias poliméricas, permitindo o aumento da deformação das amostras, diminuindo sua força mecânica (FARIAS et al., 2012; ZIANI et al., 2008). O mesmo resultado foram visto nos trabalhos de Romero Batista et al., (2005) em filmes de quitosana e Sothorvit e Pitak (2007) em filmes de banana. No entanto, a adição do glicerol melhora extensibilidade e flexibilidade dos filmes (KOKOSZKA et al., 2010).

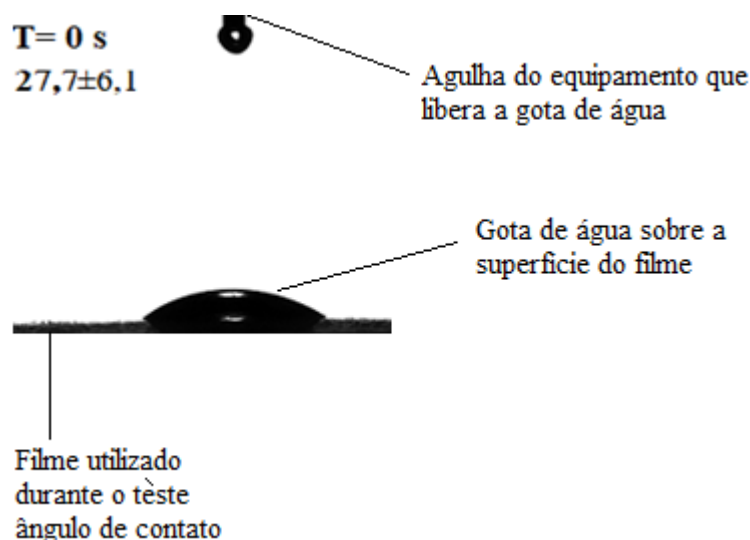
Os filmes contendo polpa de tomate apresentaram baixa resistência à ruptura e uma possível explicação pode ser atribuída à diversidade de substâncias químicas presentes na matéria-prima, as quais podem influenciar a integração da matriz polimérica. Dessa forma, a quantidade de açúcares nas frutas e algumas hortaliças podem atuar como um plastificante extra, interagindo com as cadeias de polímeros e gerando espaços livres entre elas. Além disso, enfraquece as forças intermoleculares e, por consequência, diminui a resistência dos filmes. (BAJPAI, BAEK; KANG, 2012). O mesmo resultado pode ser observado no trabalho

de Queiroz et al., (2021) e Melo (2016), que ao adicionar extrato de jamelão no filme diminuiu o valor da ruptura.

#### 5.1.4 Ângulo de Contato

As medidas obtidas do ângulo de contato permitiram analisar a molhabilidade da superfície de cada filme, ou seja, a forma como um líquido puro se espalha sobre a amostra à medida que ela é depositada. Esse processo de espalhamento do líquido em uma superfície sólida está relacionado à comparação das forças coesivas e adesivas existentes entre as moléculas entre o líquido e entre o líquido e o sólido, respectivamente (KARBOWIAK, 2006). A medida do ângulo de contato ( $\Theta$ ) é definida como o ângulo formado entre a superfície sólida e a superfície tangencial; a partir do valor obtido conseguimos analisar se o filme é hidrofílico ou hidrofóbico (SANTOS, 2020). Na Figura 19, podemos visualizar como o teste foi desenvolvido.

**Figura 19:** Teste de ângulo de contato, imagem realizada pelo programa do computador.



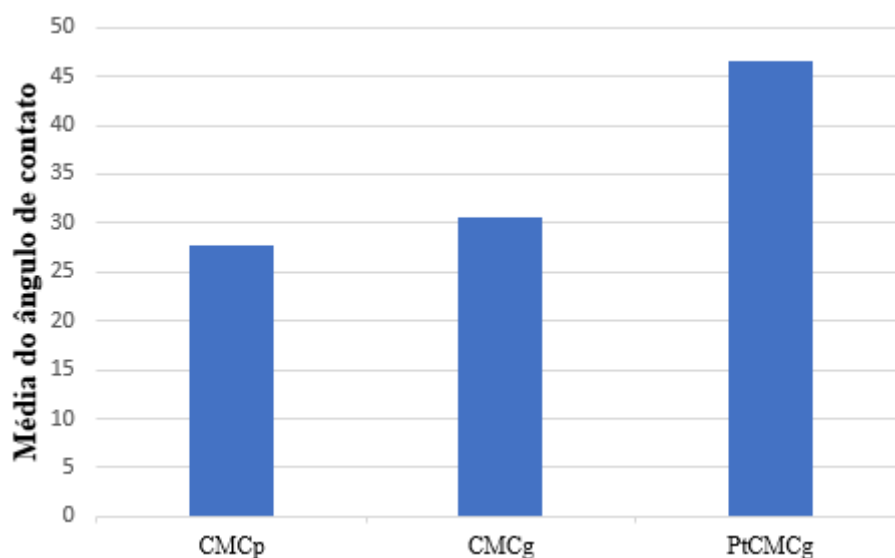
**Fonte:** próprio autor.

Filmes que apresentam um valor abaixo de  $90^\circ$  indicam que possuem uma superfície de caráter hidrofílico, quando a força de adesão a uma superfície sólida é maior que a força de coesão, por outro lado, valores de ângulos maiores que  $90^\circ$  indicam uma superfície mais hidrofóbica (ORTEGA-TORO et al., 2014).

Os resultados obtidos podem ser visualizado na Figura 20 e foram realizados com 3 filmes de diferentes composições. No filme contendo polpa de tomate, CMC, glicerol e

orégano não foi possível realizar a medida, pois o orégano causou rugosidade nos filmes interferindo na medida do ângulo de contato, o que acabou impossibilitando uma análise precisa da amostra.

**Figura 20:** Teste de ângulo de contato para amostras para  $t = 0$  s



**Fonte:** próprio autor

O filme do CMC puro (CMCp) apresentou o valor de  $27,7 \pm 6,1^\circ$  e com a adição do glicerol houve um pequeno aumento para  $30,6 \pm 5$ , apresentando característica hidrofílica. No entanto, com a adição do glicerol no filme, a amostra apresentou um caráter mais hidrofóbico (CURVELO et al., 2001). A presença de glicerol aumentou a molhabilidade da superfície, uma vez que o glicerol apresenta 3 grupos de hidroxilas, que interagem com moléculas de água via interações de ligação de hidrogênio (SU, et al., 2010).

O filme de polpa de tomate, CMC, glicerol (PtCMCg) obteve o maior ângulo de contato,  $46,5 \pm 1,2^\circ$ , apresentando também caráter hidrofílico. A polpa de tomate inserida no filme agrega valor devido à energia de superfície envolvida. Essa tensão superficial do líquido, ao entrar em contato com superfície da amostra, pode ser justificada quando átomos e moléculas, transitando livremente, ocupam espaços e se posicionam onde há menor energia potencial que é gerada quando forças (atrativas e repulsivas) entram em equilíbrio em todas as direções. (FROTA, 2021). A área de superfície resulta em um aumento de energia, exibindo uma propriedade termodinâmica chamada energia livre de superfície, que é responsável pelos fenômenos de molhabilidade e adesão (KEHRWALD, 2009). Outra explicação para o aumento do ângulo de contato é porque o filme tem rugosidade moderada (mais compacto), o

que afeta a molhabilidade do filme. Quando uma gota cai em uma superfície, ela preenche as fendas ásperas e as bolhas de ar ficam presas nas fendas e abaixo do líquido, reduzindo o movimento da água e aumentando o ângulo de contato. (SINDERSKI, 2020). Isso deve promover uma reorganização estrutural das cadeias nos materiais, alterando completamente a molhabilidade das superfícies dos filmes. Filmes mais compactos devem levar um maior tempo para adsorver a gota de água.

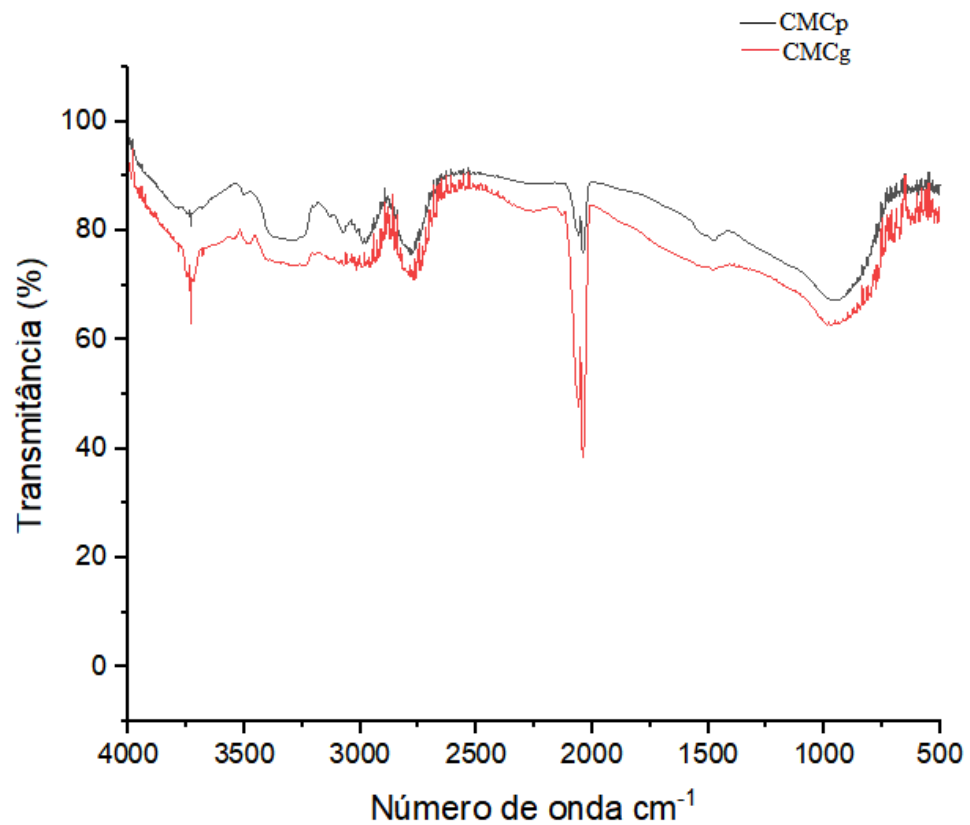
#### 5.1.5 Espectroscopia no Infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)

A técnica de espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) é muito utilizada, pois por meio dela podemos observar as ligações químicas e os grupos funcionais presentes nos materiais estudados. (AOUADA, 2009).

Na Figura 20 observamos os espectros infravermelhos das amostras do CMC puro. As bandas de absorção em  $3987\text{ cm}^{-1}$  são devido a deformação axial dos grupos OH e uma banda em  $2827,9\text{ cm}^{-1}$  é atribuível a deformação axial do CH. Na banda de absorção em  $1487\text{ cm}^{-1}$  confirma a banda  $\beta$ -glicosídica. As bandas em torno de  $980\text{ cm}^{-1}$  é a vibração de estiramento CO. No espectro de  $940\text{ cm}^{-1}$  são atribuídas deformação axial do CH- O -CH<sub>2</sub>, respectivamente. (YONEZAWA, 2016; MONDAL et al., 2015).

Os espectros FTIR de CMC e glicerol, de acordo com os valores obtidos, não variam muito, ou seja, a fração pura de CMC pode indicar a interação entre CMC e glicerol.

**Figura 21:** Espectros do FTIR do CMC puro e CMC com glicerol

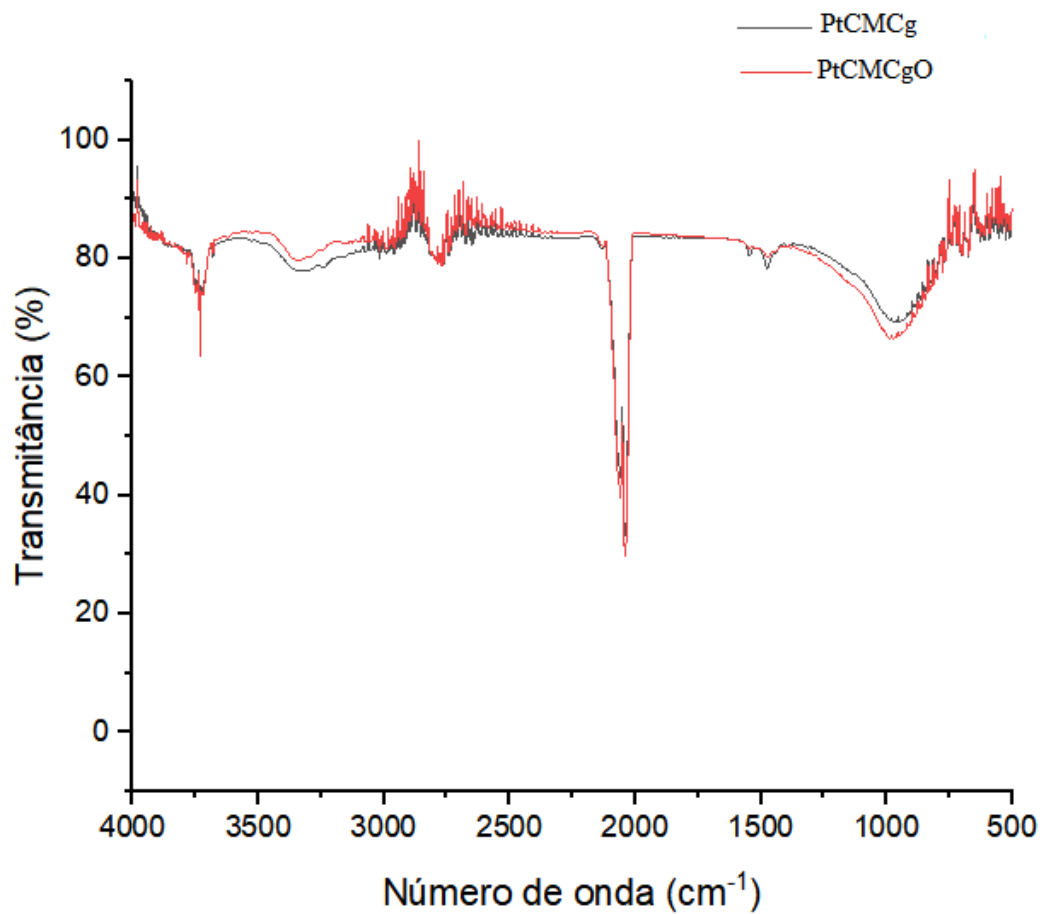


Fonte: próprio autor

Na Figura 22 podemos observar que os valores do filme PtCMCg e do filme PtCMCgO são muito semelhantes. Em ambos é possível observar as mesmas bandas da figura anterior, que são características do CMC puro (BUNGHEZ, 2011). Esse resultado mostra que o orégano e a polpa de tomate na quantidade que são adicionados aos filmes não alteram as propriedades espectroscópicas desses materiais.



**Figura 22:** Espectros do FTIR do filme de polpa de tomate, CMC, glicerol e filme de polpa de tomate, CMC, glicerol e orégano



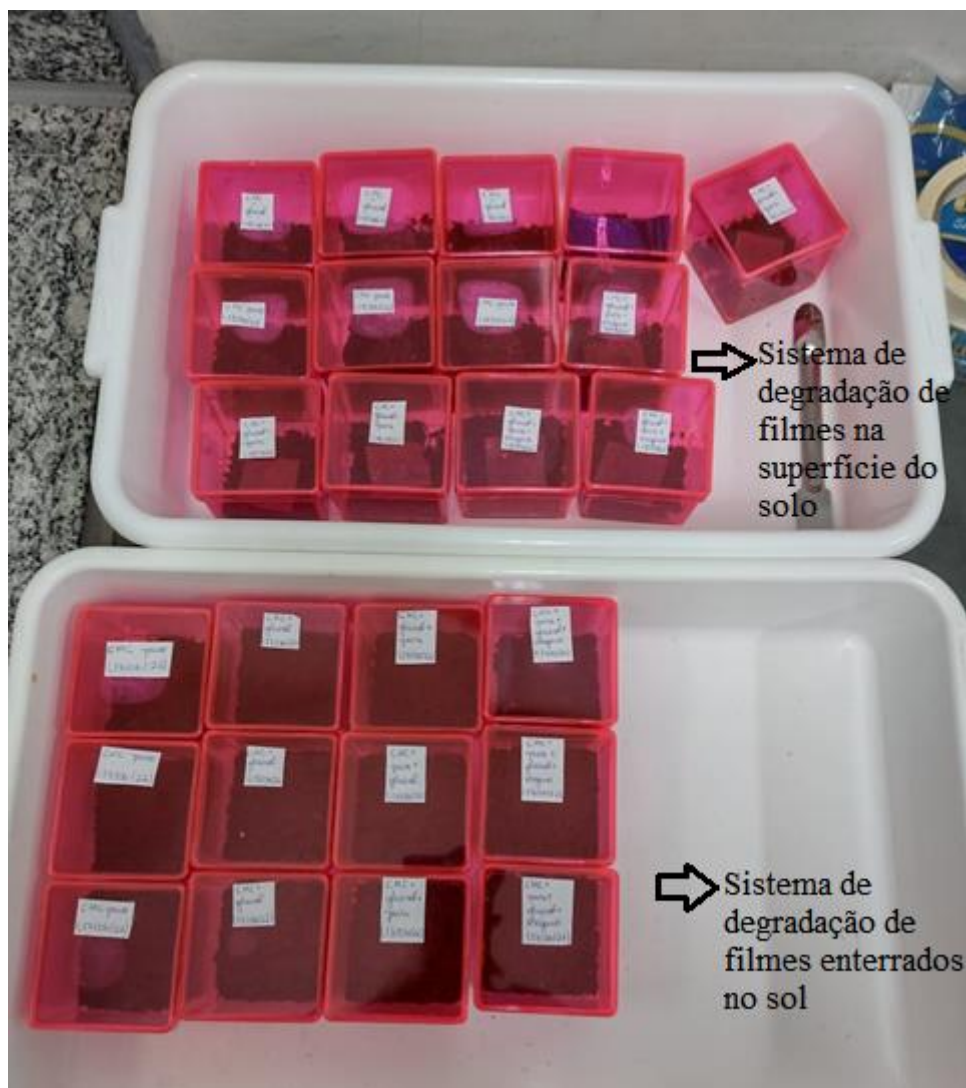
Fonte: próprio autor

Nos aspectos físicos ficou difícil identificar as bandas características dos filmes em separado, pois aparecem todos nas mesmas regiões do espectro.

#### 5.1.6 Biodegradação em solo

Os testes foram realizados em triplicata, foi concebido para avaliar a degradação dos filmes analisados ao longo de vários dias. Na Figura 23 podemos observar o sistema completo.

**Figura 23:** Sistema completo montado para realização dos testes.



Fonte: próprio autor.

Os testes começaram em 17 de junho de 2022, com amostras enterradas entre a primeira e a segunda camadas do solo e amostras da superfície do solo em 18 de junho de 2022. Para o sistema de filmes enterrados com apenas dois dias de teste inicializado, nenhuma amostra de CMCp e CMCg foi encontrada, indicando que os filmes analisados eram altamente biodegradáveis. As amostras de PtCMCg e PtCMCgO levaram sete dias para se degradarem completamente no solo. Isso acontece porque o filme fica em contato com o solo em todas as áreas, então a amostra demora menos para se decompor por ação de microrganismos do que uma amostra deixada na superfície. Para o sistema das amostras sob a superfície os filmes de CMCp e CMCg demoraram três dias para se degradarem, enquanto as amostras de PtCMCg e PtCMCgO levaram dezesseis dias para se degradarem completamente no solo. No entanto, após quatro dias, as amostras de PtCMCg e PtCMCgO estavam enrugadas e quebradiças e a embalagem de macarrão instantâneo da marca miojo

demonstrou uma lenta degradação em relação a elas. Neste sistema houve um tempo maior para se degradarem devido não estar totalmente coberto com o solo.

Na biodegradação de polímeros ocorre modificações químicas ou físicas, resultado da ação de microrganismos, sob certas condições de calor, umidade, luz, oxigênio e nutrientes orgânicos e alguns minerais (FRANCHETTI e MARCONATO, 2006). Segundo FECHIN 2013, vários fatores podem afetar a biodegradação de polímeros, como estrutura química, morfologia do polímero, exposição a certos tipos de radiação e massa molar (FECHINI, 2013).

Na Figura 24, podemos observar uma grande degradação macroscópica devido à adição diária de água, que provavelmente contribuiu para a perda de compostos solúveis, fazendo com que os filmes perdessem sua aparência inicial e integridade estrutural, demonstrando sua degradabilidade (SANTOS, 2020).

**Figura 24:** Amostra na superfície do solo



Fonte: próprio autor

A partir dos resultados, observamos que os filmes se mostraram biodegradáveis e esse processo ocorre devido ao fato de que macromoléculas naturais como proteínas

polissacarídeos, celulose e gomas são frequentemente hidrolisadas e degradadas oxidativamente em sistemas biológicos (CAMPOS et al., 2011).

Outra explicação é que o uso do plastificante glicerol acelerou o processo de degradação das amostras, não deixando fragmentos para análise após esse período de análise. (BOLDT et al., 2018)

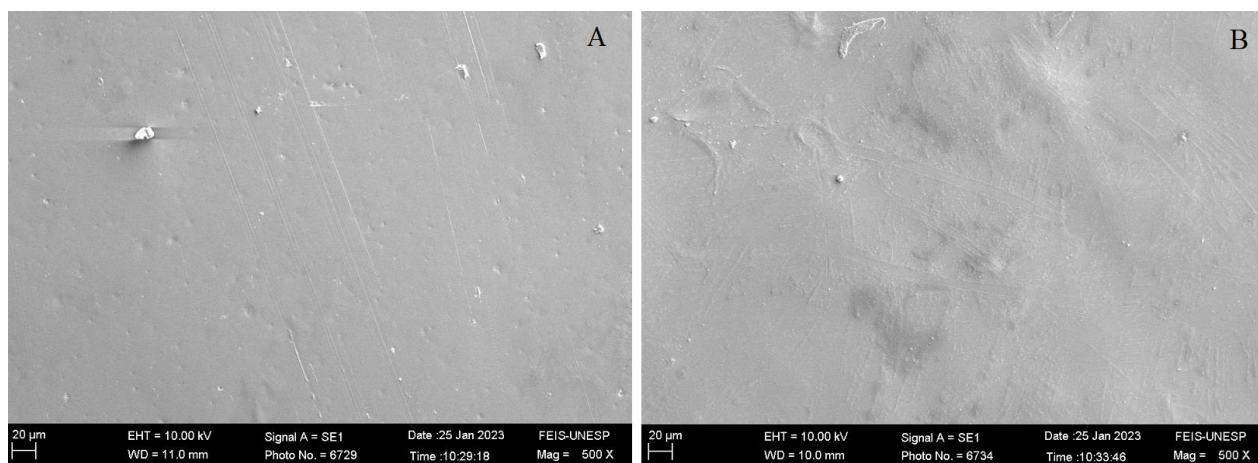
Ensaio realizados sobre a biodegradação de resíduos orgânicos no solo são procedimentos complexos que envolvem um grande número e variedade de microrganismos que atuam no processo de decomposição de polímeros. Esses microrganismos são caracterizados essencialmente por bactérias e fungos entre outros microrganismos (TAUK, 1990 apud. GHIZELINI 2005).

### 5. 1. 6 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Pesquisas envolvendo a avaliação de filmes comestíveis têm utilizado a microscopia eletrônica de varredura como caracterização, buscando correlacionar as propriedades mecânicas e de barreira dos mesmos com a estrutura morfológica (SOUZA, 2001)

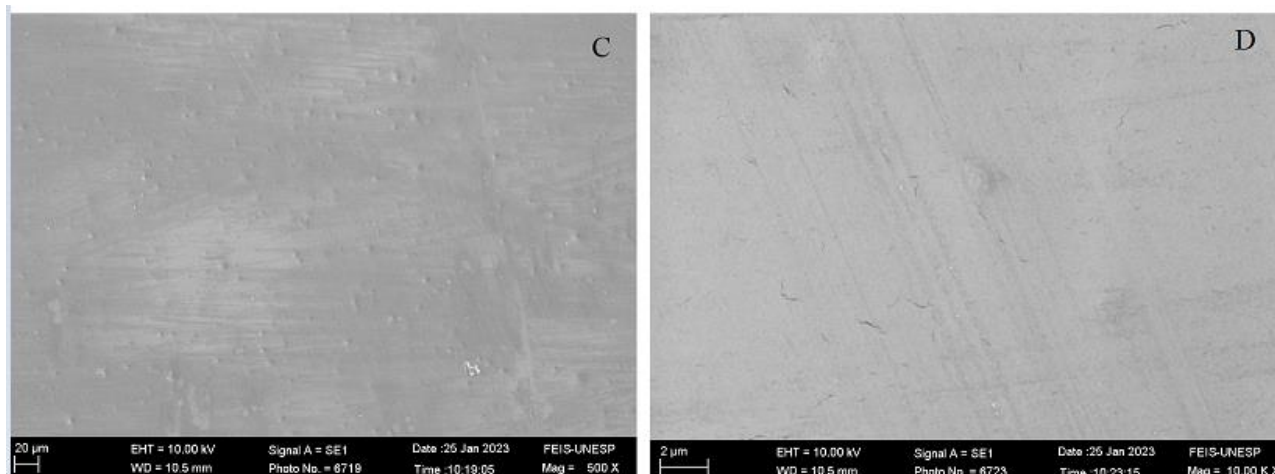
Na Figura 25 podemos observar que no filme de CMC puro, as amostras apresentaram uma superfície mais lisa e homogênea, sem separação de fases ou formação de aglomerados que também foi encontrado no trabalho de Santos (2020).

**Figura 25:** Microscopia eletrônica de varredura do filme de CMC puro.



Fonte: próprio autor

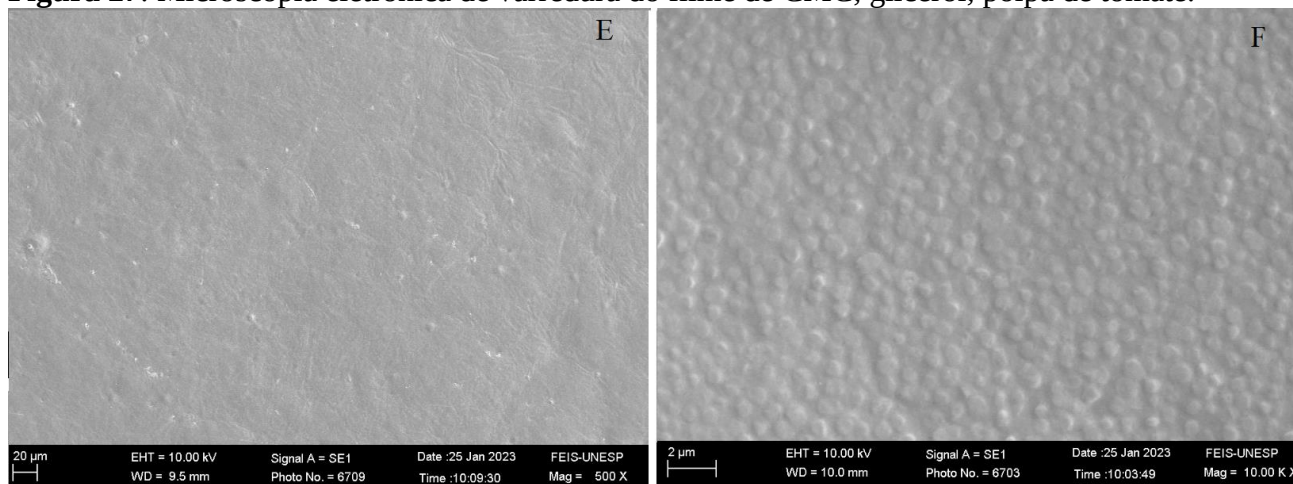
O filme de CMC e glicerol pode ser observado na Figura 26 e verificou-se que na morfologia das superfícies da amostra não indica a presença de poros e irregularidades com a adição do glicerol, indicando que houve uma boa interação entre os dois materiais (MACHADO, 2019).

**Figura 26:** Microscopia eletrônica de varredura do filme de CMC e glicerol

Fonte: próprio autor.

Os filmes CMC puro e CMC com glicerol apresentaram superfícies mais homogêneas e lisas que durante o processo de formação dos filmes obtiveram boa interação e ligações químicas fortes, resultando em filmes mais resistentes como pode ser observado na Figura 18.

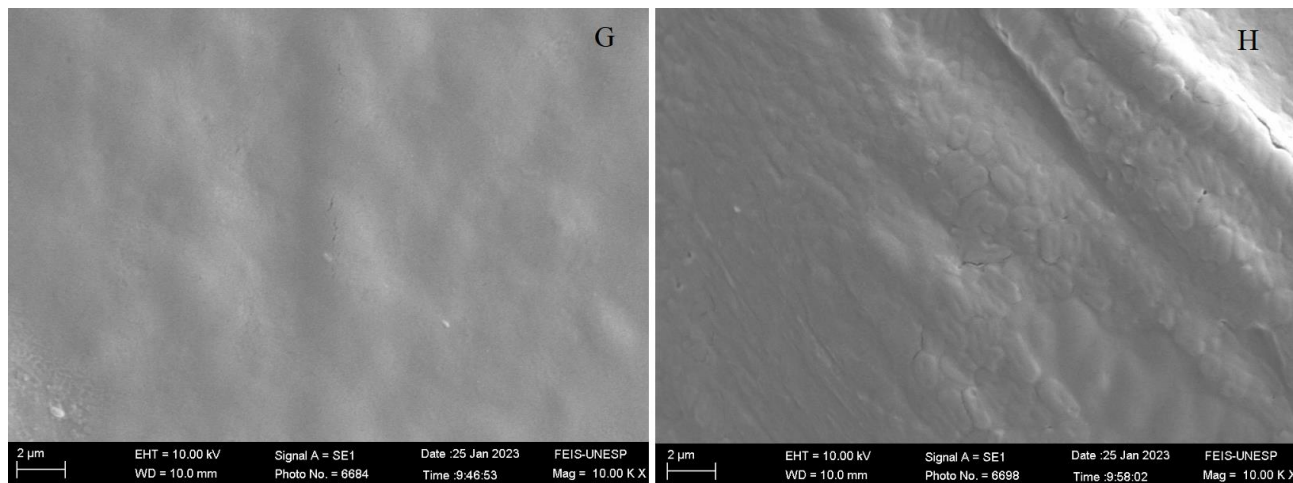
A microestrutura eletrônica do filme de polpa de tomate, CMC, glicerol e filme de polpa de tomate, CMC, glicerol e orégano podem ser observados na Figura 27 e Figura 28, respectivamente. Os filmes apresentaram rugosidade na superfície comparada com filme de CMC puro e CMC com glicerol, pois ao adicionar a polpa de tomate provocou uma pequena perturbação nas interações da estrutura polimérica, prejudicando a organização alinhada das cadeias e, por conseguinte, resultando em uma heterogeneidade no sistema. Dessa forma, a rugosidade da superfície pode estar associada a um ângulo de contato maior e menor valor no teste mecânico (OLIVEIRA, 2020).

**Figura 27:** Microscopia eletrônica de varredura do filme de CMC, glicerol, polpa de tomate.



Fonte: próprio autor

**Figura 28:** Microscopia eletrônica de varredura do filme de polpa de tomate, CMC, glicerol e orégano.



Fonte: próprio autor

### 5.1.7 Selagem dos filmes

Uma das grandes dificuldades dos pesquisadores na área de filmes para embalagens é obter um material que ao final dos testes tenha uma selagem efetiva. Uma selagem efetiva é aquele que o material é fechado com um conteúdo real que irá armazenar. Com o final da selagem esse pacote pode ser manuseado e transportado que nada irá vazar do interior para o exterior da embalagem. Os filmes obtidos nesse trabalho foram todos selados e apenas a amostra de filme contendo somente o CMC não obteve resultado satisfatório, como pode ser observado na Figura 29.

**Figura 29:** Amostra de CMC puro que não foi possível ser selado.



Fonte: próprio autor.

Uma das justificativas para não ter ocorrido o selamento da amostra foi a natureza do CMC, pois ela é um polímero derivado da celulose e quando solubilizada em água, ela forma ligações fracas com as moléculas de água gerando uma solução viscosa que forma filme. No entanto, essas ligações não são suficientemente fortes para garantir uma selagem efetiva quando submetidas a altas temperatura durante o processo de selagem térmica. Outros estudos na literatura mostraram que para que houvesse a selagem efetiva, o filme a base de CMC e água deveria ser enriquecido com outros ingredientes que iriam melhorar as propriedades de selagem como, por exemplo, a proteína (SU, Jun-Feng et al. 2010).

Na Figura 30, podemos observar as três amostras que obtiveram resultados efetivos da selagem térmica, contendo farinha de trigo no interior para visualização do encapsulamento realizado para a pesquisa.

**Figura 30:** Processo de selagem térmica das amostras de polpa de tomate, CMC, glicerol e orégano (PtCMCgO), polpa de tomate, CMC, glicerol (PtCMCg) e CMC com glicerol (CMCg) com encapsulamento de farinha de trigo para observar a selagem realizada.



Fonte: próprio autor.

Na figura acima, podemos observar que houve resultados satisfatório em relação a selagem dos filmes e pode ser justificado devido a composição e proporção dos materiais utilizados na preparação dos filmes. O glicérol deve ter aumentado também a pegajosidade do filme, resultando na aderência entre as amostras. A adição da polpa de tomate utilizado na amostra também pode aumentar a aderência por possuir açúcares que facilitam a selagem. A aderência também pode ser explicada devido a superfície das amostras, pois as superfícies mais rugosas como no filme CMCgO e CMCg são mais prováveis de serem seladas (ZHONG et al., 2019). Todas as amostras que forma seladas conseguiram conter o conteúdo do tempero do macarrão de forma efetiva, além de serem manuseadas com eficiência.



## 6 CONCLUSÃO

Os polímeros biodegradáveis é uma área de pesquisa com grande potencial, pois estes tipos de materiais são utilizados não só para embalagens mas também para os mais diversos campos de estudo colaborando para a substituição dos materiais sintéticos pelos filmes biodegradáveis, assim contribuindo para uma maior sustentabilidade na prática produtiva da indústria alimentícia. No teste WVP os filmes PtCMCg e PtCMCgO apresentaram melhores resultados devido aos componentes dos filmes utilizados serem polpa de tomate e glicerol. Nos testes mecânicos, os filmes de CMCp e CMCg apresentaram resultados satisfatórios em relação aos filmes de polpa de tomate, pois o CMC possui maior viscosidade, o que pode melhorar as interações intermoleculares. Os plastificantes e o açúcar da polpa de tomate nos demais filmes enfraqueceram as interações intermoleculares, tornando-os menos rígidos e menos flexíveis.

Todos os filmes no estudo tinham ângulos de contato menores que 90°, indicando propriedades superficiais e hidrofílicas. Os filmes comestíveis de tomate contendo orégano podem ter atividade antimicrobiana e múltiplos benefícios em embalagens de alimentos, incluindo proteção contra contaminação por microrganismos patogênicos, bem como benefícios nutricionais e de saúde associados ao consumo de componentes de tomate que podem estar presentes nos filmes.

Na microscopia eletrônica de varredura (MEV) os filmes de CMC puro e CMC e glicerol apresentaram filmes mais homogêneos e lisos, pois a ligação química entre eles é forte. No entanto, os filmes com polpa de tomate apresentam irregularidades na superfície e dessa forma, comprova que essa superfície rugosa interfere nos testes mecânicos e no ângulo de contato.

No teste de selagem, apenas o filme de CMC puro não obteve resultado satisfatório, entretanto as outras 3 amostras foram seladas, pois o glicerol deve ter aumentado a pegajosidade do filme, resultando na aderência entre as amostras e também a adição da polpa de tomate utilizado na amostra também pode aumentar a aderência por possuir açúcares que facilitam a selagem.

Por fim, a necessidade de reduzir o uso de materiais de fontes não renováveis levou à pesquisas para a criação de embalagens biodegradáveis e comestíveis com o objetivo de substituir as embalagens primárias tradicionais contidas em produtos alimentícios, no entanto, sabemos da dificuldade de aceitação das indústrias, afinal, os plásticos tradicionais são a base da sociedade moderna, quase tudo o que consumimos é feito de plástico, mas isso não invalida o fato da urgência de estudos na área de embalagens biodegradáveis, pois eles

podem auxiliar na redução do uso de plásticos e colaborar grandiosamente para o avanço do desenvolvimento sustentável.

## **7 IMPACTO/RELEVÂNCIA CIENTÍFICO-SOCIAL**

A necessidade de produzir embalagens biodegradáveis e comestíveis a fim de substituir embalagens primárias fez com que essa proposta fosse planejada.

A proposta aqui apresentada se enquadra na demanda de novas embalagens para alimentos, pois estimula pesquisas na área de embalagens biodegradáveis. Além de utilizar resíduo a base de extrato de frutos na elaboração dos filmes, o que também é algo inovador no trabalho. Atendendo às necessidades e exigências dos mercados, impulsionando, assim, o desenvolvimento de uma tecnologia de elaboração de produto de interesse mundial, focado na preocupação ambiental e de sustentabilidade.

Esse projeto auxiliou na formação de novas linhas de pesquisa por meio do grupo de pesquisa GCNH – Grupo de Compósitos e Nanocompósitos Híbridos do programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Brasil. O que está de acordo com a política da própria universidade de formação qualificada de recursos humanos e capacitação científica de qualidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- ABIPLAST. Associação Brasileira da Indústria do Plástico. Perfil 2018. São Paulo, 2018. Disponível em: <[http://www.abiplast.org.br/wpcontent/uploads/2021/05/PREVIEW\\_ABIPLAST\\_2020.pdf](http://www.abiplast.org.br/wpcontent/uploads/2021/05/PREVIEW_ABIPLAST_2020.pdf)>. Acesso em: 28/11/2022.
- ARFA, A. B, CHRAKABANDHU, Y., PREZIOSI-BELLO, L., CHALIER, P., GONTARD, N. Coating papers with soy protein isolates as inclusion matrix of carvacrol. *Food Research International*. 2007; 40:22-3
- AMBRÓSIO, C. L. B.; CAMPOS, F. A. C. S.; FARO, Z. P. Carotenóides como alternativa contra a hipovitaminose A. **Revista de Nutrição**. v. 19, n.2, p. 233-243, 2006.
- AOUADA, M. R. de M. **APPLICATION OF NANOPARTICLES IN FILMS USED FOR FOOD PACKAGING**. 2009. 138 f. Tese (Doutorado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.
- AVELINO, K. R. de S. **Desenvolvimento e caracterização de filmes comestíveis à base de tomate (*Lycopersicon esculentum*)**. 2019. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2019.
- ASSIS, O. B. G. **Alteração do caráter hidrofílico de filmes de quitosana por tratamento de plasma de HMDS**. *Química Nova*, São Carlos, v. 33, n. 3, p 603-606, 2010.
- ATILLA, D., BASOVA, T.V., JUSHINA, I., AHSEN, V. The synthesis and characterization of Cu(II) phthalocyanine bearing peripheral monoazacrown ethers and a spectral investigation of its film forming character. *Journal & Books*. v.80, p 67 – 72, 2009.
- AZEREDO, H.M.C.; MIRANDA, K.W.E.; ROSA, M.F.; NASCIMENTO, D.M.; MOURA, M.R. Edible films from alginate-acerola puree reinforced with cellulose whiskers. **Food Science and Technology**. v. 46, p.294-297, 2012
- BARROS, T.T. **Produção e caracterização de filmes de polpa de mamão com adições de nanoestruturas, processados em modo batelada**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos- SP, 2016.
- BARROS, T. T.; TOSI, M. M.; ASSIS, O. B, G. Aproveitamento de rejeitos da cadeia hortofrutícola no processamento de plásticos biodegradáveis. **Revista Gestão Industrial**, v.16, n. 4, p. 215 – 229, 2020
- BENLLOCH-TINOCO, M.; M.; SALVADOR, A.; RODRIGO, D.; MARTINEZ-NAVARRETE, N. **Qualidade e aceitabilidade de microondas e purê de kiwifruit convencionalmente pasteurizado**. *Food and Bioprocess Technology*, v.7, n. 11, p. 3282-3292, 2014.
- BERGO, P. V. A., CARVALHO, R. A., SOBRAL, P. J. A., DOS SANTOS, R. M. C., DA SILVA, F. B. R., PRISON, J. M. HABITANTE, A. M. Q. B. **Physical properties of edible films based on cassava starch as affected by the plasticizer concentration**. *Packaging Technology & Science*, v.21, p.85–89, 2008

BAJPAI, V.K.; BAEK, K.H.; KANG, S.C.; Control of Salmonella in foods by using essential oils: A review, *Food Res. Int.* 45 (2012) 722–734.

BUNGHEZ, I.R., RADULY, M., DONCE, S., AKSAHIN, I., ION, R.M. Lycopene determination in tomatoes by different spectral techniques (UV-VIS, FTIR and HPLC), **Journal of nanomaterials and biostructures**, v.6, n.3, p. 1349-1356, 2011.

CARISSIMI, M. **Desenvolvimento e aplicação de filmes biodegradáveis a partir de amido de mandioca e microalga verde**. Dissertação (mestrado) – Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos - UFRGS 2018.

CAMPOS, A.; MARCONATO, J. C.; MARTINS-FRANCHETTI, S. M. Biodegradation of blend films PVA/PVC, PVA/PCL in soil and soil with landfill leachate. **Brazilian Archives Biology and Technology**, v.54, n.2, p. 1367-1378, 2011.

CARNEIRO, H. **Comida e Sociedade** – uma história da alimentação. Rio de Janeiro, Campus, 2003, p.61 e 71.

CLARK, S. L; HAMMOND, P. T. **Engineering the microfabrication of Layer-by-layer thin films**. *Advanced Materials*, Germany, v.10, n. 18, p 1515- 1519, 2012.

COOPLANTIO - Cooperativa dos Agricultores de Plantio Direto. Galeria de fotos. 2003.

CUERVELO, A. A. S.; CARVALHO, A. J. F.; AGNELLI, J.A. M.; **Carbohydrate Polymers**, v.45, p.183 – 188, 2001.

CENTRO DE TECNOLOGIA DE EMBALAGENS – CETEA. Ensaios para avaliação de embalagens plásticas flexíveis. Campinas, p. 219, 1996.

CUQ, B.; GONTARD, N.; CUQ, J.L.; GUILBERT, S. Functional properties of myofibrillar protein-based biopackaging as effected by film thickness. **Journal of Food Science**, vol. 61, n. 3, p. 580-584, 1996

EMBPRAPA Instrumentação: Disponível em: <

[https://www.embrapa.br/instrumentacao/buscadenoticias?p\\_p\\_id=buscanoticia\\_WAR\\_pcebusca6\\_1portlet&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=pop\\_up&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column&p\\_p\\_col\\_pos=1&p\\_p\\_col\\_count=2&\\_buscanoticia\\_WAR\\_pcebusca6\\_1portlet\\_groupId=1355311&\\_buscanoticia\\_WAR\\_pcebusca6\\_1portlet\\_articleId=2765864&\\_buscanoticia\\_WAR\\_pcebusca6\\_1portlet\\_viewMode=print](https://www.embrapa.br/instrumentacao/buscadenoticias?p_p_id=buscanoticia_WAR_pcebusca6_1portlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=pop_up&p_p_mode=view&p_p_col_id=column&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&_buscanoticia_WAR_pcebusca6_1portlet_groupId=1355311&_buscanoticia_WAR_pcebusca6_1portlet_articleId=2765864&_buscanoticia_WAR_pcebusca6_1portlet_viewMode=print)> Acesso em: 2 dez. 2022

FROTA, M. M.; **Sistemas superhidrofóbicos aplicados à Ciência e Tecnologia de alimentos: conceitos, tendências e desafios tecnológicos**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Ceará, 2021.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO.  
World tea production and trade Current and future development. Disponível em:  
<<http://www.fao.org/3/a-i4480e.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2022

FECHINI, G. J. M. **Polímeros Biodegradáveis: Tipos, Mecanismos, Normas e Mercado Mundial**. Editora Mackenzie, São Paulo, 2013.

FRANCHETTI, S. M. M.; MARCONATO, J. C. **Polímeros Biodegradáveis** – Uma Solução Parcial para Diminuir a Quantidade dos Resíduos Plásticos. *Química Nova*, v. 29, n. 4, p. 811-816, 2006.

FARIAS, M. G., FAKHOURI, F. M.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P.  
Caracterização físico-química de filmes comestíveis de amido adicionado de acerola. **Química Nova**, vol. 35, No 3, p.546 – 552, 2012.

GHIZELINI, A. M. **Sucessão de Fungos em Acículas de Pinus taeda em Decomposição**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, p. 61, 2005.

GONTARD, N.; GUILBERT, S. Bio-packaging: Technology and properties of edible and/or biodegradable material of agricultural origin. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 30, n. 1, p. 3-15, 1996.

JAIME, P. C.; FIGUEIREDO, I. C. R.; MOURA, E. C.; MALTA, D.C. Fatores associados ao consumo de frutas e hortaliças no Brasil 2006. **Revista Saúde Pública**, v.43, p. 57 – 64, 2009.

JUNIOR, S. V. C. **Técnicas de Caracterização de Polímeros**. 2º ed, São Paulo, SP: Artliber, 2007

KARBOWIAK, T.; DEBEAUFORT, F.; VOILLEY, A. Importance of Surface Tension Characterization for Food, Pharmaceutical and Packaging Products: A Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 45, p. 391-407, 2006

KEHRWALD, A. M. **Estudo da influência da energia livre superficial na molhabilidade e adesão de revestimentos à base de fluorsilanos**. 2009. 91 f. Dissertação – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 2009

KOKOSZKA, S et al. Protein and glycerol contents affect physico-chemical properties of soy protein isolate-based edible films Innovative. **Food Science & Emerging Technologies**. v.11, p.503-51, 201

LADISLAU, S. R., **Potencialidades funcionais do tomate salada fresco e desidratado sob diferentes condições**. Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, 2018

LIAO, N.; UNNITHAN, A. R.; JOSHI, M. K.; TIWARI, A. P.; HONG, S. T.; PARK, C.; KIM, C. S. Electrospun bioactive poly ( $\epsilon$ -caprolactone)–cellulose acetate–dextran antibacterial composite mats for wound dressing applications. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, Amsterdam, v. 469, p. 194–201, 2015.

MATTOSO, L. H. C. Embalagens verdes. [Entrevista concedida a Evanildo da Silveira. Revista FAPESP, 2016.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E. Effects of yam starch films on storability and quality of fresh strawberries (*Fragaria ananassa*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, p. 7055 - 7011, 2004.

MALI, S.; SAKANAKA, L. S.; YAMASHITA, F.; GROSSMANN, M. V. E. Water sorption and mechanical properties of cassava starch films and their relation to plasticizing effect. *Carbohydrate Polymers*, Kidlington Oxford, v. 60, n. 3, p. 283-289, 2005.

MELO, T. H.S. **Preparo e caracterização de filmes nanoestruturados a base de pectina e polpas de frutas com potencial uso como embalagens alimentícias**. Dissertação de mestrado em ciência dos materiais, Faculdade de engenharia de Ilha Solteira, Uninversidade estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Ilha Solteira, p. 44, 2016.

MCHUGH, T. H.; HUXSOLL, C. C.; KROCHTA, J. M. Permeability properties of fruit puree edible films. **Journal of Food Science**, v. 61, n. 1, p. 88–91, 1996

MORETTI, C. L. (Ed.). Manual de processamento mínimo de frutas e hortaliças. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças: Sebrae, 2007. 527.

NAZMI, N.N.; ISA, M.I.N.; SARBON, N.M.; Preparation and characterization of chicken skin gelatin/CMC composite film as compared to bovine gelatin film. **Food Bioscience**. (2017).

NOGUEIRA, G.F; SOARES, C.T; CAVASINI, R; FAKHOURI, F.M; OLIVEIRA, R.A. Bioactive films of arrowroot starch and blackberry pulp: Physical, mechanical and barrier properties and stability to pH and sterilization. **Food Chemistry**, v. 275, p.417–425, 2019. Available online 10 September 2018

OLIVEIRA, T. A.; LEITE, R. H. L.; AROUCHA, E. M. M.; FERREIRA, R. M. A. Efeito do revestimento de tomate com biofilme na aparência e perda de massa durante o armazenamento. **Revista Verde**, v. 6, n.1, p. 230 – 234. 2011.

OLIVEIRA, C.G. **Extração e caracterização do betacaroteno produzido por *Rhodotorula glutinis* tendo como substrato o suco de caju**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Ceará. 2010.

OLIVEIRA, L. M.; QUEIROZ, G. C. (Org.). Embalagens plásticas rígidas: principais polímeros e avaliação da qualidade. Campinas: CETEA/ITAL, p.372, 2008.

OLIVEIRA, E. F. R. **Desenvolvimento de novos filmes comestíveis contendo pure de couve e alginato de sódio**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais). Universidade Estadual Paulista (2020).

ORTEGA-TORO, R et al. "Effect of the incorporation of surfactants on the physical properties of corn starch films". **Food Hydrocolloids**. P.38 - 66, 2014

OTONI, C. G., PONTES, S. F. O., MEDEIROS, E. A. A., SOARES, N. F. F. Edible films from methylcellulose and nanoemulsions of clove bud (*Syzygium aromaticum*) and oregano (*Origanum vulgare*) essential oils as shelf life extenders for sliced bread. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, p. 5214-5219, 2014.

PARK, Su-Il., ZHAO, Y. Development and characterizations of edible films from cranberry pomace extracts. **Journal of Food Science**, v.71, p. 95-101. 2006

PEREZ-CORDOBA, L. J.; NORTON, I.T.; BATCHELOR, H.K.; GKATZIONIS, K.; SPYROPOULOS, F.; SOBRAL, P.J.A.; Physico-chemical, antimicrobial and antioxidant properties of gelatinchitosan based films loaded with nanoemulsions encapsulating active compounds. **Food Hydrocolloids**. 79 (2018), p. 544-559.

PERIAGO, M. J., Martínez-Valverde, I., ROD, G., MARTÍNES, C., & López, G. (2001). PROPIEDADES QUÍMICAS, BIOLÓGICAS Y VALOR NUTRITIVO DEL LICOPENO. **Anales de Veterinaria de Murcia**, 17, 51–66.

PIRES, V.G.A; **Incorporação de nanoemulsões de óleos essenciais de melaleuca, copaíba e limão em filmes de alginato de sódio para utilização como curativo**. (2016), 81 f.Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais). Universidade Estadual Paulista

QUEIROZ, E. L., ARAÚJO, G. S., ALMEIDA, T. B., MARTINEZ, E. A., & SOUZA, S. M. A. (2021). Chemical and mechanical properties of cassava starch bioactive film with jambolan (*Syzygium cumini* L.) extract addition. **Brazilian Journal of Food Technology**, 24.

ROMANI, V.P., PRENTICE-HERNANDEZ, C., MARTINS, V.G. Active and sustainable material from rice starch, fish protein and oregano essential oil for Food packaging. **Industrial Crops and Products**. 2016; p. 268-274.

ROMERO-BATISDA, C. A.; BELLO-PEREZ, L. A.; GARCIA, M. A.; MARTINO, M. N.; SOLORZA-FERIA, J.; ZARITZKY, N. E.; **Carbohydr. Polym.** 2005, 60, 235.

ROYO, M., FERNÁNDEZ-PAN, I., MATÉ, J.I. Antimicrobial effectiveness of oregano and sage essential oils incorporated into whey protein films or cellulose-based filter paper. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 2010; p.1513–1519



SANTOS, R. R et al. Use of essential oils in active food packaging: Recent advances and future trends. **Trends in Food Science & Technology**, v. 61, p. 132–140, 2017.

SANTOS, B. **Biodegradabilidade de filmes baseados em biopolímero e óleo essencial de erva-doce**. Dissertação (mestrado). Departamento de Física e Química, Universidade Estadual Paulista, 2020.

SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J.; BRANCO, I. G.; BITTENCOURT, T. U.; MUNHOZ, C. L. **Influência da geometria e da temperatura na cinética de secagem de tomate (*Lycopersicon esculentum*)**. Food Science and Technology, Campinas, p. 308- 312, 2011

SHALABY, S.W, SHAH, K.R. “Chemical modifications of natural polymers and their technological relevance in Water Soluble Polymers: Synthesis, Solution Properties, and Applications”. **ACS Symposium Series, American Chemical Society**, pp. 467, 1991

SEYDIM, A.C., SARIKUS G. Antimicrobial activity of whey protein based edible films incorporated with oregano, rosemary and garlic essential oils. **Food Research International**. 2006; p.639–644.

SOTHORNVIT, R. PITAK, N. Oxygen permeability and mechanical properties of banana films. **Food Research International**, v. 40, p. 365 – 370, 2007.

SOUSA, S. D. N., SANTIAGO, R. G., MAIA, D. A. S., SILVA E. O., VIEIRA, R. S. Ethylene adsorption on chitosan/zeolite composite films for packaging applications. **Food packaging and shelf life**, 2016.

SOUZA, S. M. A. **Elaboração e caracterização de filmes comestíveis biodegradáveis a base de proteínas miofibrilares de origem bovina**. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

SANTOS, V. S. **Desenvolvimento no preparo e caracterização de bionanocompósitos comestíveis a base de pectina e óleo essencial de alho**. 2020. f.103. Tese (Doutorado) – Programa de pós graduação em ciência dos materiais, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2020.

SU, Jun-Feng et al. Structure and properties of carboxymethyl cellulose/soy protein isolate blend edible films crosslinked by Maillard reactions. **Carbohydrate polymers**, v. 79, n. 1, p. 145-153, 2010.

SINGH, T.P; CHAUHAN, G; AGRAWAL, R.K; MENDIRATTA, S.K. Response surface modeling and optimization of tomato puree–casein bio-composite films. **Iranian Polymer Journal**, v.27, p.861–879, 2018

SINDERSKI, L. F. Z.; Ângulo de contato e rugosidade de madeiras, uma breve revisão. **Ciência da madeira (Brazilian Journal of Wood Science)** v. 11, n.1, p. 1 -11. 2020.

SOTHORNVIT, R; PITAK, N.; **Food Res. Int.** 2007, 40, 365.

TEIXEIRA, G. H. A.; DURIGAN, J. F.; MATTIUZ, B.; ROSSI JUNIOR, O. D. Processamento mínimo de mamão 'Formosa'. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.21, n.1, p.47-50, 2001

TONON, R. V.; BORONI, A. F.; HUBINGER, M. D. 2006. Estudo da desidratação osmótica de tomate em soluções ternárias pela metodologia de superfície de resposta. **Ciência e Tecnologia de Alimentos** 26(3): 715- 723.

VIEITES RL; DAIUTO AR; SILVA, A. P. Efeito da utilização de cera e películas de amido e fécula em condições de refrigeração, na conservação do tomate. **Revista Cultural Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 127-129, jan./abr. 1999

YONEZAWA, U.G. **Síntese, caracterização e aplicação de hidrogéis nanoestruturado contendo nanoargila para melhorar a germinação e qualidade de muda de hortaliça.** Dissertação (mestrado). Universidade Estadual Paulista, Departamento de Física e Química, 2016.

ZHONG, H., CHEN, Y. and others. Thermal sealing of edible films for packaging applications (**Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 2019.

ZIANI, K.; OSES, J.; COMA, V.; MATE, J. I.; LWT - **Food Sci. Technol.** 2008, 41, 2159.

.