

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
ENGENHARIA QUÍMICA**

MARIA LAURA QUADROS MACHADO

**SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE BIOFILME À BASE DE QUITOSANA E
GLICEROL PARA APLICAÇÃO EM EMBALAGENS DE ALIMENTOS**

**Bagé
2021**

MARIA LAURA QUADROS MACHADO

**SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE BIOFILME À BASE DE QUITOSANA E
GLICEROL PARA APLICAÇÃO EM EMBALAGENS DE ALIMENTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Alejandra Liendo

**Bagé
2021**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

M149s Machado, Maria Laura Quadros

Síntese e caracterização de biofilme a base de quitosana e glicerol para aplicação em embalagens de alimentos / Maria Laura Quadros Machado.

55 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA QUÍMICA, 2021.

"Orientação: Maria Alejandra Liendo".

1. Biofilme. 2. Quitosana. 3. Glicerol. 4. Embalagem. I. Título.

MARIA LAURA QUADROS MACHADO**SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE BIOFILME A BASE DE QUITOSANA E GLICEROL PARA APLICAÇÃO EM EMBALAGENS DE ALIMENTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Química.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 28 de setembro de 2021.

Banca examinadora:

Prof^a. Dr^a. Maria Alejandra Liendo
Orientador
UNIPAMPA

Ms. Cecília Dutra Garcia Cougo
UNIPAMPA

Me. Maurício Dalla Costa Rodrigues da Silva
(SEM INSTITUIÇÃO)
CPF: 01949589064



Assinado eletronicamente por **Maurício Dalla Costa Rodrigues da Silva, Usuário Externo**, em 28/09/2021, às 10:53, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **CECILIA DUTRA GARCIA COUGO, Técnico de Laboratório Área - SL-BAGE**, em 30/09/2021, às 19:54, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **MARIA ALEJANDRA LIENDO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 02/10/2021, às 14:07, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0625136** e o código CRC **EB27941D**.

À minha família e aos meus amigos, dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Edson Roberto e Eneci que nunca mediram esforços para que eu pudesse me formar e sempre acreditaram em mim. Com palavras e atitudes de apoio, nunca duvidaram da minha capacidade, sempre deram liberdade para tomar as minhas decisões e seguir no meu ritmo, confiaram em mim.

Agradeço a minha orientadora Prof^a. Dr^a. Maria Alejandra Liendo por toda paciência comigo, me auxiliado em todas as fases do trabalho e ter me dado todo apoio e segurança de que eu estava realizando um bom projeto.

Agradeço a minha banca Maurício e Cecília, por todas as dicas e pela disponibilidade de acompanharem e se fazerem presentes nas minhas apresentações.

Agradeço aos professores da Engenharia Química que ajudaram a completar o curso e me tornar engenheira química, foram exemplos de dedicação e experiência.

E por fim, a todos que me incentivaram ou colaboraram de certa forma para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

Os polímeros sintetizados por fontes renováveis são chamados de biopolímeros, e representam uma alternativa para os plásticos derivados do petróleo que causam impacto negativo ao meio ambiente. A necessidade de produção em larga escala de embalagens para utilização diária no mercado, fez com que os polímeros assumissem um papel de destaque em praticamente todos os segmentos de produção. Atualmente há um grande interesse na pesquisa e desenvolvimento de materiais para embalagens de alimentos biodegradáveis com intuito de diminuir o acúmulo de resíduos plásticos. A quitosana é um copolímero de origem natural, biodegradável, derivado do processo de desacetilação da quitina, e apresenta características que permitem uma ampla versatilidade de aplicação, podendo ser utilizada na produção de biofilmes. Para suprir as características dos polímeros sintéticos, como flexibilidade, resistência e permeabilidade é necessário adicionar um agente plastificante na formulação para haver melhor interação dos componentes e garantir uma qualidade semelhante às dos polímeros sintéticos. Um dos objetivos dos agentes plastificantes é conferir a flexibilidade, e em alguns casos, melhorar a processabilidade do material. O glicerol é um subproduto da indústria de biodiesel, considerado um agente plastificante de baixo custo e que possui características favoráveis quando em contato com polímeros de origem natural. Por todo o exposto, o presente trabalho teve como objetivo produzir filmes a base de quitosana e glicerol em diferentes concentrações pelo método de *casting*, caracterizar os biofilmes formulados com o auxílio das análises de espessura, permeabilidade ao vapor (PVA), ensaio mecânico de tração, índice de intumescimento, difração de Raios-X (DRX) e análise termogravimétrica (TGA) para verificar uma possível utilização em embalagem de alimentos. Além disso, comparou-se os resultados obtidos nas análises com um polímero comercial, o PVC. Os resultados mostraram que o glicerol favoreceu a formação de filmes menos espessos e o filme de quitosana pura obteve o menor valor de PVA. O grau de intumescimento mostrou a dissolução total do filme de quitosana pura em menos de uma hora e os com glicerol absorveram 761% de massa em 48h de ensaio. Ambos os filmes tiveram comportamento térmico semelhante. O filme com quitosana pura mostrou um comportamento mecânico rígido enquanto a adição de glicerol melhorou a flexibilidade

Palavras-chave: quitosana. biofilme. glicerol. biodegradável.

ABSTRACT

Polymers synthesized from renewable sources are called biopolymers, and represent an alternative to petroleum-derived plastics that have a negative impact on the environment. The need for large-scale production of packaging for daily use in the market has made polymers a prominent role in virtually all production segments. Currently there is a great interest in the research and development of materials for biodegradable food packaging in order to reduce the accumulation of plastic waste. Chitosan is a copolymer of natural origin, biodegradable, derived from the process of deacetylation of chitin, and has characteristics that allow a wide versatility of application, and can be used in the production of biofilms. To supply the characteristics of synthetic polymers, such as flexibility, strength and permeability it is necessary to add a plasticizing agent in the formulation to have better interaction of components and ensure a quality similar to those of synthetic polymers. One of the objectives of plasticizing agents is to confer flexibility, and in some cases, to improve the processability of the material. Glycerol is a by-product of the biodiesel industry, considered a low-cost plasticizing agent that has favorable characteristics when in contact with polymers of natural origin. Throughout the above, the present work aimed to produce films based on chitosan and glycerol at different concentrations by casting method, characterize the biofilms formulated with the aid of thickness, vapor permeability (PVA) analyses, mechanical tensile assay, intumesation index, X-ray diffraction (XRD) and thermogravimetric analysis (TGA) to verify a possible use in food packaging. In addition, the results obtained in the analyses were compared with a commercial polymer, PVC. The results showed that glycerol favored the formation of less thick films and pure chitosan film obtained the lowest PVA value. The degree of intumesation showed the total dissolution of pure chitosan film in less than an hour and those with glycerol absorbed 761% of mass in 48h of test. Both films had similar thermal behavior. Film with pure chitosan showed a rigid mechanical behavior while the addition of glycerol improved flexibility

Keywords: chitosan. biofilm. glycerol. biodegradable.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura molecular da quitosana.....	15
Figura 2 – Relação entre o grau de desacetilação da quitosana e sua influência nas propriedades físico-químicas.....	17
Figura 3 – Esquema simplificado de preparação dos biofilmes de quitosana e glicerol.....	18
Figura 4 – Principais aplicações dos biopolímeros no Brasil.....	21
Figura 5 – Fluxograma de produção do biofilme de quitosana e glicerol.....	23
Figura 6 – Filmes produzidos nas quatro formulações distintas	27
Figura 7– Biofilmes produzidos com 1g de quitosana e com 1g de quitosana e 0,4g de glicerol.....	29
Figura 8 – Ganho de massa dos filmes.....	30
Figura 9 – Ensaio de Tração dos filmes.....	31
Figura 10 – Difractogramas da quitosana comercial e do biofilme a base de 100% quitosana.....	33
Figura 11– Difractogramas dos biofilmes a base de quitosana e do com 0,4g de glicerol.....	34
Figura 12 – Ensaio TGA dos filmes.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição de cada biofilme.....	27
Tabela 2 – Resultados da espessura dos filmes produzidos.....	29
Tabela 3 – Resultados da análise de PVA.....	30
Tabela 4 – Resultados dos valores médios do ensaio mecânico de tração.....	32
Tabela 5 – Solubilidade dos filmes em água.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DRX – Difração de raios-X

TGA – Análise Termogravimétrica

ASTM – Sociedade Americana para Testes de Materiais

PVA – Permeabilidade ao Vapor d'água

pH – Potencial Hidrogeniônico

pKa – Constante de acidez

CaCl₂ – Cloreto de Cálcio

NaOH – Hidróxido de Sódio

LISTA DE SÍMBOLOS

ε – Deformação

ε_{\max} – Deformação máxima de ruptura

F – Força de ruptura

L – Elongação do filme

li – Índice de Intumescimento

L_0 – Comprimento inicial do filme

S – Área de secção do filme

σ – Tensão de ruptura

σ_{\max} – Tensão máxima de ruptura

A – Área de superfície exposta do filme

m_{ab} – Massa de umidade absorvida

t – Tempo

e – Espessura

ΔP – Variação de pressão através do filme

θ – Ângulo de Difração de Bragg

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivo geral.....	13
2.2 Objetivos específicos.....	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1 Biofilme.....	14
3.2 Quitosana.....	15
3.2.1 Propriedades físico-químicas da quitosana.....	16
3.3 Biofilme a base de quitosana.....	17
3.4 Glicerol.....	18
3.5 Técnicas de caracterização.....	19
3.6 Parâmetros relevantes na escolha da embalagem.....	20
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
4.1 Produção dos biofilmes.....	22
4.2 Espessura do biofilme.....	23
4.3 Ensaio mecânico de tração do biofilme.....	23
4.4 Ensaio de permeabilidade ao vapor de água.....	24
4.5 Difração de Raio-X.....	25
4.6 Grau de intumescimento.....	25
4.7 Ensaio de termogravimetria.....	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
5.1 Espessura do biofilme.....	28
5.2 Ensaio de permeabilidade ao vapor de água.....	28
5.3 Ensaio mecânico de tração do biofilme.....	30
5.4 Difração de Raio-X.....	32
5.5 Ensaio de termogravimetria.....	34
5.6 Grau de intumescimento.....	35
6. CONCLUSÃO.....	37
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

A embalagem é o recipiente destinado a garantir a conservação, transporte e manuseio dos alimentos. A necessidade de produção em larga escala de embalagens duráveis, para utilização diária no mercado, fez com que os polímeros assumissem um papel de destaque em praticamente todos os segmentos de produção. A produção de materiais plásticos começou a ser produzida em uma escala industrial entre as décadas de 1940 e 1950. Durante os últimos 15 anos, a produção anual global de plásticos duplicou. Os plásticos mais procurados são o polipropileno (PP) (21%), polietileno de baixa e alta densidade (18% e 15%, respectivamente) e o policloreto de vinila (PVC) (17%). Quando descartados, esses materiais possuem longo tempo para degradarem, alguns exigem mais de 10 anos, fato que gera um grande impacto ambiental (HAHLADAKIS, 2018).

Neste cenário atual, houve grande interesse na pesquisa e desenvolvimento de materiais de embalagens biodegradáveis com intuito de diminuir o acúmulo de resíduos plásticos no meio ambiente. Uma solução parcial para este problema seria a utilização de um material alternativo na fabricação de embalagens. Devido a seu baixo custo de produção e excelente biodegradabilidade, a quitosana é considerada uma matéria-prima que possui inúmeras aplicações e vantagens, sendo a biodegradabilidade e a não toxicidade suas propriedades mais atrativas para a produção de filmes biodegradáveis (PREETI, 2021).

Conseqüentemente houve um aumento do interesse na utilização desses polímeros para aplicação em embalagens de alimentos, devido ao crescimento da demanda por embalagens biodegradáveis. Com isso, a indústria de embalagens de alimentos enfrenta alguns desafios que é produzir embalagens de base biológica que combinem a durabilidade da embalagem e o prazo de validade do produto (VIÉGAS, 2016). O uso dos filmes biodegradáveis como embalagem vai depender de suas propriedades funcionais, como propriedades mecânicas de resistência e flexibilidade, propriedades de barreira de permeabilidade ao vapor de água, solubilidade em água e propriedades térmica e estrutural.

Assim, a procura de alternativas de fontes renováveis de matérias-primas nas últimas décadas para substituir fontes fósseis está em grande crescimento. Esses materiais biodegradáveis e de fonte renovável, os biopolímeros, geram grandes

benefícios ambientais como diminuição da emissão de dióxido de carbono liberado no processo de decomposição dos polímeros sintéticos (RODRIGUES, 2018).

O esforço no desenvolvimento de diferentes tipos de materiais para produção de embalagens tem sido cada vez maior, a fim de melhorar a sua eficácia na manutenção da qualidade dos alimentos. Biopolímeros estão no centro das atenções, a sua produção e seu uso aumentam continuamente a uma taxa muito elevada (FECHINE, 2010). Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo produzir biofilmes à base apenas de quitosana e de quitosana com glicerol; verificar qual a melhor proporção de glicerol e caracterizar de acordo com as propriedades mecânica, térmica e estruturais, visando seu potencial para aplicação em embalagens de alimentos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Produzir biofilmes à base de quitosana e glicerol e caracterizar suas propriedades térmicas, mecânicas e estruturais verificando o potencial para possível aplicação como embalagem de alimentos.

2.2 Objetivos específicos

- Produzir biofilmes à base de quitosana e glicerol em diferentes composições;
- Escolher duas das quatro formulações produzidas e caracterizá-los;
- Avaliar as propriedades mecânicas dos biofilmes através do ensaio de tração;
- Avaliar as propriedades térmicas dos biofilmes a partir do ensaio de termogravimetria;
- Fazer o estudo das características estruturais do filme através da sua espessura, análise de Difração de Raio-X e índice de intumescimento;
- Analisar as propriedades de barreira a partir da análise de permeabilidade ao vapor d'água do biofilme produzido;
- Comparar os resultados obtidos nas caracterizações com o Policloreto de vinila (PVC);
- Após a caracterização dos biofilmes, avaliar uma possível aplicação para embalagens de alimentos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No presente capítulo será abordada uma revisão de literatura relacionada ao tema proposto para este trabalho. Será apresentado um levantamento sobre o tema a partir de pesquisas em livros, artigos, teses, dissertações e trabalhos de conclusão de curso cobrindo o assunto referente à síntese e caracterização de biofilmes à base de quitosana e glicerol.

3.1 Biofilme

Biofilmes são definidos como filmes finos preparados a partir de materiais biológicos derivados de polissacarídeos, proteínas ou lipídios, que quando usados como embalagem, agem como barreira a elementos externos como umidade, óleo e gases e, conseqüentemente, protegem o produto, aumentando a sua vida de prateleira, conforme Plamu, Fakhouri, Grosso (2002) e Dias (2008) e controlando a perda de umidade. Dessa forma, controla a respiração do produto e aumenta sua durabilidade (ASSIS, 2009).

A produção de biofilmes se baseia na formulação de uma solução na qual os materiais biodegradáveis são solubilizados em um solvente como água, etanol ou ácidos orgânicos; conjuntamente com um acréscimo de plastificantes, assim se obtém uma solução homogênea que, ao passar por um processo de aquecimento, resulta em uma solução filmogênica em forma de gel. Com essa solução preparada, os filmes passam por um processo de secagem do solvente. Essa técnica é chamada de *casting* (ALVES, 2009).

O processo de preparação de filmes recorrente na literatura do método de *casting*, consiste no espalhamento de uma solução filmogênica (macromoléculas, solvente e plastificante) em um suporte, seguido de desidratação lenta a baixa temperatura (MULLER; YAMASHITA; LAURINDO, 2008; DIAS, 2008).

A formação dos biofilmes ocorre na presença de macromoléculas, para formar uma rede polimérica, solvente e plastificante. Geralmente nesse processo, de acordo com Tharahatan (2003) envolve associações inter e intramoleculares ou ligações cruzadas de cadeias de polímeros formando uma rede tridimensional semi-rígida que retém o solvente. Entre os polissacarídeos que podem formar filmes estão os

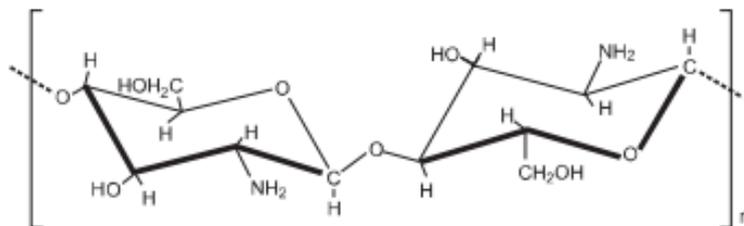
derivados de celulose, amido, alginatos, quitosanas, pectinas e diferentes gomas (DIAS, 2008).

3.2 Quitosana

Conforme Dias (2003) a quitosana é um copolímero de origem natural derivado do processo de desacetilação da quitina. É um biopolímero com uma funcionalidade versátil devido à presença de grupos aminos responsáveis pelas propriedades do polímero. Embora seja utilizado para várias aplicações industriais, tais como biomédica, agricultura, tratamento de água, indústria cosmética, entre outras, a mais utilizada recentemente é como material biodegradável antimicrobiano para produção de embalagem de alimentos (RHIM, 2021).

A quitosana, possui uma estrutura molecular quimicamente similar à fibra vegetal chamada celulose, diferenciando-se somente nos grupos funcionais. A Figura 1 mostra a estrutura molecular da quitosana, onde os grupos amino (NH_3^+) estão dispostos na sua estrutura geral.

Figura 1 – Estrutura molecular da quitosana



Fonte: Adaptado de Viégas (2016, p. 38)

A obtenção da quitosana é baseada na desacetilação da quitina. O isolamento da quitina – comumente encontrada no exoesqueleto de crustáceos, como o camarão –, ocorre em duas etapas: inicialmente, minerais como carbonato de cálcio e fosfato de cálcio são solubilizados usando ácido clorídrico. Após essa etapa, proteínas são removidas pelo tratamento com uma solução de hidróxido de sódio diluído que após lavagem e secagem é obtido um material em forma de flocos. Por fim, a quitosana é obtida a partir do aquecimento da quitina com solução de hidróxido de sódio concentrada que hidrolisa os grupos *N*-acetil, segundo Horn (2012). O rendimento e as propriedades da quitosana dependem do controle de cada etapa do processo.

Entre os fatores que são relevantes e podem afetar a eficiência da desacetilação e as características da quitosana estão: a temperatura e tempo de reação; adição de diluente; tamanho das partículas de quitina; entre outros (ROBERTS, 1992; ROLIM *et al.*, 2018).

A perspectiva de aplicações da quitosana é ainda maior pela possibilidade da mesma ser preparada em diferentes formas, tais como soluções de viscosidade controlada, géis, filmes, microesferas e nanopartículas (ARNAULD *et al.*, 2017).

3.2.1 Propriedades físico-químicas da quitosana

A quitosana é encontrada comercialmente em forma de pó. Ainda não existe um padrão internacional dos parâmetros físicos e químicos para este biopolímero (HIRANO, 1989; NEVES, 2013).

Sabe-se que durante o processo de obtenção da quitosana, altas temperaturas e concentrações elevadas de reagentes podem acarretar danos irreparáveis à qualidade deste polímero, modificando o grau de desacetilação, massa molecular, viscosidade, entre outras propriedades (SOUSA; BRAGA; SOSNIK, 2015). A quitosana é uma base fraca insolúvel em água, mas solúvel em soluções ácidas diluídas abaixo do seu pKa (6,3), onde as unidades de glucosamina (-NH₂) podem ser convertidas na sua forma protonada e solúvel (NH₃⁺), tornando o polissacarídeo solúvel na faixa de pH entre 2,0 e 6,0. Para solubilizar o polímero, soluções aquosas de ácido acético entre 1 e 3% são utilizadas (DIAS, 2012).

A solubilidade da quitosana depende da sua origem biológica, massa molar e grau de desacetilação, afetando diretamente suas aplicações (SOUSA; BRAGA; SOSNIK, 2015).

O grau de desacetilação da quitosana influenciará nas propriedades físico-químicas da quitosana conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Relação entre o grau de desacetilação da quitosana e sua influência nas propriedades físico-químicas



Fonte: Rolim *et al.* (2018, p. 5)

Observa-se na Figura 3, que dentre as propriedades que dependem do grau de desacetilação da quitosana destacam-se: variação da massa molar, da cristalinidade, taxa de absorção de água, taxa de degradação, solubilidade, propriedades mecânicas, resposta biológica do material, entre outras. Uma menor massa molar resultará em uma melhor absorção de água, melhor dissolução e maior solubilidade (ROLIM *et al.*, 2018).

O grau de desacetilação e o processo pelo qual a quitosana foi obtido influenciam em sua cristalinidade. A viscosidade da solução de quitosana aumenta proporcionalmente ao aumento da concentração, e essa viscosidade diminui com o aumento da temperatura, influenciando também nas propriedades biológicas (ROLIM *et al.*, 2018).

3.3 Biofilme à base de quitosana

A quitosana é um polímero versátil e biodegradável promissor para embalagem de alimentos, sendo o filme de quitosana considerado como material biofuncional.

Além de possuir um grande potencial para embalagens, devido à sua atividade antimicrobiana e não-toxicidade, essas propriedades fazem da quitosana uma escolha ideal para o uso como um material antimicrobiano biodegradável de embalagem que pode ser usado para melhorar a capacidade de armazenamento de alimentos perecíveis (DUTTA *et al.*, 2009; VIÉGAS, 2016).

Conforme já mencionado, biofilmes de quitosana são produzidos principalmente através do método *casting*, pelo qual o pó ou floco de quitosana é dissolvido em uma solução aquosa ácida, sendo esta solução vertida posteriormente em placas e secas em temperatura ambiente ou temperaturas mais elevadas. Após secas, normalmente os biofilmes são neutralizados em solução diluída de NaOH (TAKARA; MARCHESI; OCHOA, 2015).

A Figura 3 representa um esquema simplificado do processo de produção dos biofilmes.

Figura 3 – Esquema simplificado de preparação dos biofilmes de quitosana e glicerol



Fonte: Adaptado de Chagas (2017 p. 40)

A solução filmogênica é preparada a partir da diluição da quitosana em ácido acético, com aquecimento e em agitação constante a uma temperatura ambiente. Após dissolvida, é adicionado agente plastificante, neste caso o glicerol conforme descrito por Soares (2014). Após esta etapa inicial, a solução é vertida em placas de acrílico alíquotas e armazenadas em estufa a uma temperatura de ambiente, para haver a remoção do solvente, de acordo com Chagas (2017). Por fim, os biofilmes são mantidos em dessecador para retirar a umidade restante (MACENO, 2019).

3.4 Glicerol

A produção global de biodiesel vem crescendo nos últimos anos. Em 2016 foram produzidos mais de 30,8 milhões de toneladas, mais de 7,5% mais que em

2015. Estima-se que a produção de biodiesel irá crescer cerca de 4,5% anualmente atingindo 41 milhões de toneladas em 2022. Com isso a produção de glicerol – principal subproduto do processo – aumenta proporcionalmente. Portanto, encontrar novas destinos de aplicação para o glicerol é muito importante a fim de assegurar a sustentabilidade da produção global de biodiesel (MONTEIRO, 2018).

O 1,2,3 propan-triol, comumente chamado de glicerol, tem a possibilidade de ser utilizado para diferentes aplicações por ser baseada nas suas propriedades físicas e químicas, que incluem: baixa volatilidade, higroscopicidade, efeito plastificante, promove flexibilidade, solubilidade, estabilidade, elevada viscosidade e ainda considerado um produto não-tóxico (MONTEIRO, 2018).

O glicerol vem sendo amplamente utilizado no processo de produção de biofilmes e considerado uma matéria-prima renovável que, por ser um plastificante, ao ser introduzido em filmes biodegradáveis promove alterações significativas de suas propriedades e, assim, garante uma ampla faixa de aplicação. Sem a ação deste plastificante, o filme tem uma estrutura rígida e quebradiça, o que torna inviável a sua produção (GONÇALVES, *et al.*, 2019).

3.5 Técnicas de caracterização

Os filmes devem apresentar algumas características para atuarem como embalagens de alimentos, como: qualidade sensorial, propriedades de barreira, propriedades mecânicas eficientes, estabilidade microbiológica, físico-química e bioquímica, ausência de componentes tóxicos ou prejudiciais à saúde, tecnologia simples, baixo custo e não poluentes (SILVA, 2011).

A fim de tornar os biofilmes capazes de competir com filmes tradicionais – como o polietileno – que são considerados fortes e dúcteis, há necessidade de melhorar suas propriedades incluindo as térmicas, mecânicas e de barreira, além de diminuir o custo em relação aos derivados do petróleo. Estratégias utilizando blendas de polímeros, adição de plastificantes como glicerol, aumentam a flexibilidade do produto (ALMEIDA, 2010).

As técnicas de caracterização do biofilme são analisadas de acordo com a aplicabilidade do biofilme produzido. Geralmente são caracterizados quanto à sua espessura, difração de Raio-X, permeabilidade ao vapor de água e as propriedades mecânica e térmica (SILVA, 2011).

O uso de materiais biodegradáveis em embalagens para alimentos depende além dos parâmetros como custo e disponibilidade, de suas propriedades funcionais como: propriedades mecânicas (resistência e flexibilidade), propriedades de barreira (permeabilidade ao vapor de água), solubilidade em água, propriedades ópticas (opacidade) (BRAGA, 2018). A principal propriedade mecânica dos filmes é a resistência à tração, expressa pela tração máxima desenvolvida pelo filme no teste. As propriedades térmicas são analisadas por meio de um ensaio que mede a variação da massa do biofilme em função da variação de temperatura imposta ao material analisado. A permeabilidade dos filmes é a medida obtida através da passagem de um material permeante de um lado do filme para o outro quando ambos são expostos a diferentes concentrações desse permeante em um determinado tempo, sendo ainda importante o conhecimento da área do filme exposto e sua espessura (BRAGA, 2018).

Leceta, Guerrero e De La Caba (2013), desenvolveram filmes de quitosana através do método de *casting*, usando diferentes concentrações de glicerol. Foi observado que com a adição do glicerol os filmes tornaram-se mais flexíveis e com maior caráter hidrofílico. Além disso, as propriedades de barreira aos vapores de água e gás oxigênio se mantiveram mesmo com a adição do glicerol. Segundo Soares *et al.* (2014), os biofilmes plastificados com glicerol demonstram uma plastificação satisfatória devido à obtenção de filmes de espessura mais regular e menos espessa. O desafio de aplicar os filmes biodegradáveis em embalagens de alimentos é que estes devem ser seguros durante o tempo necessário, e só ao término do uso ou função poderão iniciar o processo de decomposição.

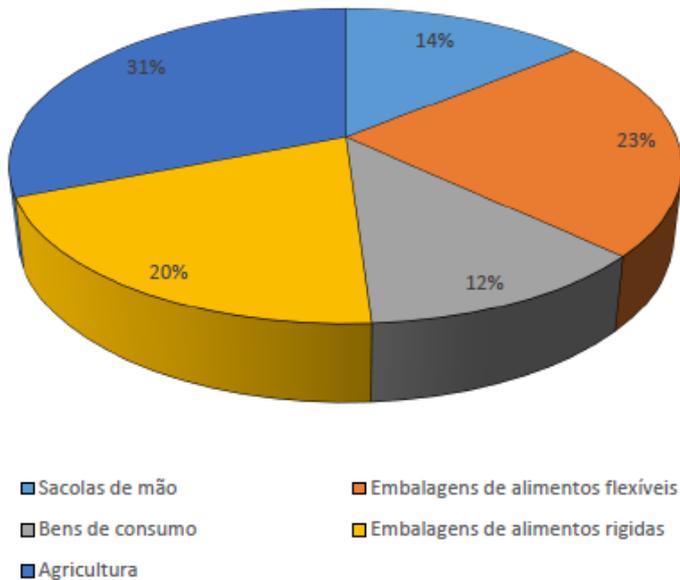
Citado por Chagas (2017), Epure *et al.* (2011), estudaram filmes de quitosana plastificados com glicerol preparados via tratamento termomecânico. Neste trabalho, o glicerol foi adicionado em concentração fixa de 25% e os efeitos da adição nas propriedades mecânicas e na capacidade de absorção de água do polímero foram estudados. Os autores observaram que, com a adição do glicerol, houve um aumento da elasticidade do polímero e a redução da tensão de ruptura (tensão máxima que o material suporta, ou seja, acima deste valor a estrutura rompe).

3.6 Parâmetros relevantes na escolha da embalagem

No Brasil, as principais aplicações dos polímeros biodegradáveis são nos segmentos de embalagens de alimentos, sacolas, filmes para agricultura e produtos

de consumo. A Figura 4 mostra o gráfico referente ao percentual das principais aplicações destes polímeros no Brasil.

Figura 4 – Principais aplicações dos biopolímeros no Brasil



Fonte: Viégas (2016, p. 23)

A conservação de alimentos exige normalmente tratamentos físicos e químicos para manter ou aumentar o *self life* (vida de prateleira), assim o uso de embalagens rígidas e flexíveis são imprescindíveis, visto que esta tem que agir como barreira entre o ambiente externo e o alimento, por isso as embalagens de alimentos estão se tornando cada vez mais importantes na indústria alimentícia (SIRACUSA *et al.*, 2008; VIÉGAS, 2016).

Além de serem utilizadas como recipiente, as embalagens também evitam ou pelo menos diminuem a troca de umidade e gases entre o alimento e o ambiente. Estes tipos de embalagens garantem a qualidade e a segurança dos produtos alimentares durante o armazenamento e transporte, além de impedir o contato com contaminantes químicos, umidade, luz, entre outros. Para realizar tais funções, materiais de embalagem fornecem proteção física e criam condições físico-químicas adequadas para produtos (SORRENTINO; GORRASI; VITTORIA, 2007; VIÉGAS, 2016).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho utilizou-se a quitosana, fornecida pela Golden-Shell Pharmaceutical na forma de pó com um grau de desacetilação igual a 88% e o glicerol (glicerina comercial) manipulado na farmácia Mistura da Terra (Bagé/RS) com 99,6% de pureza, como matérias-primas na formulação dos biofilmes. A água destilada, o ácido acético P.A. com pureza de 99,95% e o ácido sulfúrico 30% m. m. são os reagentes que foram utilizados na formulação junto das matérias-primas para auxiliar em uma melhor homogeneidade das soluções filmogênicas. As vidrarias utilizadas no processo de formulação dos biofilmes foram os béquers, bastão de vidro, placas de acrílico e termômetro. O trabalho experimental foi desenvolvido nos laboratórios 1101, 1102 e 2107 da UNIPAMPA – Campus Bagé.

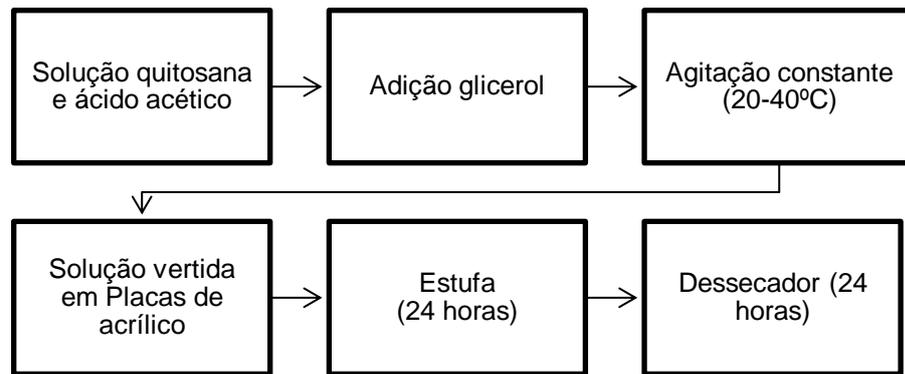
4.1 Produção dos biofilmes

Inicialmente foi realizado o preparo de quatro diferentes soluções filmogênicas para assim escolher duas formulações e realizar a etapa de caracterização. Os biofilmes foram preparados segundo o método de *casting*. Conforme adaptação da metodologia proposta por Chagas (2017), inicialmente realizou-se o preparo das soluções filmogênicas a partir da dissolução de 1g de quitosana em 50mL e 100mL de ácido acético 1% (v.v) utilizando béquers de 150mL, adicionando glicerol em três proporções distintas, sendo elas 20, 30 e 40% em massa, sendo em uma das formulações não foi adicionado glicerol. As soluções foram mantidas em agitação constante por 40 minutos a uma temperatura de 20°C com um aumento gradativo até 40°C utilizando uma chapa de aquecimento (Quimis) para total diluição da quitosana. Em seguida, foram depositadas uniformemente em placas de acrílico para que ocorresse a formação do filme. Seguidamente, as amostras foram colocadas em estufa (ETC45, Ética) a temperatura de 40°C por 24 horas. Após o processo de secagem, os filmes foram alocados em um dessecador por 24 horas para retirada da umidade remanescente.

Após escolhidas as formulações para serem produzidas e caracterizadas, o processo de produção manteve-se o mesmo, sendo utilizado uma solução de ácido

acético 1% com uma solução filmogênica de 50mL na dissolução de 1g de quitosana. A Figura 5 representa um esquema simplificado do processo de produção dos biofilmes.

Figura 5 – Fluxograma de produção do biofilme de quitosana e glicerol



Fonte: Autora (2021)

4.2 Espessura do biofilme

As medidas de espessura dos filmes foram feitas com o auxílio de um micrômetro externo digital (Insize, IP65). Para cada filme foi realizada a medida em dez pontos distintos das amostras e feito a média para ter um valor médio da espessura de cada filme.

4.3 Ensaio mecânico de tração do biofilme

O ensaio de tração foi realizado baseado na norma ASTM D882 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2018), com o auxílio de um Texturômetro (TA.TX, Stable Micro Systems). Os biofilmes foram dimensionados em padrões de 10mm por 80mm, sendo condicionados à temperatura ambiente por 24 horas antes da realização do ensaio, utilizando uma velocidade de ensaio de 10mm/min à 20°C. As amostras de cada filme foram analisadas em duplicatas.

As propriedades mecânicas dos filmes foram analisadas relacionando a tensão máxima de ruptura (σ_{\max}) e deformação máxima na ruptura (ϵ_{\max}). A deformação (ϵ) dos filmes foi determinada a partir da Equação 4:

$$\varepsilon = \frac{L}{L_0} \quad (4)$$

onde, L é a alongação do filme durante a deformação (mm) e L_0 é o comprimento inicial do filme (mm).

Através da medição da força necessária para se romper o filme foi determinada a tensão (σ), calculada a partir da Equação 5:

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (5)$$

onde, F é a força de ruptura (N) e S é a área de secção do filme (mm²).

4.4 Ensaio de permeabilidade ao vapor de água do biofilme

A permeabilidade dos filmes foi avaliada com o auxílio de uma técnica gravimétrica baseado na norma ASTM E96 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1995).

Os filmes foram aplicados em célula de permeação com uma área de aproximadamente 20,5 cm², utilizando anel de silicone, de modo que garantisse a migração de umidade ocorra exclusivamente através do filme. No fundo do frasco foi colocado 30g de cloreto de cálcio anidro granulado (CaCl₂). As células foram acondicionadas em um dessecador com 300mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) 30% m/m para controlar a umidade relativa em 75%.

As células serão pesadas durante 7 dias, em balança analítica (SHIMADZU, AU220 UniBloc), e assim foi possível estimar o ganho de massa do CaCl₂ em um intervalo de 24 h. A PVA será calculada pela Equação 6:

$$PVA = \left(\frac{m_{ab}}{t} \frac{e}{A\Delta P} \right) \quad (6)$$

Onde PVA é a permeabilidade ao vapor d'água (g/m.s.Pa), m_{ab} a massa de umidade absorvida (g) pelo CaCl₂, t o tempo total dos ensaios (segundos), e a espessura do filme (m), A a área da superfície exposta do filme (m²) e ΔP a variação de pressão através do filme (Pa).

4.5 Difração de Raio-X (DRX)

A estrutura cristalina dos filmes foi observada a partir do método de Difração de Raio-X, bem como a metodologia utilizada por Erthal (2018), utilizando o equipamento Difratorômetro (Miniflex 300, Rigaku). Os filmes foram fixados em um suporte de vidro e o equipamento operou com radiação de cobre $K\alpha$, com voltagem de 40Kv e corrente de 20 mA. As amostras foram analisadas com uma varredura angular de 2θ de 0 a 70° .

4.6 Índice de intumescimento

O índice de intumescimento foi determinado segundo o método utilizado por Maceno (2019) a partir da diferença da massa dos biofilmes após determinado intervalo de tempo submerso em água. Os filmes nas diferentes composições produzidas foram cortados com tamanhos de 4 cm² e, em seguida distribuídos em placas de acrílico. Posteriormente, as placas foram colocadas em estufa a 70°C , por aproximadamente 15 horas, visando determinar a perda total de umidade.

As amostras foram pesadas em balança analítica depois de completarem 24 horas dentro do dessecador e após foram imersas em béquers de 100mL contendo água destilada com pH 7 e mantidas em intervalos de tempo de 1, 2, 20 e 48 horas. Ao final do tempo as amostras foram removidas e cuidadosamente enxugadas. O mesmo procedimento foi adotado para todas as outras amostras mantidas por períodos correspondendo aos intervalos propostos de imersão. Para o cálculo do índice de intumescimento ($li\%$) foi utilizada a Equação 7:

$$li\% = \frac{\textit{peso}_{final} - \textit{peso}_{inicial}}{\textit{peso}_{inicial}} \times 100 \quad (7)$$

4.7 Ensaio de termogravimetria

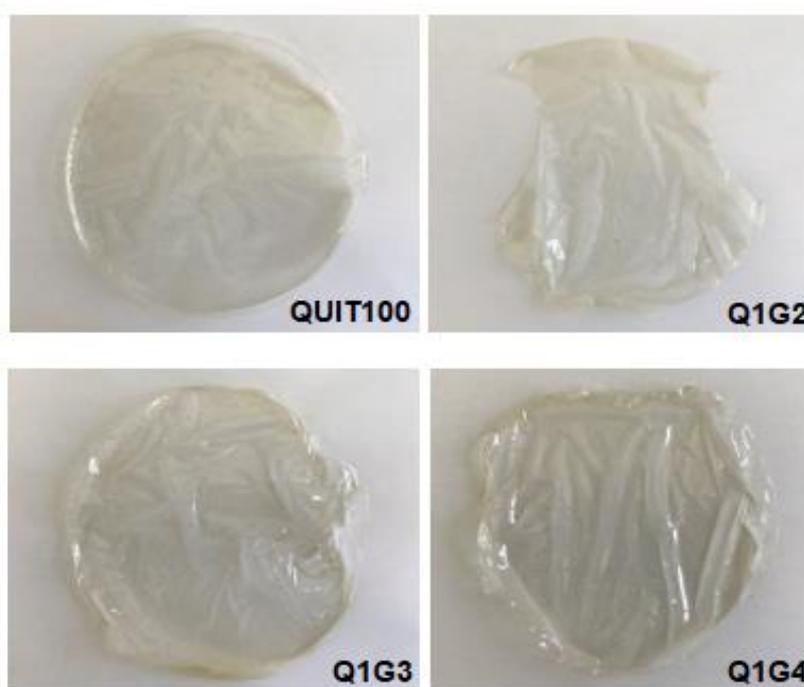
A análise termogravimétrica foi realizada em um Analisador Térmico (TGA-50, Shimadzu) sob fluxo de nitrogênio de 10mL/min numa faixa de temperatura de 10 a

800°C com uma taxa de aquecimento de 10°C/min, com o objetivo de analisar a variação de massa da amostra em função da temperatura ou do tempo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas subseções a seguir, serão apresentados os resultados das análises propostas na metodologia acompanhado de comparações de resultados que outros autores reportaram na literatura para filmes semelhantes ao do presente trabalho. Na Figura 6 são apresentados os filmes produzidos nas formulações detalhadas em gramas na Tabela 1, para escolher visualmente quais filmes caracterizar.

Figura 6 – Filmes produzidos nas quatro formulações distintas.



Fonte: Autora (2021).

Tabela 1 – Composição de cada biofilme

Amostra	Quitosana (g)	Glicerol (g)
QUIT100	1,0000	0,0000
Q1G2	1,0004	0,2000
Q1G3	1,0001	0,3010
Q1G4	1,0000	0,4570

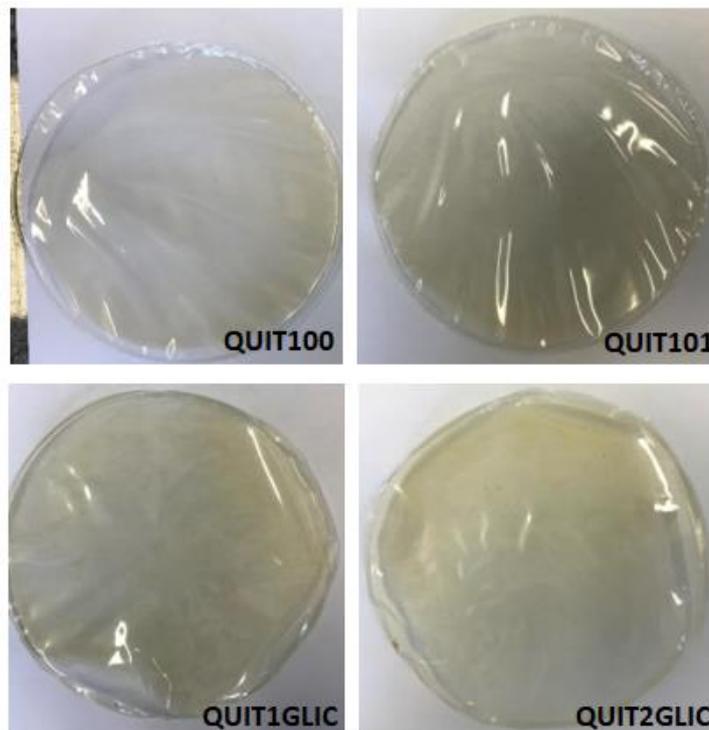
Fonte: Autora (2021).

Visualmente o filme apenas com quitosana apresentou-se translúcido a luz visível em comparação com os filmes que foram adicionadas quantidades diferentes

de glicerol. O filme com quitosana possuiu um visual mais opaco comparado com os demais. Todos os filmes produzidos se mostraram homogêneos e contínuos, diferenciando minimamente na coloração e na textura das amostras. Além disso, apresentaram uma maleabilidade satisfatória ao toque. Nesta primeira etapa, foi escolhido os filmes contendo apenas quitosana e quitosana com 0,4g de glicerol em para ser realizadas as caracterizações.

Na escolha das duas composições foi levado em consideração o aspecto da textura, melhores resultados vistos a olho nu e mesmo que os filmes com glicerol nas quantidades de 0,2 e 0,3g tenham tido bons resultados, foi definido para caracterizar além do filme apenas com 1g de quitosana os com 0,4g de glicerol pelo fato de um dos objetivos ser verificar uma possível aplicação como embalagem de alimentos, precisando então possuir determinadas características. Na Figura 7 estão apresentadas as amostras de filmes produzidas em duplicata.

Figura 7– Biofilmes produzidos com 1g de quitosana e com 1g de quitosana/0,4g de glicerol em massa



Fonte: Autora (2021).

5.1 Espessura

As espessuras das amostras dos filmes estão apresentadas na Tabela 2. É possível notar que os filmes contendo apenas quitosana (QUIT100) apresentaram um valor de espessura maior em relação aos filmes que contém quitosana e glicerol (QUITGLIC) e significativamente maior se comparados com o filme comercial de policloreto de vinila (PVC). Esse fato foi possível observar visualmente durante a síntese dos filmes.

Tabela 2 – Resultados da espessura dos filmes produzidos

Amostra	Espessura (mm)
QUIT100	0,1356 ± 0,0003
QUITGLIC	0,1234 ± 0,0002
PVC	0,0170 ± 0,0030

Fonte: Autora (2021)

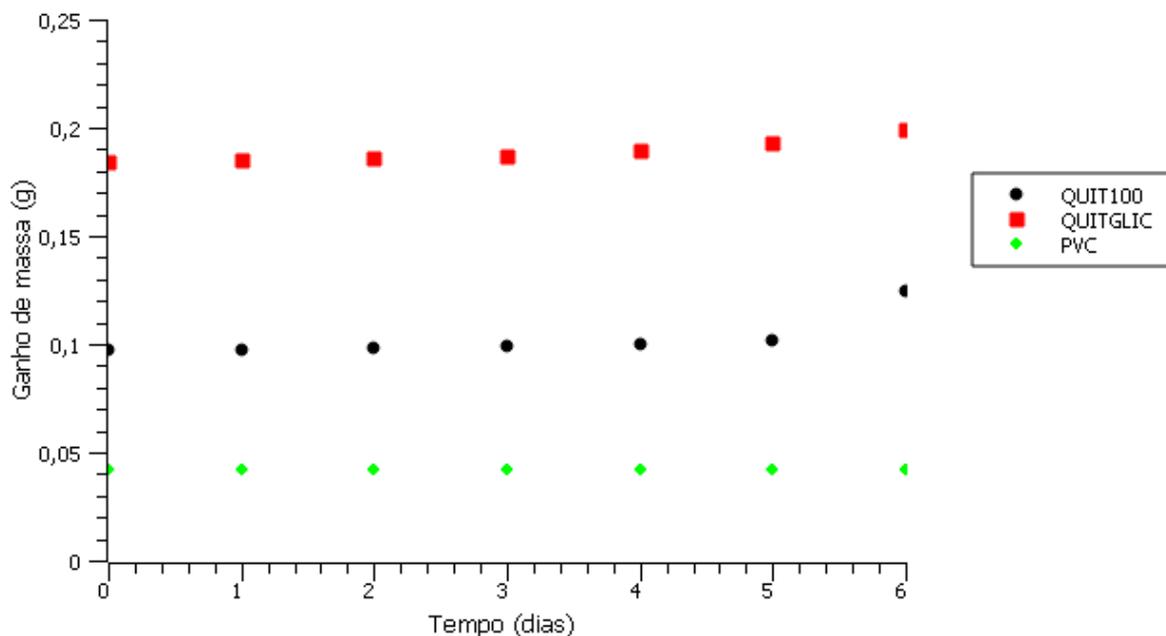
As espessuras dos filmes sintetizados ficaram na mesma ordem de grandeza que os descritos na literatura, por Silva *et al.* (2015) os quais obtiveram valores de 0,0938 mm para filmes com 2% de quitosana em uma solução filmogênica de 55mL e de 0,101 mm para a mesma proporção de quitosana, porém em 70mL de solução.

5.2 Permeabilidade ao vapor d'água (PVA)

O ensaio de permeabilidade ao vapor d'água avalia a transferência de vapor de água através de filmes permeáveis e os resultados desta análise são importantes para filmes destinados a embalagens. Isso se deve ao fato de que o filme destinado para embalagem alimentícia possui a finalidade de proteger o alimento contra agentes externos.

Por este motivo, avaliou-se o ganho de massa durante o período de 7 dias, onde as amostras de filmes tiveram um aumento pouco significativo da sua massa. Esse comportamento pode ser observado na Figura 8 que ilustra o ganho de massa pelo tempo de análise para todas as amostras de filmes.

Figura 8: Ganho de massa dos filmes



Fonte: Autora (2021).

A permeabilidade ao vapor d'água das amostras está apresentado na Tabela 3, onde observa-se que os filmes apenas com quitosana obtiveram um menor valor de PVA, mesmo não havendo grande diferença em comparação com os filmes contendo glicerol.

Tabela 3 – Resultados da análise de PVA

Amostra	PVA (g/m.h.KPa)
QUIT100	1,15E-03
QUITGLIC	1,99E-03
PVC	2,93E-02

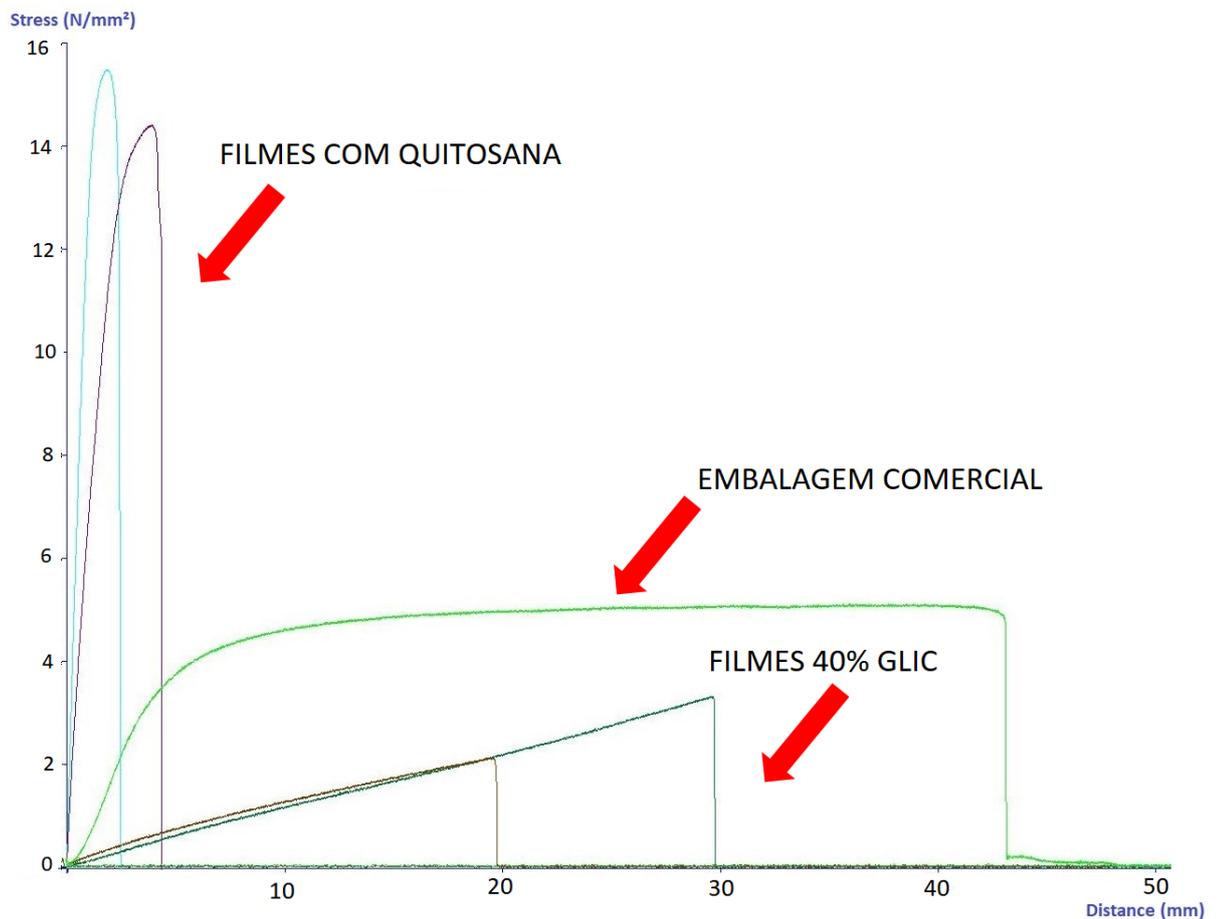
Fonte: Autora (2021).

Os resultados encontrados para os filmes estão de acordo com a literatura, visto que o filme com glicerol apresenta um valor levemente maior de PVA em comparação ao filme de quitosana pura, isso pode ser devido à presença do glicerol considerado hidrofílico e suas moléculas podem ser inseridas entre as cadeias poliméricas, diminuindo as atrações moleculares e facilitando a migração de moléculas de vapor de água (ERTHAL, 2018).

5.3 Ensaio Mecânico de Tração

Outro parâmetro relacionado com a atração entre as moléculas em um biopolímero é a flexibilidade. A flexibilidade de um filme está relacionada com a sua deformação (ou alongamento) observado a partir da curva tensão-deformação, obtida no ensaio mecânico de tração. Os ensaios foram realizados no texturômetro, onde nota-se a diferença entre os filmes com quitosana que romperam com praticamente nenhuma elongação comparado os com os filmes de quitosana e glicerol nos quais a elongação foi mais pronunciada antes de romper.

Figura 9 – Ensaio de tração dos filmes



Fonte: Autora (2021)

Os resultados dos ensaios baseados nos dados a partir da Figura 10 estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados dos valores médios do ensaio mecânico de tração

Amostra	$\sigma_{\text{máx}}$ (N/mm²)	ϵ (%)	E (N/mm²)
QUIT100	14,9	21,46	71,46
QUIT1GLIC	2,65	54,91	5,46
PVC	5	151,95	3,29

Fonte: Autora (2021)

Sendo $\sigma_{\text{máx}}$ a tensão máxima de ruptura (N/mm²); ϵ a deformação e E o módulo de elasticidade (N/mm²).

A deformação ou alongação é definida pela variação do comprimento inicial e final do corpo de prova durante o ensaio. Na Tabela 3 pode-se notar, a partir dos valores médios, que os filmes com quitosana pura (QUIT) tiveram o menor valor de alongação, tendo aumentado esse parâmetro nos filmes de quitosana/glicerol (QUITGLIC), entretanto a alongação do filme comercial de PVC foi a maior. Considerando apenas os resultados dos biofilmes sintetizados, estes concordam com o descrito na literatura por Gonçalves (2019), os quais afirmam que o glicerol age entre as cadeias poliméricas, aumentando a mobilidade e, conseqüentemente, tornando os filmes mais flexíveis. Assim, o filme QUIT apresentou um comportamento frágil e o filme QUITGLIC um comportamento dúctil.

O módulo de elasticidade (E) é a relação entre a resistência à tração e a alongação corresponde à região elástica da curva. Ele indica a rigidez do biofilme, ou seja, quanto menor o valor do módulo, mais elástico e menos rígido será o biofilme. Observa-se também na Tabela 3 que, os filmes com quitosana pura (QUIT) apresentaram um valor médio do E de 71,46 N/mm², enquanto nos filmes com glicerol (QUITGLIC) e na embalagem comercial de PVC se observaram valores de E de 5,46 e 3,29 N/mm², respectivamente. Contrapondo apenas os valores dos biofilmes QUIT e QUITGLIC percebe-se uma notável diminuição no valor de E (e conseqüentemente aumento na flexibilidade) correspondente ao filme com glicerol (QUITGLIC) em relação ao filme com quitosana pura (QUIT).

Por sua vez, o filme contendo glicerol apresentou uma flexibilidade na mesma ordem de grandeza que a do filme de PVC. Conforme descrito por Passos (2015), os filmes sintetizados com a adição de glicerol melhoram a sua flexibilidade e diminuem

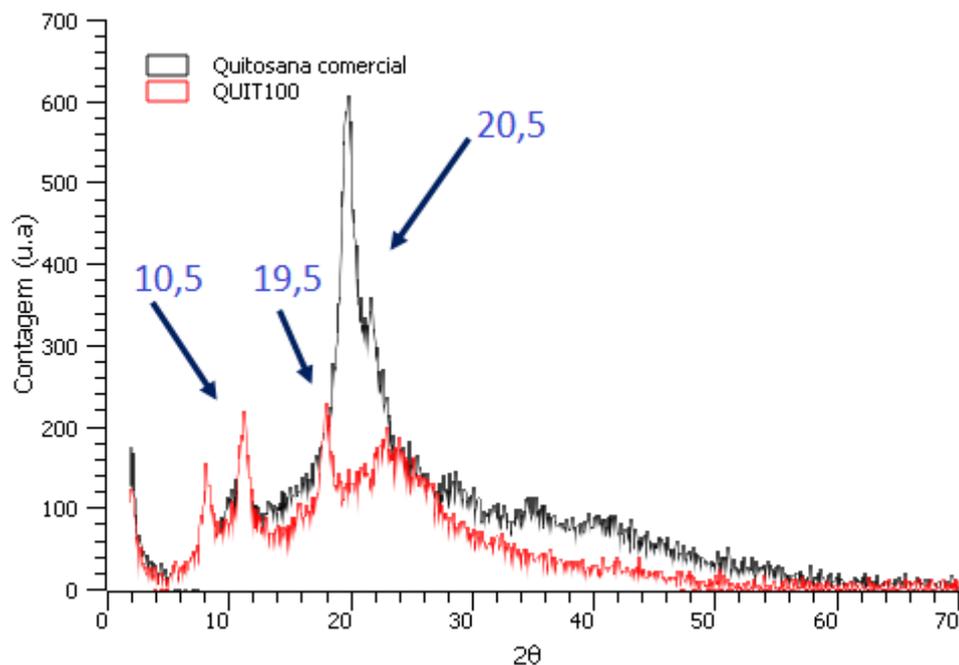
o seu módulo de elasticidade. Os resultados obtidos de tensão máxima de ruptura correspondentes aos biofilmes estão de acordo com o descrito por Chagas (2017).

5.4 Difração de Raio-X

A cristalinidade da quitosana é uma das características que mais afeta sua solubilidade em meio aquoso (Maceno, 2019). Segundo Ioelovich (2014), o estudo da estrutura molecular da quitosana é possível afirmar que é um polímero considerado semicristalino. Apesar de haver inúmeros trabalhos utilizando quitosana, os dados sobre a cristalinidade do material são incertos, complicando a compreensão real da organização estrutural deste polímero e a sua mudança após determinados tratamentos.

Segundo Uragami (2006) e Chagas (2013), as fortes interações intra e intermoleculares devido às ligações de hidrogênio entre os grupos amino, álcool e amida presentes na molécula de quitosana, fazem com que o material apresente certa cristalinidade. Os difratogramas da quitosana comercial e do filme produzido apenas com quitosana estão dispostos nas Figura 10 e 11, respectivamente.

Figura 10 – Difratogramas da quitosana comercial e do biofilme a base de 100% quitosana

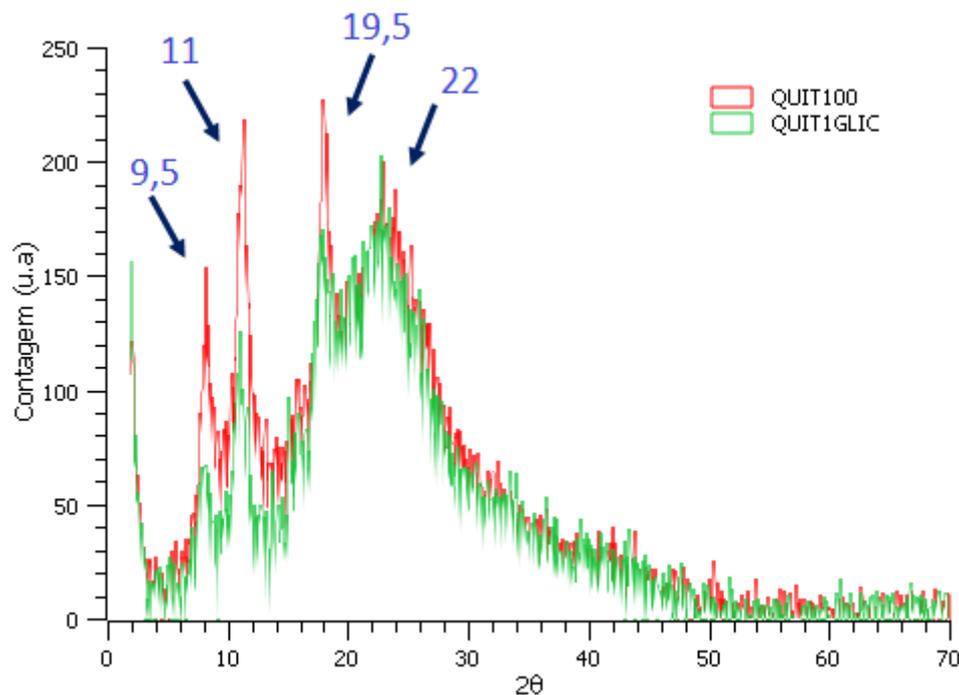


Fonte: Autora (2021)

Este fato pode ser visualizado nos difratogramas das Figura 9 e 10. Na Figura 9 a quitosana comercial em forma de pó apresentou dois picos marcados nos ângulos 2θ de 10° e de 20° . Estes picos também foram evidentes nos filmes contendo quitosana, porém, com um leve deslocamento para ângulos menores ($9,5^\circ$ e $19,5^\circ$) e com a aparição de picos maiores em $10,5^\circ$ e 24° . Cabe lembrar que um deslocamento para ângulos menores indica, conforme a lei de Bragg, um aumento entre a distância interplanar do material (CALLISTER, 2012).

Essa diferença entre os picos no difratograma da quitosana comercial em relação aos do filme contendo quitosana na sua composição como mostra na Figura 11, pode estar relacionado com a diluição da quitosana em ácido acético durante a produção da solução filmogênica e às condições adotadas na síntese do filme as quais pode ter modificado a sua estrutura e ordenamento de suas cadeias.

Figura 11– Difratogramas dos biofilmes a base de quitosana e do com 0,4g de glicerol



Fonte: Autora (2021)

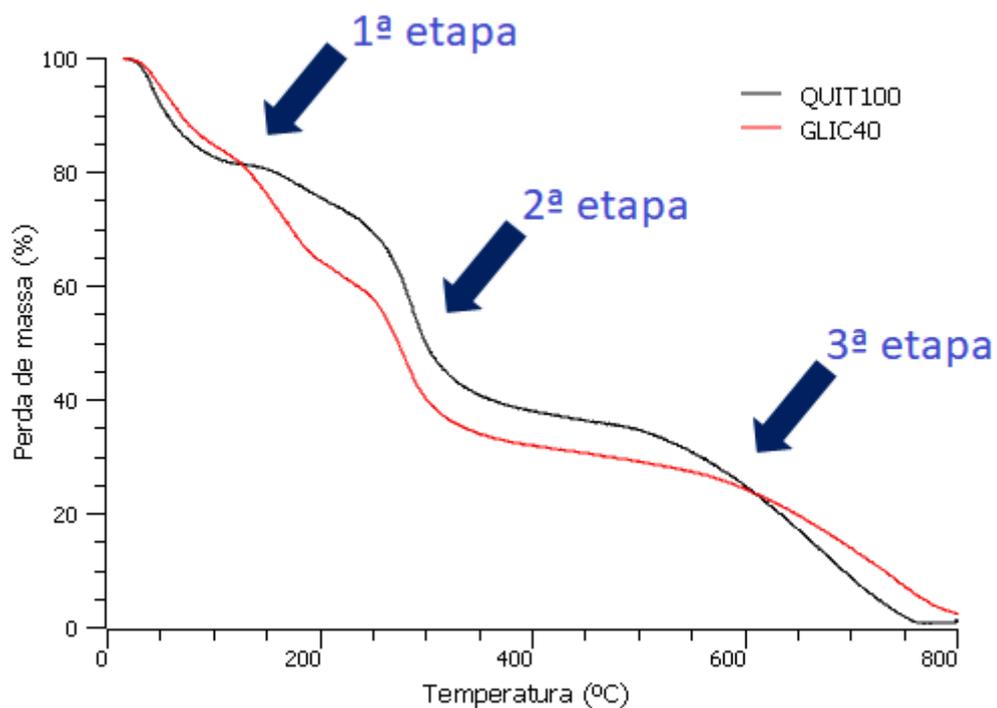
Na Figura 8 pode-se observar que os picos se mantiveram na mesma posição nos dois tipos de filmes, contendo quitosana, com e sem glicerol (QUITGLI e QUIT) indicando que não houve uma mudança significativa na cristalinidade do filme com a introdução do plastificante. Este comportamento pode indicar que o posicionamento

especial das cadeias permanece relativamente estável independente da adição do glicerol nos filmes.

5.5 Análise de Termogravimetria

Com o objetivo de prever o desempenho dos filmes quando submetidos a determinada temperatura e verificar a influência da incorporação do glicerol na solução filmogênica, o ensaio de termogravimetria deve ser analisado. As curvas dos dois tipos de filmes produzidos são mostradas na Figura 12.

Figura 12 – Ensaio TGA dos filmes



Fonte: Autora (2021)

O gráfico de perda de massa correspondente à amostra QUIT100 (quitosana pura) mostrou uma perda de massa até os 190°C, uma perda de massa menos acentuada entre 190°C e 250°C, uma perda significativa no intervalo de 250°C a 300°C, um patamar no intervalo 300°C-650°C e uma queda acentuada de massa de 650°C até 800°C. Em relação às curvas para as amostras QUITGLIC são evidenciados uma primeira fase de perda acentuada de massa até os 350°C, um

patamar no intervalo 350°C-650°C e uma queda acentuada de massa de 650°C até 800°C. Vale observar que próximo a temperatura de 200°C o filme com apenas quitosana teve um aumento de massa, fato que não justifica-se de acordo com a literatura. De modo geral, verificou-se uma semelhança entre as duas curvas. As diferentes etapas são atribuídas no primeiro estágio à perda de água, no segundo à desacetilação da quitosana e no terceiro à degradação do filme (DUARTE, 2010).

5.6 Índice de Intumescimento

Os resultados dos índices de intumescimento para as amostras dos filmes estão apresentados na Tabela 5. Não foi possível realizar o teste para os filmes QUIT100 e QUIT101 pois os filmes depois de umedecidos dissolveram-se na água em um pequeno intervalo.

Tabela 5 – Solubilidade dos filmes em água

Amostra (li%)	1h	2h	20h	48h
QUIT100	-	-	-	-
QUIT101	-	-	-	-
QUIT1GLIC	438,68	548,35	658,02	694,02
QUIT2GLIC	437,74	550,16	662,58	761,95

Fonte: Autora (2021)

Os resultados dos índices de intumescimento para as amostras dos filmes com quitosana pura e com adição de glicerol mostraram que, os filmes contendo apenas quitosana dissolveram-se em água logo após terem sido submersos enquanto os filmes contendo glicerol tiveram um aumento gradativo de massa, indicando absorção de água nos intervalos de tempo de 1, 2, 20 e 48h resultando em uma absorção média de 438, 549, 660 e 728% de aumento, respectivamente.

O grau de desacetilação é um parâmetro que na quitosana tem relação direta com a sua solubilidade em água, assim, a rápida dissolução dos filmes contendo apenas quitosana pode ser explicada devido ao alto grau de desacetilação da quitosana utilizada para a produção dos filmes. A presença de grupos amino e acetamido, incrementam a retenção e afinidade pela água (MACENO, 2019). Por

outro lado, o glicerol pode ter ajudado a aumentar as forças de ligações secundárias (pontes hidrogênio ou van der Waals) nos filmes em solução diminuindo a difusão da água entre as cadeias do filme e assim diminuído a sua solubilidade (ERTHAL, C. 2018).

6 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, foi possível concluir que as propriedades finais de um biofilme dependem das características dos materiais utilizados em sua formulação e o processo nos quais são submetidos. A partir da análise de espessura é notável que a adição de glicerol favoreceu a formação de filmes menos espessos comparados com os filmes que possuem apenas quitosana em sua formulação, como foi o caso do filme QUIT que teve um resultado médio de espessura de $0,13565 \pm 0,1410$ mm e com a adição do glicerol o filme QUITGLI obteve um resultado de $0,12340 \pm 0,1285$ mm.

O filme de quitosana pura obteve menor valor de PVA comparado com o filme que possui glicerol, a diferença não é significativa, porém esperava-se que o mesmo tivesse um resultado inferior comparado ao QUITGLIC pois o glicerol possui um caráter hidrofílico. Visto que os resultados da análise de permeabilidade foram relativamente baixos, esse tipo de filme a base de quitosana e quitosana e glicerol são melhores de serem utilizados para alimentos secos em função de sua baixa permeabilidade, não interferindo na qualidade do alimento.

O grau de intumescimento foi medido apenas dos filmes com glicerol, enquanto os filmes com quitosana diluíram-se em água em menos de uma hora, concluindo que o glicerol se torna indispensável na formulação, ocasionando filmes mais resistentes à imersão em solução aquosa. Os filmes com glicerol resistiram em um intervalo de tempo de 48 horas de imersão dentro da solução aquosa sem se dissolver, obtendo um intumescimento de até 761% em 48 horas de teste. Fato comprovado que o glicerol favoreceu a abertura das cadeias da quitosana permitindo uma melhor mobilidade e resistência à imersão em solução aquosa.

Na avaliação das propriedades mecânicas dos filmes, constatou-se que o glicerol é imprescindível para flexibilizar as cadeias e proporcionar uma maior alongação para os filmes, tendo como resultado uma alongação de aproximadamente 55%. Enquanto o filme com quitosana obteve uma alongação de apenas 21,46%. Referente ao Módulo de Elasticidade (E) os filmes com quitosana pura (QUIT100) apresentaram um valor médio maior comparado com os filmes contendo glicerol e o de PVC. Comparando apenas os valores dos biofilmes QUIT100 e QUITGLIC percebe-se uma notável diminuição no valor de E (e conseqüentemente aumento na

flexibilidade) correspondente ao filme com glicerol (QUITGLIC) em relação ao filme com quitosana pura (QUIT100). Conforme descrito por Passos (2015), os filmes sintetizados com a adição de glicerol melhoram a sua flexibilidade e diminuem o seu módulo de elasticidade. O glicerol é indispensável para se obter filmes flexíveis e dúcteis, o que é de interesse na aplicação em embalagens de alimentos.

A análise de DRX mostrou que entre os filmes produzidos não houve diferenças significativas na matriz polimérica, não havendo grandes alterações em seus picos. Na análise termogravimétrica foi avaliado as etapas de degradação de cada filme, havendo baixa diferença significativa entre elas. Sendo atribuídos ao primeiro estágio à perda de água, o segundo à degradação da quitosana e o terceiro à degradação do material. Verificou-se que houve semelhança entre as duas curvas, assim a adição do glicerol não resultou em uma alteração significativa.

Observa-se, portanto, que é possível modificar um polímero já existente e gerar derivados com potencial uso na indústria como aplicação em embalagem de alimentos, substituindo polímeros sintéticos que causam impacto ambiental.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir deste Trabalho de Conclusão de Curso realizado, foi desenvolvido um artigo com o tema “Síntese e caracterização de biofilme a base de quitosana e glicerol” para o 60º Congresso Brasileiro de Química (CBQ) que será realizado entre os dias 16 e 19 de novembro de 2021 totalmente online. Em função do limite de caracteres definidos pelas normas do Congresso, parte dos objetivos específicos e resultados obtidos presentes no trabalho não foram inseridos no artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, D. M. **Biofilme de blenda de fécula de batata e celulose bacteriana na conservação de fruta minimamente processada**. 2010. Tese (Doutorado em Processos Biotecnológicos Agroindustriais) – Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Processos Biotecnológicos Agroindustriais, Curitiba, 2010. Disponível em:

<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/25350/TESE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 05 mar. 2021.

ALVARENGA E. S.; OLIVEIRA C. P.; BELATTO C. R. An approach to understanding the deacetylation degree of chitosan. **Carbohydrate Polymers**, Amsterdam, v. 80, n. 4, p. 1155-1160, 2010. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861710000639>. Acesso em: 05 mar. 2021.

ALVES, J. S. **Elaboração e caracterização de filmes finos de amido de milho e parafina**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras. Programa de Pós-graduação em Ciência dos Alimentos, Lavras, 2009. Disponível em:

http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/3056/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Elabora%C3%A7%C3%A3o%20e%20caracteriza%C3%A7%C3%A3o%20de%20filmes%20finos%20de%20amido%20de%20milho%20e%20parafina.pdf. Acesso em: 03 mar. 2021.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIAL. **ASTM D882**: Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. West Conshohocken: ASTM International, 2018.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIAL. **ASTM E96**: Standard test methods for water vapor transmission of materials. West Conshohocken: ASTM International, 1995.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIAL. **ASTM D 570**: Standart test method for water absorption of plastics. West Conshohocken: ASTM International, 1998.

ARNAUD, T. M. S.; STAMFORD, T. C. M.; STAMFORD, T. L. M.; STAMFORD, N. P. Produção, propriedades e aplicações da quitosana na agricultura e em alimentos. **Biotecnologia Aplicada à Agro&Indústria**, v. 4, p. 503-528. São Paulo: Blucher, 2017. Disponível em: <https://openaccess.blucher.com.br/article-details/producao-propriedades-e-aplicacoes-da-quitosana-na-agricultura-e-em-alimentos-20265> Acesso em: 26 mar. 2021.

ASSIS, A. S. **Produção e caracterização do biofilme de quitosana como envoltório protetor em morangos**. 2009. Tese (Doutorado em Nutrição) – Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós-graduação em Nutrição, Recife, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/8618>. Acesso em: 05 mar. 2021.

AZEVEDO, V. V. C. *et al.* Quitina e quitosana: aplicações como biomateriais. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, [S. l.], v. 2.3, p. 27-32, 2007. Disponível em: https://www2.ibb.unesp.br/Museu_Escola/4_diversidade/alimentacao/Textos/Quitina_Quitosana.pdf. Acesso em: 12 mar. 2021.

BRAGA, R. S. **Desenvolvimento de filme polimérico à base de hemicelulose extraída do bagaço de cana-de-açúcar**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/4382/TCC%20Roberta%20da%20Silva%20Braga.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 30 mar. 2021

CANEVAROLO JÚNIOR, S. V. **Ciência dos polímeros: um teste básico para tecnólogos e engenheiros**. São Paulo: Artliber Editora Ltda., 2003.

CHAGAS, J. A. O. **Membranas de quitosana com glicerol para aplicação em tratamento de águas residuais**. 2017. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa de Pós-graduação em Química, Natal, 2017. Disponível em:
<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/22374>. Acesso em: 20 mar. 2021.

DALLAN, P. R. M. **Síntese e caracterização de membranas de quitosana para aplicação na regeneração da pele**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Química, Campinas, 2005. Disponível em:
http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/267454/1/Dallan_PaulaRulfMarreco_D.pdf. Acesso em: 05 mar. 2021.

DIAS, A. B. **Desenvolvimento e caracterização de filmes biodegradáveis obtidos de amido e de farinha de arroz**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, Florianópolis, 2008. Disponível em:
<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/92138/250617.pdf;jsessionid=5428F778EA3308317097E7A830DE28D6?sequence=1>. Acesso em: 05 mar. 2021.

DUTTA, P. K. *et al.* Perspectives from chitosan based antimicrobial films in food applications. **Food Chemistry**, Amsterdam, v. 114, n. 4, p. 1173-1182, 2009. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814608013629#:~:text=C hitosan%20has%20a%20great%20potential,very%20effective%20in%20food%20preservation>. Acesso em: 18 mar. 2021.

EPURE, V. *et al.* Structure and properties of glycerol-plasticized chitosan obtained by mechanical kneading. **Carbohydrate Polymers**, Amsterdam, v. 83, n. 2, p. 947-952, 2011. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861710007320>. Acesso em: 20 mar. 2021.

ERTHAL, C. **Obtenção e Caracterização de Filmes nanocompósitos de quitosana/bentonita sódica**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Pampa, Bagé, 2018.

EUROPEAN BIOPLASTICS – **What are bioplastics?**. Berlin, 2018. Disponível em: https://docs.european-bioplastics.org/publications/fs/EuBP_FS_What_are_bioplastics.pdf Acesso em: 14 mar. 2021.

FARIAS, S. B. P. **Síntese, Caracterização e Avaliação do Grau de Cristalinidade de Compostos Tipo Hidrotalcita**. 2011. Tese (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2011. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75135/tde-17042012-165937/publico/MariliaMartaHornR.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2021.

FECHINE, G. J. M. **A era dos polímeros biodegradáveis**. São Paulo: Plástico, 2010. Disponível em: <https://www.plastico.com.br/tecnica-a-era-dos-polimeros-biodegradaveis/>. Acesso em: 28 mar. 2021.

GIANNAKAS, A. et al., **Preparation, characterization, mechanical and barrier properties investigation of chitosan-clay nanocomposites**. *Carbohydrate Polymers*, v. 108, p. 103-111, 2014.

GOMES, R. O. **Caracterização de Propriedades Mecânicas de Plásticos biodegradáveis à base de amido**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10012464.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2021.

GONÇALVES, S. S. *et al.* EFEITO DO GLICEROL NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE FILMES A BASE DE QUITOSANA, 2019. **DESAFIOS - Revista Interdisciplinar Da Universidade Federal Do Tocantins**, v. 6, p. 110-117, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.20873/uft.2359365220196Especialp110> Acesso

em: 11 abr. 2021

HIRANO, S. **Chitin and chitosan**. New York: Elsevier, 1989.

HORN, M. M. **Blendas e filmes de quitosana/amido de milho**: estudo da influência da adição de polióis, oxidação do amido e razão amilose/amilopectina nas suas propriedades. 2012. Tese (Doutorado em Química) – Universidade de São Paulo. Instituto de Química, São Carlos, 2012. Disponível em:
<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75135/tde-17042012-165937/publico/MariliaMartaHornR.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2021.

LAMIM, R. **Quitosana e N-carboximetilquitosana: desenvolvimento de biofilmes para aplicações farmacêuticas**, 2014. Tese (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2014. Disponível em:
<https://siaiap39.univali.br/repositorio/bitstream/repositorio/1434/1/Roberta%20Lamim.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2021.

LARANJEIRA, Mauro C. M.; FAVERE, Valfredo T. de. Quitosana: biopolímero funcional com potencial industrial biomédico. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 672-678, 2009. Disponível em:
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422009000300011&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 11 Apr. 2021.

LIMA, M. S. P. **Preparo e caracterização de membranas de quitosana modificada com poli(ácido acrílico)**. Tese (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006. Disponível em:
<https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/17776/1/MariaSPL.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2021.

MACENO, D. M. S. C. Dos S. **Produção de Biofilmes à base de quitosana para a liberação controlada de Naproxeno**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé, 2019. Disponível em:
<https://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riiu/4610/1/TCC%20DAIELE%20MUNIQUE>

%20DE%20SOUZA%20COSTA%20DOS%20SANTOS%20MACENO%202019.pdf.

Acesso em: 29 fev. 2021.

MATET, M. *et al.* Innovative thermoplastic chitosan obtained by thermo-mechanical mixing with polyol plasticizers. **Carbohydrate Polymers**, Amsterdam, v. 95, n. 1, p. 241-251, 2013. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861713001926>. Acesso em: 20 mar. 2021.

MATHUR, N. K.; NARANG, K. C. Chitin and chitosan: versatile polysaccharides from marine animals. **Journal of Chemical Education**, Whashington, DC, v. 67, n. 11, p. 938, 1990. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ed067p938>. Acesso em: 17 mar. 2021.

MULLER, C. M. O.; YAMASHITA, F.; LAURINDO, J. B. Evaluation of the effects of glycerol and sorbitol concentration and water activity on the water barrier properties of cassava starch films through a solubility approach. **Carbohydrate Polymers**, Amsterdam, v. 72, n. 1, p. 82-87, 2008. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861707003736>. Acesso em: 07 mar. 2021.

NEVES, A. L. P. Preparação e caracterização de nanopartículas de quitosana incorporadas com zinco com potencial atividade cicatrizante e antimicrobiana. 2013. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

Disponível em:

<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/106894/321487.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 28 mar. 2021.

PALMU, P. T.; FAKHOURI, M. F.; GROSSO, C. R. F. Filmes biodegradáveis: extensão da vida útil de frutas tropicais. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, Brasília, DF, v. 5, n. 26, p. 12-17, 2002. Disponível em:

<https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=365750&biblioteca=va&zio&busca=autoria:%22TANADA->

PALMU,%20P.%22&qFacets=autoria:%22TANADA-

PALMU,%20P.%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1. Acesso em: 22 mar. 2021.

PEREDA, M; AMICA, G.; MARCOVICH, N. E. **Development and characterization of edible chitosan/olive oil emulsion films**. Carbohydrate Polymers, Barking, v. 87, n. 2, p. 1318-1325, Jan. 2012. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.09.019> Acesso em: 22 mar. 2021.

RABELLO, M. S.; DE PAOLI, M. **Aditivação de termoplásticos**. São Paulo: Artliber Editora Ltda., 2013.

REIS, L. C. B. *et al.* Filme biodegradável incorporado com glicerol e aditivos naturais. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 4, n. 4, p. 23-32, 2011. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/269811926_FILME_BIODEGRADAVEL_INCORPORADO_COM_GLICEROL_E_ADITIVOS_NATURAIS. Acesso em: 03 mar. 2021.

ROBERTS, G. A. F. **Chitin chemistry**. London: The MacMillan Press Ltda., 1992.

RODRIGUES, Taynara Tatiane. **Polímeros nas indústrias de embalagens**. 2018. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

ROLIM, A. E. H. *et al.* Arcabouços de quitosana – propriedades físico-químicas e biológicas para o reparo ósseo. **Revista Virtual de Química**, Niterói, v. 10, n. 2, p. 211-228, 2018. Disponível em:

<http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v10n2a02.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2021.

ROSINA C. R.; BARONI, S.; CAVALCANTI, O. A. Avaliação das propriedades de intumescimento e permeabilidade de filmes isolados de polimetacrilato contendo polissacarídeo da raiz de Lótus (*Nulumbo nucifera*). **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, São Paulo, v. 40, n. 3, p. 425-431, 2004. Disponível em:

<https://www.scielo.br/pdf/rbcf/v40n3/20.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2021.

SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, L. *et al.* Physical properties of edible chitosan filmes containing bergamot essential oil and their inhibitory action on *Penicillium italicum*. **Carbohydrate Polymers**, Amsterdam, v. 82, n. 2, p. 277-283, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861710003280>. Acesso em: 22 mar. 2021.

SANTOS, A. M. P.; YOSHIDA, C. M. P. **Técnico em alimentos: embalagens**. Recife: UFRPE, 2011. Disponível em: <http://pronatec.ifpr.edu.br/wp-content/uploads/2013/06/Embalagem.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2021.

SHIMAZU, A. A.; MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E. Efeitos plastificante e antiplastificante do glicerol e do sorbitol em filmes biodegradáveis de amido de mandioca. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 1, p. 79-88, 2007. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/viewFile/2558/2229>. Acesso em: 21 mar. 2021.

SILVA, E. M. **Produção e caracterização de filmes biodegradáveis de amido de pinhão**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/38562/000823833.pdf?sequence=1>. Acesso em: 30 mar. 2021.

SILVA, M. G. *et al.* Congresso Brasileiro de Engenharia Química - COBEQ, XI, 2015, Campinas – São Paulo. **Caracterização de Filmes à base de quitosana**. São Paulo, 2015. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobeqic2015/457-34080-261914.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2021.

SIRACUSA, V. *et al.* Biodegradable polymers for food packaging: a review. **Trends in Food Science & Technology**, Amsterdam, v. 19, n. 12, p. 634-643, 2008.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224408002185>. Acesso em: 22 mar. 2021.

SOARES, I. F. O. *et al.* Síntese e caracterização de biofilmes de amido plastificados com glicerol ou triacetina. **Foco**, Mogi-Guaçu, v. 5, n. 7, p. 79-97, 2014. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/299284681_SINTESE_E_CHARACTERIZACAO_DE_BIOFILMES_DE_AMIDO_PLASTIFICADOS_COM_GLICEROL_OU_TRIACETINA. Acesso em: 15 mar. 2021.

SORRENTINO, A.; GORRASI, G.; VITTORIA, V. Potential perspectives of bionanocomposites for food packaging applications. **Trends in Food Science & Technology**, Amsterdam, v. 18, n. 2, p. 84-95, 2007. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092422440600272X>. Acesso em: 29 mar. 2021.

SOUSA, H. C.; BRAGA, M. E. M.; SOSNIK, A. **Biomateriais aplicados ao desenvolvimento de sistemas terapêuticos avançados**. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2015.

SOUZA, J. R. **Estudo da desacetilação da quitosana e obtenção de suas nanopartículas para aplicação em engenharia de tecidos**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo. Programa de Pós-graduação em Ciências, São Paulo, 2017. Disponível em:

<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-24102017-113542/publico/JulianaRodriguesdeSouzaCorr17.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2021.

SWAIN, S. N. *et al.* Biodegradable soy-based plastics: opportunities and challenges. **Journal of Polymer and the Environment**, New York, v. 12, p. 35-42, 2004.

Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1023/B:JOOE.0000003126.14448.04>. Acesso em: 30 mar. 2021.

TAKARA, E. A.; MARCHESI, J.; OCHOA, N. A. NaOH treatment of chitosan films: impact on macromolecular structure and film properties. **Carbohydrate Polymers**, Amsterdam, v. 132, p. 25-30, 2015. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861715004968>. Acesso em: 20 mar. 2021

TEIXEIRA, B. A.; PERON, C. L. **Caracterização de filme a base de amido, biossurfactante e celulose bacteriana**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2013. Disponível em:

http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8581/1/PG_COALM_2013_1_02.pdf. Acesso em: 19 mar. 2021.

THARAHATHAN, R. N. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. **Trends in Food Science & Technology**, Amsterdam, v. 14, n. 3, p. 71-78, 2003. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224402002807>. Acesso em: 19 mar. 2021.

VIÉGAS, L. P. **Preparação e caracterização de filmes biodegradáveis a partir de amido com quitosana para aplicação em embalagens de alimentos**. 2016.

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia, Campos dos Goytacazes, 2016. Disponível em:

[https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/Disserta%*c3%a7*%*c3%a3o*-Vers%*c3%a3o*-Impress%*c3%a3o*.pdf](https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/Disserta%c3%a7%c3%a3o-Vers%c3%a3o-Impress%c3%a3o.pdf). Acesso em: 14 mar. 2021.

FERNANDES, J. J. G. **Caracterização termoanalítica de biofilme de quitosana como sistema transdérmico de liberação controlada de insulina humana**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Farmácia) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2010. Disponível em:
<https://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1745/1/PDF%20-%20J%C3%A9ssica%20de%20Jesus%20Galv%C3%A3o%20Fernandes.pdf>.
Acesso em: 25 abr. 2021.