



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE, TECNOLOGIA
E SOCIEDADE MESTRADO EM AMBIENTE, TECNOLOGIA E
SOCIEDADE

**POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE PEPINO
(*Cucumis sativus L.*) REVESTIDAS COM FÉCULA DE
MANDIOCA, GELATINA E QUITOSANA**

MARIZA CLÁUDIA PINHEIRO DE ASSIS

Mossoró/RN

2022

MARIZA CLÁUDIA PINHEIRO DE ASSIS DE ASSIS

**POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE PEPINO (*Cucumis sativus L.*)
REVESTIDAS COM FÉCULA DE MANDIOCA, GELATINA E QUITOSANA**

Dissertação apresentada ao programa de Pós- Graduação em Ambiente, Tecnologia e Sociedade da Universidade Federal Rural do Semiárido como requisito para obtenção do título de mestre em Ambiente, Tecnologia e Sociedade.

Linha de Pesquisa: Tecnologias sustentáveis e recursos naturais no semiárido

Orientador (a): Prof. Dr. Ricardo Henrique de Lima Leite

Coorientadora: Profa. Dra. Clarisse Pereira Benedito

Mossoró/RN

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei n° 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei n° 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

A848p Assis, Mariza Cláudia Pinheiro de.
POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE PEPINO
(Cucumis sativus L.) REVESTIDAS COM FÉCULA DE
MANDIOCA, GELATINA E QUITOSANA / Mariza Cláudia
Pinheiro de Assis. - 2022.
57 f. : il.

Orientador: Ricardo Henrique de Lima Leite.
Coorientadora: Clarisse Pereira Benedito.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Ambiente, Tecnologia e Sociedade, 2022.

1. biopolímeros. 2. tecnologias agrícolas. 3.
revestimento de sementes. 4. peliculização. I.
Leite, Ricardo Henrique de Lima, orient. II.
Benedito, Clarisse Pereira, co-orient. III.
Titulo.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a),
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

MARIZA CLÁUDIA PINHEIRO DE ASSIS

**POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE PEPINO (*Cucumis sativus L.*)
REVESTIDAS COM FÉCULA DE MANDIOCA, GELATINA E QUITOSANA**

Dissertação apresentada ao programa de Pós- Graduação em Ambiente, Tecnologia e Sociedade da Universidade Federal Rural do Semiárido como requisito para obtenção do título de mestre em Ambiente, Tecnologia e Sociedade.

Linha de Pesquisa: Tecnologias sustentáveis e recursos naturais no semiárido

Aprovada em : 31/01/2022

BANCA EXAMINADORA

RICARDO HENRIQUE DE LIMA
LEITE:52264343400

Assinado de forma digital por
RICARDO HENRIQUE DE LIMA
LEITE:52264343400
Dados: 2022.01.31 13:37:29 -03'00'

Dr. Ricardo Henrique de Lima Leite
(Presidente e orientador)

José Gustavo Lima de Almeida

Digitally signed by José Gustavo Lima de Almeida
DN: cn=José Gustavo Lima de Almeida,
e=jguga@ufersa.edu.br
Reason: I am the author of this document
Location: your signing location here
Date: 2022.01.31 16:33:59-03'00'
E-mail Reason version: 1.0.1.2

Dr. José Gustavo Lima de Almeida
(Examinador interno – UFRSA)

Thiago Azevedo de Oliveira

Dr. Thiago Azevedo de Oliveira
(Examinador externo – IFRN)

Dedico todo o esforço deste trabalho a todos os pesquisadores, que mesmo em meio ao caos da pandemia do Covid-19, não desistiram de fazer Ciência.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser meu guia e por estar sempre me fortalecendo nos momentos difíceis dando paciência e sabedoria para tomar minhas decisões e realizar meus objetivos.

Aos meus pais, Marina Pinheiro e Francisco de Assis, pela minha formação pessoal, por todos os esforços e abdições realizadas para que eu pudesse me dedicar à construção de minha carreira acadêmica e por todo amor e orgulho que sempre direcionam a mim.

Aos meus irmãos Herval e Henrique, que desde cedo sempre me protegeram e acreditaram nos meus sonhos. Às minhas irmãs, Ana Paula e Verônica, que nunca mediram esforços pra realizarem meus sonhos e incentivarem a sempre me arriscar e quebrar minhas barreiras. Amo vocês mais que tudo.

A minha melhor amiga, Bárbara Pinto, por desenvolver papéis tão importantes na minha vida, tanto no aspecto pessoal, quanto no acadêmico/profissional.

A minha amiga de longa data, Jéssica Bruna, por todo apoio ao longo dos últimos anos, por me ouvir sempre que precisei e por não questionar quando precisei me ausentar. À minha amiga Juciane Vieira, por todo o auxílio no laboratório, pelos debates sobre nossas pesquisas e por estar sempre disponível para me ajudar sempre que preciso.

Ao meu Orientador Professor Dr. Ricardo Leite, pelo incentivo, compreensão e disponibilidade prestada contribuindo para minha formação acadêmica e profissional.

A minha Coorientadora Professora Dra. Clarisse Pereira pela disponibilidade em me atender sempre que possível, esclarecendo minhas dúvidas e auxiliando na prática.

Aos técnicos do Laboratório de Processos Químicos e Laboratório de Tecnologia de Alimentos, Leonardo e Gustavo, pela disponibilidade em ajudar a desenvolver as análises.

A CAPES, pelo auxílio financeiro.

A todos que direta e indiretamente contribuíram para a construção deste trabalho, que aqui não estão citados, mas que jamais serão esquecidos.

RESUMO

A aplicação de revestimentos é uma das técnicas que mais vem sendo utilizada para potencializar o desempenho germinativo e o estabelecimento de plantas em campo. Os biopolímeros tem sido cada vez mais estudados no desenvolvimento desses revestimentos, devido suas propriedades de biodegradabilidade, biocompatibilidade, ação microbiana, rápida absorção e retenção de água. O objetivo deste trabalho foi produzir revestimentos para sementes de pepino a partir de polímeros naturais e determinar suas propriedades de interação com a água (solubilidade, taxa de permeabilidade e absorção), propriedades mecânicas e a influência de cada polímero na germinação e vigor dessas sementes. Para isto, os tratamentos utilizados foram fécula de mandioca (F1), gelatina (F2), quitosana (F3), fécula de mandioca/gelatina (F4), fécula de mandioca/quitosana (F5), gelatina/quitosana (F6) e fécula de mandioca/gelatina/quitosana (F7). Foram analisadas as propriedades de solubilidade em água, taxa de permeação de vapor de água e absorção de água dos revestimentos e primeira contagem de germinação, números de plântulas normais e anormais, comprimentos do hipocótilo e de raiz, massa seca e microscopia eletrônica de varredura (MEV), para as sementes revestidas. Os resultados mostram que os filmes a base de gelatina apresentaram maiores valores para solubilidade ($90,14 \pm 0,94\%$), absorção de água ($0,42 \pm 0,03\%$) e resistência à tração ($37,01 \pm 4,07$ MPa); já a quitosana apresentou maior percentual de alongamento ($90,81 \pm 2,54$) e menor módulo de elasticidade ($0,06 \pm 0,03$ MPa); enquanto os filmes de fécula de mandioca apresentaram maior módulo de elasticidade ($3,9 \pm 0,19$ MPa). Quanto à germinação das sementes o biopolímero mais eficaz foi a gelatina com maior índice de germinação, enquanto o revestimento a base de quitosana prejudicou a germinação das sementes. Observou-se através de micrografias (MEV) que o revestimento a base de gelatina não fechou os poros do tegumento das sementes, o que ocorreu com o revestimento de quitosana

Palavras-chave: biopolímeros; tecnologias agrícolas; revestimento de sementes; peliculização.

ABSTRACT

The application of coatings is one of the most used techniques to enhance germination performance and plant establishment in the field. Biopolymers have been increasingly studied in the development of these coatings, due to their biodegradability, biocompatibility, microbial action, rapid absorption and water retention properties. The aim of this work was to produce coatings for cucumber seeds from natural polymers and to determine their properties of interaction with water (solubility, permeability and absorption rate), mechanical properties and the influence of each polymer on germination and vigor of these seeds. For this, the treatments used were cassava starch (F1), gelatin (F2), chitosan (F3), cassava starch/gelatin (F4), cassava starch/chitosan (F5), gelatin/chitosan (F6) and of cassava/gelatin/chitosan (F7). The water solubility properties, water vapor permeation rate and water absorption of the coatings and first germination count, number of normal and abnormal seedlings, hypocotyl and root lengths, dry mass and scanning electron microscopy (SEM), for coated seeds. The results show that gelatin-based films showed higher values for solubility ($90.14 \pm 0.94\%$), water absorption ($0.42 \pm 0.03\%$) and tensile strength ($37.01 \pm 4, 07$ MPa); chitosan showed the highest percentage of elongation (90.81 ± 2.54) and the lowest modulus of elasticity (0.06 ± 0.03 MPa); while cassava starch films showed a higher modulus of elasticity (3.9 ± 0.19 MPa). Regarding seed germination, the most effective biopolymer was gelatin with the highest germination index, while the chitosan-based coating impaired seed germination. It was observed through micrographs (SEM) that the gelatin-based coating did not close the seed coat pores, which occurred with the chitosan coating.

Keywords: biopolymers; agricultural technologies; seed coating; filming.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Características dos materiais e reagentes utilizados	27
Tabela 2 - Concentração dos compostos utilizados em cada formulação.....	30
Tabela 3- Teor de amilose e amilopectina em % para a fécula de mandioca.	37
Tabela 4 - Dados de solubilidade, TPVA e absorção de água.....	37
Tabela 5 - Dados de Limite de resistência a tração (LTR), Alongamento (AL) e Módulo de elasticidade (ME).....	39
Tabela 6 - Percentuais de umidade de sementes de pepino revestidas com diferentes composições biopoliméricas à base de fécula de mandioca, gelatina e quitosana	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Estrutura da quitina (a) e quitosana (b).....	19
Figura 2 - Estrutura química dos polissacarídeos (amilose e amilopectina) presentes na fécula de mandioca.	20
Figura 3 - Representação da unidade de repetição do polímero de gelatina	22
Figura 4- Esquema de recobrimento com soluções biopoliméricas (a) e secagem (b) das sementes de pepino.....	33
Figura 5- Sementes revestidas dispostas em papel toalha umedecido (a), folhas contendo as sementes revestidas dobradas em rolos (b) e rolos acondicionados em sacos na câmara de germinação.....	34
Figura 6- Vigor (primeira contagem), percentuais de plântulas normais e anormais obtidas da germinação de sementes de pepino revestidas com diferentes composições biopoliméricas à base de fécula de mandioca, gelatina e quitosana.....	40
Figura 7- Comprimento do hipocótilo, comprimento da raiz e massa seca das plântulas obtidas da germinação de sementes de pepino revestidas com diferentes composições biopoliméricas à base de fécula de mandioca, gelatina e quitosana.....	42
Figura 8 - Imagens obtidas a partir do MEV da superfície das sementes revestidas e do controle (superior esquerdo para direito: Controle, FEC, GLT, QTS, FEC/GLT, FEC/QTS, GLT/QTS e FEC/GLT/QTS) e da seção transversal (inferior esquerdo para direito)	43

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
GD	Grau de desacetilação
GL	Gay Lussac
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
NaOH	Hidróxido de Sódio
P.M	Peso molecular
TPVA	Taxa de permeabilidade ao vapor de água
UR	Umidade Relativa

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1. Objetivo Geral.....	16
2.2. Objetivos específicos	16
3. REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1. POLÍMEROS.....	17
3.1.1. Polímeros sintéticos.....	17
3.1.2. Polímeros naturais	17
3.1.3. Quitosana.....	18
3.1.4. Fécula de Mandioca.....	20
3.1.5. Gelatina.....	21
3.2. REVESTIMENTO DE SEMENTES	22
3.3. POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES	24
3.4. PROPRIEDADES DOS REVESTIMENTOS BIOPOLIMÉRICOS	25
3.4.1. Propriedades físicas	25
3.4.2. Propriedades Mecânicas	26
3.5. ASPECTOS GERAIS DO PEPINO	26
4. MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1. MATERIAIS	27
4.2. EQUIPAMENTOS.....	28
4.3. METODOLOGIA	28
4.3.1. Determinação do teor de amilose e amilopectina.....	28
4.3.2. Preparo das soluções filmogênicas	29
4.3.3. Preparo dos filmes para a caracterização.....	30
4.4. CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES.....	30
4.4.1. Solubilidade.....	30

4.4.2.	Taxa de permeação ao vapor de água (TPVA).....	31
4.4.3.	Absorção de água.....	32
4.4.4.	Análise das propriedades mecânicas	32
4.5.	Recobrimento e secagem de sementes	33
4.5.1.	Determinação do grau de umidade	33
4.5.2.	Teste de germinação	34
4.5.3.	Primeira Contagem de Germinação.....	35
4.5.4.	Comprimento de plântulas.....	35
4.5.5.	Massa seca de plântulas	35
4.5.6.	Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	35
4.6.	Análise Estatística.....	36
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5.1.	CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES BIOPOLIMÉRICOS	36
5.1.1.	Caracterização da fécula de mandioca (teor de amilose e amilopectina) .	36
5.1.2.	Caracterização física dos filmes	37
5.1.3.	Caracterização Mecânica dos filmes	39
5.2.	POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES REVESTIDAS COM BIOPOLÍMEROS.....	40
5.3.	Morfologia das sementes revestidas	42
	CONCLUSÃO.....	44
	REFERENCIAS	45
	ANEXOS.....	56

1. INTRODUÇÃO

Na agricultura, independentemente do tipo de cultura, o sucesso da colheita é afetado pela qualidade da semente, que se expressa no campo através de germinação rápida e uniforme. O revestimento de sementes é uma técnica que pode potencializar o desempenho da semente e o estabelecimento da planta, ao mesmo tempo que reduz o custo de produção. O método pode ser utilizado com qualquer tipo de semente e de cultura, e ainda personalizado com adição de fertilizantes e produtos protetores de acordo com os diferentes tipos de solo e regiões onde as sementes serão plantadas (DUHAN *et al.*, 2017; SILVA E VIEIRA, 2021; GODÍNEZ-GARRIDO *et al.*, 2021).

O tratamento de sementes utilizando revestimentos de biopolímeros é uma tecnologia que vem atraindo o interesse de pesquisadores pela redução potencial do uso de agroquímicos, melhor relação custo-benefício, sustentabilidade agrícola e promoção da segurança alimentar pelo aumento da produção de alimentos (HAZRA E PATANJALI, 2016).

As principais vantagens do desenvolvimento de novos materiais a partir de biopolímeros incluem o baixo custo, a abundância, a não toxicidade e a degradabilidade. Dentre os polímeros naturais mais utilizados no desenvolvimento de novos materiais, os polissacarídeos como a fécula de mandioca e a quitosana, além de proteínas como a gelatina, têm ganhado bastante espaço (MENDES *et al.*, 2016). A fécula de mandioca é oriunda de fonte renovável e constituída por dois polímeros, amilose e amilopectina. A fécula de mandioca é conhecida por ser capaz de formar películas resistentes à perda de água e eficientes no controle de doenças na pós-colheita de frutas e hortaliças (GOMES FILHO *et al.*, 2016; JUNG E DEGENHARDT, 2016).

A gelatina é um material macromolecular natural, insípido, incolor e solúvel em água, extraído pela hidrólise térmica parcial ou total do colágeno ósseo ou do tecido conjuntivo da pele de mamíferos e peixes. Tem sido amplamente estudada por sua capacidade de formação de filme e aplicabilidade como revestimento externo para proteger alimentos contra ressecamento, luz e oxigênio (AHMAD *et al.*, 2017).

A quitosana é um polímero natural não ramificado produzido através da desacetilação parcial da quitina, um polissacarídeo encontrado no exoesqueleto de crustáceos, através de um processo de alcalinização sob altas temperaturas. Os grupos aminas e hidroxilas da quitosana que são quimicamente modificáveis tornam esta

molécula altamente versátil para várias aplicações (THEVARAJAH *et al.*, 2017; MUJTABA *et al.*, 2019). Em estudo realizado por Martins *et al.* (2018) a quitosana proporcionou um aumento na porcentagem de germinação de sementes de milho transgênicos, que apresentaram modificações anatômicas ligadas à proteção e sobrevivência a estresses abióticos.

As propriedades de biodegradabilidade, biocompatibilidade, não toxicidade, excelente capacidade de formação de filmes, alta ação antimicrobiana, rápida absorção e retenção de água, tornam os polímeros naturais uma escolha interessante para utilização em tecnologias de recobrimento de sementes (GUILHERME, 2015; LI *et al.*, 2016; BERTOLINO, 2018). Além da possibilidade da utilização de biopolímeros puros, as propriedades dos materiais usados no recobrimento de sementes podem ser alteradas pela obtenção de blendas poliméricas, no intuito de se obter melhores resultados na germinação.

O pepino (*Cucumis sativus L.*) é um produto hortifrutigranjeiro amplamente consumido, com excelentes propriedades nutritivas e baixo conteúdo calórico (DÍAZ-MÉNDEZ *et al.*, 2018). Por isso, tem apresentado crescente interesse econômico no cultivo e motivado pesquisas para o aprimoramento das técnicas agrícolas empregadas em sua produção (GUISOLFI *et al.*, 2018).

Este trabalho teve como objetivo realizar a caracterização físico-química de biopolímeros à base de fécula de mandioca, gelatina e quitosana e avaliar o potencial fisiológico de sementes de pepino revestidas com esses polímeros.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Realizar a caracterização físico-química de biopolímeros à base de fécula de mandioca, gelatina e quitosana e avaliar o potencial fisiológico de sementes de pepino revestidas com esses polímeros

2.2. Objetivos específicos

- Produzir filmes biopoliméricos à base de fécula de mandioca, gelatina e quitosana;
- Caracterizar os revestimentos biopoliméricos quanto às propriedades de barreira e mecânicas;
- Aplicar os filmes biopoliméricos como revestimentos em sementes de pepino;
- Avaliar o desempenho germinativo, vigor e a morfologia das sementes com e sem a aplicação do revestimento.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. POLÍMEROS

3.1.1. Polímeros sintéticos

Polímeros sintéticos são aqueles obtidos a partir de reações químicas e que em maioria são provenientes do refinamento do petróleo. O advento dos polímeros classificados como plásticos teve início em meados da década de 1950 e tem tido uma popularização vertiginosa de seu uso (GEYER, JAMBECK, LAW, 2017).

Por ser leve, durável e barato, este material apresenta várias aplicações nos mais diversos setores da indústria. Porém, algumas das características que fizeram esses polímeros atrativos para o seu uso, também os tornaram um grande problema ambiental, como por exemplo, o fato de apresentarem alta durabilidade (COX *et al.*, 2019; BELEZA E LIMA, 2022). Polímeros advindos do petróleo, levam inúmeros anos pra se decompor e o manejo inadequado de seus resíduos torna-os danosos ao meio ambiente e potencialmente nocivos à saúde devido ao uso de aditivos que podem não ser seguros mesmo que melhorem a aplicabilidade destes materiais (JAMBECK *et al.*, 2015; COX *et al.*, 2019).

3.1.2. Polímeros naturais

Os polímeros naturais são materiais obtidos de fontes renováveis e que possuem um ciclo de vida curto se comparado ao dos materiais derivados de fontes fósseis como o petróleo. Por isso são considerados potenciais substitutos dos plásticos convencionais, especialmente para uso em embalagens, devido à sua disponibilidade na natureza e capacidade de degradação. No entanto, para competir com os derivados fósseis, esses materiais precisam apresentar propriedades mecânicas e de barreira compatíveis com suas aplicações (MIRI *et al.*, 2015). Nos últimos anos, a crescente conscientização ambiental tem estimulado o desenvolvimento de materiais biodegradáveis a partir de recursos renováveis com o propósito de substituir materiais não biodegradáveis que são convencionalmente utilizados nas mais diversas aplicações (FARIAS *et al.*, 2016).

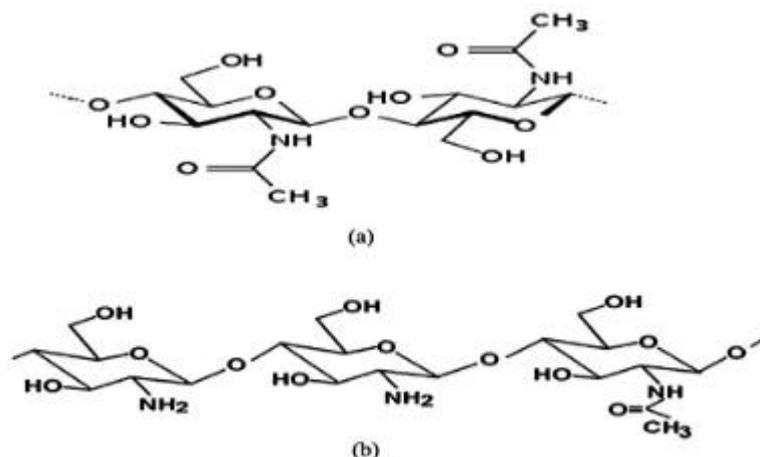
Nesse cenário, os biopolímeros têm sido amplamente estudados com o objetivo de que eles possam ser uma solução viável para a eliminação ou redução de resíduos de materiais plásticos (MITELUT *et al.*, 2015). Os materiais mais comuns para a formulação de filmes e revestimentos biodegradáveis são polissacarídeos, proteínas e lipídeos, e a combinação destes permite a produção de blends com características melhoradas (ATARÉS; CHIRALT, 2016).

3.1.3. Quitosana

A quitosana é um polímero natural não ramificado que apresenta elevado potencial para aplicações em diversos tipos de indústrias como as alimentícias, farmacêuticas, cosméticas e na agricultura fato esse que tem despertado interesse e contribuído para que a mesma venha sendo bastante estudada. Esta possui propriedades que a tornam aplicável em várias áreas: biocompatibilidade, biodegradabilidade, atividade antimicrobiana e antifúngica, não toxicidade. Além disso, a quitosana é oriunda de fontes naturais renováveis (THEVARAJAH *et al.*, 2017).

A quitosana apresenta uma estrutura molecular que inclui proporções variáveis de unidades de β -(1,4)-2-acetamido-2-deoxi-D-glicopiranosose, característica da quitina, e β -(1,4)-2-amino-2-deoxi-D-glicopiranosose, unidades predominantes da quitosana (THEVARAJAH *et al.*, 2017). É produzida através da desacetilação parcial da quitina, um polissacarídeo encontrado no exoesqueleto de crustáceos, através de um processo de alcalinização sob altas temperaturas. Os grupos amins e hidroxilas da quitosana quimicamente modificáveis tornam esta molécula altamente versátil para várias aplicações, uma vez que é possível a melhoria de suas propriedades mecânicas. Além disso, também atrai atenção por ser um composto catiônico que apresenta propriedades bioativas interessantes como biodegradabilidade, biocompatibilidade e natureza microbicida e mucoadesiva (MUJTABA *et al.*, 2019). As estruturas da quitina e da quitosana podem ser observadas na Figura 1.

Figura 1 Estrutura da quitina (a) e quitosana (b)



Fonte: Adaptado de Elgadir *et al.* (2015).

Nos últimos anos, a quitosana vem assumindo uma enorme importância no controle de microrganismos patogênicos. A quitosana também conta com a presença de elicitores, que são compostos orgânicos que possuem propriedades que melhoram as defesas naturais das frutas, vegetais e grãos (BAUTISTA-BAÑOS *et al.*, 2016). Poucas são as pesquisas sobre o efeito da quitosana no desenvolvimento de plantas, porém estudos realizados por Katiyar, Hemantaranjan e Singh (2015) apontam que seu uso pode favorecer a resistência de plantas. Esse efeito sobre os patógenos das plantas ocorre devido às suas propriedades antimicrobianas e indução de resistência.

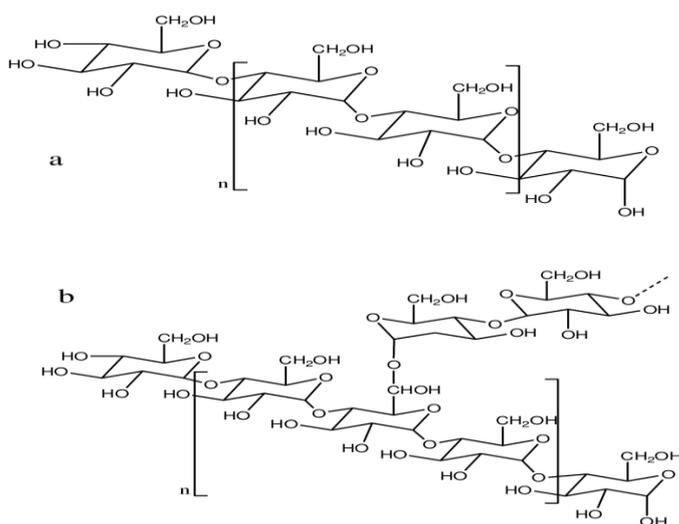
Segundo Martins *et al.* (2018), a quitosana proporcionou um aumento na porcentagem de germinação de sementes de milho transgênico, que apresentaram modificações anatômicas ligadas à proteção e sobrevivência a estresses abióticos. No estudo realizado por Samarah *et al.* (2020), a aplicação de quitosana como revestimento de sementes de *Capsicum annuum*, conferiu às mesmas um maior vigor, além de influenciar na resistência à patógenos. Além do vigor, a quitosana também influenciou a produção de quitinase e glucanase e aumento da tolerância ao frio para algumas espécies testadas no estudo realizado por Chandrika, Prasad e Godbole (2019)

3.1.4. Fécula de Mandioca

A fécula de mandioca é um polímero natural oriundo de recursos renováveis, abundante e de baixo custo, que apresenta comportamento termoplástico e elevado peso molecular. O amido é o produto amiláceo extraído das partes aéreas comestíveis dos vegetais (sementes), já a fécula é o produto amiláceo extraído das partes subterrâneas comestíveis dos vegetais (tubérculos, raízes e rizomas) (SELIGRA *et al.*, 2016).

A fécula de mandioca é constituída por dois polímeros, amilose e amilopectina. É formada principalmente de cadeias de amilose lineares contendo aproximadamente 99% de ligações glicosídicas α (1 \rightarrow 4), representando em média de 20 a 30 % da composição do amido e amilopectina que é o componente macromolecular ramificado constituído de 95% de ligações glicosídicas α (1 \rightarrow 4) e 5% de ligações adicionais glicosídicas de α (1 \rightarrow 6). As quantidades de cada componente variam de acordo com a fonte vegetal, essa diferença entre os polímeros faz com que o amido apresente propriedades distintas de acordo com a proporção de seus componentes (MASINA *et al.*, 2017; MENDES *et al.*, 2016; AZEVEDO *et al.*, 2017). As estruturas da amilose e amilopectina podem ser observadas na Figura 2.

Figura 2 - Estrutura química da amilose (a) e amilopectina (b), polissacarídeos presentes na fécula de mandioca.



Fonte: Corradini et al. (2005).

As propriedades de formação de filme, de barreira e mecânicas, bem como as condições de processamento, são dependentes da relação entre amilose e amilopectina.

Em geral, uma quantidade crescente de amilose aumenta as propriedades acima mencionadas (MENDES *et al.*, 2016). Filmes à base de fécula de mandioca são conhecidos por serem capazes de formar películas pouco resistentes à perda de água (GOMES FILHO *et al.* 2016; JUNG; DEGENHARDT, 2016).

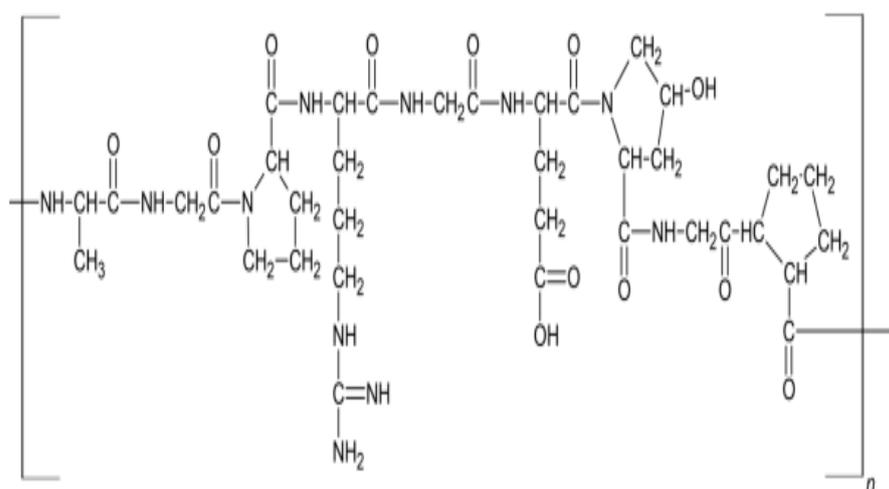
A aplicação de revestimento à base de fécula de mandioca mostrou-se viável para sementes hidrocondicionadas de *P. trifoliata* sem que o potencial germinativo fosse comprometido (PIROLA *et al.*, 2016). Resultados semelhantes foram encontrados por Alegretti *et al.* (2015), quando avaliaram os efeitos da aplicação de revestimento de fécula de mandioca para hidrocondicionamento de sementes de cerejeira-do-mato (*Eugenia involucrata*).

3.1.5. Gelatina

A gelatina é um material macromolecular natural, insípido, incolor e solúvel em água, extraído pela hidrólise térmica parcial ou total do colágeno ósseo ou do tecido conjuntivo da pele de mamíferos e peixes. A gelatina pode ser classificada em duas categorias com base no processo de extração. A gelatina do tipo A é extraída por pré-tratamento ácido, e a do tipo B, é extraída por pré-tratamento alcalino (AHMAD *et al.*, 2017; BENJAKUL S E KITTIPHATTANABAWON, 2018). A gelatina tem sido o foco de diversas pesquisas por apresentar vantagens como a alta disponibilidade e biocompatibilidade, tornando-a adequada para aplicações em diversas áreas como a farmacêutica, a agrícola, a alimentícia, etc. (CIANNAMEA *et al.*, 2018).

A gelatina é uma glicoproteína fibrosa que apresenta cadeias de aminoácidos organizadas em forma paralela a um eixo formando fibras que proporcionam resistência e elasticidade à sua estrutura, possui um alto conteúdo de aminoácidos como glicina, prolina e hidroxiprolina. As ligações entre grupos amina e carboxila dos aminoácidos levam a formação dessa proteína. Estes grupos possibilitam também a existência de ligações de hidrogênio, que explicam muitas das propriedades deste polímero (DUCONSEILLE *et al.*, 2015). A estrutura química da gelatina pode ser observada na Figura 3.

Figura 3 - Representação da unidade de repetição do polímero de gelatina



Fonte: (Adaptada de Li *et al.*, 2014)

No estudo realizado por Wilson, Amirkhani e Taylor (2018), onde foi realizada a avaliação do uso de gelatina como tratamento bioestimulante de sementes de seis diferentes espécies para melhorar o desempenho de plantas. Relatou-se que o uso de diferentes concentrações de gelatina favoreceu o crescimento das plantas na biomassa acima do solo, esse resultado foi analisado por meio da altura da planta, comprimento do pecíolo, área foliar total e massa seca da parte aérea.

3.2. REVESTIMENTO DE SEMENTES

A utilização da técnica de revestimento de sementes em escala comercial data da década de 1960 e vem crescendo exponencialmente. Entre os materiais utilizados em revestimentos de sementes podem ser destacados os polímeros, corantes, agentes de biocontrole e antimicrobianos. O contato destes materiais com a semente tem como objetivo melhorar a qualidade da mesma aumentando seu rendimento e índices de germinação (ADAK *et al.*, 2016; HAZRA e PATANJALI, 2016, BAYS *et al.*, 2007).

O processo de revestimento de sementes pode ser dividido em três técnicas distintas, o revestimento de filmes mais conhecido como peliculização, a peletização e a incrustação (PEDRINI *et al.*, 2017).

O revestimento por filme ou peliculização, consiste em recobrir sementes com uma fina camada de solução formada por polímeros, essa camada não altera o tamanho nem o formato da semente de forma significativa, no entanto, pode melhorar as

características de manuseio, armazenamento e germinação das sementes (ZHOU *et al.*, 2017).

Já a peletização, é o revestimento aplicado quando se visa o aumento do tamanho da semente. No processo, aplica-se um material inerte seco e rígido ao redor da semente para uniformizar o formato e o peso da mesma. Entre os materiais utilizados na peletização estão os de enchimento, os cimentantes ou adesivos e os materiais de cobertura e acabamento (MEI *et al.*, 2017).

A incrustação é uma tecnologia que consiste de um processo de escarificação mecânica da semente seguida da adição de nutrientes e fungicidas que aumentam o peso da semente melhorando sua aparência ao mesmo tempo que aumentam sua qualidade. Embora o foco da técnica seja somente melhorar a plantabilidade da mesma, os aditivos adicionados acabam por favorecer o desenvolvimento da planta na fase inicial (SOUZA *et al.*, 2017). Os materiais utilizados para qualquer tipo de revestimento de sementes não podem afetar negativamente o seu desempenho fisiológico.

Semente de alta qualidade é insumo básico para o sucesso do sistema de produção de hortaliças. Sementes de qualidade asseguram melhor germinação, emergência rápida e uniforme e crescimento vigoroso de plântulas, o que pode até elevar a produtividade e qualidade do produto comercial (PANDITA, 2017). As preocupações com a saúde e o meio ambiente estão estimulando o campo de pesquisa sobre tratamentos alternativos de sementes com compostos naturais bioestimulantes (MAHMOOD *et al.*, 2017).

Estudos sobre a aplicação de biopolímeros como os polissacarídeos no tratamento de sementes têm mostrado resultados bastante positivos. A quitosana, por exemplo, foi aplicada como um tratamento para aumentar a germinação das sementes, o crescimento de mudas e a proteção contra patógenos sob condições estressantes em muitas espécies de culturas (SAMARAH *et al.*, 2016). Além disso, a quitosana aumentou a produtividade de muitas culturas, reduzindo as necessidades de fertilizantes (MALERBA e CERANA, 2018). Em sistemas vegetais, a quitosana induz resistência multifacetada a doenças e aumenta a imunidade inata da planta (CHANDRA *et al.*, 2015).

No estudo realizado por Vercelheze *et al.* (2019), onde foi analisada a influência da aplicação dos revestimentos de fécula de mandioca e gelatina em sementes de milho, foi observado que a germinação das sementes revestidas foi favorecida quando comparadas às sementes sem revestimento. No mesmo estudo, foi também investigado o uso destes biopolímeros como imobilizador de células, os melhores resultados obtidos

foram para a blenda de fécula e gelatina, a mesma conseguiu manter a viabilidade de células imobilizadas.

3.3. POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES

A avaliação da qualidade das sementes se dá pela conferência de um conjunto de atributos (genéticos, físicos, sanitários e fisiológicos) que determinam o desempenho no campo. O controle de qualidade é realizado por meio da conferência destes atributos, e fornece informações como pureza varietal, homogeneidade, danos mecânicos, presença de patógenos, resistência a pragas e doenças, germinação e também o vigor das sementes (SCHONS *et al.*, 2018).

O processo de germinação consiste da sequência ordenada de atividades metabólicas, que inicia com a embebição das sementes, estabelece a retomada do desenvolvimento do embrião até a formação de uma plântula normal, depende de umidade, temperatura e oxigênio (DEBEZ *et al.*, 2018).

A germinação pode ser dividida em três fases distintas. Na primeira fase (embebição) ocorre a captação de água que promove o umedecimento inicial dos tecidos mais próximos da superfície, a quantidade de água embebida deverá ser suficiente não apenas para iniciar a germinação, como também para garantir que esse processo seja finalizado com sucesso (JUNQUEIRA E CARNEIRO, 2012). Na segunda fase (indução do crescimento), é onde ocorre a formação de novos tecidos e a ativação do metabolismo, há também, redução da captação de água, a absorção de água é quase inexistente. Na terceira e última fase (crescimento do eixo embrionário), ocorre o processo de expansão celular e ruptura do tegumento com a protusão da radícula que é a primeira parte a emergir da semente (JUNQUEIRA E CARNEIRO, 2012; DEBEZ *et al.*, 2018).

A germinação de sementes é uma etapa no ciclo de vida de organismos vegetais, sendo dependente de fatores como, água, temperatura e gases para que ocorra (PIÑA-RODRIGUES *et al.*, 2015).

A água é o fator mais determinante para a germinação, pois, além de hidratar os tecidos, intensifica as atividades metabólicas necessárias para a retomada do crescimento do eixo embrionário. A porcentagem do grau de umidade exigido para a germinação, varia entre as espécies e depende de fatores como, a permeabilidade da cobertura da semente, grau de umidade inicial, temperatura e área de contato existente entre semente e substrato

(BRASIL, 2009; JUNQUEIRA E CARNEIRO, 2012). O fator temperatura afeta não só a porcentagem de germinação, como também a velocidade e uniformidade deste processo, para a maioria das espécies cultivadas, a temperatura ótima para a germinação das sementes, encontra-se entre 20 e 30 °C (JUNQUEIRA E CARNEIRO, 2012; RUTHS *et al.*, 2019).

Gases como oxigênio (O₂) e gás carbônico (CO₂), são necessários para o grande aumento na atividade respiratória exigida nos processos de germinação de sementes e de crescimento e desenvolvimento de plântulas. A maioria das espécies necessita da presença de O₂ e CO₂ para germinar, e as quantidades presentes na atmosfera (21% e 0,03%, respectivamente), são suficientes para a germinação de sementes (LEITE *et al.*, 2018).

Tendo em vista que condições ambientais influenciam no processo germinativo, uma vez que estes forem identificados e controlados podem não interferir nos resultados. O teste de germinação é de fundamental importância para avaliar a qualidade das sementes, possibilitando a avaliação do máximo potencial de germinação, e para a realização deste teste é necessário que sejam definidas condições adequadas que possam ser padronizadas, possibilitando resultados semelhantes independentemente de quem os realize (PIÑA-RODRIGUES *et al.*, 2015).

O teste de germinação é composto por uma série de análises, onde destaca-se o vigor das sementes realizado a partir da primeira contagem de germinação onde é avaliada a capacidade da semente germinar de forma rápida e uniforme. Também são analisados os percentuais de plântulas normais e anormais, onde são investigados os potenciais para continuar o desenvolvimento da plântula e dar origem a plantas saudáveis ou não. Outras variáveis das plântulas que também são de grande importância avaliar são o comprimento da raiz e do hipocótilo (parte aérea da plântula), além da massa seca total da plântula (MARCOS FILHO, 2015; BRASIL, 2009).

3.4. PROPRIEDADES DOS REVESTIMENTOS BIOPOLIMÉRICOS

3.4.1. Propriedades físicas

A taxa de permeabilidade ao vapor de água é uma das propriedades que mais requer atenção quando se trata de desenvolvimento de revestimentos biopoliméricos. Para se conseguir modificar a atmosfera em torno dos produtos que recebem o revestimento por filme, é necessário que o material do qual o revestimento se origina seja capaz de

construir uma barreira à passagem de elementos de troca externa, dessa forma conseguindo influenciar diretamente no metabolismo do produto revestido (LI; TAO; ZHANG., 2017). Revestimentos biopoliméricos geralmente apresentam maiores taxas de permeação ao vapor de água se comparados a filmes convencionais derivados de polímeros sintéticos, este fator está diretamente relacionado ao caráter hidrofílico de seus componentes (CAZÓN *et al.*, 2017).

Assim como a taxa de permeabilidade ao vapor de água, outras propriedades que devem ser analisadas quando filmes estão sendo desenvolvidos são a solubilidade e a absorção de água. Todas essas propriedades fornecem informações sobre a integridade da amostra após seu contato com água (GARRIDO *et al.*, 2021)

3.4.2. Propriedades Mecânicas

As propriedades mecânicas dos filmes são características importantes para sua utilização como revestimento, devido ao manuseio ao qual os produtos revestidos são submetidos durante o processo de comercialização e uso final. As propriedades mecânicas obtidas através do ensaio de tração expressam a resistência do material à tração, o percentual de alongamento na ruptura e, diretamente relacionado a essas, o módulo de elasticidade (CHENAL *et al.*, 2017).

A resistência à tração simula a tração máxima suportada pela amostra, já o alongamento demonstra a capacidade deste se estender quando submetido à tração, ao passo que o módulo de elasticidade descreve o quão rígido é o material. A análise dessas propriedades se faz necessária para garantir que os revestimentos mantenham sua integridade protegendo o produto, mesmo quando expostos às mais diversas condições de transporte, armazenamento e uso do produto revestido (CAZÓN *et al.*, 2017).

3.5. ASPECTOS GERAIS DO PEPINO

O pepino (*Cucumis sativus L.*) tem grande importância no cenário econômico e social no Brasil, sendo muito apreciado e consumido em todas as cinco regiões brasileiras.

Pertencente à família Cucurbitácea, originária da Índia, possui grande valor nutritivo e propriedades medicinais, destacando-se pela sua grande importância econômica e social dentro do agronegócio de hortaliças no Brasil, pois além do valor

comercial, gera muitos empregos diretos e indiretos, desde o cultivo até a sua comercialização em todo o mundo (ANTONIO *et al.*, 2017).

O pepino do tipo aodai é caracterizado por frutos de coloração verde-escura e formato cilíndrico. Seus frutos possuem sabor agradável e refrescante, e são ricos em vitaminas A, C, K e do complexo B, minerais como fósforo, magnésio, potássio, cálcio e manganês, além de antioxidantes (DÍAZ-MÉNDEZ *et al.*, 2018).

No Brasil, os principais estados produtores são, São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Goiás. Por ser uma cultura desenvolvida principalmente por pequenos produtores, os dados sobre a produção nacional não são muito precisos, porém, estima-se que a produção anual brasileira ultrapassa 200.000 t (IBGE, 2017).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. MATERIAIS

A Tabela 1 apresenta os materiais e reagentes utilizados com informações da obtenção dos materiais, a forma em que foram adquiridos e algumas de suas características.

Tabela 1- Características dos materiais e reagentes utilizados

Reagente	Obtenção	Aspecto	Características
Fécula de mandioca	Indústria Primícia do Brasil Ltda - Brasil	Pó	16,76% (m/m) de amilose e 83,24% (m/m) de amilopectina Coloração branca
Gelatina	Ômega	Pó	Tipo A Bloom = 244 Coloração esbranquiçada
Quitosana	POLYMAR (Indústria e Com. Imp. e Exp. Ltda – Brasil	Pó	Grau de Desacetilação \geq 88,91% Coloração amarelada M _w 50 kDa
Ácido Acético PA Glacial	Dinâmica Química Contemporânea Ltda - Brasil	Líquido	Pureza mínima: 99,70% Peso molecular: 60,05 Incolor
Glicerina PA (Glicerol)	Dinâmica Química Contemporânea Ltda - Brasil	Líquido viscoso	Pureza de 99,5%, Peso molecular: 92,10 Incolor

Fonte: Autoria Própria.

4.2. EQUIPAMENTOS

- Agitador magnético com aquecimento (Modelo Luca-0851 – Lucadema Científica LTDA ME);
- Balança analítica Marte, Modelo AY220 (Minas Gerais, Brasil);
- Banho ultrassônico, Modelo Q3350, – (Quimis Aparelhos Científicos LTDA);
- Câmara de germinação tipo BOD;
- Dessecador;
- Estufa com circulação e renovação de ar, Modelo SL – 102 – SOLAB;
- Máquina de Ensaio mecânicos, DL5000/10000 Série EMIC 23, (EMIC, Paraná, Brasil);
- Micrômetro digital Mitutoyo, Modelo MDC-25M, (MFG / Japão);
- Metalizador a vácuo, modelo Q150R (Quorum Technologies Ltd, Laughton, East Sussex, Inglaterra);
- Microscópio eletrônico de varredura (MEV), Modelo VEGA 3, (TESCAN / República Tcheca, 2013);
- Mesa agitadora, Modelo TE – 1401, (TECNAL).

4.3. METODOLOGIA

4.3.1. Determinação do teor de amilose e amilopectina

O teor de amilose da fécula de mandioca foi determinado pelo método colorimétrico com iodo, conforme descrito por Zavareze *et al* (2009). Neste método, uma amostra contendo 1,0 g de fécula de mandioca foi pesada e transferida para balão volumétrico de 100 mL, sendo acrescentado 1,0 mL de álcool etílico 96 °GL e 9,0 mL de solução de NaOH 1,0 mol L⁻¹. Em seguida, a mistura foi encaminhada para o banho-maria a 90 °C onde permaneceu por 10 min, após decorrido esse tempo foi resfriada durante 30 minutos. Após arrefecimento, o conteúdo foi transferido para balão volumétrico de 100 mL, homogeneizado e o volume ajustado com água destilada. Uma alíquota de 5 mL foi retirada de cada amostra e transferida para balão volumétrico de 100 mL, adicionando 1,0 mL de ácido acético 1 mol L⁻¹ e 2,0 mL de solução de iodo 2% (m/v) preparada

previamente à análise, sendo, então, completado o volume de cada balão volumétrico com água destilada. A solução resultante foi homogeneizada e mantida em repouso por 15 min previamente à leitura da absorbância em 610 nm utilizando cubetas de 1,0 cm de comprimento óptico e espectrofotômetro. Para a realização da curva padrão de amilose, foram utilizados 40 mg de amilose pura (Sigma) submetida ao mesmo processo descrito para o amido. Foram retiradas alíquotas de 1, 2, 3, 4, e 5 mL do balão volumétrico e foram acrescidos de 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 e 1,0 mL de ácido acético e de 0,4; 0,8; 1,2; 1,6 e 2,0 mL de iodo, respectivamente, completando-se o volume a 100 mL com água destilada. Os resultados da amilopectina são extraídos do total de composição do amido, sendo considerado, para tanto, amido constituído apenas de amilose e amilopectina.

4.3.2. Preparo das soluções filmogênicas

Sete diferentes formulações foram empregadas para avaliar o efeito da fécula de mandioca (FEC), gelatina (GLT) e quitosana (QTS) nas propriedades dos materiais desenvolvidos para revestimento de sementes. Em todas as formulações, as soluções filmogênicas foram preparadas para uma quantidade total de 2% (m/v) de polímero no final da mistura, os polímeros foram analisados tanto de forma individual como também em blendas (Tabela 2). Os revestimentos foram produzidos da seguinte forma: inicialmente, a gelatina foi hidratada em água destilada em temperatura ambiente por 1 hora, em seguida, foi acrescido o glicerol e a mistura encaminhada para agitação constante onde então solubilizou-se a 60 °C por 30 min, a fécula de mandioca, foi dissolvida juntamente com o glicerol e água destilada sob agitação constante, por aproximadamente 40 min, a uma temperatura de aproximadamente 75°C; a quitosana, foi dissolvida juntamente com o glicerol e o ácido acético P.A 37% (CH₃COOH) 1% (v/v) sob agitação constante por aproximadamente 40 min em um banho térmico, a uma temperatura de aproximadamente 90°C. O glicerol foi utilizado numa concentração de 20% em relação à massa seca de biopolímero para todas as formulações.

Tabela 2 - Concentração dos compostos utilizados em cada formulação

FORMULAÇÃO	COMPONENTES DA FORMULAÇÃO (%)		
	GELATINA	FÉCULA DE MANDIOCA	QUITOSANA
F1 (FEC)	0	100	0
F2 (GEL)	100	0	0
F3 (QTS)	0	0	100
F4 (FEC+GEL)	50	50	0
F5 (FEC+QTS)	0	50	50
F6 (GEL+QTS)	50	0	50
F7 (FEC+GEL+QTS)	33,33	33,33	33,33

Fonte: Autoria própria.

4.3.3. Preparo dos filmes para a caracterização

Após a preparação das soluções puras e blends de gelatina, fécula de mandioca e quitosana, foram pesadas as composições de cada mistura, a fim de atingir uma massa de 60 g para cada filme, de acordo com as variações dos pontos apresentados na Tabela 1. Os filmes foram preparados pelo método *casting*. Em seguida, as misturas foram depositadas em bandejas de acrílico (15 cm x 15 cm) e encaminhadas para secagem em uma estufa com renovação de ar a uma temperatura de 50°C durante 6 horas. Após secagem, os filmes foram encaminhados para a caracterização.

4.4. CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES

4.4.1. Solubilidade

A solubilidade em água foi determinada seguindo o método usado por Gontard *et al.* (1992), com alterações. Para determinar a solubilidade dos filmes, as amostras utilizadas foram colocadas em estufa a 105°C por uma hora, afim de remover qualquer umidade excessiva. As amostras foram então pesadas e em seguida imersas em 50 mL de água destilada, mantidas sob agitação lenta e periódica por 24 h à temperatura ambiente (25°C). Decorrido o tempo de agitação, os fragmentos das amostras foram retirados do banho e então colocados novamente na estufa, nas mesmas condições de temperatura e tempo, e em seguida foram pesadas em balança analítica. A solubilidade pôde então ser determinada com auxílio da Equação 1:

$$S (\%) = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} * 100 \quad (1)$$

Onde:

S: solubilidade dos filmes (%);

m_i : massa inicial da porção de filme (g);

m_f : massa final da porção de filme (g).

4.4.2. Taxa de permeação ao vapor de água (TPVA)

A taxa de permeação ao vapor de água foi determinada por gravimetria, em uma adaptação da metodologia usada por Sun *et al.* (2013) e baseada no método padrão ASTM E96-96M-12 (1993). Amostras circulares dos filmes foram separadas e colocadas sobre a abertura de cápsulas de permeação contendo água destilada, de modo que a única perda de massa do sistema se dê pela passagem do vapor de água através da amostra. O conjunto composto pelas cápsulas de permeação contendo água e amostra do filme recobrimo o orifício foi colocado dentro de um dessecador com umidade relativa de 10% e a temperatura de 29°C. Nove medições de massa dos conjuntos, bem como da temperatura do dessecador foram feitas de hora em hora, de modo a determinar a taxa de perda de água de cada uma das amostras. Uma vez obtidos, por pesagem, os valores aferidos da massa de água que permeou através dos filmes a cada intervalo de tempo, foram plotados gráficos contendo as perdas de massa de cada filme em função do tempo. A inclinação da reta obtida permite calcular a taxa de permeabilidade ao vapor de água (TPVA) dos filmes. A TPVA foi determinada desconsiderando estado estacionário de acordo com a Equação 2.

$$TPVA = \frac{W}{A * t} \quad (2)$$

Onde:

TPVA: taxa de permeabilidade ao vapor de água ($\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$);

W: peso da água que permeou através do filme (g);

A: área de permeação exposta (m²);

t: intervalo de tempo de permeação (h);

4.4.3. Absorção de água

Os filmes obtidos por *casting* foram cortados em amostras quadradas de 2 cm de largura. As amostras foram secas a 105°C até atingirem peso constante. As amostras foram então acondicionadas em recipientes herméticos a 25 ± 2°C na presença de soluções saturadas de cloreto de sódio (NaCl), mantendo-se a umidade relativa do ar em 75%. O procedimento de acondicionamento e a escolha da umidade relativa foram realizados de acordo com a norma ASTM E104-02. A quantidade de água absorvida pelas amostras foi determinada pesando-as periodicamente, até que uma massa constante fosse atingida. A absorção de água (W) foi determinada pela equação 3.

$$W (\%) = \frac{m_2 - m_1}{m_1} * 100 \quad (3)$$

Onde:

W: absorção de água (%);

m₁: peso inicial da amostra (g);

m₂: peso final da amostra (g).

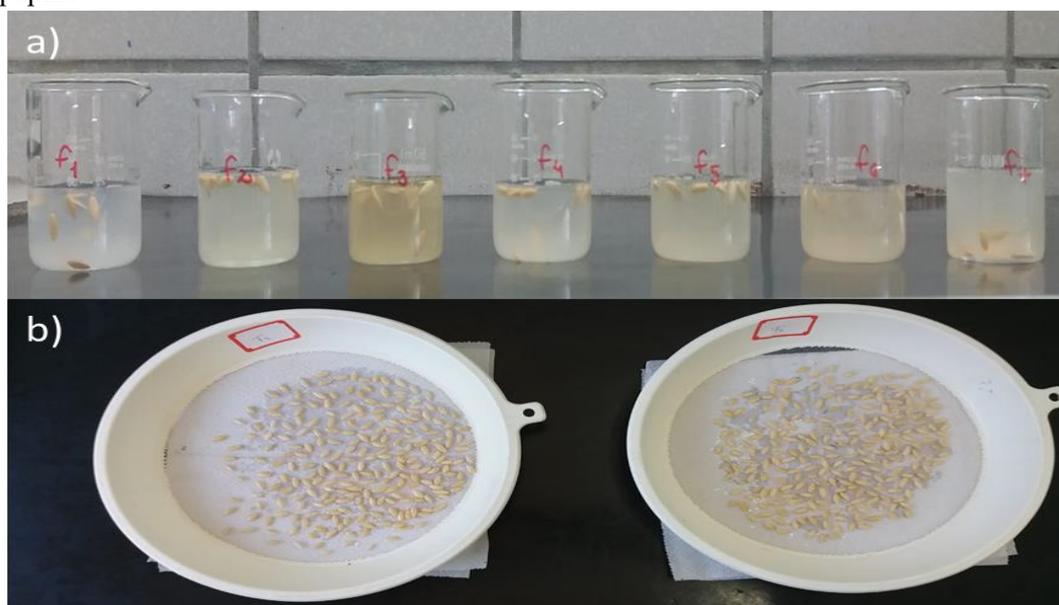
4.4.4. Análise das propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas dos filmes poliméricos foram determinadas utilizando uma máquina universal de ensaios, operando de acordo com a norma ASTM D-882-91 (1996), a uma velocidade de ensaio de 5,0 mm min⁻¹ com aplicação de força total de 5,0 kN. Os corpos de prova seguiram o mesmo padrão e foram avaliados com as dimensões de comprimento útil de 50 mm e largura de 5 mm. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Ensaios Mecânicos da UFERSA, e cinco corpos de prova foram ensaiados para cada filme obtido.

4.5. Recobrimento e secagem de sementes

Foram utilizadas sementes de pepino, cultivar Aodai, adquiridas no comércio local, permanecendo armazenadas em ambiente controlado (17°C; 40% UR) no Laboratório de Análise de Sementes até a instalação do experimento. O recobrimento das sementes, foi realizado a partir da adaptação da metodologia empregada por Samarah e colaboradores (2020), sendo as mesmas submersas em béqueres contendo soluções filmogênicas onde permaneceram por 10 minutos, em seguida, foram retiradas da solução e colocadas em peneiras para secagem em temperatura ambiente ($\pm 30^\circ\text{C}$) por 16 horas. O processo de recobrimento e secagem das sementes pode ser observado na Figura 4.

Figura 4- Esquema de recobrimento com soluções biopoliméricas (a) e secagem (b) das sementes de pepino



Fonte: Autoria própria.

As soluções filmogênicas foram formuladas de acordo com as concentrações de biopolímeros apresentadas na Tabela 1.

4.5.1. Determinação do grau de umidade

Para as pesagens realizou-se a pré-secagem de recipientes de metal de 0,5mm de espessura que foram colocados por 30 minutos em estufa à 105°C antes da realização do teste e após resfriado em dessecador contendo sílica gel. As sementes úmidas foram pesadas em balança de 0,001 g de precisão, utilizando amostras de 1,0 g de semente

revestida de cada tratamento bem como das sementes nuas (controle). Em seguida, as sementes em seus respectivos recipientes foram acondicionadas à secagem em estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ por 24 horas. Após este período, os recipientes contendo as sementes secas foram retirados do interior da estufa e permaneceram em dessecador até seu resfriamento por aproximadamente 30 minutos, até que os recipientes entrassem em equilíbrio com a temperatura ambiente. As sementes secas foram pesadas em balança de 0,001 g de precisão, obtendo-se os resultados finais. O grau de umidade foi determinado através da diferença entre a primeira e a segunda pesagem como estabelecido pelas Regras de Análises para Sementes RAS (BRASIL, 2009). As amostras foram analisadas em triplicata.

4.5.2. Teste de germinação

Após a secagem dos filmes nas sementes, foi instalado um teste de germinação com 4 (quatro) repetições de 50 (cinquenta) sementes para cada formulação, totalizando 200 (duzentas) sementes para cada um dos sete tratamentos.

As sementes de pepino revestidas foram dispostas entre folhas de papel toalha, umedecidas com água destilada na proporção de 2,5 vezes a massa seca do papel. As folhas contendo as sementes foram dispostas em formato de rolo e estes acondicionados em sacos plásticos para evitar a evaporação da água. Estes foram mantidos em câmaras de germinação a 25°C , durante oito dias, conforme recomendações das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). As etapas de implementação do teste de germinação podem ser observadas na Figura 5.

Figura 5- Sementes revestidas dispostas em papel toalha umedecido (a), folhas contendo as sementes revestidas dobradas em forma de rolos (b) acondicionados em sacos plásticos na câmara de germinação a 25°C .



Fonte: Autoria Própria.

4.5.3. Primeira Contagem de Germinação

O teste de primeira contagem de germinação foi conduzido juntamente com o teste de germinação, onde foi obtido o número de plântulas normais, determinado por ocasião da primeira contagem, aos quatro dias após a semeadura (BRASIL, 2009).

Plântulas normais e anormais: avaliado no oitavo dia (BRASIL, 2009), após a instalação do experimento e os resultados expressos em porcentagem.

4.5.4. Comprimento de plântulas

Ao final do teste de germinação as plântulas normais foram mensuradas quanto ao comprimento da parte aérea (hipocótilo) e raiz, com auxílio de uma régua graduada em milímetros e os resultados expressos em cm planta^{-1} .

4.5.5. Massa seca de plântulas

As plântulas mensuradas anteriormente foram colocadas dentro de sacos de papel tipo kraft e mantidas em estufa com circulação de ar forçado a 65 °C, durante 72 horas, para obtenção da massa seca das plântulas. Os resultados foram expressos em g planta^{-1} .

4.5.6. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Afim de se observar a microestrutura superficial e transversal das sementes revestidas foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura. Inicialmente, as amostras foram submetidas à metalização por 360 segundos a 20 mA, afim de lhes conferir condutividade elétrica pela deposição de uma fina camada de ouro, o que ocorreu num metalizador a vácuo. Feito isto, as amostras foram fixadas nos suportes de alumínio do microscópio e as micrografias foram obtidas a uma tensão de 15 kV, com magnitude de 1000 vezes.

4.6. Análise Estatística

O delineamento experimental adotado foi do tipo inteiramente casualizado, com quatro repetições constituídas por 50 sementes cada. Os resultados obtidos foram submetidos à análise estatística de variância (ANOVA) e as diferenças estatísticas entre as médias foram identificadas pelo teste de comparação de médias de Tukey ($p < 0,05$), utilizando-se o programa Sisvar versão 5.6, Build 86 (FERREIRA, 2011).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES BIOPOLIMÉRICOS

Durante a elaboração dos filmes, verificou-se excelente formação de géis em cada solução filmogênica individual de fécula de mandioca, gelatina e quitosana bem como nas blendas.

Todas as formulações de revestimento resultaram em filmes transparentes sem poros ou rachaduras, embora os filmes da formulação de fécula de mandioca (F1) tenham se apresentado mais frágeis em comparação com as outras formulações, quando manuseados (Anexo A).

5.1.1. Caracterização da fécula de mandioca (teor de amilose e amilopectina)

Antes de dar início à etapa de confecção e caracterização dos filmes, foram quantificados os teores de amilose e amilopectina da fécula de mandioca. Como já foi discutido no referencial teórico, na seção 3.1.4, uma vez que os teores de amilose e amilopectina são fatores determinantes para as características dos filmes obtidos, é de suma importância quantificá-los. Os Teores de Amilose e Amilopectina em % estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3- Teor de amilose e amilopectina em % para a fécula de mandioca.

Fonte	Teor (%)	
	Amilose	Amilopectina
Fécula de mandioca	16,76	83,24

Fonte: Autoria própria.

A estrutura da amilose apresenta a propriedade de absorver até 25 vezes seu peso em água, o que acaba por tornar os filmes com base polimérica que apresenta menor teor de amilose, como é o caso da fécula de mandioca utilizada no presente estudo, absorvedores de menor quantidade de água. Conseqüentemente, esses filmes acabam por apresentar uma menor taxa de permeação de vapor de água e solubilidade diminuída (GUTIÉRREZ *et al.*, 2014; WANDERLEY, RIBEIRO, 2019).

A fécula de mandioca utilizada no presente estudo, apresentou um percentual de amilose de 16,76%. Na pesquisa realizada por Oliveira *et al.*, (2018), onde foi investigado o efeito da aplicação do revestimento biopolimérico na conservação pós-colheita da goiaba, a fécula de mandioca utilizada apresentou teor de amilose de 29,24%. Já a fécula de mandioca utilizada no estudo realizado por Abioye *et al.*, (2017), no qual foram investigadas as propriedades funcionais da mesma, o percentual de amilose apresentada foi de 21%. Isso mostra que existe uma variação no teor de amilose e conseqüentemente da amilopectina na composição de féculas oriundas de um mesmo tipo de fonte.

5.1.2. Caracterização física dos filmes

Os dados de solubilidade, TPVA e absorção de umidade para os filmes obtidos são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Dados de solubilidade, TPVA e absorção de água.

FORMULAÇÃO	PROPRIEDADES FÍSICAS		
	Solubilidade (%)	TPVA (g m ⁻² h ⁻¹)	Absorção de umidade (%)
F1 (FEC)	34,44 ± 0,40 ^c	39,53 ± 1,13 ^b	0,25 ± 0,03 ^c
F2 (GEL)	90,14 ± 0,94 ^a	78,66 ± 1,74 ^a	0,42 ± 0,03 ^a
F3 (QTS)	40,27 ± 0,59 ^d	40,71 ± 1,17 ^b	0,31 ± 0,03 ^{bc}
F4 (FEC+GEL)	77,40 ± 0,49 ^b	78,98 ± 1,12 ^a	0,25 ± 0,04 ^c
F5 (FEC+QTS)	31,31 ± 0,89 ^f	40,31 ± 0,90 ^b	0,33 ± 0,03 ^b
F6 (GEL+QTS)	43,58 ± 0,49 ^c	39,29 ± 0,48 ^b	0,34 ± 0,04 ^b
F7 (FEC+GEL+QTS)	42,38 ± 0,93 ^c	39,14 ± 0,22 ^b	0,31 ± 0,07 ^{bc}

Letras diferentes nas colunas indicam diferença estatística (p<0,05). Todas as comparações foram realizadas pelo teste de Tukey a 5%.

A solubilidade variou de 31,31% a 90,14% com o maior valor obtido para o filme formulado com gelatina pura. Os valores obtidos indicam tendência para maiores valores sendo observados em amostras dos filmes que contém gelatina em sua composição. Diferenças significativas ($p < 0,05$) foram observadas entre os valores de solubilidade das formulações. No estudo realizado por Garrido *et al.* (2021), quando avaliada a incorporação de argila bentonita em filmes de gelatina, foi encontrada uma solubilidade de 96% para os filmes de gelatina, esse resultado foi associado ao caráter de hidrofiliabilidade e higroscopicidade da gelatina. Os resultados obtidos neste estudo corroboram com a literatura citada, tendo em vista que o caráter hidrofílico (ou seja, possui afinidade com a água) e higroscópico (capacidade de absorção de água) da gelatina faz com que a matriz filmogênica se solubilize com mais facilidade uma vez em contato com água.

Elevados valores de TPVA foram encontrados para o filme de gelatina ($78,66 \pm 1,74$) e para a blenda de fécula e gelatina ($78,98 \pm 1,12$), diminuindo consideravelmente para as demais formulações. Oliveira *et al.* (2018), quando estudando a aplicação de filmes na cobertura de frutos pós-colheita, obteve uma TPVA de $207,28 \text{ g m}^{-2}\text{h}^{-1}$ para filmes de gelatina. Já em um estudo realizado por Costa *et al.*, (2020), onde foi analisada a aplicação de biopolímeros em coberturas comestíveis, a fécula de mandioca e a quitosana utilizadas renderam valores de TPVA de $100,99 \text{ g m}^{-2}\text{h}^{-1}$ e $121,82 \text{ g m}^{-2}\text{h}^{-1}$ respectivamente.

Assim como acontece com a solubilidade, a TPVA está totalmente relacionada com o caráter hidrofílico dos filmes, quanto maior é a interação das moléculas da substância componente do filme com a água, maiores serão os valores da taxa de permeação de vapor de água. Uma vez que os maiores valores de TPVA obtidos foram de filmes contendo gelatina podemos associar esse resultado ao fato de a gelatina ser bastante hidrofílica e higroscópica.

Os resultados de absorção de água no equilíbrio para os filmes de fécula de mandioca, gelatina, quitosana e suas blends em ambiente hermético com umidade relativa controlada de 75% são apresentados na Tabela 4. O maior percentual de absorção de água foi apresentado pelas amostras dos filmes de gelatina ($0,42 \% \pm 0,03^a$), as demais formulações não apresentaram grande diferença estatística entre si. Uma vez que o glicerol possui caráter higroscópico, espera-se que sua utilização favoreça a absorção de água, porém, em ambientes com altos valores de saturação é possível a ocorrência da

redução drástica da absorção de água em filmes poliméricos (CHAMBI E GROSSO, 2011; AHAMMED *et al.*, 2020; GARRIDO *et al.*, 2021)

5.1.3. Caracterização Mecânica dos filmes

A Tabela 5 mostra os resultados obtidos das propriedades mecânicas dos filmes para as formulações estudadas, expressos em limite de resistência à tração (MPa), alongamento da ruptura (%) e módulo de elasticidade (MPa).

Tabela 5 - Dados de Limite de resistência a tração (LRT), Alongamento (AL) e Módulo de elasticidade (ME).

FORMULAÇÃO	PROPRIEDADES MECÂNICAS		
	LRT (Mpa)	AL (%)	ME (MPa)
F1 (FEC)	18,56 ± 0,88 ^a	2,53 ± 0,16 ^e	3,9 ± 0,19 ^a
F2 (GEL)	37,01 ± 4,07 ^a	5,45 ± 0,71 ^d	1,34 ± 0,33 ^b
F3 (QTS)	17,88 ± 0,50 ^a	90,81 ± 2,54 ^a	0,06 ± 0,03 ^d
F4 (FEC+GEL)	10,30 ± 1,54 ^b	0,81 ± 0,18 ^e	0,99 ± 0,19 ^c
F5 (FEC+QTS)	12,19 ± 1,24 ^b	3,03 ± 0,14 ^e	0,81 ± 0,09 ^c
F6 (GEL+QTS)	10,61 ± 1,35 ^b	63,96 ± 0,49 ^b	0,07 ± 0,04 ^d
F7 (FEC+GEL+QTS)	8,52 ± 0,43 ^b	34,84 ± 1,22 ^c	0,15 ± 0,006 ^d

Letras diferentes nas colunas indicam diferença estatística ($p < 0,05$). Todas as comparações foram realizadas pelo teste de Tukey a 5%.

É possível observar na Tabela 5 que o limite de resistência à tração foi maior para o filme a base de gelatina ($37,01 \pm 4,07$ MPa). Já a blenda de fécula, gelatina e quitosana, apresentou o menor valor de resistência à tração ($8,52 \pm 0,43$ MPa).

Em relação ao alongamento na ruptura, os valores obtidos apresentaram diferença significativa entre si (Tabela 5). Os filmes à base de quitosana apresentaram os valores mais elevados ($90,81 \pm 2,54\%$), enquanto os filmes obtidos da blenda de fécula e gelatina, apresentaram valores menores ($0,81 \pm 0,18\%$).

Em seu trabalho, Chambi e Grosso (2011) produziram filmes de gelatina e utilizaram glicerol como plastificante. Os autores obtiveram limite de resistência a tração de 60 MPa e alongamento de 2,9%. Já no trabalho de Menezes *et al.* (2021), os autores avaliaram filmes de fécula de mandioca e quitosana com e sem a adição de TiO_2 , para os filmes dos biopolímeros puros obtiveram resistência à tração de 54,30 MPa e 29,30 MPa, respectivamente, valores diferentes do presente trabalho.

O Módulo de Young indica a rigidez do filme, sendo que, quanto maior o módulo, mais rígido é o filme. Os filmes de fécula de mandioca (3,9 MPa) e gelatina (1,34 MPa)

apresentaram maior rigidez quando comparados com os demais filmes (Tabela 3). Os filmes de quitosana foram os que apresentaram menor rigidez (0,06 MPa).

5.2. POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES REVESTIDAS COM BIOPOLÍMEROS

Após o teste para a verificação do teor de umidade, todas as sementes mostraram grau de umidade abaixo de 13%, que é o indicado para armazenamento seguro.

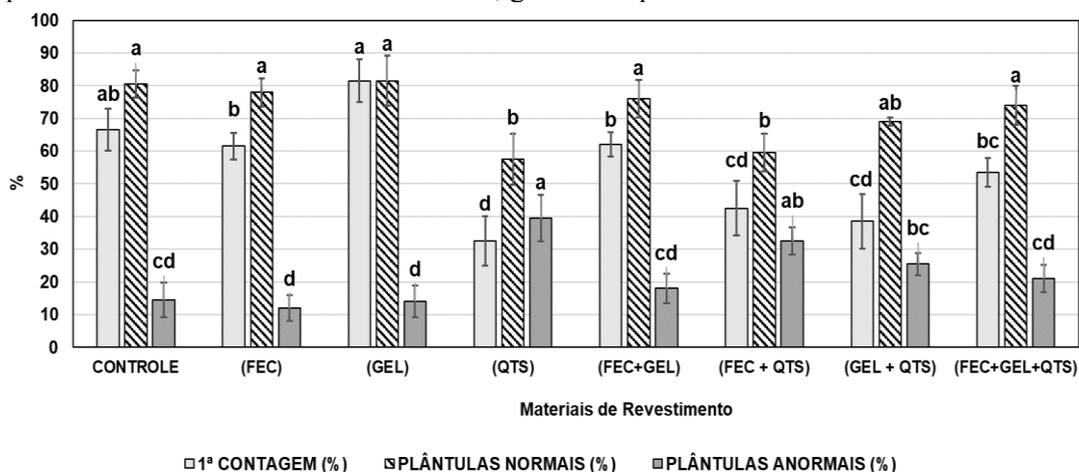
Tabela 6 - Percentuais de umidade de sementes de pepino revestidas com diferentes composições biopoliméricas à base de fécula de mandioca, gelatina e quitosana

TRATAMENTOS	GRAU DE UMIDADE %
CONTROLE	8,80 ± 0,001
F1 (FEC)	10,3 ± 0,001
F2 (GEL)	10,3 ± 0,001
F3 (QTS)	9,10 ± 0,002
F4 (FEC+GEL)	10,6 ± 0,004
F5 (FEC+QTS)	9,90 ± 0,002
F6 (GEL+QTS)	10,4 ± 0,002
F7 (FEC+GEL+QTS)	10,2 ± 0,001

Fonte: Autoria própria.

A Figura 6 mostra os resultados obtidos em porcentagens para as análises de primeira contagem do teste de germinação, plântulas normais e plântulas anormais para sementes de pepino revestidas com fécula de mandioca, gelatina e quitosana.

Figura 6- Médias da primeira contagem de germinação percentuais de plântulas normais e anormais obtidas da germinação de sementes de pepino revestidas com diferentes composições biopoliméricas à base de fécula de mandioca, gelatina e quitosana.



* Onde as abreviaturas correspondem a: FEC = Fécula de mandioca; GEL = Gelatina e QTS = Quitosana.
 ** Letras diferentes nas colunas indicam diferença estatística ($p < 0,05$). Todas as comparações foram realizadas pelo teste de Tukey a 5%.

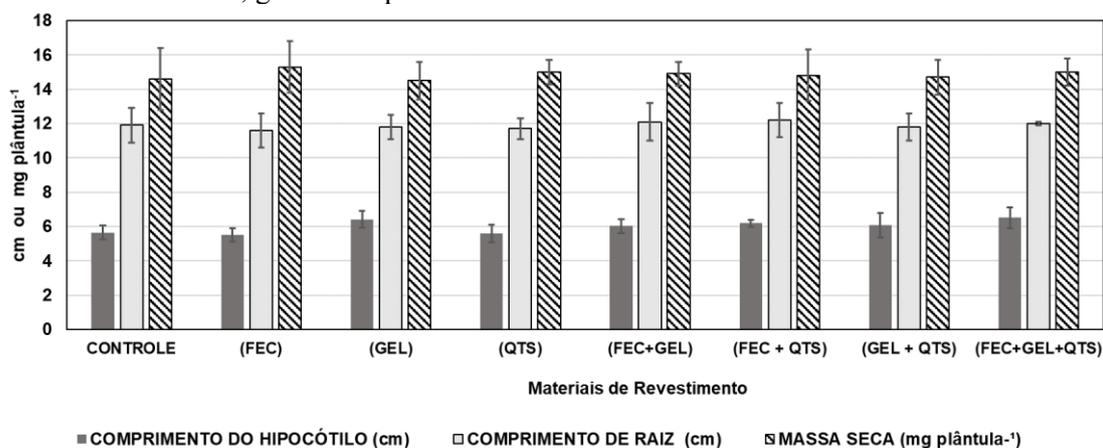
Avaliadas após a aplicação dos tratamentos com os revestimentos biopoliméricos, somente as sementes revestidas com gelatina apresentaram percentual de germinação superior a 80%, valor mínimo aceito para comercialização de sementes (BRASIL, 2009). Melo *et al.* (2015) afirmam que o uso de determinados filmes no revestimento de sementes, age de forma positiva, regulando a velocidade de absorção de água e consequentemente diminuindo danos recorrentes desse processo. No estudo realizado por Pirola *et al.* (2016), onde foi analisada a utilização de biofilmes na conservação de sementes de *Poncirus trifoliata*, o uso de gelatina como revestimento, conferiu às sementes uma maior atividade metabólica produzindo maior crescimento e desenvolvimento das plantas. Os resultados positivos obtidos a partir do uso da gelatina como revestimento de sementes obtidos no presente estudo podem estar atrelados ao fato de que filmes de gelatina apresentam características adequadas quando se trata de solubilidade, absorção de água e permeação de vapor de água, desta forma o revestimento acaba por regular a entrada de água necessária à germinação da semente. Uma imagem das sementes revestidas com gelatina, germinadas até o momento da 1ª contagem está exibida no anexo B.

Contudo, o uso de quitosana tanto na forma pura quanto em blendas influenciou negativamente a emergência das plântulas quando analisadas a 1ª contagem, plântulas normais e anormais (Figura 6), não ocorrendo o mesmo para as demais variáveis. A quitosana quando em contato com a semente é capaz de induzir a síntese de hormônios de crescimento vegetal como as giberelinas (GAs), porém quando utilizadas doses elevadas deste biopolímero pode ocorrer o inverso através do efeito de fitotoxicidade, o que acaba por inibir o desempenho germinativo da semente e consequentemente o crescimento da planta. Os anexos C e D mostram as sementes revestidas com quitosana, durante a primeira contagem e verificação de plântulas anormais, respectivamente. No estudo realizado por de Oliveira *et al.*, (2020), onde foi avaliada a aplicação de quitosana em diferentes concentrações para o desenvolvimento de *Mentha arvensis*, relatou-se que quando usadas concentrações acima de 100 mg L⁻¹, foi reduzido o crescimento das plântulas, afetando o seu comprimento. Já Martins (2016), quando estudou a aplicação de diferentes concentrações de quitosana em sementes de milho, concluiu que ocorreu uma melhora no processo germinativo dessas sementes, quando usada em baixas concentrações. Sugere-se, portanto, no presente estudo, que a quitosana utilizada no revestimento das sementes agiu de forma inibidora, uma vez que utilizada em uma alta

concentração, formando uma maior barreira no tegumento, diminuindo a entrada de água e oxigênio, elementos essenciais para desencadear o processo germinativo.

Por outro lado, as variáveis comprimento do hipocótilo, comprimento da raiz e massa seca de plântulas não apresentaram diferença estatística significativa entre os grupos das sementes tratadas com os revestimentos biopoliméricos utilizados neste estudo, nem entre estas e o grupo controle (Figura 7). Dessa forma, pode-se observar que os efeitos dos revestimentos foram mais acentuados apenas na fase de germinação e crescimento inicial das plântulas.

Figura 7- Comprimento do hipocótilo, comprimento da raiz e massa seca das plântulas obtidas da germinação de sementes de pepino revestidas com diferentes composições biopoliméricas à base de fécula de mandioca, gelatina e quitosana



* Onde as abreviaturas correspondem a: FEC = Fécula de mandioca; GEL = Gelatina e QTS = Quitosana.

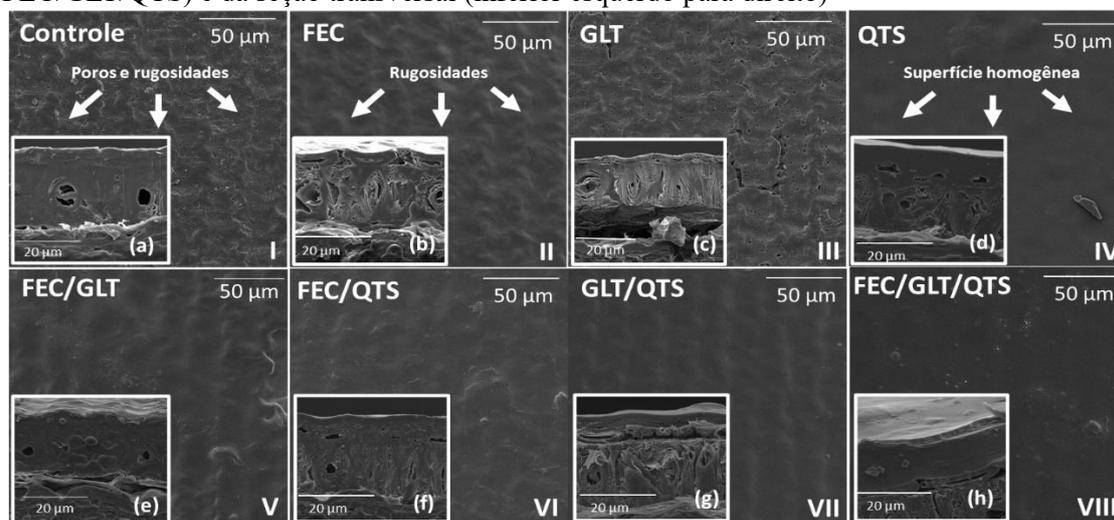
** Não foram observadas diferenças estatísticas ($p < 0,05$) entre os tratamentos.

5.3. Morfologia das sementes revestidas

Observando as imagens do tegumento das sementes obtidas através do microscópio eletrônico de varredura (MEV), verifica-se que as sementes nuas (controle) (Fig. 8I) apresentaram uma superfície heterogênea com bastante porosidade embora não tenham sido observadas na análise visual, e esperava-se que essas características fossem reduzidas após a aplicação do revestimento biopolimérico. Em geral, pôde-se verificar que a maioria das formulações aplicadas como revestimento resultaram na eliminação da porosidade sobre as superfícies das sementes de pepino e apesar de mostrarem-se totalmente revestidas apresentaram rugosidade (Fig. 8II, VI, VII, VIII). No entanto, foi observada uma superfície homogênea para as sementes revestidas com a formulação de

quitosana (Fig. 8IV) quando comparada com os demais revestimentos, ou seja, a quitosana formou uma maior barreira sobre o tegumento, o que corrobora com os resultados do teste de germinação. Já as sementes revestidas com gelatina (Fig. 8III) não apresentaram alterações superficiais quando comparadas com as sementes de controle, o que também corrobora com os resultados obtidos na germinação. Vale ressaltar que a rugosidade não foi observada na análise visual das sementes, o que dá o indicativo de que as mesmas podem estar relacionadas ao processo de secagem do recobrimento ou ao manuseio de sementes recobertas. Os revestimentos quando observados na seção transversal (Fig. 8a, b, c, d, e, f, g e h) só foram visíveis nas sementes onde foram usadas formulações contendo quitosana, esse resultado pode estar atrelado ao fato de que, por serem mais viscosas, após aplicação e secagem, o revestimento acaba por apresentar uma camada mais espessa sobre o tegumento. Em contrapartida, as demais formulações, por serem menos viscosas, dão origem a revestimentos menos espessos sobre o tegumento, desta forma não sendo possível visualizá-los.

Figura 8 - Imagens obtidas a partir do MEV da superfície das sementes revestidas e do controle (superior esquerdo para direito: Controle, FEC, GLT, QTS, FEC/GLT, FEC/QTS, GLT/QTS e FEC/GLT/QTS) e da seção transversal (inferior esquerdo para direito)



* Onde as abreviaturas correspondem a: FEC = Fécula de mandioca; GEL = Gelatina e QTS = Quitosana.

CONCLUSÃO

As soluções filmogênicas de fécula de mandioca, gelatina e quitosana apresentaram características apropriadas para obtenção de filmes biopoliméricos. Os filmes de gelatina apresentaram maiores valores para a solubilidade, taxa de permeabilidade de vapor de água e limite de resistência à tração, quando comparados com os demais tratamentos.

A aplicação do revestimento à base de gelatina mostrou-se viável para o revestimento de sementes de pepino, uma vez que melhorou o potencial fisiológico dessas sementes.

REFERENCIAS

ABIOYE V, ADEYEMI I, AKINWANDE B, KULAKOW P, MAZIYA-DIXON B. Effect of steam cooking and storage time on the formation of resistant starch and functional properties of cassava starch. **Cogent Food Agric.**, 3(1) (2017), pp. 1–11.

ADAK, T.; KUMAR, J.; SHAKIL, N. A.; PANDEY, S. Role of nano-range amphiphilic polymers in seed quality enhancement of soybean and imidacloprid retention capacity on seed coating. **Journal Science Food Agric.**, 93(13) (2016), pp. 4351-4357.

AHAMMED, S.; LIU, F.; KHIN, M. N.; YOKOYAMA, W. H.; ZHONG, F. Improvement of the water resistance and ductility of gelatin film by zein. **Food Hydrocolloids**, 105, pp. 105-804, 2020.

AHMAD T.; ISMAIL, A.; AHMAD, S.A.; KHALIL K.A.; KUMAR, L, Y.; ADEYEMI K.D., et al. Recent advances on the role of process variables affecting gelatin yield and characteristics with special reference to enzymatic extraction: A review. **Food Hydrocolloids**, 63, pp. 85-96, 2017.

ALEGRETTI, A.L.; WAGNER JÚNIOR, A.; BORTOLINI, A.; HOSSEL, C.; ZANELA, J.; CITADIN, I. Armazenamento de sementes de cerejas-do-mato (*Eugenia involucrata*) DC. submetidas ao recobrimento com biofilmes e embalagem a vácuo. **Revista Ceres**, Viçosa, v.62, p.124-127, 2015.

ANTONIO, C.I.; CARDOSO, OM.; BERNI, F. R.; KANO, C. Uso de biofertilizante na adubação complementar do pepino sob ambiente protegido. Manaus: Embrapa Amazônia Oriental, 2017. (**Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**).

ASTM – American Society for Testing Materials. ASTM E96/E96M-12. Standard test methods for water vapour transmission of materials. Annual Book of Standards, 1993.

ASTM – American Society for Testing Materials. ASTM E104-02, Standard Practice for Maintaining Constant Relative Humidity by Means of Aqueous Solutions, Annual Book of Standards, 2012.

ASTM - American Society for Testing Materials. ASTM D882-91. Standard test methods for tensile properties of thin plastic sheeting. Annual Book of Standards, 1996.

ATARÉS, L.; CHIRALT, A. Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. **Trends in Food Science and Technology**, v. 48, p. 51–62, 2016.

AZEVEDO, V. M.; BORGES, S. V.; MARCONCINI, J. M.; YOSHIDA, M. I.; NETO, A. R. S.; PEREIRA, T. C.; PEREIRA, C. F. G. Effect of replacement of corn starch by whey protein isolate in biodegradable film blends obtained by extrusion. **Carbohydrate Polymers**, v. 157, p. 971–980, 2017.

BAYS, Rodrigo; BAUDET, Leopoldo; HENNING, Ademir, A.; LUCCA FILHO, Orlando A. Recobrimento de sementes de soja com micronutrientes, fungicida e polímero. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 29, n. 2, p. 60-67, 2007.

BAUTISTA-BAÑOS, S., ROMANAZZI, G., JIMÉNEZ- Aparicio, A. Chitosan in the Preservation of Agricultural Commodities. **USA: Academic Press/Elsevier**. 2016.

BELEZA, R. M., & LIMA, R. A. A química da coleta do lixo plástico: uma experiência durante a vivência no PIBID. **Revista Ensino de Ciências e Humanidades-Cidadania, Diversidade e Bem Estar-RECH**, v. 6, n. 2, jul-dez, p. 165-178, 2022.

BENJAKUL S E KITTIPHATTANABAWON P. Gelatin, ed. por, LAURENCE MELTON EMERITUS, FEREIDO ON SHAHIDI E PETER VARELIS, em **Reference Module in Food Science**, pp. 1 – 7, 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: Mapa/ACS**, 2009. 399 p.

CAZÓN, P.; VELAZQUEZ, G.; RAMÍREZ, J. A.; VÁZQUEZ, M. Polysaccharide-based characterization and properties of konjac glucomannan and zein blend films. **International Journal of Biological Macromolecules**, jul. 2017.

CHAMBI, H.N.M.; Grosso, C.R.F. Mechanical and water vapor permeability properties of biodegradables films based on methylcellulose, glucomannan, pectin and gelatin. **Food Science and Technology**, 31(3), 739 – 746, 2011.

CHANDRA, S.; CHAKRABORTY, N.; DASGUPTA, A.; SARKAR, J.; PANDA, K.; ACHARYA, K. Chitosan nanoparticles: a positive modulator of innate immune responses in plants. **Sci. Rep.**, 5, p.15195, 2015.

CHANDRIKA, K.S.V.; PRASAD, R.D.; GODBOLE, V. Development of chitosan - PEG blended films using Trichoderma: Enhancement of antimicrobial activity and seed quality. **International Journal of Biological Macromolecules**, 126, p. 282–290, 2019.

CHENAL, M.; VÉCHAMBRE, C.; CHENAL, J-M.; CHAZEAU, L.; HUMBLLOT, V.; BOUTEILLER, L.; CRETON, C.; RIEGER, J. Soft nanostructured films with an ultra-low volume fraction of percolating hard phase. **Polymer**, v. 109, p. 187-196, 2017.

CIANNAMEA, E. M., CASTILLO, L. A., BARBOSA, S. E., & DE ANGELIS, M. G. Barrier properties and mechanical strength of bio-renewable, heat-sealable films based on gelatin, glycerol and soybean oil for sustainable food packaging. **Reactive and Functional Polymers**, 125, 29-36, 2018.

CORRADINI, E.; LOTTI, C.; MEDEIROS, E. S. DE; CARVALHO, A. J. F.; CURVELO, A. A. S.; MATTOSO, L. H. C. Estudo comparativo de amidos termoplásticos derivados do milho com diferentes teores de amilose. **Polímeros**, 15(4), 268-273, 2005.

COSTA, T. L. E. et al. Filmes comestíveis de blendas poliméricas de quitosana, pectina e fécula de mandioca. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, n. 4, p. 391-397, 2020.

COX, K. D.; COVERNTON, G. A.; DAVIES, H. L.; DOWER, J. F.; JUANES, F.; DUDAS, S. E. Human Consumption of Microplastics. **Environmental Science & Technology Article ASAP**, 2019.

DEBEZ, A., BELGHITH, I., PICH, A., TAAMALLI, W., ABDELLY, C., & BRAUN, H. P. High salinity impacts germination of the halophyte *Cakile maritima* but primes seeds for rapid germination upon stress release. **Physiologia Plantarum**, v. 164, n. 2, p. 134-144, 2018.

DE OLIVEIRA, T., DE CARVALHO, A. A., BERTOLUCCI, S. K. V., ROCHA, J. P. M., COSSA, M. C., & PINTO, J. E. B. P. Elicitação com quitosana no crescimento e nos compostos voláteis de *Mentha arvensis* in vitro. **Scientia Plena**, 16(4), 2020.

DUCONSEILLE, A.; ASTRUC, T.; QUINTANA, N.; MEERSMAN, F.; SANTE-LHOUTELLIER, V. Gelatin structure and composition linked to hard capsule dissolution: a review. **Food Hydrocolloids**, vol. 43, pp. 360-376, 2015.

ELGADIR, M. A., UDDIN, M. S.; FERDOSH, S.; ADAM, A.; CHOWDHURY, A. J. K.; SARKER, Z. I. Impact of chitosan composites and chitosan nanoparticle composites on various drug delivery systems: A review. **Journal of Food and Drug Analysis**, v. 23, n. 4, p.619-629, 2015.

DÍAZ-MÉNDEZ, H.A.; PRECIADO-RANGEL, P.; CHÁVEZ, E.S.; RIVERA, J.R.E.; HERNÁNDEZ, M.F.;2 ÁLVAREZ-REYNA, V.P. Potassium in the nutraceutical quality of hydroponic cucumber fruits. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, vol. 20, pp. 4245 – 4250, 2018.

DUHAN, J. S.; KUMAR, R.; KUMAR, N.; KAUR, P.; NEHRA, K.; DUHAN, S. Nanotechnology: the new perspective in precision agriculture. **Biotechnology Reports**, v. 15, p. 11-23, 2017.

FARIAS, S. S. de; SIQUEIRA, S. M. C.; CRISTINO, J.H.S; ROCHA, J.M. da. Biopolímeros: uma alternativa para promoção do desenvolvimento sustentável. **Revista Geonorte**, v.7, n.26, p.61-77, 2016.

GARRIDO, M. A.; LEITE, R. H. L.; AROUCHA, E. M. M; SANTOS, F. K. G de. Filmes biodegradáveis de gelatina incorporados com argila bentonita modificada ionicamente. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 16, n. 2, p. 182-188, 2021.

GEYER, Roland; JAMBECK, Jenna R.; LAW, Kara Lavender. Production, use, and fate of all plastics ever made. **Science advances**, v. 3, n. 7, p. e1700782, 2017.

GOMES FILHO, A.; OLIVEIRA, T. F.; OLIVEIRA, S. L.; SILVA, G. G. & CHAGA, L. M. Qualidade pós-colheita de goiabas ‘Pedro Sato’ tratadas com diferentes concentrações de fécula de mandioca associadas a substâncias antifúngicas. **Revista Agri-Environmental Sciences**, v. 2, pag. 37-51, 2016.

GONTARD, N.; GUILBERT, S.; CUQ, J. L. Edible wheat gluten films: Influence of the Main Process Variables on Film Properties using Response Surface Methodology. **Journal of Food Science**, Chicago, v.57, n.1, p. 190-200, 1992.

GUISOLFI, L.P.; MONACO; P.A.V.L.; HADDADE, I.R.; KRAUSE, M.R.; MENEGHELLI, L.A.M.; ALMEIDA, K.M. Production of cucumber seedlings in alternative substrates with different compositions of agricultural residues. **Revista Caatinga**, 31(3), 791-797, 2018.

GODÍNEZ-GARRIDO, N.A.; RAMÍREZ-PIMENTEL, J.G.; COVARRUBIAS-PRIETO, J.; FRANCISCO CERVANTES-ORTIZ, F.; PÉREZ-LÓPEZ, A.; AGUIRRE-MANCILLA, C.L. Chitosan coating on bean and maize seeds: release of agrochemical fungicide and post-storage condition. **Journal of Seed Science**, 43, e202143036, 2021.

GUILHERME, M. R. et al. Superabsorbent hydrogels based on polysaccharides for application in agriculture as soil conditioner and nutrient carrier: A review. **European Polymer Journal**, v. 72, p. 365-385, 2015.

HAZRA, D.K.; PATANJALI P.K. Seed coating formulation technologies: an environmental biology friendly approaches for sustainable agriculture. **Bioscience Methods**, v. 7, 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção agrícola municipal: culturas temporárias e permanentes. 2017. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/>. Acesso em: 20 jan. 2022.

JAMBECK, Jenna R. *et al.* Plastic waste inputs from land into the ocean. **Science**, v. 347, n. 6223, p. 768-771, 2015.

JUNG, G.; DEGENHARDT, R. Polímero de recobrimento bioativo à base de amido de milho para prolongamento da vida de prateleira de tomate tipo cereja. **Jornada Integrada em Biologia**, p. 67-74, jul. 2016. Disponível em: <<http://editora.unoesc.edu.br/index.php/jornadaintegradaembologia/article/view/10202/5576>>. Acesso em: 17 jun. 2021.

JUNQUEIRA, C. Luiz e CARNEIRO, José. **Biologia Celular e Molecular**, Editora Guanabara/Koogan, 9ª edição. 2012, 376 p.

KATIYAR, DEEPMALA; HEMANTARANJAN, A.; SINGH, Bharti. Chitosan as a promising natural compound to enhance potential physiological responses in plant: a review. **Indian Journal of Plant Physiology**, v. 20, n. 1, p. 1-9, 2015.

LEITE, M.S.; TORRES, S.B.; FREITAS, R.M.O.; NOGUEIRA, N.W.; LEITE, T.S.; PAIVA, E.P. Vigor determination of okra seeds by respiratory activity. **Bioscience Journal**, v.34, n.6, p.1551-1554, 2018.

LI, L.; GE, X. Origin and domestication of cultivated banana. **Ecological Genetics and Genomics**, v. 2, p.1-2, fev. 2017.

LI M.; TSHABALALA, M. A.; BUSCHLE-DILLER, G. Formulation and characterization of polysaccharide beads for controlled release of plant growth regulators. **Journal of Materials Science**, v. 51, p. 4609-4617, 2016.

LI, M.; WANG, Y.; CHEN, Y.; ZHANG, S. A luminescent ionogel based on an europium (III)-coordinated carboxyl-functionalized ionic liquid and gelatin. **Photochemical & photobiological sciences**, v. 13, n. 7, p. 1025–30, 2014.

MAHMOOD, N.; ABBASI, NA; HAFIZ, IA; ALI. I.; ZAKIA, S. Effect of biostimulants on growth, yield and quality of bell pepper cv. Yolo Wonder. **Pakistan J. Agric. Sci.**, p.54, 2017.

MALERBA, Massimo; CERANA, Rafaella. Avanços recentes de aplicações de quitosana em plantas. **Polymers** , v. 10, n. 2, pág. 118, 2018.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de Sementes de Plantas Cultivadas**. 2º ed. Londrina: Abrates, 2015.

MARTINS, M. et al. Physicochemical characterization of chitosan and its effects on early growth, cell cycle and root anatomy of transgenic and non-transgenic maize hybrids. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 1, p. 56, 2018.

MASINA, N.; CHOONARA, Y. E.; KUMAR, P.; TOIT, L. C.; GOVENDER, M.; INDERMUN, S.; PILLAY, V. A review of the chemical modification techniques of starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 157, p.1226-1236, 2017.

MEI, J.; YUAN, Y.; GUO, Q.; WU, Y.; LI, Y.; YU, H. Characterization of edible starch–chitosan film and its application in the storage of Mongolian cheese. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 57, p.17-21, 2020.

MELO, A. P. C.; SELEGUINI, A.; VELOSO, V. R. S.; PEREIRA, J. M. Recobrimento de sementes de tomate com concentrações crescentes de polímero sintético. **Ciência Rural**, v. 45, n.6, p. 958-963, 2015.

MENDES, J. F.; PASCHOALIN, R. T.; CARMONA, V. B.; NETO, A. R. S.; MARQUES, A. C. P.; MARCONCINI, J. M.; MATTOSO, L. H. C.; MEDEIROS, E. S.; OLIVEIRA, J. E. Biodegradable polymer blends based on corn starch and thermoplastic chitosan processed by extrusion. **Carbohydrate Polymers**, v. 137, p. 452–458, 2016.

MENEZES, F. L. G. de.; LEITE, R. H. de L.; SANTOS, F. K. G.; ARIA, A. I.; AROUCHA, E. M. M. TiO₂-enhanced chitosan/cassava starch biofilms for sustainable food packaging, **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 630, e127661, 2021.

MITELUT, A. et al. Sustainable alternative for food packaging : chitosan biopolymer - a Review. **AgroLife Scientific Journal**, v. 4, n. 2, p. 52–61, 2015.

MIRI, N. E.; ABDELOUAHDI, K.; BARAKAT, A.; ZAHOUILY, M.; FIIHRI, A.; SOLHY, A.; ACHABY, M.E. Bio-nanocomposite films reinforced with cellulose nanocrystals: Rheology of filmforming solutions, transparency, water vapor barrier and tensile properties of films. **Carbohydrate Polymers**, v. 129, p. 156-167, 2015.

MUJTABA, M. et al. Current advancements in chitosan-based film production for food technology; A review. **International Journal of Biological Macromolecules**. V.121, 889-904, 2019.

OLIVEIRA, V. R. L. et al. Use of biopolymeric coating hydrophobized with beeswax in post-harvest conservation of guavas. **Food chemistry**, v. 259, p. 55-64, 2018.

PANDITA, V. K. Improving planting value of vegetable seeds by physical and physiological methods. In: Advances in quality seed production of vegetable crops. Centre of Advanced Faculty Training in Horticulture (Vegetables), Compendium 2017, 371 p. Disponível em: <http://www.yspuniversity.ac.in/vgc/caft/Compendium2017-18.pdf>. Acesso em: 17/08/2020.

PEDRINI, S.; MERRITT, D. J.; STEVENS, J.; DIXON, K. Seed coating: Science or marketing spin? **Trends Plant Science**, 22, pp. 106-116, 2017.

PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; FIGLIOLIA, M. B.; SILVA, A. **Sementes Florestais Tropicais: da ecologia à produção**. Londrina: Abrates, 2015.

PIROLA, K. & ALEGRETTI, A. & DOTTO, M. & RADAELLI, J & JÚNIOR, A. Hydroconditioning and biofilms in the conservation of *poncirus trifoliata* seeds. **Brazilian Journal of Agriculture**, 91, 184-193, 2016.

RUTHS, R., DA SILVA BONOME, L. T., TOMAZI, Y., SIQUEIRA, D. J., MOURA, G. S., & LIMA, C. S. M. Influência da temperatura e luminosidade na germinação de sementes das espécies: *Selenicereus setaceus*, *Hylocereus undatus* e *Hylocereus polyrhizus*. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 2, p. 194-201, 2019.

SAMARAH, N.; WANG, H.; WELBAUM, G. **Pepper (Capsicum annum) seed germination and vigour following nanochitin, chitosan or hydropriming treatments**. **Seed Sci. Technol.**, 44, pp.609-623, 2016.

SAMARAH, N.H.; AL-QUARAAN, N.A.; MASSAD, R.S.; WELBAUM, G. E. Treatment of bell pepper (*Capsicum annum* L.) seeds with chitosan increases chitinase and glucanase activities and enhances emergence in a standard cold test. **Scientia Horticulturae**, 269, e109393, 2020.

SELIGRA, P. G.; JARAMILLO, C. M.; FAMÁ, L.; GOYANES, S. Biodegradable and nonretrgradable eco-films based on starch-glycerol with citric acid as crosslinking agent. **Carbohydrate Polymers**, v. 138, p. 66–74, 2016.

SCHONS, A., DA SILVA, C. M., PAVAN, B. E., DA SILVA, A. V., & MIELEZRSKI, F. Respostas do genótipo, tratamento de sementes e condições de armazenamento no potencial fisiológico de sementes de soja. **Revista de Ciências Agrárias**, vol. 41(1), pp. 109-121, 2018.

SILVA, F.W.A.; VIEIRA, H.D. Quality of *Stylosanthes* Campo Grande seeds coated with different materials. **Revista Ceres**, v. 68, n. 4, p. 353 – 359, 2021.

SOUZA, J. R. D.; LACERDA, J. D. J.; MORAIS, O. M.; SILVA, J. P. Germinative potential of encrusted seed of tropical forage species. **Ciência Rural**, v. 47, n. 2, 2017.

SUN, Q.; SUN, C.; XIONG, L. Mechanical, barrier and morphological properties of pea starch and peanut protein isolate blend films. **Carbohydrate Polymers**, v. 98, n. 1, p.630-637, 2013.

THEVARAJAH, J. J.; LEEUWEN, M. P. VAN; COTTET, H.; CASTIGNOLLES, P.; GABORIEAU, M. Determination of the distributions of degrees of acetylation of chitosan. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 95, p. 40–48, 2017.

VERCELHEZE, A.E.S., MARIM, B.M., OLIVEIRA, A.L.M. MALI, S. Development of biodegradable coatings for maize seeds and their application for *Azospirillum brasilense* immobilization. **Applied Microbiology Biotechnology**, v. 103, p. 2193–2203, 2019.

WANDERLEY, M. E. F., & RIBEIRO, S. D. Produção de bioplástico a partir da fécula de mandioca em uma cooperativa agroindustrial de Naviraí/ms. **Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação (EIGEDIN)**, v. 3 n. 1, 2019.

WILSON HT, AMIRKHANI M, TAYLOR AG. Evaluation of Gelatin as a Biostimulant Seed Treatment to Improve Plant Performance. **Journal Frontiers in Plant Science**. Vol. 9, p.1006, 2018.

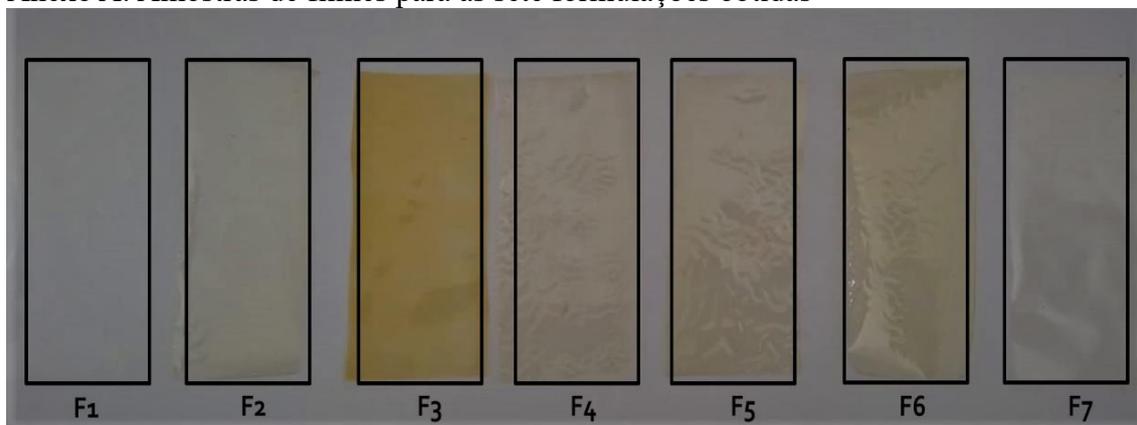
ZAVAREZE, E. R.; EL HALAL, S. L. M; PEREIRA, J. M; RADÜNZ, A. L.; ELIAS, M. C.; DIAS, A. R. G. Caracterização química e rendimento de extração de amido de arroz com diferentes teores de amilose. **Braz. J. Food. Technol. Preprint Series**. 5, 2009.

ZHANG, B.; MEI, J.; CHEN, B.; CHEN, H. Digestibility, physicochemical and structural properties of octenyl succinic anhydride-modified cassava starches with different degree of substitution. **Food Chemistry**, v. 229, p.136-141, 2017.

ZHOU, J.; DENG, B.; ZHANG, Y.; COBB, A. B.; ZHANG, Z. Molybdate in rhizobial seed-coat formulations improves the production and nodulation of alfalfa. *PLoS One*, 12 (1), Article e0170179, 2017.

ANEXOS

Anexo A: Amostras de filmes para as sete formulações obtidas



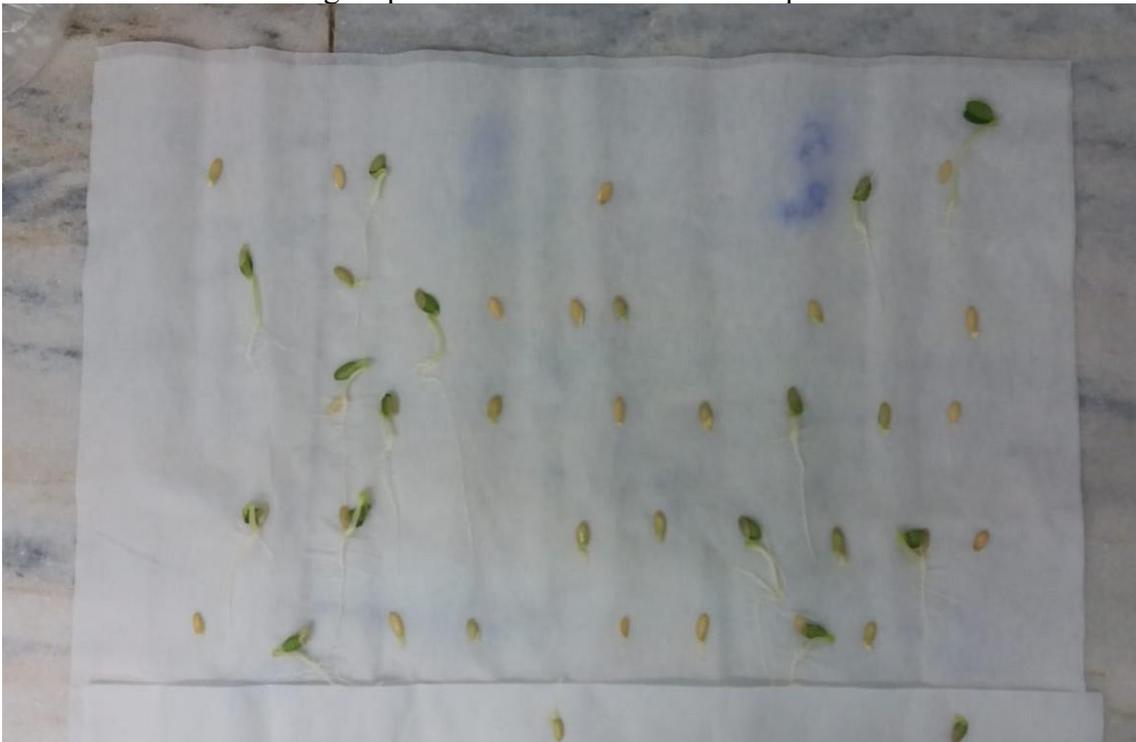
Fonte: Autoria Própria.

Anexo B: Primeira contagem de sementes revestidas com gelatina.



Fonte: Autoria Própria.

Anexo C: Primeira contagem para sementes revestidas com quitosana.



Fonte: Autoria Própria.

Anexo D: Plântulas anormais desenvolvidas a partir de sementes revestidas com quitosana



Fonte: Autoria Própria.