

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
CÂMPUS CENTRAL SEDE: ANÁPOLIS-CET
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
ANA MARIA GOMES BATISTA

**ELABORAÇÃO DE FILMES BIODEGRADÁVEIS DE AMIDOS DE MILHO, BATATA,
FRUTA-DO-LOBO, LÍRIO-DO-BREJO E SUAS MISTURAS APLICADOS COMO
RECOBRIMENTO EM SEMENTES DE FEIJÃO COMUM (*P. vulgaris* L.)**

ANÁPOLIS-GO
2023

ANA MARIA GOMES BATISTA

**ELABORAÇÃO DE FILMES BIODEGRADÁVEIS DE AMIDOS DE MILHO, BATATA,
FRUTA-DO-LOBO, LÍRIO-DO-BREJO E SUAS MISTURAS APLICADOS COMO
RECOBRIMENTO EM SEMENTES DE FEIJÃO COMUM (*P. vulgaris* L.)**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás - UEG, Câmpus Central Sede: Anápolis – CET, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.
Área de concentração CNPq: Engenharia de Sistemas Agroindustriais.

Orientador: Prof. Dr.Diego Palmiro Ramirez Ascheri.

ANÁPOLIS-GO

2023

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UEG
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

GAN53 Gomes Batista, Ana Maria
3e ELABORAÇÃO DE FILMES BIODEGRADÁVEIS DE AMIDOS DE
MILHO, BATATA, FRUTA-DO-LOBO, LÍRIO-DO-BREJO E SUAS
MISTURAS APLICADOS COMO RECOBRIMENTO EM SEMENTES DE
FEIJÃO COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.) / Ana Maria Gomes
Batista; orientador Diego Palmiro Ramirez Ascheri.. --
Anápolis , 2023.
82 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
Mestrado Acadêmico em Engenharia Agrícola) -- Câmpus
Central - Sede: Anápolis - CET, Universidade Estadual
de Goiás, 2023.

1. biopolímeros; . 2. Cerrado; . 3. melhoramento
fisiológico de sementes; . 4. vigor; . 5.
sustentabilidade. . I. Palmiro Ramirez Ascheri.,
Diego, orient. II. Título.

ANA MARIA GOMES BATISTA

ELABORAÇÃO DE FILMES BIODEGRADÁVEIS DE AMIDOS DE MILHO, BATATA, FRUTA-DO-LOBO, LÍRIO-DO-BREJO E SUAS MISTURAS APLICADOS COMO RECOBRIMENTO EM SEMENTES DE FEIJÃO COMUM (*P. vulgaris* L.)

Dissertação defendida ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola, Campus Central
Sede: Anápolis – CET, Universidade Estadual de Goiás,
para obtenção do título de mestre.

Aprovado em 04 de Outubro de 2023, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:

Documento assinado digitalmente
 **DIEGO PALMIRO RAMIREZ ASCHERI**
Data: 25/03/2024 08:09:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Diego Palmiro Ramirez Ascheri
Universidade Estadual de Goiás (Orientador)

Documento assinado digitalmente
 **ITAMAR ROSA TEIXEIRA**
Data: 21/03/2024 10:59:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Itamar Rosa Teixeira
Universidade Estadual de Goiás (Membro Interno)

Documento assinado digitalmente
 **RAQUEL CINTRA DE FARIA**
Data: 26/03/2024 20:09:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Raquel Cintra de Faria
Universidade Federal de Goiás (Membro Externo)

ANÁPOLIS – GO

2023

A Deus, por ter me abençoado, e à minha mãe Patricia Batista de Sousa, por todo amor, carinho e apoio que sempre me forneceu, tendo me ensinado a nunca desistir dos meus sonhos diante das dificuldades.

“Não fui eu que lhe ordenei? Seja forte e corajoso! Não se apavore, nem se desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar.”

Bíblia, Josué 1:9

AGRADECIMENTOS

Um título de Mestre é uma fase na vida acadêmica sujeita a muitos desafios e incertezas, todos nós vemos a etapa final com o qual o trabalho está devidamente pronto para apresentação e submissão, mas não imaginamos o árduo caminho, cheio de dificuldades, medos, inseguranças e muitos problemas durante as análises. Ver essa etapa ser concluída significa muito pra mim, pois passei por tantos caminhos longos e muitas vezes tentei desistir, mas digo para você que está lendo, não desista! Se agarre nas pessoas que ama e vai com medo mesmo!

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Diego Palmiro Ramirez Ascheri, à coordenadora e Profa. Dra. Roberta Passini pelo carinho e ao Prof. Dr. Itamar Rosa Teixeira pelos ensinamentos transmitidos.

Aos meus anjos da guarda e amigos de sempre, que ficaram do meu lado nos dias mais difíceis, sempre me apoiando e cuidando de mim de uma forma única. A Engenheira Agrícola e Mestre Alessandra Félix e ao Doutorando Igor Romeiro, e a minha amiga e Mestranda Bruna Mayara, por todo apoio e paciência.

À minha mãe Patrícia Batista de Sousa que é o amor da minha vida e meu maior incentivo. Aos meus avós que sempre ficaram do meu lado com muito amor e carinho. Ao líder em Agricultura Digital e amigo Juliano Elyades por todo apoio e incentivo durante esse processo.

E por fim, meu agradecimento por cada contribuição, aprendizado e ajuda das pessoas que acreditaram nesse trabalho, bem como a gencia de fomento CAPES pela bolsa concedida, e a CET/UEG pela infraestrutura disponibilizada, especialmente aos Laboratório de Química comandados pelo técnico Fernando, o qual tive o apoio e suporte nas análises laboratoriais.

RESUMO

Uma das frentes de pesquisa de materiais biodegradáveis se concentra na obtenção de materiais oriundos de amido, em função deste ser um polímero promissor para preparo de embalagens devido ao baixo custo e abundância. A produção, caracterização e aplicação de filmes à base de amido em recobrimento de sementes têm sido bastante estudados oriundos das mais diferentes fontes, com resultados positivos no desenvolvimento das produções agrícolas mundiais. O objetivo desse estudo foi avaliar a preparação de soluções filmogênicas de amido, dentre elas fontes alternativas como a fruta-do-lobo e rizoma do lírio-do-brejo, comparadas as fontes mais comuns milho, e a batata, e suas respectivas misturas, e seus efeitos provocando pelo recobrimento de sementes de feijão comum sobre a qualidade fisiológica. Foram avaliadas as seguintes testes para avaliar o recobrimento de semente: germinação, envelhecimento acelerado, comprimento e massa seca de plântulas. As variáveis taxa e permeabilidade ao vapor de água (Tva e Pva), resistência à tração (RT) e Força não foram significativas a nenhum modelo de ajuste linear ou quadrático. As variáveis espessura e alongação (E) foi observado que o único modelo que apresentou significância aos dados foi o modelo quadrático. No recobrimento das sementes, o vigor foi o melhor parâmetro para recobrimento de sementes, sendo amido de milho (T1), milho + fruta-do-lobo (T5), milho + lírio-do-brejo (T6) e batata + fruta-do-lobo (T7) os tratamentos com melhores resultados.

Palavras-chave: biopolímeros; Cerrado; melhoramento fisiológico de sementes; vigor; sustentabilidade.

ABSTRACT

One of the research fronts for biodegradable materials focuses on obtaining materials from starch, as this is a promising polymer for preparing packaging due to its low cost and abundance. The production, characterization and application of starch-based films to cover seeds have been extensively studied from the most different sources, with positive results in the development of global agricultural production. The objective of this study was to evaluate the preparation of film-forming starch solutions, including alternative sources such as wolf fruit and marsh lily rhizome, compared to the most common sources corn, potato, and their respective mixtures, and its effects caused by the coating of common bean seeds on physiological quality. The following tests were evaluated to evaluate seed coverage: germination, accelerated aging, length and dry mass of seedlings. The variables rate and permeability to water vapor (Tva and Pva), tensile strength (RT) and Strength were not significant in any linear or quadratic adjustment model. Regarding the variables thickness and elongation (E), it was observed that the only model that presented significance to the data was the quadratic model. When covering the seeds, vigor was the best parameter for seed covering, with corn starch (T1), corn + wolf fruit (T5), corn + marsh lily (T6) and potato + fruit. do-lobo (T7) the treatments with the best results.

Keywords: biopolymers; Cerrado; physiological improvement of seeds; force; sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação da estrutura molecular da amilose e amilopectina.....	21
Figura 2 – Esquematização de camadas de recobrimentos em sementes por material exógeno..	38
Figura 3 – Mapa do Brasil, apontando o Estado de Goiás e a cidade de Anápolis. Em (a) frutos da fruta-do-lobo, em (b) rizomas do lírio-do-brejo, ambos colhidos na zona rural do município.....	43
Figura 4 – Prensa hidráulica utilizada para realização dos biofilmes biodegradáveis de amidos.....	46
Figura 5 – Pastas filmogênicas a base de amidos de: A) batata, B) mistura de milho e fruta-do-lobo, C) mistura de batata e fruta-do-lobo, D) fruta-do-lobo, E) milho, F) lírio-do-brejo, G) mistura de milho e lírio-do-brejo, e H) mistura de batata e lírio-do-brejo.....	54
Figura 6 – Microfotografias tomadas em microscópio eletrônica de varredura (ampliação 2000 X) dos amidos <i>in natura</i> de: A) milho, B) batata, C) fruta-do-lobo e D) lírio-do-brejo, microfotografias tomadas em microscópio óptico (ampliação 100 X) dos amidos pré-gelatinizados em forno micro-ondas: E) milho, F) batata, G) fruta-do-lobo, H) lírio-do-brejo, I) milho e fruta-de-lobo, J) milho e lírio-do-brejo, K) batata e fruta de lobo, e L) batata e lírio-do-brejo.....	55
Figura 7 – Distribuição residual relacionados aos valores observados e previstos para a solubilidade (%) (A), espessura (mm) (B) e alongação (%) (C) dos filmes biodegradáveis produzidos a partir de misturas de amidos.....	59
Figura 8 – Gráficos de superfície de resposta da solubilidade dos filmes elaborados com misturas de amido de milho, fruta-do-lobo e lírio-do-brejo (A), com misturas de amido de batata, fruta-do-lobo e lírio-do-brejo (B).....	62
Figura 9 – Gráficos de superfície de resposta da espessura dos filmes elaborados com misturas de amido de milho, fruta-do-lobo e lírio-do-brejo (A), com misturas de amido de batata, fruta-do-lobo e lírio-do-brejo (B).....	63
Figura 10 – Gráficos de superfície de resposta da alongação dos filmes elaborados com misturas de amido de milho, fruta-do-lobo e lírio-do-brejo (A), com misturas de amido de batata, fruta-do-lobo e lírio-do-brejo (B).....	64
Figura 11 - Relação entre vigor e os diferentes tratamentos de amido em recobrimento de sementes de feijão comum.....	65
Figura 12 - Relação entre envelhecimento acelerado (EA) e os diferentes tratamentos de amido em recobrimento de sementes de feijão comum.....	66
Figura 13 - Relação entre comprimento de plântulas (CP) e os diferentes tratamentos de amido em recobrimento de sementes de feijão comum.....	67

Figura 14 - Relação entre massa seca de plântulas (CP) e os diferentes tratamentos de amido em recobrimento de sementes de feijão comum.....68

Figura 15 - Relação entre a viabilidade e os diferentes tratamentos de amido em recobrimento de sementes de feijão comum.....69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidades de massa de amido, água e tempo de aquecimento em micro-ondas utilizados na elaboração das pastas filmogênicas de amidos de milho, batata, fruta-do-lobo, lírio-do-brejo e de suas misturas.....	44
Tabela 2 – Observações subjetivas realizadas nas pastas filmogênicas obtidas por meio da pré-gelatinização de suspensões aquosas de amido usando micro-ondas à máxima potência (100%).....	52
Tabela 3– Composições obtidas por meio do planejamento em rede simplex {4,2} em relação à concentração de massa em gramas de amido utilizado na produção dos filmes.....	57
Tabela 4 – Análise de variância dos modelos obtidos para as propriedades solubilidade dos filmes biodegradáveis, produzidos a partir de misturas de amidos.....	58
Tabela 5 – Análise de variância dos modelos obtidos para as propriedades espessura dos filmes biodegradáveis, produzidos a partir de misturas de amidos.....	58
Tabela 6 – Análise de variância dos modelos obtidos para a propriedades elongação (E) dos filmes biodegradáveis produzidos a partir de misturas de amidos.....	59
Tabela 7 – Coeficientes do modelo quadrático para a propriedade de solubilidade dos filmes biodegradáveis produzidos a partir de misturas de amidos.....	60
Tabela 8 – Coeficientes do modelo quadrático para a propriedade de espessura dos filmes biodegradáveis produzidos a partir de misturas de amidos.....	60
Tabela 9 – Coeficientes do modelo quadrático para a propriedade de solubilidade dos filmes biodegradáveis, produzidos a partir de misturas de amidos.....	61
Tabela 10 - Coeficientes de todos os modelos lineares feitos individualmentedos filmes elaborados com misturas de amido. Valores em vermelho são significativos ($p<0,05$).....	65
Tabela 11 - Comparação entre os diferentes tratamentos pelo Teste de Tukey na avaliação de vigor. Valores em vermelho são significativos ($p<0,05$).....	66
Tabela 12 - Comparação entre os diferentes tratamentos pelo Teste de Tukey na avaliação de envelhecimento acelerado (EA). Valores em vermelho são significativos ($p<0,05$).....	67
Tabela 13 - Comparação entre os diferentes tratamentos pelo Teste de Tukey na avaliação de comprimento das plântulas (CP). Valores em vermelho são significativos ($p<0,05$).....	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMi	Amido comercial de milho
ABa	Amido comercial de batata
F-L	Amido da Fruta-do-lobo
L-B	Amido do Lírio-do-brejo

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	17
2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1Amido: polímeros essenciais para as plantas	19
2.2Amidos de plantas do Cerrado	24
2.3Filmes biodegradáveis de amido: secagem e termoprensagem	26
2.4 A cultura do feijão comum (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.).....	28
2.5Caracterização morfológica e histórica do feijão comum.....	31
2.6A qualidade das sementes de feijão comum.....	32
2.7 Melhoramento das sementes visando a qualidade fisiológica.....	33
2.8 O processo de recobrimento em sementes.....	36
3 OBJETIVOS.....	41
3.1 Geral.....	41
3.2 Específicos.....	41
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	42
4.1 Locais de condução laboratorial dos experimentos.....	42
4.2 Obtenção do material vegetal e aquisição dos amidos.....	42
4.3 Métodos de obtenção dos produtos de recobrimento.....	43
4.3.1 Extração dos amidos nativos do Cerrado.....	43
4.3.2 Elaboração das pastas filmogênicas para a produção de filmes biodegradáveis.....	44
4.3.3 Produção de filmes biodegradáveis.....	45
4.3.4 Variáveis respostas obtidas dos filmes biodegradáveis.....	46
4.3.4.1. Espessura.....	46
4.3.4.2. Solubilidade em água.....	46
4.3.4.3. Permeabilidade ao vapor de água.....	47
4.3.4.4. Testes mecânicos.....	47
4.3.5 Recobrimento das sementes de feijão comum.....	48
4.3.5.1. Teste Padrão de Germinação (TPG).....	48
4.3.5.2. Teste de envelhecimento acelerado.....	49
4.3.5.3. Determinação do comprimento de plântula.....	49
4.3.5.4. Determinação da massa seca de plântula.....	49
4.3.5.5. Teste de tetrazólio.....	50
4.3.6. Análise estatística.....	50
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51

5.1 Preparo das pastas filmogênicas.....	51
5.2 Elaboração dos filmes por termoprensagem.....	56
5.3 Significância das variáveis respostas obtidas dos filmes biodegradáveis.....	58
5.4 Recobrimento das sementes de feijão comum com os filmes biodegradáveis.....	64
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
7. REFERÊNCIAS.....	71

1. INTRODUÇÃO

Entre os biopolímeros mais promissores para a produção de revestimentos estão os amidos de diversas fontes botânicas, os quais apresentam baixo custo e alta disponibilidade (KRINGEL *et al.*, 2020). O interesse no uso de polímeros biodegradáveis no desenvolvimento de revestimentos, além de estar associado à redução do uso de materiais sintéticos que apresentam lenta degradação no meio ambiente, também está relacionado ao uso de matérias-primas renováveis, principalmente as derivadas de produtos agrícolas (SEUNG, 2020). A incorporação de plastificantes na matriz polimérica pode melhorar a flexibilidade do material, entretanto, a relação plastificante/polímero deve ser considerada, pois altas concentrações de plastificante reduzem as propriedades de barreira (POLETTTO, 2017).

O amido, uma macromolécula biologicamente importante, é considerado o polímero de origem natural mais promissor, graças a sua biodegradabilidade, abundância significativa e natureza econômica (JIANG *et al.*, 2019). A fácil disponibilidade do amido e sua natureza renovável anual o tornam o material base perfeito para aplicações industriais de amplo espectro (SIKDER *et al.*, 2021). O amido tem diversas aplicações na indústria alimentícia, particularmente como agente espessante (por exemplo, para modificar a textura, viscosidade) e para retenção de água (por exemplo, propriedades de inchamento); portanto, há uma demanda crescente por amido (OJOGBO; OGUNSONA; MEKONNEN, 2020).

O milho é a principal fonte de isolamento do amido (moagem úmida e seca), seguido pela batata, trigo, arroz e mandioca. Amidos de cereais (milho, arroz e trigo) são usados como ingredientes em alimentos em condições nativas e modificadas (BANGAR *et al.*, 2021). Além desses vegetais, o amido do fruto-de-lobo e lírio-do-brejo apresentam-se como materiais promissores para formação de filme de amido, pois possuem altos teores de amilose (ASCHERI *et al.*, 2010; MILANI *et al.*, 2017).

Os altos teores de amilose é uma alternativa para elaboração de filmes biodegradáveis, os quais ocorrem pela fundição em solução ou processamento por extrusão, sendo essas duas as técnicas mais utilizadas (YAN *et al.*, 2016). Os filmes biodegradáveis são películas finas compostas desse material biológico, que atuam como barreira a elementos externos, como óleo, gases, umidade, conferindo proteção ao produto revestido, aumentando o armazenamento (SINTIM *et al.*, 2020).

Dentre as propriedades dos filmes biodegradáveis está o transporte de gases oxigênio e dióxido de carbono e solutos, retenção de componentes aromáticos e transporte de nutrientes e agentes antioxidantes (TOUCHALEAUME *et al.*, 2016). Essas propriedades servem como

alternativa para recobrimento de sementes, sendo uma técnica utilizada para incorporar hormônios, micronutrientes, fitossanitários e agentes biológicos que garantem melhor eficiência de sementes e plântulas (XU *et al.*, 2020). Assim, a busca para soluções de recobrimento tornou-se dependente do controle químico, que além de levar à evolução da resistência de pragas, pode causar diversos danos à saúde do agricultor, à biodiversidade e ao meio ambiente (ACCINELLI *et al.*, 2018a). Dessa forma, a prática de tratar sementes com novos ingredientes ativos é importante para minimizar o risco de desenvolvimento de resistência em patógenos do solo (ACCINELLI *et al.*, 2018b).

Uma importante cultura agrícola no Brasil é a de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) pelas suas propriedades nutricionais, econômica e social. É cultivada em diversas regiões do país e representa o alimento básico da dieta dos brasileiros (VANIER *et al.*, 2019; RAVIDAS *et al.*, 2022). Essa cultura possui baixa taxa de utilização de sementes, o equivalente a 19%, (ASSEFA *et al.*, 2019).

O manejo pela técnica de recobrimento de sementes utilizando filmes biodegradáveis pode ser uma alternativa para elevar a qualidade fisiológica e sanitária, garantindo plântulas vigorosas e estandes uniformes (FERREIRA *et al.*, 2022). Os níveis de produtividade podem ser aumentados se essa técnica se sobressair em condições adversas de estresse bióticos e abióticos (CASSOL; FANTINEL; SILVA, 2020). Para isso, é fundamental a avaliação do potencial fisiológico após o tratamento das sementes, verificando suas funções após a semeadura, garantindo a seguridade do desenvolvimento das plântulas no campo (RANATHUNGE, 2022).

Não há relatos na literatura sobre a utilização de filmes biodegradáveis de amido em recobrimento de feijão comum, assim, o objetivo desse estudo foi avaliar a preparação de soluções filmogênicas de amido de diferentes fontes e seus efeitos por meio de recobrimento de sementes de *P. vulgaris* sobre a qualidade fisiológica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Amidos: polímeros essenciais para as plantas

Os carboidratos desempenham um papel central em todos os organismos vivos, tendo em vista que o metabolismo primário é dependente da conversão de carbono e energia, independente da nutrição autotrófica ou heterotrófica, e, portanto, é centralizado em torno dos carboidratos (PFISTER; ZEEMAN, 2016). Com essa importância, não é surpreendente que os polissacarídeos sejam os polímeros mais abundantes na biosfera. Além disso, o amido é quantitativamente o carboidrato de armazenamento mais dominante na Terra e é sintetizado principalmente em plantas e algumas cianobactérias (THALMANN; SANTELIA, 2017).

Normalmente, o amido é acumulado como partículas insolúveis em água em forma de grânulos, enquanto a maioria das outras espécies produz glicogênio solúvel em água como carboidrato de armazenamento (MACNEILL *et al.*, 2017). Ambos os polímeros são semelhantes em função biológica e composição química, consistindo em unidades de glicose que estão ligadas por ligações glicosídicas α -1,4 e α -1,6 (APRIYANTO; COMPART; FETTKE, 2022).

Os parâmetros físicos do amido diferem fortemente dos parâmetros físicos do glicogênio, sendo que esses aspectos físicos do amido garantem diversas aplicabilidades biotecnológica (GOTT *et al.*, 2016). O amido é um biomaterial versátil de especial interesse devido à sua abundância, baixo custo, propriedades não tóxicas e biodegradabilidade para as indústrias alimentícias e não alimentícias. É bastante usado em inúmeros produtos lácteos e de panificação, sopas e molhos, bem como revestimentos e produtos à base de carne (HASAN *et al.*, 2022).

Existe ainda uma demanda crescente das indústrias não alimentícias por amido como material renovável (PFISTER; ZEEMAN, 2016). As aplicações não alimentares de amido incluem produtos farmacêuticos, têxteis, combustíveis à base de álcool, adesivos, corantes e móveis. É óbvio que as exigências das propriedades do amido são muito diferentes dependendo do segmento industrial (APRIYANTO; COMPART; FETTKE, 2022).

As propriedades físico-químicas dos amidos nativos, em muitos casos, não são ótimas para processamento posterior e são necessários esforços para adaptá-los para uso industrial específico (HASAN *et al.*, 2022). Os grânulos de amido nativo são insolúveis em água, amplamente inertes e, em grande parte, resistentes à hidrólise enzimática. Eles também tendem a ser bastante retrógrados em relação às mudanças de pH, temperatura e forças de cisalhamento (SIROHA; SANDHU; PUNIA, 2019).

Assim, os amidos muitas vezes precisam ser modificados para melhores características físicas e funcionais (GAMAGE *et al.*, 2022). Esta modificação podem ser antes do isolamento desse polímero nas plantas e após a purificação do material vegetal. Em geral, a modificação durante o processo de isolamento também é possível. A primeira situação mencionada pode ser alcançada por melhoramento genético e biologia molecular, enquanto nos outros casos as modificações dependem de métodos físicos, químicos e enzimáticos (APRIYANTO; COMPART; FETTKE, 2022).

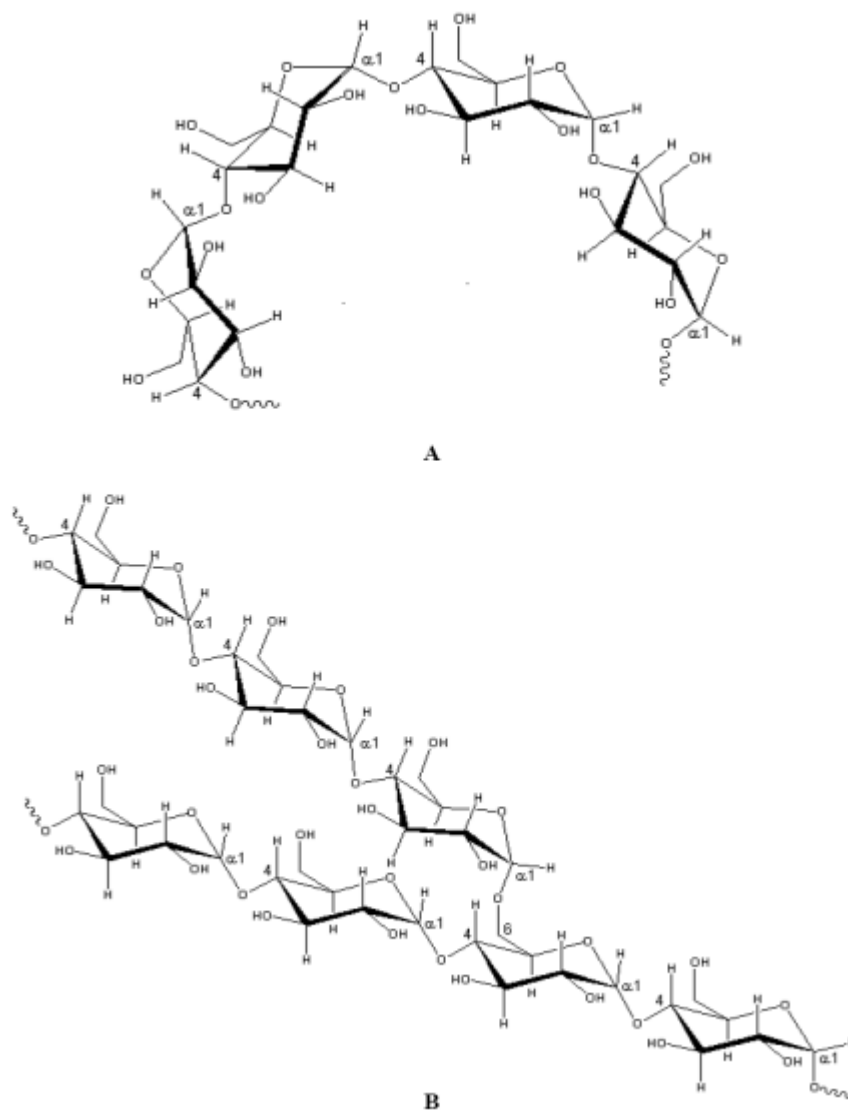
Partindo desse princípio, o grau de modificações necessárias também depende da fonte inicial de amido. Em geral, as plantas superiores formam dois tipos de amido, dos quais amido assimilatório (ou transitório) e amido de reserva (ou armazenamento). O amido assimilatório é sintetizado em tecidos autotróficos e está diretamente ligado à fotossíntese e, assim, a síntese e a degradação seguem o ritmo diurno (SUBROTO *et al.*, 2020).

O amido é classificado como a reserva alimentar das plantas, fornecendo cerca de 70 a 80% das calorias mundiais para consumo humano. É insolúvel em água fria e exibe partículas parcialmente cristalinas em seu modo natural, mas a estrutura molecular e a composição química são propriedades de cada espécie vegetal específica (POKHREL, 2015). É comumente encontrado em sementes de grãos como milho, trigo, arroz, tubérculos e raízes como batata, batata doce e mandioca. Tem muitas aplicações como elemento de revestimento (filme de cobertura), aspersor, reforço de espuma, agente gelificante, umectante, estabilizador, texturizador e espessante (BING *et al.*, 2014). Outro fator importante na caracterização do amido é o tamanho e a forma dos grânulos, que são característicos de cada planta (SUBROTO *et al.*, 2020).

Os grânulos de amido consistem em uma mistura de dois polímeros, um polissacarídeo linear denominado amilose e um polissacarídeo ramificado denominado amilopectina, formado a partir de unidades α -D-glucopiranosil ligadas por ligações α (1 $\rightarrow$ 4), conforme estrutura molecular na Figura 1 (SUBROTO *et al.*, 2020). Sua forma é helicoidal ou espiral, voltada para a direita. O interior da hélice é dominado por átomos de hidrogênio e o exterior é dominado por grupos hidroxila. Cada volta da hélice contém aproximadamente seis unidades α -D-glucopiranosil (DAMODARAM; PARKIN; FENNEMA, 2010).

A amilopectina é formada a partir de cadeias glicosídicas ligadas por ligações α -(1 $\rightarrow$ 4) e ramificações α -(1 $\rightarrow$ 6) (MENOSSI *et al.*, 2022). Sua estrutura possui apenas grupos redutores terminais ligados a muitos ramos que se agrupam e existem em dupla hélice. A amilopectina está presente em todos os amidos e representa cerca de 75% dos amidos mais comuns (DAMODARAM; PARKIN; FENNEMA, 2010).

Figura 1 – Representação da estrutura molecular da amilose e amilopectina.



Legenda: Em A encontra-se a estrutura da amilose, sendo polímero linear composto por D-glicoses unidas em α -(1-4)], e em B encontra-se a estrutura da amilopectina, sendo polímero ramificado composto por D-glicoses unidas em α -(1-4) e α -(1-6)]. Fonte: Adaptado de Denardin; Silva (2009).

A formação do gel envolve o aquecimento de uma solução contendo amido e água a uma temperatura que depende do tipo de amido. O craqueamento das regiões cristalinas do grão ocorre com o aquecimento à medida que o grão absorve água e se expande, ganhando tamanho

e forma maiores do que tinha originalmente (BING *et al.*, 2014). A amilose presente nos grânulos é liberada durante e após a gelatinização, resultando em aumento da viscosidade. Logo após a gelatinização, as moléculas se reorganizam por meio de ligações de hidrogênio, fator que favorece a recristalização, liberando moléculas de água previamente ligadas às cadeias de amilose durante esse processo (ROSSETO *et al.*, 2019).

A produção de filmes depende das propriedades químicas, físicas e funcionais da amilose para formar géis e filmes. As moléculas de amilose se orientam em paralelo e formam ligações de hidrogênio entre os grupos hidroxila do polímero após a gelificação (ASHOGBON, 2021). Como resultado, o volume diminui e a afinidade do polímero pela água diminui, gelatinizando o amido e formando um filme flexível e estável (ASCHOGBON; AKINTAYO, 2014).

Entre todos os polissacarídeos, o amido é a única substância produzida na forma de pequenos agregados individuais chamados grânulos. Eles são sintetizados nas células de cada planta, e seu tamanho e forma são ditados pelas condições físicas impostas pelo sistema biossintético da planta e pelos contornos dos tecidos (BEMILLER, 2018).

A estrutura interna do amido parece ser altamente conservada evolutivamente, mas não há nenhuma pista de como isso resulta em morfologias e tamanhos de grânulos de amido totalmente diferentes. Assim, grânulos de amido planos e discóides, mas também esféricos totais, podem ser encontrados na planta, que também diferem totalmente em tamanho (MIAO *et al.*, 2015). Existem relatos de minúsculos grânulos de amido, menores que 1 μm , até grânulos de mais de 100 μm . Além disso, existem também grânulos compostos, formados pela montagem de vários grânulos de amido menores e grânulos com forma extraordinária (CHIA *et al.*, 2020). O tamanho, morfologia e número de grânulos de amido podem diferir amplamente dentro de uma espécie em relação aos órgãos e tecidos. Um exemplo disso é amido presente na folha de batata e o amido do tubérculo (APRIYANTO; COMPART; FETTKE, 2022).

A amilose e a amilopectina não ocorrem livres na natureza, mas como agregados de amido semicristalino organizados. O tamanho, a forma e a estrutura dessas partículas variam de acordo com a fonte vegetal (ASCHOGBON; AKINTAYO, 2014). O amido de gengibre possui grânulos de tamanho médio, variando de 21,1 a 24,4 μm (ASCHOGBON, 2021). Hoover (2001) descobriu que a batata-doce tem partículas poligonais, ovais e redondas que variam em diâmetro de 2-42 μm , a depender da espécie e a idade da planta.

Os grânulos de amido são birrefringentes, exibem uma típica cruz maltesa sob luz polarizada e podem ser centrais ou excêntricos. No entanto, a birrefringência não implica necessariamente uma forma cristalina, mas sim uma alta organização molecular das partículas

(AMARAWEEERA *et al.*, 2021).

Para grânulos de amido isolados, além dos constituintes de carboidratos, amilose e amilopectina, lipídios e proteínas ligados ao amido são frequentemente relatados (WANG *et al.*, 2020). Ambos estão ligados de forma não covalente ao amido e representam partes da maquinaria de síntese e degradação, bem como potenciais contaminantes de isolamento. Com relação às proteínas, muitas delas envolvidas na renovação do amido são detectáveis (HELLE *et al.*, 2019). Essas proteínas incorporadas ao amido e as proteínas ligadas à superfície dos grânulos de amido podem ser distinguidas (ASHOGBON, 2021). Proteínas pertencentes ao primeiro grupo estão obviamente envolvidas no metabolismo do amido, como por exemplo, a sintase de amido ligada a grânulos, enquanto que para as proteínas ligadas aos grânulos de amido, a contaminação durante o isolamento dos grânulos das plantas não pode ser totalmente excluída (APRIYANTO; COMPART; FETTKE, 2022).

Os grânulos de amido também possuem outros componentes, chamados de componentes traço, principalmente lipídios, minerais, proteínas e cinzas, que são compostos derivados principalmente de detritos da parede celular e componentes da superfície celular (BING *et al.*, 2014). De acordo com Hoover (2001), o amido geralmente contém pequenas quantidades de minerais como cálcio, magnésio, fósforo, potássio e sódio. A presença de lipídios no amido reduz o inchaço dos grânulos individuais (GOTT *et al.*, 2016). A complexação da amilose com a gordura pode alterar a temperatura de gelatinização do amido, alterar a textura e a distribuição da viscosidade da pasta resultante e limitar a retrogradação (MENOSSEI *et al.*, 2022).

2.2 Amidos de plantas do Cerrado

A aplicabilidade do amido é amplamente conhecida, seja na indústria química, farmacêutica, alimentícia e outras. Amidos comercialmente conhecidos são extraídos de milho, tapioca, batata, arroz, etc. Mais recentemente, esses amidos tradicionais têm sido investigados na fabricação de filmes (DAWALE; BHAGAR, 2018). Com isso, raízes e rizomas do Cerrado são outras fontes promissoras de amido (amido nativo) para a preparação de filmes e coberturas para preservação pós-colheita de frutas e outros usos comestíveis. Pouco se sabe sobre amidos nativos do Cerrado quanto ao seu uso em filmes alimentícios, sabendo-se disso, é de extrema importância estudos mais consistentes (SCHLEMMER; SALES, 2010).

A pesquisa de Melo *et al.* (2019) apontou que as espécies do Cerrado variam no tamanho das sementes e no conteúdo das reservas armazenadas, o que pode estar relacionado às estratégias de dispersão e ao tipo de habitat em que são encontradas. A pesquisa mediu as

reservas de carbono e nutrientes de sementes de árvores anemocóricas e zoocóricas do cerrado do Brasil central. Depois, comparou-se com a massa seca de sementes, lipídios, carboidratos não estruturais (amido e açúcares solúveis totais), carbono e nutrientes minerais em dez espécies florestais e treze do cerrado, cada uma classificada como tendo sementes dispersas pelo vento ou animais. Foram utilizados contrastes filogeneticamente independentes para testar as correlações entre essas características (MELO *et al.*, 2019).

Os resultados de Melo *et al.* (2019) mostraram que as sementes das espécies anemocóricas foram mais leves, com maiores concentrações de C, N, P, Ca e Mg. Os lipídios foram a reserva de carbono dominante para a maioria das espécies anemocóricas, reforçando a importância da alocação em reservas compactas de carbono. Amido, lipídios ou açúcares solúveis foram as principais reservas de carbono em sementes zoocóricas. Espécies de savana e floresta não diferiram na massa de sementes ou nas reservas totais de carbono. No entanto, sementes de espécies florestais apresentaram maiores concentrações de amido do que sementes de espécies de savana. Além disso, lipídio e amido correlacionaram-se negativamente entre as espécies, sugerindo um *trade-off* entre amido e lipídios como principais reservas de carbono da semente. C foi positivamente correlacionado com Mn e B, enquanto Mg foi positivamente correlacionado com C, N, P, K, S, Zn e B. P, S e Cl foram positivamente correlacionados, enquanto P foi positivamente correlacionado com Mg e Zn (MELO *et al.*, 2019).

Assim, o modo de dispersão ao invés do tipo de vegetação restringiu a massa de sementes e os padrões de alocação de armazenamento de sementes em árvores de floresta e savana. Foram fornecidas evidências de que mecanismos semelhantes estão envolvidos no armazenamento de sementes de carbono e nutrientes minerais em todas as espécies (MELO *et al.*, 2019).

O Cerrado é considerado um dos *hotspots* mundiais de biodiversidade, com abundância de espécies endêmicas. Do ponto de vista da biodiversidade, o Cerrado brasileiro é reconhecido como a savana mais abundante do mundo, em que se adapta às condições climáticas sazonais e solos pobres (FERREIRA; MOLINA; PELISSARI, 2020). Essas plantas têm grande potencial para aplicações em diversos campos, como cosméticos, farmacêuticos e alimentícios, entretanto, essa biodiversidade ainda permanece pouco explorada e estudada (SCHLEMMER; SALES, 2010).

Característica da região do Cerrado, a espécie *Solanum lycocarpum* Saint Hilaire pertence à família Solanaceae, sendo popularmente conhecida como fruta-do-lobo. As frutas de *S. lycocarpum* podem conter mais de 20 g de amido a cada 100 g de polpa de frutas (ASCHERI; PEREIRA; BASTOS, 2014). Outro vegetal promissor é *Hedychium coronarium* J. Koenig,

popularmente conhecido como lírio-do-brejo, que possui um teor de amido nos rizomas confirmado por Ascheri *et al.* (2010), apresentando 21,97% de amido e suas relevâncias para a produção de filmes biodegradáveis (VIEIRA *et al.*, 2020).

O estudo de Janket *et al.* (2018) aponta que o conhecimento das respostas da mandioca e outras culturas para teor de amido e rendimento de amido, bem como a qualidade do amido, é importante para o melhoramento, produção e utilização da cultura. O estresse hídrico é um fator importante que afeta o teor, rendimento e grânulos de amido. Além disso, a data de plantio contribui com a maior parcela da variação total no teor de amido (35,3%), rendimento de amido (34,9%) e tamanho de grânulo de amido (43,7%). Isso se deve à quantidade de radiação solar que é recebida, sendo que em épocas mais quentes, as culturas apresentam maior teor, rendimento e tamanho de grânulo. O teor de amilose e a proporção de amilose e amilopectina foram os mais afetados pelos genótipos da cultura (27,8% e 25,7%) (JANKET *et al.*, 2018).

A pesquisa indicou que a faixa de temperatura ideal para fotossíntese, biossíntese de amido e atividades enzimáticas foi de 25 a 35°C. As lavouras plantadas e recebendo as condições ideais, durante os estágios de desenvolvimento da copa e estocagem das raízes de armazenamento, puderam sintetizar mais amido (ZABETTI *et al.*, 2014), o qual foi acumulado nos caules, folhas e raízes de armazenamento. O amido acumulado nessas partes da planta também foi notório nas raízes de armazenamento nos estágios posteriores do ciclo de crescimento (JANKET *et al.*, 2018).

A alta radiação solar durante o período de cultivo resultou em um aumento na produção total de biomassa e no armazenamento de massa seca de raízes. Da mesma forma, uma alta radiação solar ($22 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), temperatura média anual elevada (28 °C) e alta umidade atmosférica (70%) durante o período de crescimento resultaram em maior peso seco da raiz (27 t ha^{-1}). Além disso, altas temperaturas durante o período de crescimento resultaram em uma alta taxa de crescimento da cultura, mas uma baixa taxa de distribuição de carboidratos, enquanto temperaturas mais baixas e um fotoperíodo mais curto durante o período de crescimento resultaram em uma baixa taxa de crescimento da cultura, mas uma alta taxa de distribuição de carboidratos. Além disso, o plantio sob alta umidade atmosférica e alta radiação solar resultou no aumento da abertura estomática, taxa de fotossíntese e crescimento e desenvolvimento das plantas em comparação com a condição de baixa umidade atmosférica. Isso pode explicar por que as culturas plantadas no final da estação chuvosa e na estação fria apresentaram maior teor de amido e rendimento de amido (JANKET *et al.*, 2018).

Essas descobertas são úteis para entender que diferentes fenótipos, de culturas similares, podem ter diferenças de produção e qualidade. Isso depende ainda da estação do ano em que

ocorre o plantio, onde os fenótipos podem apresentar desempenho diferente (JANKET *et al.*, 2018). Estudos mais aprofundados podem facilitar os esforços de melhoramento para alta produção de amido de alta qualidade no futuro (SCHLLEMER; SALES, 2008).

2.3. Filmes biodegradáveis de amido: secagem e termoprensagem

A capacidade de formação de filme é uma característica fascinante do amido (VIEIRA *et al.*, 2020). O amido não é solúvel em água fria e não derrete como os plásticos convencionais, pois a temperatura de degradação do amido é menor que o ponto de fusão (JIANG *et al.*, 2020). Entretanto, os grânulos de amido perdem seu comportamento semicristalino de forma irreversível e são transformados em uma matriz contínua quando o amido é submetido à força, calor e plastificantes. Esta característica do amido é utilizada para formular filmes biodegradáveis (BESSA *et al.*, 2015). A transformação do amido em filmes é descrita por fundição em solução ou processamento por extrusão como as técnicas mais utilizadas (BANGAR *et al.*, 2021).

Os filmes e revestimentos biodegradáveis estão atraindo a atenção em escala industrial, pois têm potencial suficiente para combater os crescentes problemas de poluição (ERNA *et al.*, 2022). O amido possui propriedades notáveis, incluindo biodegradabilidade, sustentabilidade, abundância e pode ser modificado ou misturado com outros polímeros. Vários amidos têm sido investigados para aplicações de embalagens de alimentos, incluindo amidos de cereais, milhetos e leguminosas (AL-OQLA; SAPUAN, 2020). O amido pode ser usado como material de mistura de base para preparar material de embalagem ecologicamente correto (AESCHELMANN; CARUS, 2015).

Entretanto, sabe-se que a criação de filme de amido passa por várias etapas e técnicas que podem variar de acordo com o resultado que se espera obter (ROCHA *et al.*, 2014). A etapa de secagem é crucial para melhorar a interação intramolecular entre as cadeias de amilose e amilopectina. Equipamento de secagem, incluindo equipamento de microondas, são utilizados para o processo de fundição para fácil evaporação de solventes e *peeling* de filmes (MORAES; RESZKA; LAURINDO, 2014). Além disso, há que se investigar também o método mais eficiente para a preparação do filme, como a termoprensagem frente a extrusão das diferentes proporções mássicas entre os materiais, na avaliação das propriedades térmica, mecânica e morfológica das blendas preparadas (AL-OQLA; SAPUAN, 2020).

Na secagem ocorre a transferência de calor e de massa, de forma simultânea, fazendo com que ocorra a remoção de parte da água presente no material, por métodos de transporte e

evaporação em um meio gasoso instaurado no material (MORAES; RESZKA; LAURINDO, 2014). Essas micro-ondas que promovem a secagem são radiações eletromagnéticas não ionizantes, com frequência que varia entre 300 MHz e 300 GHz. Normalmente, derivam-se de energia elétrica, refletidas por espelho simples como uma folha metálica, com refração em interface dielétrica focalizadas por antenas ou refletores parabólicos (MONTENEGRO *et al.*, 2021).

Essas micro-ondas possuem o processo de aquecimento das moléculas da água, realizando a transformação de onda eletromagnética em energia térmica (VIEIRA *et al.*, 2021). O aquecimento permite a dissipação de energia interna e de excitação molecular de dipolos em um campo eletromagnético, o que garante a taxa elevada de aquecimento e uniformidade. Dessa forma, os condutores são refletidos por superfícies metálicas e os pouco condutores são refratados por materiais dielétricos (STEENACKERS *et al.*, 2014). O aspecto interessante nessas propriedades físicas é a absorção volumétrica por materiais dielétricos em forma de calor (MONTENEGRO *et al.*, 2021).

Qualquer sistema de aplicação de energia em micro-ondas possui componentes de geração de energia em determinada frequência com condução para um aplicador, com potência dissipada no produto a ser aquecido, como os filmes biodegradáveis (VILHENA *et al.*, 2020). Posteriormente, a prensagem escoa o excesso de água, facilitando a operação de secagem, evitando, dessa forma, a formação de goma e oxidação, tendo em vista que a massa fica aglomerada em blocos, obtendo menor exposição ao ar (PIMENTA *et al.*, 2012).

Uma fina camada do filme biodegradável pode ser aplicada para proteger o material alimentar do pó e preservá-lo em um estágio fresco (LAPA; SILVA; SALES, 2020). Produtos como óleos essenciais (OEs) também podem ser incorporados à matriz polimérica como alternativas para substituir produtos químicos convencionais, pois apresentam, entre outras, propriedades antifúngicas e antibacterianas (OOTANI *et al.*, 2013), e sua incorporação em revestimentos é facilitada pela formação de nanoemulsão. As características do filme e da camada de revestimento do amido permitem seu uso para diversos fins comerciais. As crescentes questões ambientais devido ao plástico como material de embalagem são os motores (BANGAR *et al.*, 2021).

2.4. A qualidade das sementes de feijão comum

O feijão comum é uma semente comestível economicamente importante cultivada e consumida em todo o mundo, sendo que a digestibilidade mais lenta do amido dessa espécie é

amplamente relatada na literatura, em comparação com amidos de cereais (SOUZA *et al.*, 2019). Este comportamento desejável do amido de feijão está associado ao seu teor de amilose, comprimento da cadeia ramificada da amilopectina e tendência à retrogradação. Além disso, a composição do feijão também inclui compostos fenólicos, tocoferóis, ácidos graxos insaturados, peptídeos, entre outros constituintes (OLIVEIRA *et al.*, 2019). A composição química do feijão está associada a importantes atividades biológicas, sendo elas efeitos antioxidantes, antimicrobianos, anti-hiperglicêmicos e anticancerígenos (LOS *et al.*, 2018).

A obtenção de sementes de qualidade é uma das etapas fundamentais para o sucesso produtivo da cultura do feijão (SOUZA *et al.*, 2019). A colheita deve ser idealmente realizada logo após a maturidade fisiológica, quando as sementes estão com o máximo acúmulo de matéria seca, altos níveis de vigor e alta porcentagem de germinação. No entanto, nesta fase, o teor de umidade das sementes é alto e as estruturas morfológicas que ainda vegetam são condições que dificultam as operações de colheita mecanizada e causam danos às sementes. O atraso na colheita pode reduzir a germinação e o vigor das sementes (RIGO *et al.*, 2018). Assim, para preservar a qualidade do produto colhido, é possível reduzir ao máximo o período de exposição das sementes a condições ambientais adversas, principalmente oscilações de umidade, temperatura, pluviosidade, ataque de pragas e doenças (LOPES *et al.*, 2021).

A maioria das culturas alimentares é atacada por doenças, e a maioria de seus agentes etiológicos é transmitida por sementes. No caso específico do feijoeiro, mais de 50% de suas principais doenças são transmitidas por sementes (SERAFIM FILHO *et al.*, 2021). A má qualidade das sementes é um dos principais motivos da queda na produtividade das leguminosas brasileiras, principalmente pelo fato de a maioria dos agricultores utilizarem suas próprias "sementes", que costumam ter graus variados de mistura, alta umidade, baixa germinação e vigor, e são infestação de insetos, principalmente a presença de patógenos (RIGO *et al.*, 2018). As sementes servem para transportar todo o potencial de produção das futuras plantas, sendo que o uso de sementes de alta qualidade garante a obtenção de povoamentos adequados (MARTÍNEZ CAMPOS *et al.*, 2019).

2.5. O processo de recobrimento em sementes

Para resolver o problema, as propriedades físicas da semente são modificadas pela aplicação exógena de certos compostos físicos, químicos ou biológicos diretamente na superfície do tegumento natural da semente (AFZAL *et al.*, 2016). A aplicação de revestimentos através do revestimento de sementes melhora as fases de germinação, antecipa eventos

fenológicos, aumenta os atributos fisiomorfológicos, o rendimento e a eficácia de restauração da semente. Sendo assim, o recobrimento de sementes oferece uma opção atraente como ferramenta para melhorar o estabelecimento de culturas, impulsionando os desafios enfrentados pelos sistemas agrícolas e a restauração de sistemas degradados (SHARMA *et al.*, 2015).

As sementes com alta qualidade fisiológica são sempre exigidas pelos agricultores. A indústria de sementes pode contribuir com cerca de 15 a 20% de aumento no rendimento das culturas (PEDRINI *et al.*, 2017). Para qualquer cultura, o tempo desde a colheita até a semeadura e o estabelecimento das plântulas é uma etapa que exige atenção, pois as sementes estão expostas a uma ampla gama de estresses ambientais, sendo eles bióticos e abióticos que podem alterar os aspectos de qualidade das sementes (MACHADO; QUEIROZ, 2018).

Dentre os tratamentos desementes, o recobrimento oferece proteção contra diferentes doenças do solo, ar e das próprias sementes (AFZAL *et al.*, 2016). Trata-se de um mecanismo de fornecimento de substâncias promotoras de crescimento para as plantas, fornecendo proteção insetos, linhagens de fungos e rizóbios, e garante nutrientes na zona de sorção das raízes, além de maior capacidade de retenção de água e de substâncias promotoras e reguladoras do crescimento. É relatado ainda como auxílio na germinação e capacidade de fornecimento de oxigênio sob condição anaeróbica parcial, melhorando o tamanho e o peso da semente (TAYLOR, 2020).

A tecnologia de recobrimento de sementes é utilizada em alguns países como melhor alternativa econômica, entretanto, até o momento, grande parte das sementes de hortaliças e pastagens são semeadas sem nenhum tratamento pré-semeadura (JAVED *et al.*, 2022). Na literatura científica, as informações sobre os aspectos químicos e mecânicos do recobrimento de sementes são limitados, residindo esse conhecimento na maioria das vezes em patentes (ROCHA *et al.*, 2019). Por isso, o desenvolvimento de receitas de recobrimento de sementes exige esforços concentrados e ensaios prévios (AMARO *et al.*, 2020).

O recobrimento deve ser aplicado aos revestimentos naturais, isto é, nas estruturas exógenas. Dentre os objetivos da técnica está a redução do atrito ou aumento do tamanho e peso, além de benefícios fisiológicos e econômicos. De modo geral, sementes com maior valor agregado, as quais possuem superfícies e formatos muito diferentes, recebem uma camada de revestimento mais espessa (MACHADO; QUEIROZ, 2018). O recobrimento também se propõe a realizar a transmissão de ingredientes ativos, diminuindo problemas externos após o plantio das sementes, pois aumenta a tolerância aos estresses abióticos (ROCHA *et al.*, 2017).

Os principais estresses abióticos aos quais as plantas estão expostas são temperaturas extremas, seca ou alta salinidade, que podem levar a perdas significativas na agricultura. Os

mecanismos de resposta biológica indicam privação hídrica resultando em alterações quantitativas na produção metabólica das plantas (OLIVEIRA *et al.*, 2016). Os programas de desenvolvimento de plantas mais tolerantes têm se mostrado muito complexos, portanto o tratamento de sementes com recobrimento tem sido uma alternativa com menor valor, produzindo sementes mais resistentes e com maior taxa de germinação (SOHAIL *et al.*, 2022).

Os materiais de recobrimento são divididos em ligantes ou enchimentos. Para que ocorra o recobrimento de forma correta, os aglutinantes garantem que o material seja aderido às sementes e que os ingredientes ativos sejam retidos (AMARO *et al.*, 2020). Esses aglutinantes podem ser materiais poliméricos naturais ou sintéticos que são aplicados na forma líquida e que, quando secos, formam uma película ao redor das sementes. Os mais comumente usados são a quitosana e a metilcelulose. Geralmente, as cargas são materiais em pó como bentonita, carbonato de cálcio ou areia (PEDRINI *et al.*, 2017).

Os ingredientes ativos mais usados são fungicidas, pesticidas, inseticidas, herbicidas, nematicidas e inibidores de predadores. São utilizados como protetores e promovem o crescimento e a produção das plantas, reduzindo a ação de patógenos (LOPES *et al.*, 2016). Além disso, micronutrientes como zinco (Zn), molibdênio (Mo), boro (B), manganês (Mn), cobre (Cu), níquel (Ni), ferro (Fe) e cobalto (Co) também podem ser adicionados aos revestimentos, mesmo que em quantidades mínimas, pois participam de processos vegetais como fotossíntese e respiração e, portanto, suas deficiências podem afetar o desenvolvimento (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

O crescimento simulado e o aparecimento de manchas nas folhas foram observados em plantas expostas a solo pobre em Zn. O tratamento de sementes com Zn apresentou aumento na produtividade e germinação, além de melhorar a resistência ao estresse abiótico e patógenos (MACHADO; QUEIROZ, 2018). Outro micronutriente que desempenha um papel no metabolismo e na fotossíntese das plantas é o Mn, cuja deficiência causa clorose, a presença de manchas nas folhas, em casos graves, podem aparecer manchas necróticas levando à queda prematura das folhas. A nutrição das sementes utilizando Mn mostrou um aumento no crescimento das plantas, produtividade e germinação (AMARO *et al.*, 2020).

A adição de macro ou micronutrientes como fósforo (P), potássio (K), manganês (Mn) e zinco (Zn) aos recobrimentos tem demonstrado efeito positivo na taxa de germinação, como forma de compensar deficiências no solo. Os micronutrientes podem ser adicionados ao solo, folhas ou sementes, entretanto, a aplicação em sementes é mais fácil, pois uma pequena quantidade é suficiente, reduzindo a possibilidade de perdas por solubilização (ROCHA *et al.*,

2019).Dentre os benefícios identificados pela adição de micronutrientes ao recobrimento das sementes estão o aumento da produtividade das culturas, reparação da acidez do solo em áreas próximas às sementes e maior desenvolvimento das plantas, bem comohomogeneidade da disponibilidade de nutrientes (AFZAL *et al.*, 2016).

Portanto, a cobertura de sementes tem se mostrado mais eficaz em alguns casos do que a adição direta de nutrientes ao sulco de plantio (MORAL *et al.*, 2021). Alguns organismos simbióticos também podem ser adicionados, sendo os mais comuns os do gênero *Rhizobium*, que podem fixar nitrogênio no solo. Essas bactérias podem reduzir custos com uso de fertilizantes nitrogenados ea possibilidade de contaminação (PEDRINI *et al.*, 2017).

Os polímeros que facilitam a adesão de corantes e agroquímicos no recobrimento das sementes costumam ser utilizadoscom sucesso no controle de fungos (ROCHA *et al.*, 2019). O uso de corantes em coberturasindica a qualidade das sementes, facilitam a identificação para a semeadura e destacam aquelas que foram tratados e que receberam a aplicação de produtos químicoe rastreamento de lotes, além disso, proporciona redução na predação de sementes por aves (PEDRINI *et al.*, 2017). Em estudos de Jacobet *al.* (2016) o recobrimento das sementes de tomate com um polímero hidrofílico foi realizado para regular o teor de umidade das sementes. Dessa forma, ofilme polimérico apresentou maior capacidade de absorção de água do que as sementes controle não revestidas, apresentando germinação mais rápida e eficiente. As sementes de milho foram revestidas com polímeros sensíveis à temperatura e fungicidas (JACOBet *al.*, 2016).

Atrelado a essa revisão, é visto que para diminuir os problemas relacionados com processo de germinação em diferentes culturas, novas pesquisas estão sendo realizadas no recobrimento de sementes com polímerospara aumentar o tamanho e peso, diminuindo as perdas de produtos aplicados na superfície das sementes, reduzindo a variação de temperatura e umidade, e agregando valor comercial.

3. OBJETIVOS

3.1 Geral

Avaliar a preparação de soluções filmogênicas de amido de diferentes fontes vegetais do cerrado e seus efeitos por meio de recobrimento de sementes de feijão comum (*P. vulgaris*) na qualidade fisiológica.

3.2 Específicos

- Extrair amidos de milho (*Zea mays*), batata (*Solanum tuberosum*), frutos da fruta-do-lobo (*Solanum lycocarpum*) e rizomas do lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*) em área de Cerrado;
- Desenvolver pastas filmogênicas de amido utilizando micro-ondas;
- Desenvolver filmes utilizando compressão térmica por prensa hidráulica;
- Realizar o recobrimento de feijão comum com filmes de amidos de milho, batata, frutos da fruta-do-lobo e rizomas do lírio-do-brejo e suas misturas;
- Apontar a melhor variável de recobrimento após a análise fisiológica das sementes de *P. vulgaris*: teste de germinação, envelhecimento acelerado, comprimento e massa seca de plântulas e teste de tetrazólio.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Locais de condução laboratorial dos experimentos

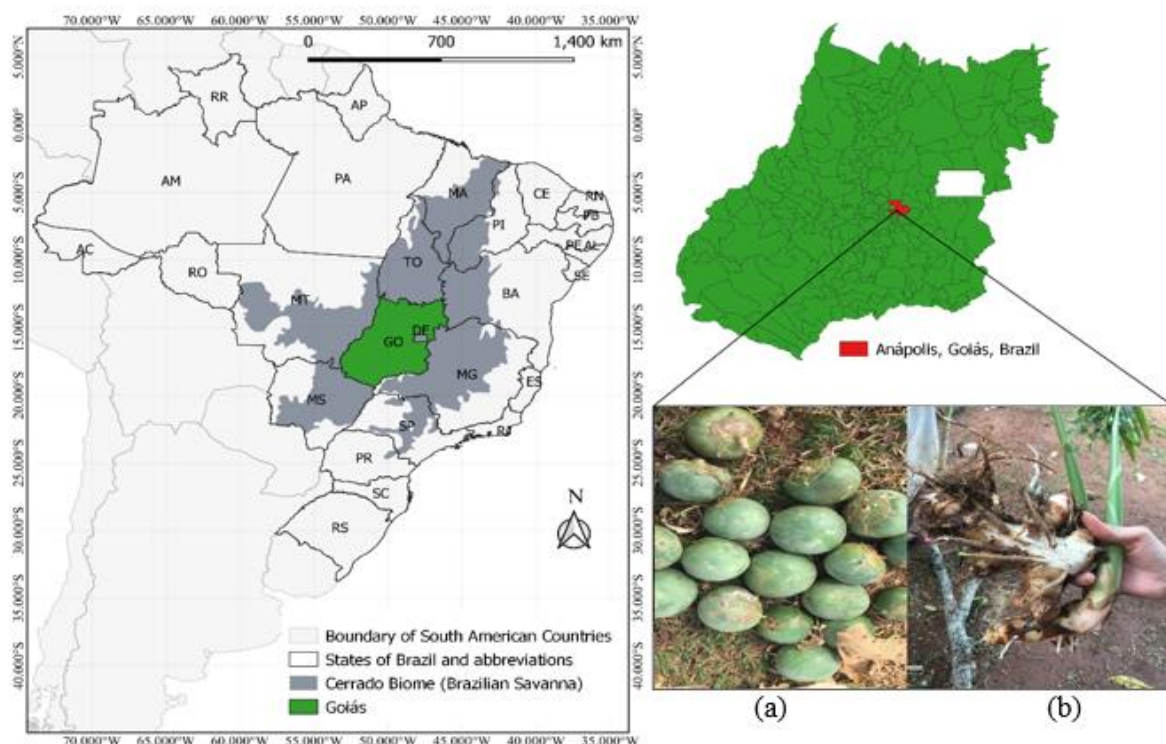
Os experimentos foram conduzidos nas dependências da Universidade Estadual de Goiás, Campus Central Sede - Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas (CET/UEG), utilizando equipamentos disponíveis nos Laboratórios de Secagem e Armazenamento de Produtos Vegetais; de Sementes; de Tecnologia das Fermentações – Enzimologia; e de Química Experimental.

4.2 Obtenção do material vegetal e aquisição dos amidos

O material vegetal foi obtido na zona rural da cidade de Anápolis, no Estado de Goiás. Trata-se de uma área típica de Cerrado *stricto sensu*, cuja região apresenta clima tropical e de acordo com a Köppen e Geiger a classificação do clima é Aw, com altitude de aproximadamente 1000 metros (CARDOSO; MARCUZZO; BARROS, 2014), temperatura média de 22,4 °C e pluviosidade média anual de 1586 mm (CLIMATE-DATA, 2021).

Os frutos da fruta-do-lobo (Figura 3a) e os rizomas do lírio-do-brejo (Figura 3b) foram colhidos no mês de outubro em 2021, na estação de seca. Os amidos comerciais de milho e batata de marcas conhecidas foram adquiridos no mercado local da cidade de Anápolis. Para os ensaios de recobrimento de sementes de feijão comum, as sementes os foram gentilmente cedidas pelo Prof. Dr. Itamar Rosa Teixeira, responsável pelo Laboratório de Sementes.

Figura 3 – Mapa do Brasil, apontando o Estado de Goiás e a cidade de Anápolis. Em (a) frutos da fruta-do-lobo, em (b) rizomas do lírio-do-brejo, ambos colhidos na zona rural do município.



Fonte: Autor, 2023

4.3 Métodos de obtenção dos produtos de recobrimento

4.3.1 Extração dos amidos nativos do Cerrado

Separadamente, os frutos da fruta-do-lobo (aproximadamente 100 unidades) e os rizomas do lírio-do-brejo (aproximadamente 40 kg) foram devidamente higienizados em água corrente e detergente neutro, acondicionados em caixas de plástico e, no mesmo dia da colheita, transportados para os laboratórios da Universidade Estadual de Goiás. Foi realizada a extração e purificação dos amidos, seguindo metodologias descritas por Gomes, Ascheri e Campos (2016).

Os frutos e os rizomas foram reduzidos a tamanhos pequenos utilizando uma faca inoxidável e triturados, adicionando-se água abundante, em um liquidificador industrial (Metvisa Metalúrgica®, LQ.25, Brusque, SC). O leite de amido foi passado por peneiras de malhas finas com abertura de 38 mm/μm para a separação do amido. A purificação dos amidos foi realizada por meio de sucessivas lavagens com água corrente e decantação, separando-se o sobrenadante que continha as impurezas, seguido de filtração a vácuo e secagem em estufa de circulação de ar forçada (Solab®, modelo SL-102) a 45°C por 14 h. Logo após a secagem, as

amostras foram pulverizadas e armazenadas em potes de vidro hermeticamente fechados.

4.3.2 Elaboração das pastas filmogênicas para a produção de filmes biodegradáveis

De forma preliminar, foram estudados os efeitos que causam as variações das quantidades de amido e água e do tempo de aquecimento na elaboração das pastas filmogênicas, registrando-se como respostas observações subjetivas, ou seja, a formação de grumos na análise microscópica.

Foram realizados dez tratamentos (T1 a T10). Os tratamentos T1 a T4 consistiram de amidos milho, batata, fruta-do-lobo e lírio-do-brejo, respectivamente, contendo diferentes medidas de massa de amido, água e tempo de aquecimento, segundo o planejamento em delineamento inteiramente casualizado estabelecido na Tabela 1. Já os tratamentos de T5 a T10 constituíram de misturas de amidos de milho e fruta-do-lobo (T5), de milho e lírio-do-brejo (T6), de batata e fruta-do-lobo (T7) e de batata e lírio-do-brejo (T8), milho e batata (T9) e fruta-do-lobo e lírio-do-brejo (T10) e das demais variáveis resultantes na Tabela 1.

Tabela 1 – Quantidades de massa de amido, água e tempo de aquecimento em micro-ondas utilizados na elaboração das pastas filmogênicas de amidos de milho, batata, fruta-do-lobo, lírio-do-brejo e de suas misturas.

Tratamentos	Gramas de Amido (%)			
	Milho	Batata	Fruta-do-lobo	Lírio-do-brejo
T1	4,0	-	-	-
T2		4,0	-	-
T3	-	-	4,0	-
T4	-	-	-	4,0
T5	2,0	-	2,0	-
T6	2,0	-	-	2,0
T7	-	2,0	2,0	-
T8	-	2,0	-	2,0
T9	2,0	2,0		
T10			2,0	2,0

As pastas filmogênicas foram elaboradas adicionando as quantidades de amido e água

consideradas na Tabela 1, acrescidos de 0,8 g de glicerol/ 2 g de amido. A solução aquosa de amido e plastificante foi submetida a aquecimento em micro-ondas doméstico (ELECTROLUX 34L) à máxima potência (100%) por 10 a 20 s.

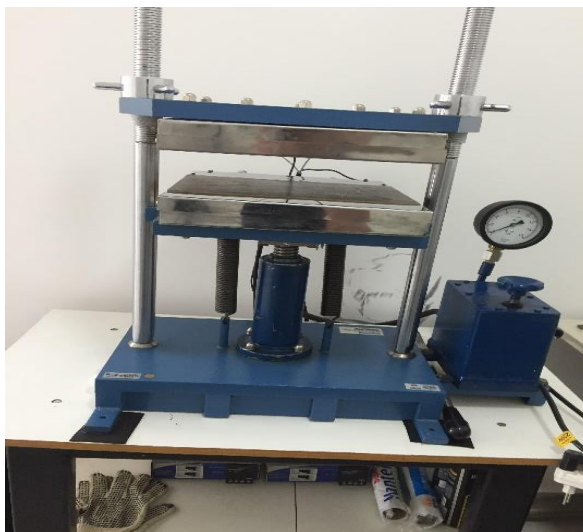
Ao final do aquecimento, aliquotas das suspensões aquosas de amido foram tomadas para análise microscópica usando um microscópio óptico (Leica DME) com o objetivo de estabelecer a quantidade de amido, água e tempo de aquecimento observando a pré-gelatinização dos amidos e suas misturas. Obtidos as quantidades de amido, água e tempo ideais, procedeu-se à elaboração final das pastas filmogênicas que foram utilizados na produção dos filmes biodegradáveis e para o recobrimento de sementes de feijão comum.

4.3.3 Produção de filmes biodegradáveis

As composições dos filmes em função das amostras de amido foram formuladas empregando a metodologia de modelagem de misturas do planejamento experimental proposto por Cornell (1990). Para definir as composições foi utilizado um planejamento em rede simplex {4,2}: quatro amostras de amido e aplicação de modelos matemáticos até o segundo grau, respectivamente.

Os filmes biodegradáveis foram produzidos por compressão térmica usando uma prensa hidráulica provida de termopares para o controle do aquecimento das chapas da prensa (Figura 4). Os filmes foram formados acondicionando 2 g da pasta filmogênica entre duas folhas de Teflon com dimensões de 20 cm de comprimento, 15 cm de largura e 0,08 mm de espessura seguido de prensagem, aplicando uma força entre 3 toneladas a uma temperatura de 80 °C por 6 min. O resfriamento foi realizado em temperatura ambiente até a retirada de uma das folhas de Teflon. A outra folha contendo o filme produzido foi aquecida em estufa a 70°C por 30 min para a retirada da segunda folha de Teflon. Os filmes foram acondicionados em envelopes de papel manteiga no interior de um dessecador contendo uma solução de Nitrato de Magnésio - $Mg(NO_3)_2 \cdot (H_2O)_x$, para posterior caracterização.

Figura 4 – Prensa hidráulica utilizada para realização dos biofilmes biodegradáveis de amidos.



Fonte: Autor, 2023

4.3.4. Variáveis respostas obtidas dos filmes biodegradáveis

4.3.4.1. Espessura

A espessura foi média em dez pontos aleatórios dos filmes biodegradáveis com o auxílio de um micrômetro Tesa ISOMASTER com medições de 0 a 25mm e precisão de 0,01mm.

3.3.4.2. Solubilidade em água

A solubilidade em água dos filmes biodegradáveis foi determinada segundo o método proposto por Gontard *et al.* (1992), com modificações. As amostras foram obtidas recortando-se o filme em forma de quadrado de 2 cm de cada lado. As amostras foram conduzidas a secagem a 120 °C por 2 h, seguida de resfriamento em dessecador contendo sílica-gel cor azul. Após resfriamento, a massa das amostras foram registradas e, seguidamente, elas foram colocadas em erlenmeyers de 250 mL acrescentada de 50 mL de água destilada. Os erlenmeyers foram agitados em um agitador do tipo banho Dubnoff (Ethik Technology) a 40 rpm por 24 h, à temperatura de 25 °C. Após esse processo, o filme não solubilizado foi desidratado em estufa com circulação de ar forçada, à 105°C por 24 h.

A solubilidade em água foi calculada conforme equação 1:

$$\text{Solubilidade (\%)} = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100 \quad \text{Equação (1)}$$

Em que: M_i = massa inicial da amostra de filme; M_f = massa final da amostra não solubilizadas.

4.3.4.3. Permeabilidade ao vapor de água

A permeabilidade ao vapor de água foi determinada usando o método gravimétrico descrito pela E96-95 da American Society for Testing and Materials (ASTM, 1995). Os filmes biodegradáveis foram cortados em forma circular de 2,7 cm de diâmetro e colocados em células de permeação contendo sílica-gel que previamente foi submetida a secagem a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ por duas horas.

As células de permeação foram colocadas dentro de um dessecador contendo água destilada a $25 \pm 1^\circ\text{C}$, criando um ambiente com 100% de umidade relativa. A massa da célula e filme foi monitorada em intervalos de 24 h, desde o início do experimento (0 h) até as 96 h, sendo a taxa de permeabilidade de vapor de água (T_{va}) e a permeabilidade ao vapor de água (P_{va}) calculadas utilizando as equações 2 e 3:

$$T_{va} = \frac{g}{tA} \quad \text{Equação (2)}$$

$$P_{va} = \frac{T_{va} \times x}{\Delta p} \quad \text{Equação (3)}$$

Em que: A = área de permeação (em cm^2); g = ganho de massa (em gramas); t = tempo de permeação (em horas); x = espessura média do filme (em milímetros); Δp = diferença de pressão do ambiente contendo sílica-gel (0 kPa, a 25°C) e água pura (3,17 kPa, a 25°C).

4.3.4.4. Testes mecânicos

Os testes mecânicos foram determinados de acordo com o método ASTM D 882 da ASTM (1995), em que os filmes foram cortados em formato retangular de 2,5cm de largura e

7,5cm de comprimento. Os dados foram obtidos através do texturômetro da marca Brookfield modelo CT3, no qual as amostras foram fixadas em garras. A resistência à tração (RT) e a porcentagem de alongação (E) foram calculadas através das equações 4 e 5:

$$RT = \frac{F}{e.0,01.A} \text{Equação (4)}$$

$$E = \frac{d}{d0} \times 100 \text{Equação (5)}$$

Em que: F = força máxima no momento da ruptura do filme (em Newtons, N); e = espessura do filme (em mm); A = área do filme (em mm²); d = distância percorrida para ruptura do filme (em mm); d0 = distância inicial entre as garras (em mm).

4.3.5 Recobrimento das sementes de feijão comum

O processo de recobrimento sobre sementes pertencentes a cultivar BRS Estilo foi adaptado da metodologia de Bertoldo *et al.* (2010). As soluções filmogênicas foram preparadas utilizando 4 g de amido, 100 mL de água destilada e 1,6 g de glicerol, submetidos a um aquecimento por 5 min a 85°C até a gelatinização. Logo após, foi adicionada três gotas de solução de sorbato de potássio (C₆H₇KO₂) de concentração 0,5%, que foi utilizado como agente antibactericida e antifúngico. O delineamento experimental aplicado foi inteiramente casualizado com nove tratamentos, sendo os oitos tratamentose o nono o controle da técnica (sem recobrimento), com quatro repetições.

O experimento de recobrimento foi conduzido em béquers de 150 mL contendo 200 sementes de feijão adicionada da solução filmogênica mantida em repouso por 5 min. As sementes embebidas com a solução filmogênica foram despejadas em tela metálica inox com 11x11 cm para remoção do excesso de líquido e secas em estufa com circulação de ar forçado a 35 °C por 1 h. Após o recobrimento, as sementes com cobertura foram submetidas a avaliação da qualidade fisiológica.

4.3.5.1. Teste Padrão de Germinação (TPG)

O TPG avalia a viabilidade das sementes. Dessa forma, 200 sementes por tratamento foram divididas em quatro repetições de 50 sementes por unidade experimental, colocadas no papel germitest previamente umedecido com água destilada equivalente a 2,5 vezes o peso do papel. Posteriormente os rolos de papela foram acondicionados em germinador a 25 °C. A avaliação foi realizada ao 8º (oitavo) dia após a implantação do teste. Considerou-se a porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009).

4.3.5.2. Teste Primeira Contagem ((PC)

O teste de primeira contagem foi conduzido em conjunto com o TPG, com a finalidade de avaliar vigor, considerando-se a porcentagem de plântulas normais avaliadas no 5º (quinto) dia após o início do teste de germinação (BRASIL, 2009).

4.3.5.3. Teste de envelhecimento acelerado

O teste de envelhecimento acelerado foi conduzido segundo a metodologia de Krzyzanowski *et al.* (1991) com a finalidade de complementar a análise de vigor. As 200 sementes de cada tratamento foram distribuídas em camada única sobre tela metálica inox e colocadas em caixas (gerbox) com dimensões de 11 x 11 x 3,5 cm, contendo 40 mL de água destilada no seu interior. As sementes foram levadas para germinador por um período de 48 horas a 42 ± 3 °C. Após esse período, as 200 sementes foram subdivididas em quatro repetições de 50 unidades e submetidas ao teste de germinação usando o papel germitest umedecido 2,5 vezes o peso do papel, e mantidos em germinador pelo período de cinco dias a 25 °C (BRASIL, 2009). O vigor foi avaliado computando-se o percentual de plântulas normais no quinto dia de montagem do teste.

4.3.5.4. Determinação do comprimento de plântula

O comprimento de plântula foi determinado a partir da semeadura de quatro subamostras de 10 sementes por tratamento em papel germitest umedecido 2,5 vezes o peso do papel, sendo os rolos colocados e mantidos por dez dias em germinador, a 25 °C. Ao final deste período, foi efetuada a medida da raiz primária das plântulas germinadas utilizando-se uma régua e expressando os resultados em centímetros (NAKAGAWA, 1999).

4.3.5.5. Determinação da massa seca de plântula

Foram avaliadas as plântulas normais, obtidas a partir do teste de comprimento de plântulas. As réplicas de cada repetição foram acondicionadas em sacos de papel, identificados, e levados à estufa em circulação de ar forçada, mantidas à temperatura de 80 °C por 24 horas (NAKAGAWA, 1999). Após este período, cada réplica teve a massa avaliada em balança com precisão de 0,001g e os resultados médios expressos em miligramas por plântula.

4.3.6. Análise estatística

As variáveis envolvendo misturas e as variáveis dependentes foram ajustadas em equações dos modelos linear e quadrático, utilizando as estatísticas dadas pela significância do modelo ($\text{Prob}>F$) e coeficiente de determinação múltipla (R^2_{aj}). Para o estudo da significância dos efeitos individuais nas variáveis respostas, as variáveis dependentes foram ajustadas em nível de 5%, sendo as análises realizadas com o auxílio do programa Statistic v. 14 (TIBCO, 2020).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Preparo das pastas filmogênicas

Na elaboração de soluções filmogênicas para a produção de filmes de amido pelo método de espalhamento (*casting*) se utiliza suspensões aquosas de 1 a 5% (m/v) adicionadas de plastificantes e aquecidas a 70-100°C até a completa gelatinização. Foi preconizado metodologias já existentes na literatura para elaboração dessas pastas filmogênicas como mostrado no trabalho de Costa *et al.* (2017) no qual realizou a elaboração e caracterização de filmes biodegradáveis a base de amido da semente de jaca incorporados com antocianinas demorando mais de 20 min para preparação do material.

Em estudos preliminares a este trabalho, Batista *et al.* (2019) observaram que a temperatura de 85°C e o tempo de 5 min foram suficientes para gelatinizar suspensões aquosas de 2% de amido de milho, batata, parreira-do-mato e lírio-do-brejo. Dessa forma, 5 min a 85°C foi o suficiente para elaboração das pastas filmogênicas.

Outro ponto importante a ser citado é que as soluções filmogênicas também podem ser

elaboradas a frio utilizando ácidos ou bases, isto é, dispensando o uso de fonte de calor. Prabha e Ranganathan (2017) utilizaram soluções de ácido acético em porcentagens de 0,1-0,3% para gelatinizar amido de mandioca. Este método minimiza o custo de energia, no entanto, prolonga o tempo de gelatinização requerendo 2 h de agitação a 800 rpm para alcançar a completa gelatinização do amido. E, ainda, há necessidade de filtração para separação de impurezas ou grumos formados durante o procedimento. Yang *et al.* (2021) gelatinizaram amidos de milho, milho ceroso, milho com alto teor de amilose usando solução de NaOH/glicerol à temperatura ambiente, conseguindo diminuir o tempo de gelatinização a 60 min a 25 °C.

Como se pode notar, ainda pode ser melhorada a eficiência do processo de gelatinização do amido com o objetivo de diminuir os gastos com recursos, como água, tempo e energia. Dessa forma, encontrar um tratamento padrão hidrotérmico aplicável para formar pastas filmogênicas contendo alta concentração de amido gelatinizado, é fator relevante para a formação dos filmes usando o processo de termoprensagem, pois, facilita a quantificação de massa e a manuseabilidade das pastas elaboradas (GAO *et al.*, 2021).

As observações subjetivas realizadas nas pastas elaboradas sobre condições estabelecidas na Tabela 2 mostraram que para 2,0 g de amido, as quantidades de água de 2,5 e 3 mL, 1,6 mL de glicerol, em tempos de aquecimento de 10/20 s e 30 s, respectivamente, não foram suficientes para formar pastas filmogênicas com características adequadas, isto é, pastas visco-elásticas homogêneas, sem formação de grumos. Estas características foram alcançadas pelos amidos de milho, fruta-do-lobo e suas misturas quando pré-gelatinizados nas condições de 2,0 g de amostra em 3,0 a 3,5 mL de água, 1,6 mL de glicerol, em 20 s de aquecimento, e por todos os amidos e misturas em quantidades de 4,0 g de amostra, 7,0 mL de água, 1,6 mL de glicerol, em 20 s de aquecimento.

Tabela 2 – Observações subjetivas realizadas nas pastas filmogênicas obtidas por meio da pré-gelatinização de suspensões aquosas de amido usando micro-ondas à máxima potência (100%).

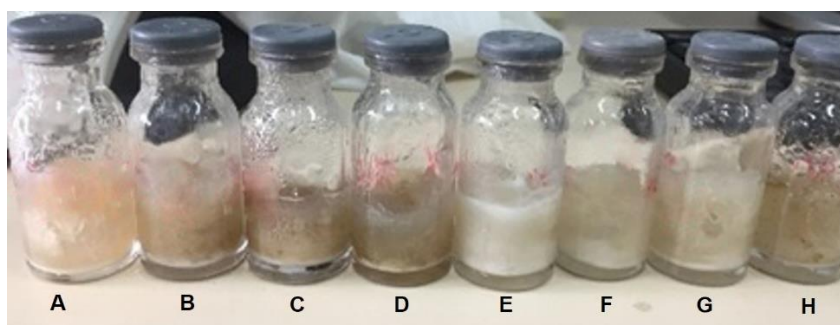
Tratamento	Tipo de amido	Massa de amido (g)	Água (mL)	Tempo (s)	Formação de grumos
T1	Milho (M)	2	2,5	10	Sim
T2	Batata (B)	2	2,5	10	Sim
T3	Fruta-do-lobo (FL)	2	2,5	10	Sim
T4	Lírio-do-brejo (LB)	2	2,5	10	Sim
T5	M+FL	2	2,5	10	Sim
T6	M+LB	2	2,5	10	Sim
T7	B+FL	2	2,5	10	Sim

T8	B+LB	2	2,5	10	Sim
T9	M+B	2	2,5	10	Sim
T10	FL+Lb	2	2,5	10	Sim
T1	Milho (M)	2	2,5	20	Sim
T2	Batata (B)	2	2,5	20	Sim
T3	Fruta-do-lobo (FL)	2	2,5	20	Sim
T4	Lírio-do-brejo (LB)	2	2,5	20	Sim
T5	M+FL	2	2,5	20	Sim
T6	M+LB	2	2,5	20	Sim
T7	B+FL	2	2,5	20	Sim
T8	B+LB	2	2,5	20	Sim
T9	M+B	2	2,5	20	Sim
T10	FL+Lb	2	2,5	20	Sim
T1	Milho (M)	2	3	10	Sim
T2	Batata (B)	2	3	10	Sim
T3	Fruta-do-lobo (FL)	2	3	10	Sim
T4	Lírio-do-brejo (LB)	2	3	10	Sim
T5	M+FL	2	3	10	Sim
T6	M+LB	2	3	10	Sim
T7	B+FL	2	3	10	Sim
T8	B+LB	2	3	10	Sim
T9	M+B	2	3	10	Sim
T10	FL+Lb	2	3	10	Sim
T1	Milho (M)	2	3	20	Não
T2	Batata (B)	2	3	20	Sim
T3	Fruta-do-lobo (FL)	2	3	20	Não
T4	Lírio-do-brejo (LB)	2	3	20	Sim
T5	M+FL	2	3	20	Não
T6	M+LB	2	3	20	Não
T7	B+FL	2	3	20	Sim
T8	B+LB	2	3	20	Sim
T9	M+B	2	3	20	Sim
T10	FL+Lb	2	3	20	Sim
T1	Milho (M)	2	3,5	20	Não
T2	Batata (B)	2	3,5	20	Sim
T3	Fruta-do-lobo (FL)	2	3,5	20	Não
T4	Lírio-do-brejo (LB)	2	3,5	20	Sim
T5	M+FL	2	3,5	20	Não
T6	M+LB	2	3,5	20	Não
T7	B+FL	2	3,5	20	Sim
T8	B+LB	2	3,5	20	Sim

T9	M+B	2	3,5	20	Sim
T10	FL+Lb	2	3,5	20	Sim
T1	Milho (M)	4	7	20	Não
T2	Batata (B)	4	7	20	Não
T3	Fruta-do-lobo (FL)	4	7	20	Não
T4	Lírio-do-brejo (LB)	4	7	20	Não
T5	M+FL	4	7	20	Não
T6	M+LB	4	7	20	Não
T7	B+FL	4	7	20	Não
T8	B+LB	4	7	20	Não
T9	M+B	4	7	20	Não
T10	FL+Lb	4	7	20	Não
T1	Milho (M)	2	3,5	30	Sim
T2	Batata (B)	2	3,5	30	Sim
T3	Fruta-do-lobo (FL)	2	3,5	30	Sim
T4	Lírio-do-brejo (LB)	2	3,5	30	Sim
T5	M+FL	2	3,5	30	Sim
T6	M+LB	2	3,5	30	Sim
T7	B+FL	2	3,5	30	Sim
T8	B+LB	2	3,5	30	Sim
T9	M+B	2	3,5	30	Sim
T10	FL+Lb	2	3,5	30	Sim
T1	Milho (M)	2	3,5	30	Sim
T2	Batata (B)	2	3,5	30	Sim
T3	Fruta-do-lobo (FL)	2	3,5	30	Sim
T4	Lírio-do-brejo (LB)	2	3,5	30	Sim
T5	M+FL	2	3,5	30	Sim
T6	M+LB	2	3,5	30	Sim
T7	B+FL	2	3,5	30	Sim
T8	B+LB	2	3,5	30	Sim
T9	M+B	2	3,5	30	Sim
T10	FL+Lb	2	3,5	30	Sim
T1	Milho (M)	2	3,5	30	Sim
T2	Batata (B)	2	3,5	30	Sim
T3	Fruta-do-lobo (FL)	2	3,5	30	Sim
T4	Lírio-do-brejo (LB)	2	3,5	30	Sim
T5	M+FL	2	3,5	30	Sim
T6	M+LB	2	3,5	30	Sim
T7	B+FL	2	3,5	30	Sim
T8	B+LB	2	3,5	30	Sim
T9	M+B	2	3,5	30	Sim
T10	FL+Lb	2	3,5	30	Sim
T1	Milho (M)	2	3,5	30	Sim
T2	Batata (B)	2	3,5	30	Sim
T3	Fruta-do-lobo (FL)	2	3,5	30	Sim
T4	Lírio-do-brejo (LB)	2	3,5	30	Sim
T5	M+FL	2	3,5	30	Sim
T6	M+LB	2	3,5	30	Sim
T7	B+FL	2	3,5	30	Sim
T8	B+LB	2	3,5	30	Sim
T9	M+B	2	3,5	30	Sim
T10	FL+Lb	2	3,5	30	Sim

As duas últimas condições de pré-gelatinização (Tabela 2) são proporcionalmente iguais, resultando em suspensões aquosas de 57% (m/v), aproximadamente. Tratando-se de economia, a primeira condição (10 segundos de pré-gelatinização) era o esperado, uma vez que minimizaria as quantidades de amido, água e tempo, no entanto, durante o aquecimento no forno micro-ondas observou-se perda de água, resultando na formação de grumos ou mesmo separação de fases, isto é, parte do amido deixa de ser gelatinizado, depositando-se no fundo do recipiente, fato que não ocorreu quando se utilizou a terceira condição (30 segundos de pré-gelatinização) (Figura 5).

Figura 5 – Pastas filmogênicas a base de amidos de: A) batata, B) mistura de milho e fruta-do-lobo, C) mistura de batata e fruta-do-lobo, D) fruta-do-lobo, E) milho, F) lírio-do-brejo, G) mistura de milho e lírio-do-brejo, e H) mistura de batata e lírio-do-brejo.



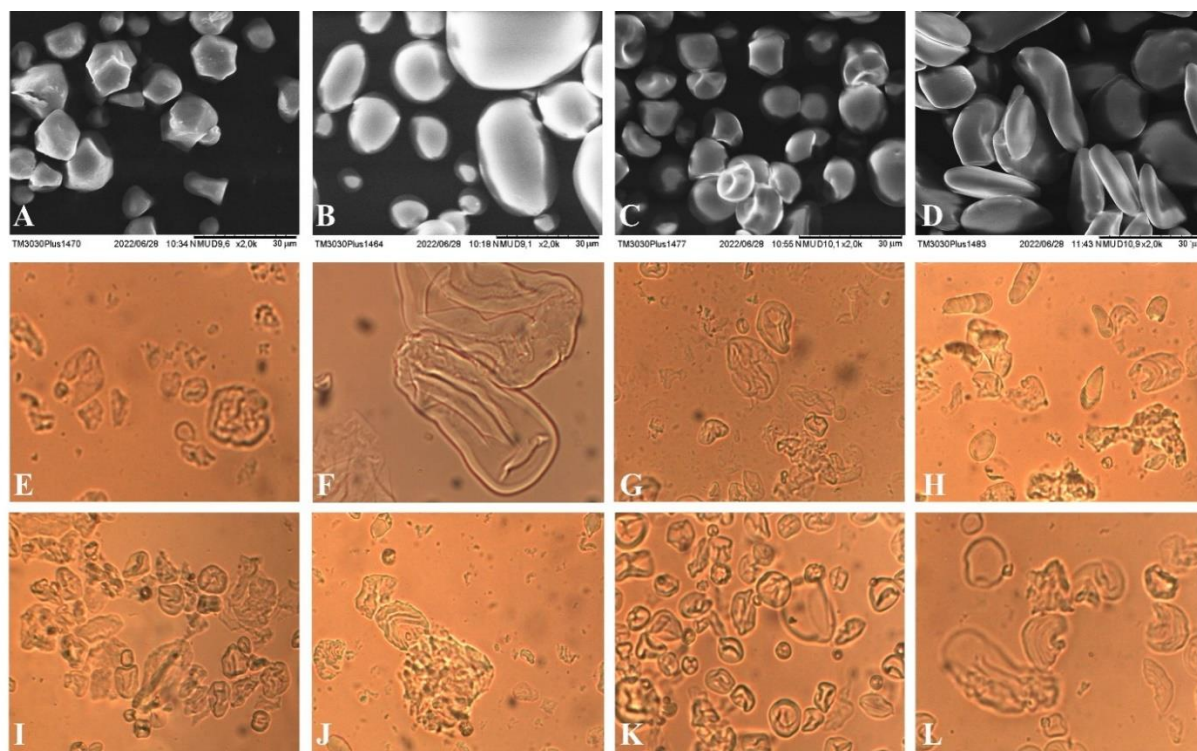
Fonte: Autor, 2023

Nota-se nas paredes do recipiente, parte da água que se perde por evaporação que deixa de utilizar-se durante a pré-gelatinização, assim como também, se observa, no fundo do frasco ampola, resíduos de amido precipitado (Figura 5). Estas observações sugerem que o sistema de aquecimento deve contar com um mecanismo auxiliar de agitação da suspensão aquosa para aumentar a eficiência do método de gelatinização do amido por micro-ondas. A segunda condição (20 segundos de pré-gelatinização) apresentou a melhor estrutura do material.

O processo foi satisfatório, pois grande parte dos amidos foram gelatinizados (Figura 6). Nesta figura se pode observar as microfotografias dos amidos *in natura* de milho, batata, fruta-do-lobo e lírio-do-brejo (Figuras 2A a 2D, respectivamente) e dos amidos gelatinizados dos amidos *in natura* (Figuras 2E a 2H) e das misturas de amido de milho e fruta-de-lobo, milho e

lírrio-do-brejo, batata e fruta de lobo e batata e lírrio-do-brejo (Figuras 2I a 2L, respectivamente) no forno micro-ondas nas condições de 4,0 g de amostra para 7,0 mL, adicionado de 1,6 mL de glicerol e aquecidos por 20 s.

Figura 6 – Microfotografias tomadas em microscópio eletrônica de varredura (ampliação 2000 X) dos amidos *in natura* de: A) milho, B) batata, C) fruta-do-lobo e D) lírrio-do-brejo, microfotografias tomadas em microscópio óptico (ampliação 100 X) dos amidos pré-gelatinizados em forno micro-ondas: E) milho, F) batata, G) fruta-do-lobo, H) lírrio-do-brejo, I) milho e fruta-de-lobo, J) milho e lírrio-do-brejo, K) batata e fruta de lobo, e L) batata e lírrio-do-brejo.



Fonte: Autor, 2023

Inicialmente os amidos *in natura* se mostram intatos (Figuras 2A a 2D), sem rachaduras e com ausência de grânulos de amido danificados. No entanto, após a aplicação do tratamento hidrotérmico, os amidos incharam e se quebraram, porém, alguns grânulos de amido de lírrio-do-brejo permaneceram intatos (Figura 2H), provavelmente por falta da agitação mecânica. Segundo Ascheri *et al.* (2010) a temperatura de gelatinização do amido do lírrio-do-brejo ocorre entre 73,1 °C e 78,7 °C e suas pastas mostram alta estabilidade a 95 °C.

Ao contrário do observado na microfotografia do lírrio-do-brejo parcialmente gelatinizado, as microfotografias das misturas de amidos (Figuras 2I a 2L) mostram que alguns

grânulos estão inchados e danificados, mas a maioria sofreu o processo de gelatinização, provavelmente seja porque amidos contendo grânulos pequenos (milho e fruta-do-lobo) apresentam maior afinidade à água fria que absorvem rapidamente a água e incham ficando mais vulneráveis à radiação, absorvendo maior quantidade de calor o que, provavelmente, tenha aumentado a temperatura gelatinizando, dessa maneira, os grânulos maiores de batata e lírio-do-brejo.

Considerando os trabalhos dos pesquisadores acima citados e as respostas obtidas no presente trabalho, o método de elaboração das pastas filmogênicas por radiação em micro-ondas dos amidos estudados, além de ser um método fácil e rápido de realização, foi muito vantajoso em relação aos métodos de aquecimento por condução e a frio (métodos químicos) que requerem tempos prolongados para a preparação das soluções filmogênicas. O método por irradiação em micro-ondas utilizou 20 segundos para a elaboração das pastas filmogênicas de diferentes tipos de amidos.

5.2 Elaboração dos filmes por termoprensagem

Existem muitos processos usados para produzir plásticos à base de amido, como fundição de fita, moldagem por compressão, moldagem por injeção, extrusão e fundição por solvente (PARTES; ASCHERI, 2010). Embora a fundição por solvente seja considerada uma técnica cara para aumento de escala, principalmente para a etapa de secagem que é demorada, é a principal técnica usada em escala de bancada para estudar e desenvolver novas composições de filmes usando fontes alternativas de amido. Isso permite a avaliação das propriedades de formação de filme a baixo custo usando aparatos de laboratório simples.

Na Tabela 3 estão descritos os resultados da análise de variância do parâmetro solubilidade dos filmes elaborados com amidos em proporções estabelecidos por meio de planejamento experimental em rede simplex {4,2}. O modelo quadrático se ajustou adequadamente aos resultados experimentais. O teste F para a variável resposta solubilidade foi significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$) e os coeficientes de correlação (r^2) e de determinação ajustado (r^{2aj}) foram maiores que o modelo linear utilizado, encontrando-se estes valores de 0,81 e 0,72, respectivamente.

Tabela 3– Composições obtidas por meio do planejamento em rede simplex {4,2} em relação à concentração de massa em gramas de amido utilizado na produção dos filmes.

Milho	Batata	Fruta-do-lobo	Lírio-do-brejo	Espessura (mm)
1,0	0,0	0,0	0,0	0,051

1,0	0,0	0,0	0,0	0,053
1,0	0,0	0,0	0,0	0,050
0,0	1,0	0,0	0,0	0,066
0,0	1,0	0,0	0,0	0,064
0,0	1,0	0,0	0,0	0,060
0,0	0,0	1,0	0,0	0,039
0,0	0,0	1,0	0,0	0,040
0,0	0,0	1,0	0,0	0,040
0,0	0,0	0,0	1,0	0,060
0,0	0,0	0,0	1,0	0,058
0,0	0,0	0,0	1,0	0,060
0,5	0,5	0,0	0,0	0,0585
0,5	0,5	0,0	0,0	0,0585
0,5	0,5	0,0	0,0	0,055
0,5	0,0	0,5	0,0	0,070
0,5	0,0	0,5	0,0	0,068
0,5	0,0	0,5	0,0	0,070
0,5	0,0	0,0	0,5	0,051
0,5	0,0	0,0	0,5	0,050
0,5	0,0	0,0	0,5	0,050
0,0	0,5	0,5	0,0	0,062
0,0	0,5	0,5	0,0	0,061
0,0	0,5	0,5	0,0	0,060
0,0	0,5	0,0	0,5	0,050
0,0	0,5	0,0	0,5	0,051
0,0	0,5	0,0	0,5	0,050
0	0,0	0,5	0,5	0,0495
0	0,0	0,5	0,5	0,049
0	0,0	0,5	0,5	0,05

Assim, foram dados seguimentos aos experimentos considerando a boa solubilidade dos filmes por termoprensagem. Os bioplásticos apresentaram-se translúcidos, com boa aparência, lisos, de fácil manuseio, com flexibilidade variável de acordo com a concentração de massa (ORTIZ, 2013). O fenômeno de plastificação hipoteticamente ocorreu graças a três fatores mencionados por Sebio (2007) em que sugere que o teor de glicerol e água, cisalhamento e temperatura seriam fatores que provocaram a fusão da matriz polimérica, formando uma pasta plástica homogênea e viscosa.

5.2.1 Significânciadadas variáveis respostas obtidas dos filmes biodegradáveis

Antes de adicionar as matrizes de amido nos bioplásticos, é relevante entender que há influência nesta interação, podendo dizer que a características intrínsecas de cada matéria-prima

utilizada na obtenção dos filmes extrudados e termoprensados são únicas. Além disso, durante o processo de extrusão termoplástica estas características podem ser modificadas, melhorando ou piorando as propriedades mecânicas e de barreira aos gases e ao vapor da água para obter produtos diferenciados (MANRICH, 2005).

No presente estudo as variáveis taxa e permeabilidade ao vapor de água (Tva e Pva), resistência à tração (RT) e força não foram significativas a nenhum modelo de ajuste linear ou quadrático (Tabela 4). Entretanto, para a variável espessura foi observado que o único modelo que apresentou significância aos dados foi o modelo quadrático (Tabela 5). O mesmo ocorreu para a variável alongação (E), sendo o modelo quadrático o que apresentou significância (Tabela 6).

Tabela 4 – Análise de variância dos modelos obtidos para as propriedades solubilidade dos filmes biodegradáveis, produzidos a partir de misturas de amidos.

Modelo	G.L.	Q.M.	G.L. (erro)	Q.M. (erro)	F	<i>p</i>	R ²	R ² aj
Linear	3	1234,65	26	514,84	2,40 ^{n.s.}	0,090887	0,22	0,13
Quadrático	6	1687,07	20	163,17	10,34*	0,000030	0,81	0,72
Total Ajustado	29	589,302	--	--	--	--	--	--

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$) pelo teste de F.

n.s. não significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$) pelo teste de F.

Tabela 5 – Análise de variância dos modelos obtidos para as propriedades espessura dos filmes biodegradáveis, produzidos a partir de misturas de amidos.

Modelo	G.L.	Q.M.	G.L. (erro)	Q.M. (erro)	F	<i>p</i>	R ²	R ² aj
Linear	3	0,000034	26	0,000265	0,13 ^{n.s.}	0,943420	0,01	0,0
Quadrático	6	0,001050	20	0,000030	35,35*	0,000000	0,91	0,88
Total Ajustado	29	0,000241	--	--	--	--	--	--

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$) pelo teste de F.

n.s. não significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$) pelo teste de F.

Tabela 6 – Análise de variância dos modelos obtidos para a propriedades alongação (E) dos filmes biodegradáveis produzidos a partir de misturas de amidos.

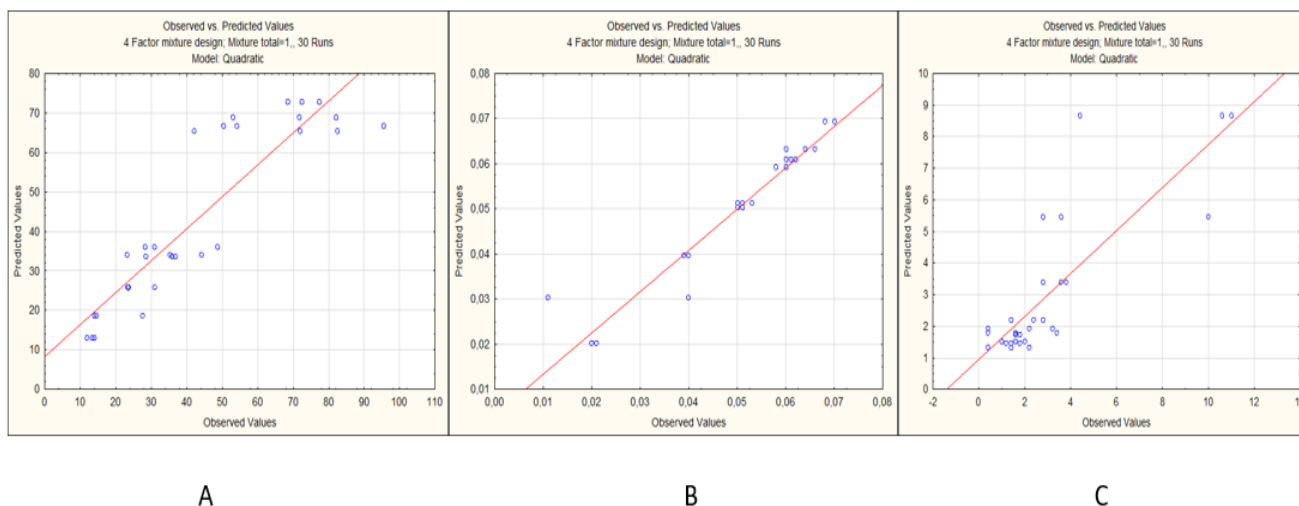
Modelo	G.L.	Q.M.	G.L. (erro)	Q.M. (erro)	F	<i>p</i>	R ²	R ² aj
Linear	3	18,17	26	6,46	2,81 ^{n.s.}	0,058918	0,24	0,16
Quadrático	6	16,13	20	3,55	4,54*	0,004636	0,68	0,54
Total Ajustado	29	7,67	--	--	--	--	--	--

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$) pelo teste de F.

n.s. não significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$) pelo teste de F.

Na avaliação da distribuição residual relacionados aos valores observados, a solubilidade apresentou algum vício experimental ou erro de calibração, pois os dados estão distribuídos aleatoriamente. Já a espessura e alongação (E) estão distribuídos homogeneamente, o que parece apresentar segurança na significância dessas variáveis (Figura 7).

Figura 7 – Distribuição residual relacionados aos valores observados e previstos para a solubilidade (%) (A), espessura (mm) (B) e alongação (%) (C) dos filmes biodegradáveis produzidos a partir de misturas de amidos.



Para a solubilidade dos filmes estudados, o modelo que melhor se ajustou foi o quadrático (Tabela 7). Observou-se que para a variável solubilidade a combinação de milho + lírio-do-brejo foi a mais significativa com valor de coeficiente de 160,870.

Tabela 7 – Coeficientes do modelo quadrático para a propriedade de solubilidade dos filmes biodegradáveis produzidos a partir de misturas de amidos.

Fator	Solubilidade (%)	Teste de T	<i>p</i>
Milho (M)	36,01*	4,88368	0,000090
Batata (B)	18,688*	2,53398	0,019744
Fruta de lobo (FL)	34,214*	4,63930	0,000158
Lirio do brejo (LB)	68,965*	9,35131	0,000000
M + B	25,698 ^{n.s.}	0,71128	0,485122
M + FL	-36,758 ^{n.s.}	-1,01740	0,321114
M + LB	81,216*	2,24790	0,036019
B + FL	160,870*	4,45260	0,000244

B + LB	86,568*	2,39604	0,026469
FL + LB	-153,787*	-4,25655	0,000386

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$) pelo teste de t.

^{n.s.} não significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$) pelo teste de t.

O modelo escolhido para a espessura dos filmes estudados foi o quadrático (Tabela 8). Neste caso, a mistura milho +fruta-do-lobo foi a mais significativa com valor de coeficiente de 0,0953.

Tabela 8 – Coeficientes do modelo quadrático para a propriedade de espessura dos filmes biodegradáveis produzidos a partir de misturas de amidos.

Fator	Espessura (mm)	Teste de T	<i>p</i>
Milho (M)	0,051333*	16,31480	0,000000
Batata (B)	0,063333*	20,12865	0,000000
Fruta de lobo (FL)	0,039667*	12,60689	0,000000
Lirio do brejo (LB)	0,059333*	18,85737	0,000000
MI + B	-0,148000*	-9,60149	0,000000
MI + FL	0,095333*	6,18474	0,000005
MI + LB	-0,020000 ^{n.s.}	-1,29750	0,209227
B + FL	0,038000*	2,46525	0,022865
B + LB	-0,044000*	-2,85450	0,009799
FL + LB	-0,076667*	-4,97374	0,000073

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$) pelo teste de t.

^{n.s.} não significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$) pelo teste de t.

O modelo de regressão quadrático é o que melhor explica a elongação dos filmes estudados (Tabela 9). Neste caso, a mistura milho + fruta-do-lobo foi a mais significativa com valor de coeficiente de 20,266. Dessa forma, as misturas milho + lírio-do-brejo e milho + fruto-do-lobo apresentaram-se biofilmes promissores para potenciais aplicações. Os coeficientes significativos foram selecionados pelo teste t e o modelo quadrático foi utilizado para desenhar os gráficos de metodologia de superfície de resposta para as variáveis solubilidade em água, espessura e elongação em função das misturas dos amidos estudados.

Tabela 9– Coeficientes do modelo quadrático para a propriedade de solubilidade dos filmes biodegradáveis, produzidos a partir de misturas de amidos.

Fator	Elongação (%)	Teste de T	<i>p</i>
-------	---------------	------------	----------

Milho (M)	5,46667*	5,02302	0,000065
Batata (B)	2,20000 ^{n.s.}	2,02146	0,056819
Fruta de lobo (FL)	1,73333 ^{n.s.}	1,59267	0,126918
Lírio do brejo (LB)	1,46667 ^{n.s.}	1,34764	0,192843
MI + B	-9,20000 ^{n.s.}	-1,72554	0,099849
MI + FL	20,26667*	3,80119	0,001119
MI + LB	-6,13333 ^{n.s.}	-1,15036	0,263565
B + FL	-0,66667 ^{n.s.}	-0,12504	0,901741
B + LB	6,26667 ^{n.s.}	1,17537	0,253651
FL + LB	-1,06667 ^{n.s.}	-0,20006	0,843452

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$) pelo teste de t.

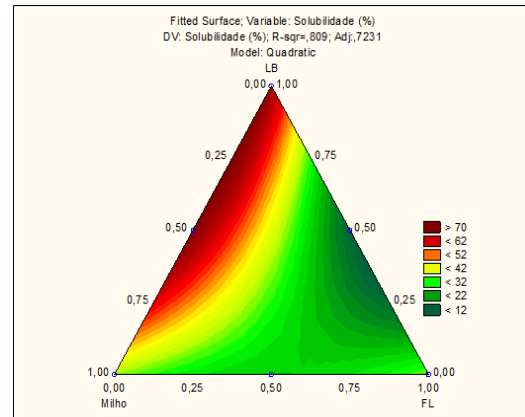
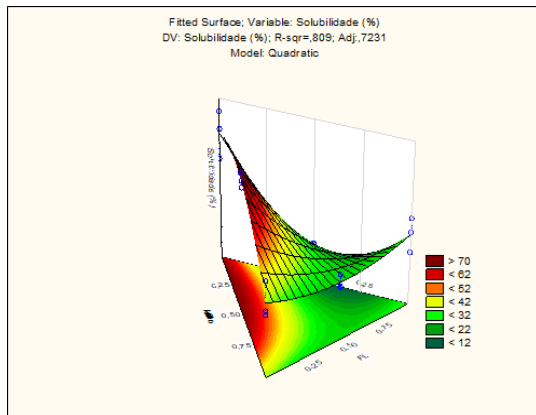
^{n.s.} não significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$) pelo teste de t.

Ao analisar os gráficos de superfície para a variável solubilidade em água, pode-se constatar que as misturas do amido de fruta-do-lobo apresentou as menores solubilidades, enquanto as misturas de lírio-do-brejo apresentaram as maiores solubilidades (Figura 8). Já para a variável espessura, as misturas lírio-do-brejo apresentou as menores espessuras, enquanto as misturas de amido de fruta-do-lobo apresentou as maiores espessuras (Figura 9).

Em alguns casos, biofilmes com alta solubilidade em água são preferíveis para melhorar a integridade do material embalado ou encapsulado (GENNADIOS, 2002). Contudo, existe uma dificuldade no controle da espessura de biofilmes principalmente para encapsulamento, nos processos de produção tipo *casting* ou também em soluções filmogênicas viscosas, pois dificulta o espalhamento uniforme sobre a placa, com biofilmes de espessuras não contínuas em toda sua superfície (SCHLLEMER, 2013).

Figura 8 – Gráficos de superfície de resposta da solubilidade dos filmes elaborados com misturas de amido de milho, fruta-do-lobo e lírio-do-brejo (A), com misturas de amido de batata, fruta-do-lobo e lírio-do-brejo (B).

(A)



(B)

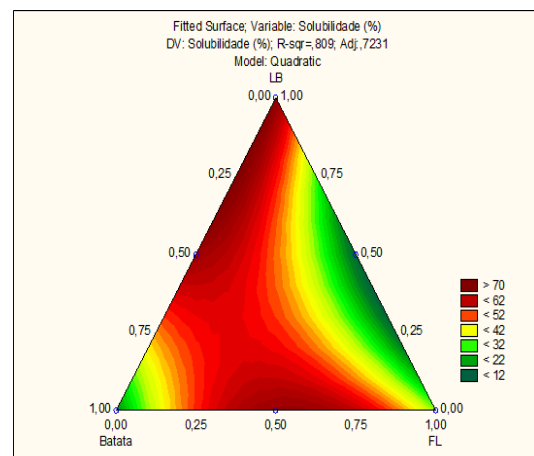
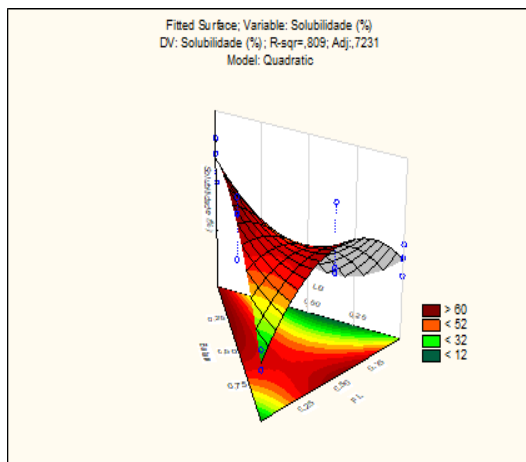
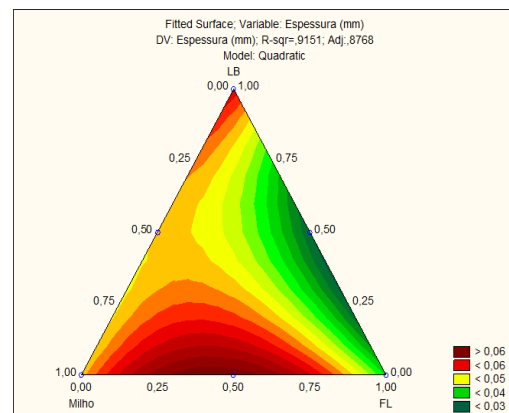
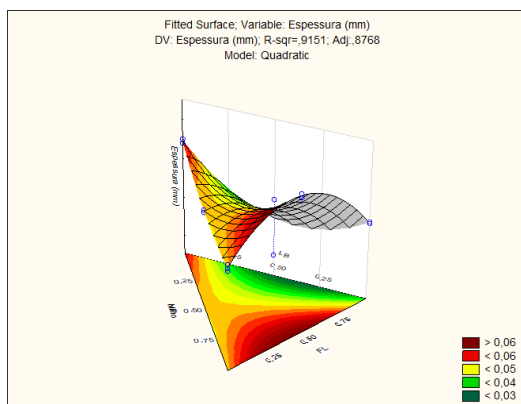
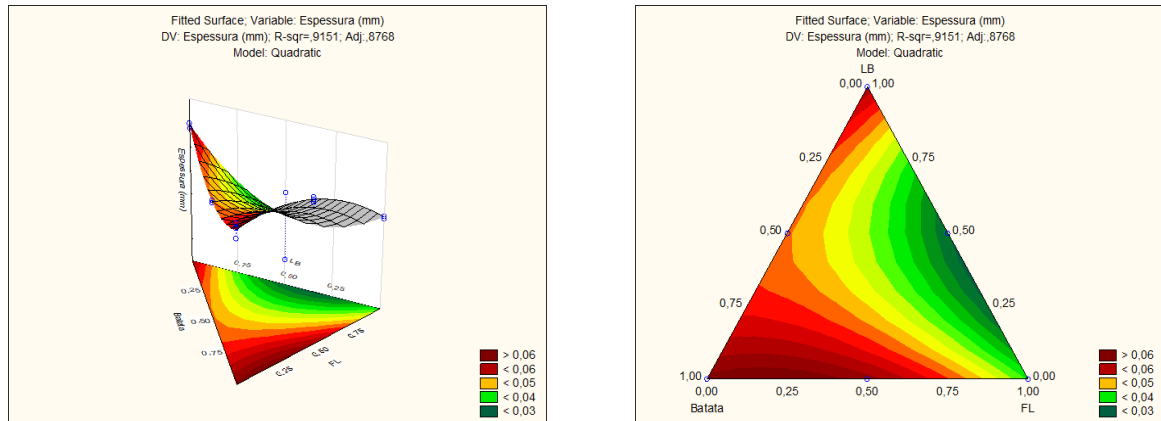


Figura 9 – Gráficos de superfície de resposta da espessura dos filmes elaborados com misturas de amido de milho, fruta-do-lobo e lírio-do-brejo (A), com misturas de amido de batata, fruta-do-lobo e lírio-do-brejo (B).

(A)



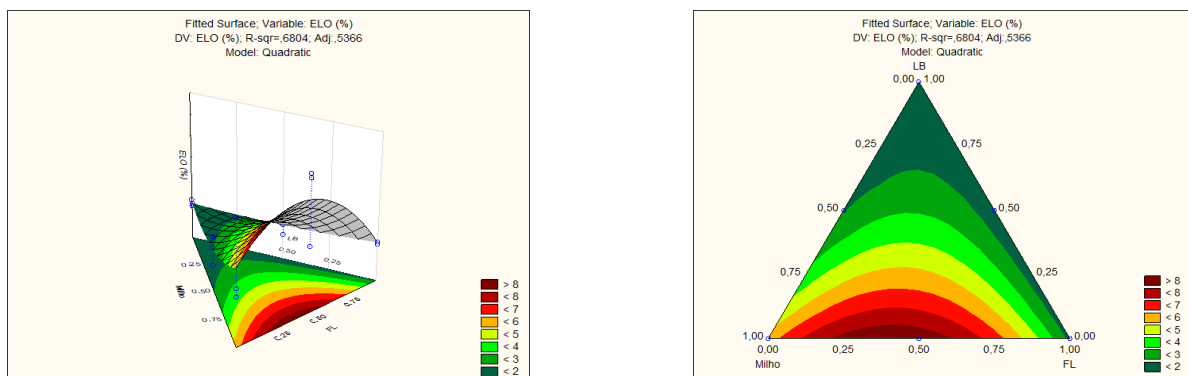
(B)



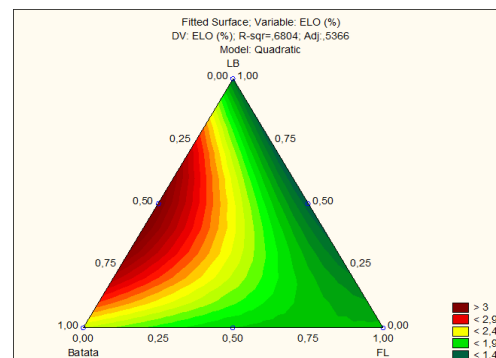
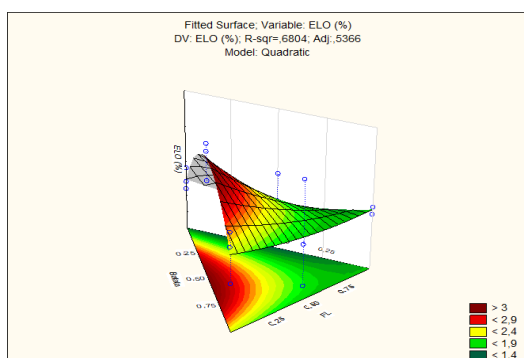
O gráfico de superfície para a variável alongação, as misturas do amido de fruta-do-lobo apresentou os maiores valores de alongação (Figura 10). O percentual de alongação é a relação entre a força de tensão e a deformação sofrida pelo material submetido à solicitação, neste caso, as misturas com lírio-do-brejo apresentaram menores percentuais de alongação. Em estudos de Lai e Padua (1997) determinaram a taxa de alongação para filmes de zeína-ácido oléico com percentual de 12 %, sendo que em filmes de colágeno esses percentuais variam entre 3 e 11%.

Figura 10 – Gráficos de superfície de resposta da alongação dos filmes elaborados com misturas de amido de milho, fruta-do-lobo e lírio-do-brejo (A), com misturas de amido de batata, fruta-do-lobo e lírio-do-brejo (B).

(A)



(B)



5.3 Recobrimento das sementes de feijão comum com os filmes biodegradáveis

Tem havido grande interesse no desenvolvimento de filmes ou coberturas biodegradáveis, principalmente pelo impacto ambiental provocado pela degradação muito lenta dos biomateriais no meio ambiente. Além disso, há oportunidades para a criação de novos mercados para matérias-primas renováveis, derivadas de produtos agrícolas, na produção de filmes (JACOBS *et al.*, 2020). Para isso, é preciso entender quais variáveis respostas são mais eficientes na utilização das misturas.

Desta maneira, a realização dos testes empregados para avaliar qualidade de sementes, tais como o Teste Padrão de Germinação (TPG) que avaliar viabilidade e o vigor, mediante aplicação dos testes de primeira contagem (PC), envelhecimento acelerado (EA), comprimento de plântula (CP), massa seca de plântula (MS) e tetrazólio (viabilidade e vigor) são ferramentas para avaliar a eficiência das misturas de amido.

Na análise de comparação do R^2 , a variável com melhor resultados para recobrimento de sementes de feijão comum foi o vigor segundo os resultados dos testes de primeira contagem e envelhecimento acelerado (Tabela 10), seguindo do teste de germinação. Dessa forma, pode-se dizer os amidos e suas misturas melhora o vigor e a viabilidade das sementes de feijão. Em estudos de Padilha *et al.* (2020), foi averiguado que a avaliação da mobilização de reserva é uma alternativa viável para o uso em programa de controle de qualidade e seleção de cultivares com maior vigor e viabilidade de sementes.

Tabela 10 - Coeficientes de todos os modelos lineares feitos individualmentedos filmes elaborados com misturas de amido. Valores em vermelho são significativos ($p < 0,05$).

Variável Resposta	Multiplo R	Multiplo R^2	Adjusted R^2	SS model	df model	MS model	SS residual	df residual	MS residual	F	p
CP	0,640997	0,410878	0,279962	364,3686	8	45,54608	522,4370	36	14,51214	3,138481	0,008500

MS	0,416754	0,173684	-0,009942	1,146193	8	0,143274	5,453110	36	0,151475	0,945858	0,492173
EA	0,838879	0,703717	0,615930	2757,556	8	344,6944	1161,000	27	43,00000	8,016150	0,000017
PC	0,922348	0,850726	0,718037	2188,444	8	273,5556	384,0000	9	42,66667	6,411458	0,005811
VIAB	0,730710	0,533937	0,119658	236,0000	8	29,50000	206,0000	9	22,88889	1,288835	0,354708

O modelo linear retrata que há diferença no vigor de sementes de acordo com o tratamento ($p < 0,001$; $F = 6,41$; $GL = 8$) (Tabela 10 e Figura 11). Especificamente, pelo teste de Tukey (Tabela 11 e Figura 11), pode-se constatar que o tratamento 1 difere do tratamento 4; e o tratamento 2 difere dos tratamentos 5, 6, 7, e 9.

Figura 11 - Relação entre vigor no teste de primeira contagem e os diferentes tratamentos de amido em recobrimento de sementes de feijão comum.

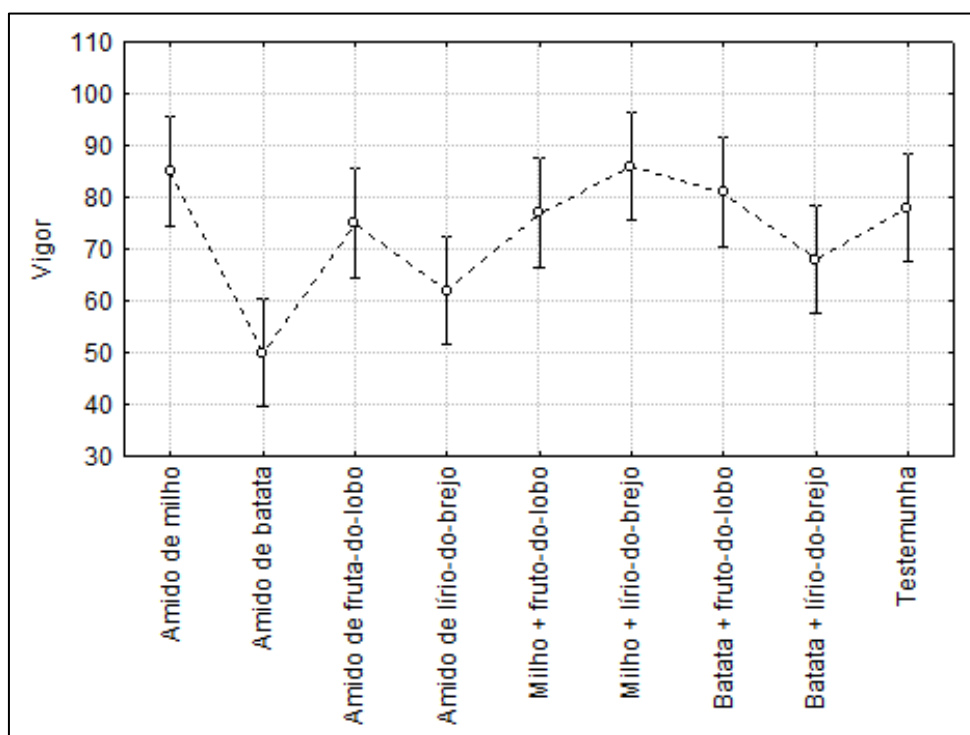


Tabela 11 - Comparação entre os diferentes tratamentos pelo teste de Tukey na avaliação de vigor. Valores em vermelho são significativos ($p < 0,05$).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1		0,008096	0,817882	0,090323	0,930941	1,000000	0,998971	0,299841	0,965193
2	0,008096		0,059612	0,663399	0,039406	0,006721	0,017525	0,248131	0,032100
3	0,817882	0,059612		0,581495	0,999994	0,743715	0,985503	0,965193	0,999870
4	0,090323	0,663399	0,581495		0,427149	0,073379	0,204150	0,985503	0,359499
5	0,930941	0,039406	0,999994	0,427149		0,881412	0,998971	0,881412	1,000000
6	1,000000	0,006721	0,743715	0,073379	0,881412		0,995351	0,248131	0,930941
7	0,998971	0,017525	0,985503	0,204150	0,998971	0,995351		0,581495	0,999870
8	0,299841	0,248131	0,965193	0,985503	0,881412	0,248131	0,581495		0,817882
9	0,965193	0,032100	0,999870	0,359499	1,000000	0,930941	0,999870	0,817882	

Pelo modelo linear pode-se inferir que há diferença no envelhecimento acelerado (EA) de acordo com o tratamento ($p < 0,0001$; $F = 8,016$; $GL = 8$) (Tabela 10 e Figura 12). Especificamente, pelo teste de Tukey (Tabela 12 e Figura 12), o tratamento 1 difere dos tratamentos 4, 6 e 8; o tratamento 2 difere dos tratamentos 3, 4, 6 e 8; os tratamentos 3, 4 e 6 diferem do tratamento 7; e o tratamento 7 difere do tratamento 8.

Figura 12 - Relação entre envelhecimento acelerado (EA) e os diferentes tratamentos de amido em recobrimento de sementes de feijão comum.

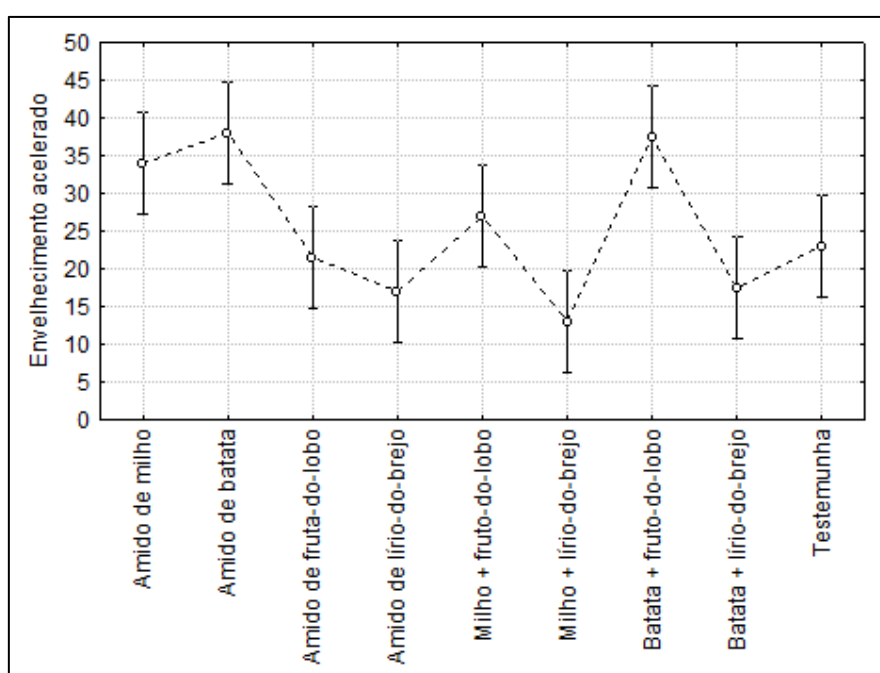


Tabela 12 - Comparação entre os diferentes tratamentos pelo Teste de Tukey na avaliação de envelhecimento acelerado (EA). Valores em vermelho são significativos ($p < 0,05$).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1		0,993273	0,196171	0,025073	0,841477	0,003064	0,997300	0,032250	0,337813
2	0,993273		0,032250	0,003064	0,337813	0,000441	1,000000	0,003994	0,066604
3	0,196171	0,032250		0,985631	0,952767	0,661346	0,041280	0,993273	0,999995
4	0,025073	0,003064	0,985631		0,459286	0,993273	0,003994	1,000000	0,924604
5	0,841477	0,337813	0,952767	0,459286		0,104883	0,396214	0,525563	0,993273
6	0,003064	0,000441	0,661346	0,993273	0,104883		0,000544	0,985631	0,459286
7	0,997300	1,000000	0,041280	0,003994	0,396214	0,000544		0,005216	0,083853

8	0,032250	0,003994	0,993273	1,000000	0,525563	0,985631	0,005216	0,952767
9	0,337813	0,066604	0,999995	0,924604	0,993273	0,459286	0,083853	0,952767

O modelo linear nos diz que, de fato, há diferença no comprimento das plântulas (CP) de acordo com o tratamento ($p = 0,008$; $F=3,13$; $GL=8$) (Tabela 10 e Figura 13). Especificamente, pelo teste de Tukey, o tratamento 8 difere dos tratamentos 3 e 6 (Tabela 13; Figura 13).

Figura 13 - Relação entre comprimento de plântulas (CP) e os diferentes tratamentos de amido em recobrimento de sementes de feijão comum.

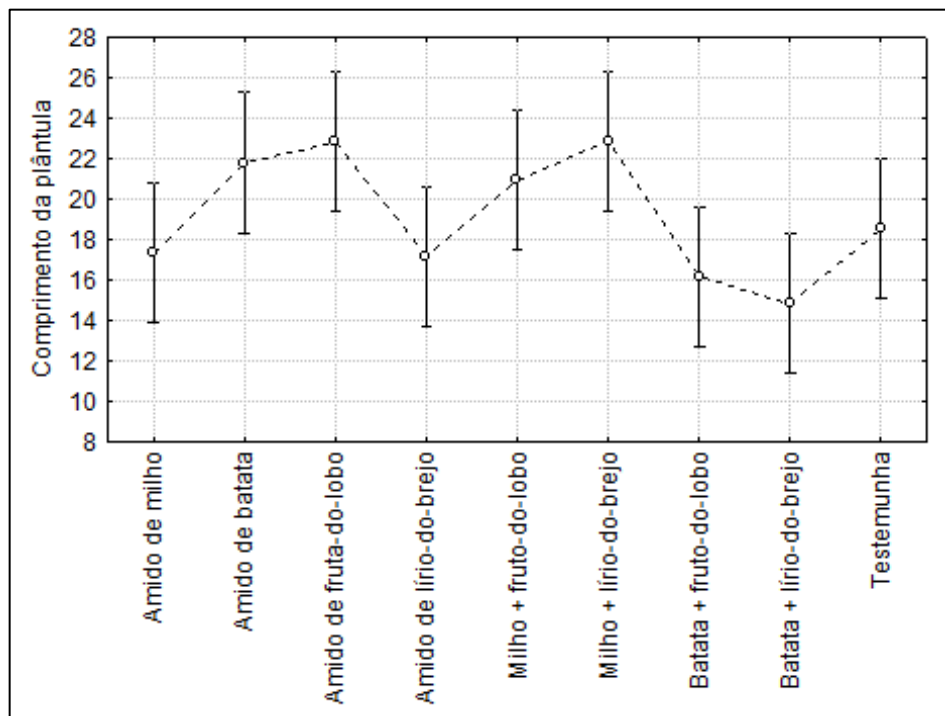


Tabela 13 - Comparação entre os diferentes tratamentos pelo teste de Tukey na avaliação de comprimento das plântulas (CP). Valores em vermelho são significativos ($p<0,05$).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1		0,64570	0,376911	1	0,84659	0,369829	0,99991	0,97888	0,99988
2	0,645709		0,999962	0,601115	0,99999	0,999952	0,35044	0,12316	0,90445
3	0,376911	0,99996		0,338556	0,99676	1	0,16300	0,04670	0,68772
4	1	0,601115	0,338556		0,81275	0,331877	0,99997	0,98624	0,99969
5	0,846594	0,99999	0,996762	0,812754		0,996391	0,56672	0,24567	0,98259
6	0,369829	0,99995	1	0,331877	0,99639		0,15899	0,04532	0,67992
7	0,999915	0,35044	0,163003	0,999974	0,56672	0,158992		0,99969	0,98634
8	0,978888	0,12316	0,046707	0,986247	0,24567	0,045326	0,99969		0,83131
9	0,999886	0,90445	0,687728	0,999697	0,98259	0,679920	0,98634	0,83131	

Pode-se verificar que o modelo linear não influenciou significamente a massa seca de plântula (MS) de acordo com o tratamento ($p = 0,49$; $F=0,94$; $GL=8$ (Tabela 10 e Figura 14). Pelo modelo linear também se pode inferir que não há diferença na viabilidade de acordo com o tratamento ($p = 0,35$; $F=1,28$; $GL=8$ (Tabela 10 e Figura 15).

Figura 14 - Relação entre massa seca de plântulas (CP) e os diferentes tratamentos de amido em recobrimento de sementes de feijão comum.

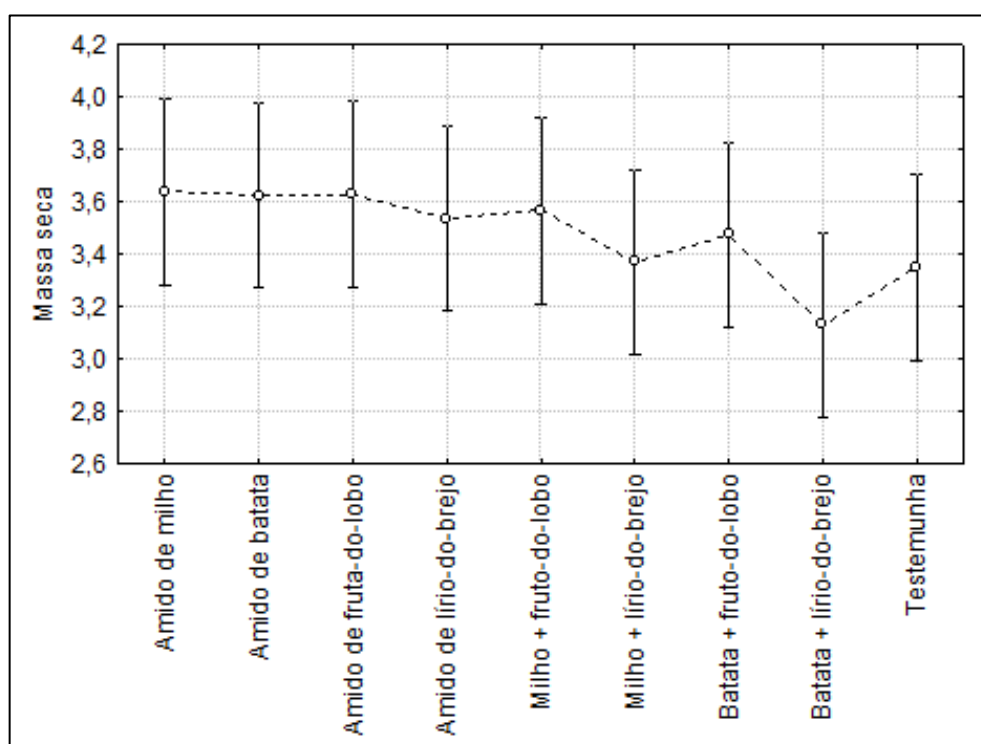
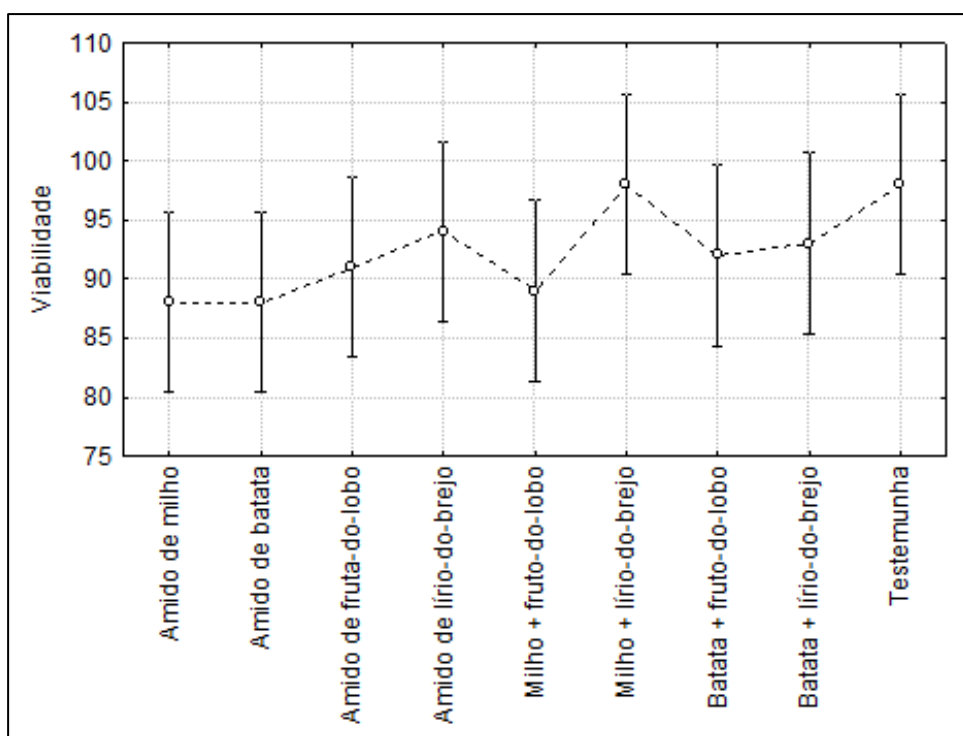


Figura 15 - Relação entre a viabilidade e os diferentes tratamentos de amido em recobrimento de sementes de feijão comum.



A composição do material de recobrimento das sementes influencia a germinação e o vigor das sementes, inibe o ressecamento das raízes e controla a infestação por pragas, além de auxiliar na fertilização do solo nas proximidades da semente (LOPES *et al.*, 2016). Em estudos anteriores de Nussinovitch (1997) pode constatar que o recobrimento de feijão aumentou de 20% a 30% no percentual de germinação. No estudo atual, o vigor de sementes avaliado nos testes de primeira contagem e envelhecimento acelerado foi o melhor parâmetro para recobrimento de sementes, com o destaque para os tratamentos com amido de milho (T1), milho + fruta-do-lobo (T5), milho + lírio-do-brejo (T6) e batata + fruta-do-lobo (T7). Entretanto, não houve diferenças estatísticas no comprimento de plântula e a massa seca de plântula, além da viabilidade quando se utilizou as diferentes misturas no recobrimento de sementes de feijão comum.

6. CONCLUSÕES

As variáveis solubilidade em função da combinação de amido de milho + lírio-do-brejo propiciou melhor resultado, na espessura a mistura milho +fruta-do-lobo obteve o melhor resultado, e na elongação a mistura milho +fruta-do-lobo obteve o melhor resultado.

- A recobrimento de sementes de feijão com biofilmes oriundos das fontes de amido milho + fruta-do-lobo, milho + lírio-do-brejo, batata + fruta-do-lobo possibilitaram a obtenção de lotes de semente de feijão com maior vigor, resultado equivalente ao emprego do recobrimento ao amido de milho

7. REFERÊNCIAS

ABERA, B. *et al.* Diversity, use and production of farmers' varieties of common bean (*Phaseolus vulgaris* L., Fabaceae) in southwestern and northeastern Ethiopia. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 67, p. 339-356, 2020.

ABRASEM. Associação Brasileira de Sementes e Mudanças. **Anuário de 2018**. 2018. Disponível em: http://www.abrasem.com.br/wp-content/uploads/2019/03/Anuario_Abrasem_2018_Final.pdf. Acesso em: maio de 2023.

ACCINELLI, C.; ABBAS, H. K.; SHIER, W. T. A Bioplastic-based seed coating improves seedling growth and reduces production of coated seed dust AU - Accinelli, Cesare. **Journal of Crop Improvement**, v. 32, n. 3, 318– 330, 2018a.

ACCINELLI, C. *et al.* Biological control of aflatoxin production in corn using non-aflatoxigenic *Aspergillus flavus* administered as a Bioplastic-based seed coating. **Crop Protection**, v. 107, 87– 92, 2018b.

AESCHELMANN, F.; CARUS, M. Bio-based Building Blocks and Polymers in the World. **Nova Institute**, 2015. Disponível em: https://www.bio-based.eu/market_study/media/files/15-05-13_Bio-based_Polymers_and_Building_Blocks_in_the_World-nova_Booklet.pdf. Acesso em: 06 de set. 2022.

AFZAL, I. *et al.* Avanços recentes em melhoramentos de sementes. Novos desafios na pesquisa básica e translacional da biologia de sementes que impulsionam a tecnologia de sementes. **InTech**, 2016.

AKTER, Z. *et al.* Biological nitrogen fixation by irrigated dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 98, n. 5, p. 1159-1167, 2018.

AL, F. M. *et al.* (Ed.). **Advanced processing, properties, and applications of starch and other bio-based polymers**. Elsevier, 2020.

ALMEIDA, V. O. *et al.* Diversity of non-structural carbohydrates in the underground organs of five Iridaceae species from the Cerrado (Brazil). **South African Journal of Botany**, v. 96, p. 105-111, 2015.

AMARAWEEERA, S. M. *et al.* Development of starch-based materials using current modification techniques and their applications: A Review. **Molecules**, v. 26, n. 22, p. 6880, 2021.

AMARO, H. T. R. *et al.* Tratamento de sementes com produtos à base de fertilizantes e reguladores de crescimento. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 26, n. 1, p. 222-242, 2020.

APRIYANTO, A.; COMPART, J.; FETTKE, J. A review of starch, a unique biopolymer – Structure, metabolism and in planta modifications. **Science**, v. 318, 2022.

ARTEAGA, S. *et al.* The use of proline in screening for tolerance to drought and salinity in

common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. **Agronomy**, v. 10, n. 6, p. 817, 2020.

ASCHERI, D. P. R. *et al.* Caracterização física e físico-química de rizomas e amido do lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 2, p. 159-166, 2010.

ASCHERI, D. P. R.; PEREIRA, L. D.; BASTOS, S. M. C. Chemical, morphological, rheological and thermal properties of *Solanum lycocarpum* phosphorylated starches. **Revista Ceres**, v. 61, p. 458-466, 2014.

ASHOGBON, A. O. Dual modification of various starches: Synthesis, properties and applications. **Food Chemistry**, v. 342, p. 128325, 2021.

ASHOGBON, A. O.; AKINTAYO, E. T. Recent trend in the physical and chemical modification of starches from different botanical sources: A review. **Starch - Stärke**, v. 66, n. 1-2, p. 41-57, 2014.

ASSEFA, T. *et al.* A review of breeding objectives, genomic resources, and marker-assisted methods in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Molecular Breeding**, v. 39, p. 1-23, 2019.

ASSUNÇÃO, P. E. V.; WANDER, A. E. Competitividade do sistema agroindustrial do feijão-comum no Estado de Goiás. **Scientia Plena**, v. 10, n. 7, 2014.

ASTM. **Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock (Withdrawn 2016)**. ASTM D 5731-95, West Conshohocken, PA, 1995.

BANGAR, S. P. *et al.* Functionality and Applicability of Starch-Based Films: An Eco Friendly Approach. **National Center for Biotechnology Information**, v. 10, n. 9, 2021.

BANOO, A. *et al.* Feijão comum do noroeste do Himalaia: estrutura populacional e mapeamento da resistência quantitativa à antracnose por meio de estudo de associação ampla do genoma. **Fronteiras em Ciência Vegetal**, 2020.

BATISTA, J. T. S. *et al.* Study of the chitosan use on the proprieties of biodegradable films of myofibrillar proteins of fish residues using response surface methodology. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 20, n. 100306, p. 2214-2894, 2019.

BEMILLER, J. N.; HUBER, K. C. Physical Modification of Food Starch Functionalities. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 6, n. 1, p. 19-69, 2015.

BEMILLER, J. N. Physical Modification of Starch. *In: Starch in Food*. [s.l.] Elsevier, 2018. p. 223-253.

BERTOLDO, J. *et al.* Emprego de polímeros na qualidade tecnológica de grãos de feijão sob condições de armazenamento. **Semina: Ciências Agrárias**, v.31, n.4, p.975-984, 2010.

BESSA, R. A. *et al.* Filmes de amido e de amido/zeólita aplicados no recobrimento e conservação de goiaba (*Psidium guajava*). **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 6, p. 2190-2201, 2015.

BING, Y. I. *et al.* Effect of drought stress during flowering stage on starch accumulation and starch synthesis enzymes in sorghum grains. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 13, n. 11, p. 2399-2406, 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 395p.

CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Classificação Climática de Köppen-Geiger Para o Estado de Goiás e o Distrito Federal [Cardoso] ACTA GEOGRÁFICA. **Acta Geográfica**, v. 8, p. 40-55, 2014.

CARMO, H. F. *et al.* Balanço energético e pegada de carbono nos sistemas de produção integrada e convencional de feijão-comum irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1069-1077, 2016.

CAROVIC, K. S. *et al.* Diversidade genética de variedades de feijão comum croatas. **Frontiers in Plant Science**, 2017.

CARVALHO, I. R. *et al.* Genetic variability among common black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) accessions in southern Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 10, p. 1474-1483, 2016.

CASSOL, V. M.; FANTINEL, L.; SILVA, W. L. Estudo e viabilidade do revestimento de sementes da soja no processo da germinação a partir do uso de polímero hidrogel de amido de milho. **Disciplinarum Scientia| Naturais e Tecnológicas**, v. 21, n. 1, p. 103-115, 2020.

CATÃO, H. C. R. M. *et al.* Aspectos sanitários e fisiológicos de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) no estado de Minas Gerais. **Ciências Agrárias: conhecimentos científicos e técnicos e difusão de tecnologias-3**, 2020.

CATARCIONE, G. *et al.* Genetic Diversity and Population Structure of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Landraces in the Lazio Region of Italy. **Plants**, v. 12, n. 4, p. 744, 2023.

CHIA, T. *et al.* A carbohydrate-binding protein, B-GRANULE CONTENT 1, influences starch granule size distribution in a dose-dependent manner in polyploid wheat. **Journal of Experimental Botany**, v. 71, n. 1, p. 105-115, 2020.

CIDADE-BRASIL. **Anápolis: Município**. 2021. Disponível em: <<https://www.cidadebrasil.com.br/municipio-anapolis.html>> Acesso em: abril de 2022.

COELHO, C. M. M. *et al.* Características morfo-agronômicas de cultivares crioulas de feijão comum em dois anos de cultivo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 1177-1186, 2010. [com.br/municipio-anapolis.html](https://www.cidadebrasil.com.br/municipio-anapolis.html)> Acesso em: abril de 2022.

CORNELL, J. A. **Experiments with Mixtures: Designs, Models and the Analysis of Mixture Data**. Second edition, John Wiley & Sons, New York, NY, 1990.

COSTA, L. A. **Elaboração e caracterização de filmes biodegradáveis à base de amido de semente de Jaca incorporados com antocianinas**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Curso de Química Industrial, Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, p. 58, 2017.

DAMODARAM, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. Química de alimentos de Fennema. In: BEMILLER, J. N.; HUBER, K. C. **Carboidratos**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

MELO, R. B. *et al.* **Dispersal mode constrains allocation of carbon and mineral nutrients in seeds of forest and savanna trees**. Wiley Online Library, 2019. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/plb.13075>>. Acesso em 06 de set. 2022.

SOUZA, L. F. *et al.* Sementes crioulas de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) para cultivo agroecológico. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 14, n. 1, p. 33-40, 2019.

DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, v. 39, n. 3, p. 945–954, 2009.

DUARTE, J. R. M. *et al.* Produtividade e qualidade de sementes de feijão em resposta a fertilizante mineral, biofertilizante e pó de rocha. **Revista Cultura Agronômica**, v. 30, n. 1, p. 78-92, 2021.

ERNA, K. H. *et al.* Synthesis and Physicochemical Characterization of Polymer Film-Based Anthocyanin and Starch. **Biosensors**, v. 12, n. 4, p. 211, 2022.

FARID, M. *et al.* Response to selection for improved nitrogen fixation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Euphytica**, v. 213, p. 1-13, 2017.

FERREIRA, D. C. M.; MOLINA, G.; PELISSARI, F. M. Effect of edible coating from cassava starch and babassu flour (*Orbignya phalerata*) on Brazilian Cerrado Fruits Quality. **Food and Bioprocess Technology**, v. 13, n. 1, p. 172-179, 2020.

FERREIRA, B. M. R. *et al.* Produção de filmes biodegradáveis a partir de resíduos de frutas e vegetais: uma revisão atualizada. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, p. e54311528544-e54311528544, 2022.

FRANÇA NETO, J. B. *et al.* Vigor de sementes: conceitos e testes. **Londrina: Abrates**, p. 1-21, 1999.

FRANÇA NETO, J. B. **Metodologia do teste de tretrazólio**. In: José de Barros França Neto, Francisco Carlos Krzyzanowski. Londrina: Embrapa Soja, 2018. PDF (108 p.): il. (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 2176-2937; n.406).

FRANCISCO, P. R. M.; LIMA, E. R. V.; SANTOS, D. Potencial pedoclimático do Estado da Paraíba para a cultura do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*). **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 4, p. 841-857, 2016.

GAMAGE, A. *et al.* Applications of starch biopolymers for a sustainable modern agriculture. **Sustainability**, v. 14, n. 10, p. 6085, 2022.

GAO, J. *et al.* Effect of dandelion root polysaccharide on the pasting, gelatinization, rheology, structural properties and in vitro digestibility of corn starch. **Food & Function**, v. 12, n. 15, p. 7029-7039, 2021.

GENNADIOS, A. **Protein – Based films and coatings**. London: CRC Press, 2002.

GOMES, M. A.; ASCHERI, D. P. R.; CAMPOS, A. J. Characterization of edible films of *Swartzia burchelli* phosphated starches and development of coatings for post-harvest application to cherry tomatoes. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 4, p. 1897-1909, 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**, v. 57, n. 1, p. 190-195, 1992.

GOTT, B. *et al.* Biology of starch. In: **Ancient starch research**. Routledge, 2016. p. 35-45.

GÜEREÑA, D. T. *et al.* Partitioning the contributions of biochar properties to enhanced biological nitrogen fixation in common bean (*Phaseolus vulgaris*). **Biology and Fertility of Soils**, v. 51, p. 479-491, 2015.

GUERRA, A. G. *et al.* Genômica de domesticação do feijão carreteiro de polinização aberta (*Phaseolus coccineus* L.). **Fronteiras em Ciências Vegetais**, 2017.

GUERRERO, N. A. C. *et al.* Common Bean: A Legume Model on the Rise for Unraveling Responses and Adaptations to Iron, Zinc, and Phosphate Deficiencies. **Frontiers**, 2022.

HART, J. P. The effects of charring on common bean (*Phaseolus vulgaris* L) seed morphology and strength. **Journal of Archaeological Science: Reports**, v. 37, p. 102996, 2021.

HASAN, M. M. *et al.* Modification of starch content and its management strategies in plants in response to drought and salinity: current status and future prospects. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, p. 1-14, 2022.

HELLE, S. *et al.* Intra-sample heterogeneity of potato starch reveals fluctuation of starch-binding proteins according to granule morphology. **Plants**, v. 8, n. 9, p. 324, 2019.

HOOVER, R. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: A review. **Carbohydrate Polymers**, 2001.

JACOB, S. R.; KUMAR, M. B. A.; VARGHESE, E.; SINHA, S. N. Hydrophilic polymer film coat as a micro-container of individual seed facilitates safe storage of tomato seeds. **Scientia Horticulturae**, 2016.

JACOBS, V. *et al.* Produção e caracterização de biofilmes de amido incorporados com polpa de acerola. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, v. 21, n. 3, p. 107-119, 2020.

JANKET, A. Seasonal Variation in Starch Accumulation and Starch Granule Size in Cassava Genotypes in a Tropical Savanna Climate. **Multidisciplinary Digital Publishing Institute**, v. 8, n. 12, 2018.

JAVED, T. *et al.* Seed coating technology: An innovative and sustainable approach for improving seed quality and crop performance. **Science Direct**, 2022.

JIANG, T. *et al.* Materiais biodegradáveis à base de amido: Desafios e oportunidades.

Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, 2019.

JIANG, T. *et al.* Starch-based biodegradable materials: Challenges and opportunities. **Advanced Industrial and Engineering Polymer Research**, v. 3, n. 1, p. 8-18, 2020.

JOB, R. B. *et al.* Agrominerais: Metodologia de recobrimento de sementes e o efeito sobre a emergência de plântulas. **Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp**, p. 493-506, 2017.

KARAVIDAS, I. *et al.* Agronomic practices to increase the yield and quality of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.): a systematic review. **Agronomy**, v. 12, n. 2, p. 271, 2022.

KRINGEL, D. H. *et al.* Fruit wastes as promising sources of starch: Extraction, properties, and applications. **Starch-Stärke**, v. 72, n. 3-4, p. 1900200, 2020.

KRZYZANOWSKI, F.C.; FRANÇA NETO, J.B.; HENNING, A.A. Relato dos testes de vigor disponíveis para grandes culturas. **Informativo ABRATES**, v.1, n.2, p. 15-50, 1991.

LAI, H.-M.; PADUA, G. W. Properties and microstructure of plasticized zein films. **Cereal Chemistry**, v. 74, n. 1-6, p. 771-775, 1997.

LAPA, L. S. S.; SILVA, Y. R. O.; DE SALES, P. F. Aplicação das análises espectroscópicas e termogravimétricas em filmes biodegradáveis de amido de milho incorporados com extrato de própolis-verde. **ForScience**, v. 8, n. 2, p. e00712-e00712, 2020.

LONG, J. *et al.* Genetic diversity of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) germplasm resources in Chongqing, evidenced by morphological characterization. **Frontiers in Genetics**, v. 11, p. 697, 2020.

LOPES, J. F. *et al.* Produtividade e composição mineral do feijão em resposta às adubações com molibdênio e níquel. **Revista Ceres**, 2016.

LOPES, K. L. M. *et al.* Estatística experimental aplicada em ensaio de competição de variedades de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 30442-30459, 2021.

LOS, F. G. B. *et al.* Beans (*Phaseolus vulgaris* L.): whole seeds with complex chemical composition. **Science Direct**, v. 19, 2018.

LOS, F. G. B. *et al.* Evaluation of physicochemical properties of starch from brazilian carioca beans (*Phaseolus vulgaris*). **Starch-Stärke**, v. 74, n. 1-2, p. 2000281, 2022.

LOVATO, F. *et al.* Composição centesimal e conteúdo mineral de diferentes cultivares de feijão biorfortificado (*Phaseolus vulgaris* L.). **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, 2017.

LUDWIG, M. P. *et al.* Qualidade de sementes de soja armazenadas após recobrimento com aminoácido, polímero, fungicida e inseticida. **Revista Brasileira de Sementes**, 2011.

MACHADO, B.; QUEIROZ, S. É. Efeito do tratamento de sementes de soja com silício e

polímero na qualidade fisiológica das sementes e nas características agronômicas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 27, 2018.

MACNEILL, G. J. *et al.* Starch as a source, starch as a sink: the bifunctional role of starch in carbon allocation. **Journal of Experimental Botany**, v. 68, n. 16, p. 4433-4453, 2017.

MADSEN, M. D. *et al.* Emerging seed enhancement technologies for overcoming barriers to restoration. **Restoration Ecology**, v. 24, p. S77-S84, 2016.

MALINOVA, I.; FETTKE, J. O número reduzido de grânulos de amido por cloroplasto no mutante dpe2/phs1 depende do início da degradação do amido. **PloS One**, v. 12, n. 11, 2017.

MANRICH, S. **Processamento de termoplásticos: rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes**. São Paulo: Artliber Editora, 2005.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Registro Nacional de Cultivares – RNC**. 2022 Disponível em: https://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php. Acesso em 25 de março de 2022.

MARTÍNEZ CAMPOS, P. *et al.* Arvenses presentes en cultivo del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) de siembra intermedia y su influencia en el rendimiento agrícola. **Centro Agrícola**, v. 46, n. 3, p. 58-66, 2019.

MENOSSE, M. *et al.* Effect of starch initial moisture on thermoplastic starch film properties and its performance as agricultural mulch film. **Journal of Polymer Research**, v. 29, n. 7, p. 285, 2022.

MIAO, M. *et al.* Slowly digestible starch—A review. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 55, n. 12, p. 1642-1657, 2015.

MILANI, P. *et al.* Polymers and its applications in agriculture. **Polímeros**, v. 27, p. 256-266, 2017.

MIR, R. R. *et al.* Allelic Diversity, Structural Analysis, and Genome-Wide Association Study (GWAS) for Yield and Related Traits Using Unexplored Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Germplasm From Western Himalayas. **National Library of Medicine**, 2021. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33584807/>>. Acesso em 06 de set. 2022.

MONTENEGRO, F. M. *et al.* Efeito do processamento por micro-ondas nas propriedades físicas, físico-químicas e reológicas do grão de trigo e sua farinha. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, p. e12610817033-e12610817033, 2021.

MORAES, J. O.; RESZKA, A.; LAURINDO, J. B. Espalhamento e secagem de filme de amido-glicerol-fibra preparado por "tape-casting". **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, p. 136-143, 2014.

MORAL, A. Z.-d. *et al.* Identification of small open reading frames (sORFs) associated with heat tolerance in nitrogen-fixing root nodules of '*Phaseolus vulgaris*' wild-type and cv BAT93. **Australian Journal of Crop Science**, v. 15, n. 9, p. 27-36, 2021.

MOTA, R. D. P.; ASCHERI, D. P. R.; ASCHERI, J. L. R. Elaboração e Caracterização de Filmes Biodegradáveis de Amido de Lírio do Brejo (*Hedychium coronarium*) e de Amido de Fruto-do-Lobo (*Solanum lycocarpum* St. Hill). **Revista Processos Químicos**, v. 3, n. 5, 44-50, 2009.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina:ABRATES, 1999. p.2.1-2.24.

NUSSINOVITCH, A. **Hydrocolloid applications: gum technology in the food and other industries**. London: Blackie Academic & Professional, 1997.

OJOGBO, E.; OGUNSONA, E. O.; MEKONNEN, T. H. Chemical and physical modifications of starch for renewable polymeric materials. **Materials Today Sustainability**, v. 7, p. 100028, 2020.

OLIVEIRA, A. M. C.*et al.* Produção de alimentos na base do feijão-caupi (*Vigna unguiculata*): importância nutricional e benefícios para a saúde. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14, p. e56101416054-e56101416054, 2021.

OLIVEIRA, F. S.*et al.* Produção de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa**, v. 35, n. 68, p. 99-116, 2019.

OLIVEIRA, S.*et al.* Tratamento de sementes de arroz com silício e qualidade fisiológica das sementes. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 39, n. 2, p. 202-209, 2016.

OOTANI, M. A. *et al.* Utilização de óleos essenciais na agricultura. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 4, n. 2, p. 162-174, 2013.

ORTIZ, J.A. R. **Desenvolvimento e caracterização de bioplásticos de amidos por extrusão termoplástica e termoprensagem**. 2013. 175p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, 2013.

PADILHA, M. S.*et al.* Seed reserve mobilization evaluation for selection of high-vigor common bean cultivars. **Revista Caatinga**, v. 33, p. 927-935, 2020.

PARTES, M. F. O.; ASCHERI, D. P. R. Secagem de soluções filmogênicas de amido de fruta-de-lobo (*Solanum lycocarpum* st. hil.) e propriedades físicas dos filmes em função do plastificante e da temperatura. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 28, n. 2, 2010.

PEDRINI, S. *et al.* Revestimento de sementes: ciência ou marketing? **Tendências in Plant Science**, v. 22, n. 2, 2017.

PERALTA, H.*et al.* Genomic studies of nitrogen-fixing rhizobial strains from *Phaseolus vulgaris* seeds and nodules. **BMC Genomics**, v. 17, n. 1, p. 1-18, 2016.

PEREIRA, V. G. C. *et al.* Exigências agroclimáticas para a cultura do feijão (*Phaseolus*

vulgaris L.). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, n. 1, p. 32-42, 2014.

PEREZ CARRASCAL, Olga M. et al. Population genomics of the symbiotic plasmids of sympatric nitrogen-fixing *Rhizobium* species associated with *Phaseolus vulgaris*. **Environmental Microbiology**, v. 18, n. 8, p. 2660-2676, 2016.

PFISTER, B.; ZEEMAN, S. C. Formation of starch in plant cells. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v. 73, p. 2781-2807, 2016.

PIMENTA, S. M.; ZAMBRANO, F.; VENTURINI FILHO, W. G. Suco integral de amora (*Morus nigra* L.) obtido através de prensagem e despolpamento: rendimento e caracterização físico-química. **Alimentos e Nutrição**, p. 335-339, 2012.

POKHREL, S. A review on introduction and applications of starch and its biodegradable polymers. **International Journal of Environment**, v. 4, n. 4, p. 114-125, 2015.

POLETO, M. Compósitos termoplásticos com madeira-uma breve revisão. **Revista Interdisciplinar de Ciência Aplicada**, v. 2, n. 4, p. 42-48, 2017.

PRABHA, P. H.; RANGANATHAN, T. V. Modelling and optimization of cassava starch based film for food packaging applications. **Pakistan Journal of Biotechnology**, v. 14, n. 4, p. 571-586, 2017.

RAKESH, P. et al. Efeito de biopolímeros e polímeros sintéticos de revestimento de sementes em sementes de mamona e amendoim. **International Journal of Pure & Applied Bioscience**, v. 5, n. 4, 2017.

RANATHUNGE, N. P. Biopriming of Seeds for Plant Disease Tolerance and Phytopathogen Management. In: **Microbial Biocontrol: Sustainable Agriculture and Phytopathogen Management: Volume 1**. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 355-369.

REZENDE, A. A. et al. Nutritional and protein quality of dry Brazilian beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Science and Technology**, v. 38, p. 421-427, 2017.

RIGO, G. A. et al. Teor de micronutrientes e qualidade fisiológica de sementes de soja. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 4, 2018.

ROCHA, G. C. et al. Qualidade fisiológica de sementes de soja tratadas e armazenadas-Physiological quality of treated and stored soybean seeds. **Científic@-Multidisciplinary Journal**, v. 4, n. 1, p. 50-65, 2017.

ROCHA, G. O. et al. Filmes compostos biodegradáveis a base de amido de mandioca e proteína de soja. **Polímeros**, v. 24, p. 587-595, 2014.

ROCHA, I. et al. Seed coating: a tool for delivering beneficial microbes to agricultural crops. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1357, 2019.

RODRIGUES, A. P. S. et al. Caracterização morfoagronômica de genótipos de feijoeiro comum quanto à precocidade. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, p. e35410615951-e35410615951, 2021.

RODRIGUES, C. M. *et al.* Atividade respiratória como teste de vigor em sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Diversitas Journal**, v. 4, n. 3, p. 1070-1081, 2019.

ROSADO, C. B. *et al.* Physiological quality of bean seeds after application of desiccant herbicides. **Ciência Rural**, v. 49, n. 9, 2019.

ROSSETO, M. *et al.* Starch–gelatin film as an alternative to the use of plastics in agriculture: a review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 15, p. 6671-6679, 2019.

ROY, S. *et al.* Celebrating 20 years of genetic discoveries in legume nodulation and symbiotic nitrogen fixation. **The Plant Cell**, v. 32, n. 1, p. 15-41, 2020.

SANTOS, F. G.; SILVEIRA, E. R.; JAMHOUR, J. Atributos de qualidade de sementes salvas de feijão. **Revista Técnico-Científica**, n. 22, 2019.

SCHLEMMER, D.; SALES, M. J. A. Thermoplastic Starch Films with Vegetable Oils of Brazilian Cerrado. In: **AIP Conference Proceedings**. American Institute of Physics, 2008. p. 61-63.

SCHLEMMER, D.; SALES, M. Thermoplastic starch films with vegetable oils of Brazilian Cerrado: Thermal characterization. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 99, n. 2, p. 675-679, 2010.

SCHLLEMER, M. A. **Preparação e caracterização de biofilmes à base de manipueira para imobilização de caulinita intercalada com ureia**. 2013. 102p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia em Processos Químicos e Bioquímicos. Área de conhecimento: Química de Materiais). Programa de Pós Graduação em Tecnologia em Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2013.

SEBIO, L. **Efeito de alguns Parâmetros Operacionais de Extrusão nas Propriedades Físicoquímicas da farinha de inhame (*Dioscorea rotundata*)**. Dissertação (Mestrado) Campinas, SP. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 106p., 2007.

SERAFIM FILHO, G. L. *et al.* Avaliação do desenvolvimento de fungos toxigênicos em feijões do grupo carioca (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 9, n. 2, 2021.

SEUNG, D. Amylose in starch: towards an understanding of biosynthesis, structure and function. **New Phytologist**, v. 228, n. 5, p. 1490-1504, 2020.

SHARMA, K. K. *et al.* Seed treatments for sustainable agriculture-A review. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 7, n. 1, p. 521-539, 2015.

SIKDER, A. *et al.* Recent trends in advanced polymer materials in agriculture related applications. **ACS Applied Polymer Materials**, v. 3, n. 3, p. 1203-1217, 2021.

SILVA, J. N. *et al.* Rendimento e qualidade de sementes de feijão-caupi após a aplicação de herbicidas dessecantes. **Journal of Seed Science**, v. 42, 2020.

SINTIM, H. Y. *et al.* *In situ* degradation of biodegradable plastic mulch films in compost and agricultural soils. **Science of the Total Environment**, v. 727, p. 138668, 2020.

SIROHA, A. K.; SANDHU, K. S.; PUNIA, S. Impacto do anidrido octenil succínico nas propriedades reológicas do amido de sorgo. **Quality Assurance and Safety of Crops & Foods**, v. 11, n. 3, 2019.

SOHAIL, M.*et al.* Recent advances in seed coating technologies: transitioning toward sustainable agriculture. **Green Chemistry**, 2022.

SOUZA, L. F. *et al.* Sementes crioulas de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) para cultivo agroecológico. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 14, n. 1, p. 33-40, 2019.

SPATTI, A. C. *et al.* Um século de feijão-comum: bibliometria e produção científica. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 39, n. 1, p. 26949, 2022.

STEENACKERS, H. *et al.* Microwave-assisted one-pot synthesis and anti-biofilm activity of 2-amino-1 H-imidazole/triazole conjugates. **Organic & Biomolecular Chemistry**, v. 12, n. 22, p. 3671-3678, 2014.

SUBROTO, E. *et al.* Review on the analysis methods of starch, amylose, amylopectinin food and agricultural products. **International Journal of Emerging Trends**, 2020.

TAVARES, T. *et al.* Adaptabilidade e estabilidade da produção de grão em feijão comum (*Phaseolus vulgaris*). **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 2, p. 411-418, 2017.

TAYLOR, A. G. Armazenamento de sementes, germinação, qualidade e aprimoramentos. **A Fisiologia das Culturas Vegetais**, 2020.

THALMANN, M.; SANTELIA, D. Starch as a determinant of plant fitness under abiotic stress. **New Phytologist**, v. 214, n. 3, p. 943-951, 2017.

TIBCO. **Software Inc. Palo Alto**, CA, 20 February, 2020. Disponível em: <https://www.tibco.com/press-releases/2020/tibco-named-leader-gartners-2020-magic-quadrant-master-data-management>. Acesso em: janeiro de 2023.

TOUCHALEAUME, F. *et al.* Performance and environmental impact of biodegradable polymers as agricultural mulching films. **Chemosphere**, v. 144, p. 433-439, 2016.

TSUTSUMI, C. Y.; BULEGON, L. G.; PIANO, J. T. **Melhoramento genético do feijoeiro, avanços, perspectivas e novos estudos**. Nativa, 2015.

VANIER, N. L. *et al.* Physicochemical and technological properties of common bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in Brazil and their starch characteristics. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 3, p. 1-10, 2019.

VIEIRA, E. A. *et al.* New cassava cultivars for starch and flour production in the Cerrado of Central Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, 2020.

VIEIRA, E. A. *et al.* New cassava cultivars for starch and flour production in the Cerrado of Central Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, 2020.

VIEIRA, K. H. *et al.* Caracterização da farinha de semente de abóbora obtida por secagem em micro-ondas e estufa. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 22267-22283, 2021.

VILHENA, A. E. G. *et al.* Caracterização físico-química do óleo de castanha do Pará extraído por prensagem hidráulica. **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 3, p. 859-865, 2020.

WANG, S. *et al.* Complexos amido-lipídio e amido-lipídio-proteína: uma revisão abrangente. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 19, n. 3, 2020.

XIA, Y. *et al.* Recent advances in emerging techniques for non-destructive detection of seed viability: A review. **Artificial Intelligence in Agriculture**, v. 1, p. 35-47, 2019.

XU, T. *et al.* Enhancing agrichemical delivery and seedling development with biodegradable, tunable, biopolymer-based nanofiber seed coatings. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 8, n. 25, p. 9537-9548, 2020.

YAN, C. *et al.* Application of biodegradable plastic film to reduce plastic film residual pollution in Chinese agriculture. **Sheng wu gong cheng xue bao= Chinese Journal of Biotechnology**, v. 32, n. 6, p. 748-760, 2016.

YANG, J. *et al.* Preparation and stability mechanisms of double emulsions stabilized by gelatinized native starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 262, p. 117926, 2021.

ZACHARIAS, M. B. *et al.* Revestimento de sementes de milho com quitosana e biomassa microalgal: Corn seed coating with chitosan and microalgal biomass. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**, v. 12, n. 1, p. 7-7, 2022.

ZANETTI, E. G. B. *et al.* Desempenho de duas variedades de mandioca submetidas a diferentes espaçamentos, cultivadas na região do Cerrado. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, v. 7, n. 1, p. 39-46, 2014.