TEXTURA E DUREZA DO ENDOSPERMA DO GRÃO DE MILHO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao curso de Graduação em Egenharia Agronômica, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Egenharia Agronômica.

Orientador: Prof. Dr. Alex Maiorka

Coorientadora: Profa. Dra. Glaciela Kaschuk

CURITIBA

2024

TERMO DE APROVAÇÃO

JOSIEDER BATISTA BARBOSA

TEXTURA E DUREZA DO ENDOSPERMA DO GRÃO DE MILHO

Trabalho apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro(a) Agrônomo(a) no Curso de Graduação em Agronomia, pela seguinte banca examinadora:

Orientador Professor Dr. Alex Maiorka

Departamento de Zootecnia

Setor de Ciências Agrárias

Professora Dra. Chayane da Rocha

Departamento de Zootecnia

Setor de Ciências Agrárias

Professora Dra. Claudete Reisdorfer Lang

Departamento de Fitotecnia e Fitossanidade

Setor de Ciências Agrárias

Curitiba, 06 de agosto de 2024

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por concerde-me a energia, capacidade e sabedoria para a realização deste trabalho e a conclusão do meu curso de graduação.

Agradeço à Universidade Federal do Paraná pela oportunidade de um ensino público, gratuito e de qualidade. Agradeço ao meu orientador, Dr. Alex Maiorka, pela mentoria, especialmente na reta final do curso.

Agradeço a todos os membros do Laboratório de Estudos e Pesquisas em Produção e Nutrição de Animais Não Ruminantes pelo acolhimento e aprendizado ao longo dos anos dentro desta grandiosa Universidade. Agradeço aos integrantes da banca Prof. Dr. Alex Maiorka, Prof. Dra. Chayane da Rocha e Prof. Dra. Claudete Reisdorfer Lang pela disponibilidade e contribuições.

De maneira muito especial, agradeço aos membros de minha família e amigos por todo o apoio e dedicação durante toda a minha formação,

Finalmente, sou grato pela oportunidade de aprender, desenvolver e conhecer mais de que se trata a ciência.

SEM PROJETINHOS!

RESUMO

O milho é uma cultura de grande importância entre as *commodities*, principalmente devido ao seu alto valor nutricional e, por consequência, à sua relevância econômica. Em grãos de milho que apresentam maior dureza, pode haver maior exigência por energia durante o processamento, resultando em um impacto na eficiência energética dos equipamentos utilizados durante o industrialização de milho. O endosperma é classificado em farináceo, quando os grânulos de amido são arredondados e dispersos, sem a presença de uma matriz proteica envolvendo-os, e vítreo, quando apresenta matriz proteica, sem a presença de espaços vazios. Conhecer os fatores genéticos e ambientais que interferem na dureza é importante porque ajuda a entender quais características favorecem a cadeia de produção de alimentos e outros produtos para humanos e animais, contribuindo com a eficiência energética e o meio ambiente. Muitas pesquisas sobre a avaliação da relação existente entre variedade e textura sugerem que diversas características, como a quantidade de proteínas zeínas, o tamanho dos grânulos de amido e a relação entre esses fatores, estão intimamente relacionadas aos eventos associados à vitreosidade e à dureza do grão. Embora muitas mutações que interferem nas proteínas zeínas e na síntese de amido tenham sido estudadas e auxiliado no entendimento dos mecanismos que estão presentes na formação do endosperma vítreo, ainda pouco se sabe sobre os genes de características quantitativas, assim como seus produtos metabólicos, que explicam a variabilidade genética na textura dos grãos. Assim, devido à carência de informações, faz-se necessário reunir informações sobre como as características genéticas interferem na composição do endosperma. Portanto, a presente revisão tem por objetivo abordar como alguma das características presentes nas variedades de milho podem afetar a composição do endosperma, a textura e a dureza do grão de milho, sintetizando informações cruciais e identificando tendências atuais no campo de estudo.

Palavras-chave: Endosperma vítreo, Zeína, Grânulos de amido, Textura.

ABSTRACT

Maize is of considerable importance primarily due to its high nutritional content and economic significance. In corn kernels with greater hardness, there may be a higher demand during processing, affecting the energy efficiency of the machinery used. The endosperm is classified as farinaceous, where the starch granules are rounded and dispersed without a surrounding protein matrix, or vitreous, which presents a protein matrix without voids. Understanding the factors that affect hardness is crucial because it helps determine the characteristics that favor the food industry and other product supply chains for humans and animals, contributing to energy efficiency and reducing environmental impact. Many studies evaluating the relationship between variety and texture suggest that various characteristics, such as the number of zein proteins, the size of starch granules, and their interactions, are closely related to events associated with vitreousness and kernel hardness. Although many genetic mutations affecting zein proteins and starch synthesis have been studied, aiding in understanding the mechanisms involved in the formation of vitreous endosperm, little is known about the quantitative trait loci (QTL) and their metabolic products that explain the genetic variability in grain texture. Therefore, gathering information on how genetic characteristics affect endosperm composition is essential. This review aims to address how the traits present in corn varieties can affect endosperm composition, texture, and kernel hardness, synthesizing crucial information and identifying current trends in this area of research.

Keywords: Vitreous endosperm, Zein, Starch granules, Texture.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - FORMAÇÃO DA MATRIZ PROTEICA 11
FIGURA 2 - ETAPAS DO PROCESSO DE PESQUISA BIBLIOGRÁFICA 13
FIGURA 3 - ANATOMIA DO GRÃO DE MILHO E SUAS PARTES 17
FIGURA 4 - GRÂNULOS DE AMIDO EM DIFERENTES VARIEDADES..... 19
FIGURA 5 - MORFOLOGIA MICROSCÓPICA DOS GRÂNULOS DE AMIDO..... 20
FIGURA 6 - TIPOS DE MILHO E PROPORÇÕES DO ENDOSPERMA 24

SUMÁRIO

1.	**INTRODUÇÃO**	10
2.	**METODOLOGIA**	13
3.	**REVISÃO DE LITERATURA**	15
3.1.	IMPORTÂNCIA ECONÔMICA	15
3.2.	ESTRUTURA ANATÔMICA E COMPOSIÇÃO DO ENDOSPERMA	16
3.2.1.	Grânulos de amido	18
3.2.2.	Acumulo de zeína	21
3.3.	VITROSIDADE DO ENDOSPERMA E DUREZA DO GRÃO DE MILHO	22
4.	**CONSIDERAÇÕES FINAIS**	25
REFERÊNCIAS		26

1. INTRODUÇÃO

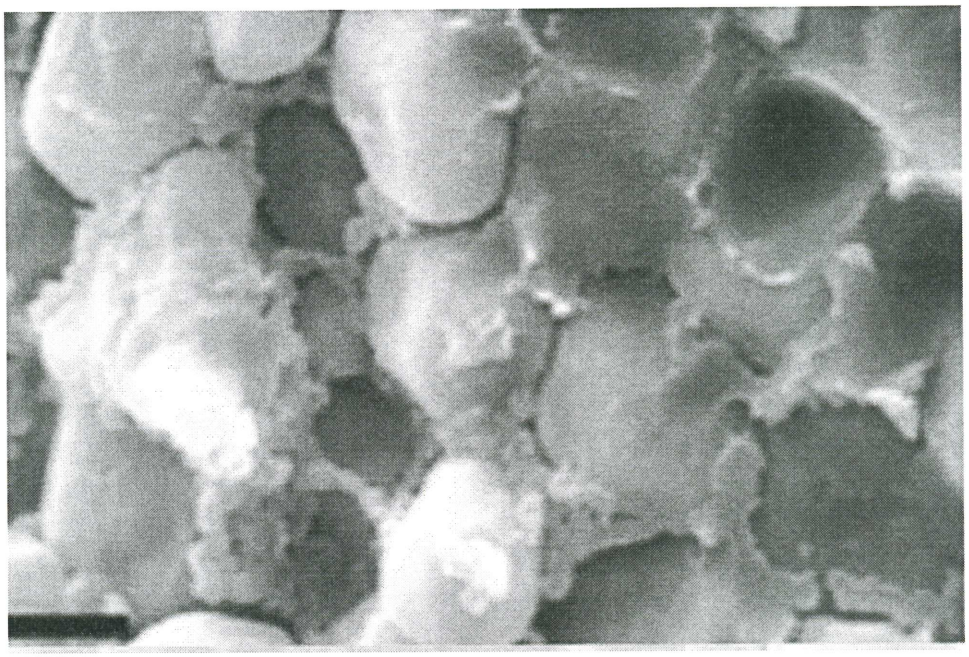
O milho *(Zea mays L.)*, pertencente à família Poaceae, é um dos cereais mais cultivados no mundo todo devido à sua capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais e seu alto valor nutricional. O cereal é destinado tanto para a alimentação de humanos e animais, quanto para a produção de etanol e geração de renda, principalmente na produção de grãos (Contini et al., 2019). Além disso, o cereal é destinado para uma extensa variedade de outras aplicações industriais.

No Brasil, diversas variedades de milho são cultivadas, cada uma com distintas propriedades de dureza do grão, as quais são deteminantes para o uso final do produto. Diversas pesquisas sobre a avaliação da relação existente entre variedade e textura sugerem que características estruturais, como a quantidade de proteínas zeínas, o tamanho dos grânulos de amido e a relação entre esses fatores, estão relacionadas aos eventos ligados à vitreosidade e à dureza do grão de milho.

A região conhecida como endosperma constitui cerca de 83% do peso seco do grão e é composta majoritariamente por amido (88%), que se organiza no formato de grânulos. Além do amido, o endosperma contém proteínas de reserva chamadas zeínas, que são prolaminas e compõem os corpos proteicos que criam uma matriz em torno dos grânulos de amido, presentes dentro das células do endosperma (Figura 1).

O endosperma apresenta duas formas distintas, o que os caracteriza quanto a dureza é a proporção entre as duas formas de endosperma (Simões et al., 2024). O desenvolvimento do endosperma do milho é geralmente caracterizado por três estágios: uma fase de latência, que ocorre de 0 a 15 dias após a polinização (DAP); uma fase de enchimento, que se estende aproximadamente de 15 DAP até 40–50 DAP; e uma fase de maturação por dessecação, que ocorre aproximadamente após 40 DAP (Prioul et al., 2008). A fase de enchimento é crucial para o acúmulo de amido e proteínas de reserva. No endosperma do milho, os genes relacionados ao metabolismo do amido são mais ativos na parte inicial (aproximadamente 15 DAP) da fase de enchimento (Prioul et al., 2008). Na parte média da fase de enchimento (aproximadamente 25 DAP), a taxa de enchimento geralmente atinge um pico (Jin et al., 2013). Essas fases são críticas para o desenvolvimento adequado do endosperma.

FIGURA 1: FORMAÇÃO DA MATRIZ PROTEICA



FONTE: National Academy of Sciences (2003).

O endosperma apresenta duas formas distintas, o que os caracteriza quanto a dureza é a proporção entre as duas formas de endosperma (Simões et al., 2024). O desenvolvimento do endosperma do milho é geralmente caracterizado por três estágios: uma fase de latência, que ocorre de 0 a 15 dias após a polinização (DAP); uma fase de enchimento, que se estende aproximadamente de 15 DAP até 40–50 DAP; e uma fase de maturação por dessecação, que ocorre aproximadamente após 40 DAP (Prioul et al., 2008). A fase de enchimento é crucial para o acúmulo de amido e proteínas de reserva. No endosperma do milho, os genes relacionados ao metabolismo do amido são mais ativos na parte inicial (aproximadamente 15 DAP) da fase de enchimento (Prioul et al., 2008). Na parte média da fase de enchimento (aproximadamente 25 DAP), a taxa de enchimento geralmente atinge um pico (Jin et al., 2013). Essas fases são críticas para o desenvolvimento adequado do endosperma.

A zeína, sendo a principal proteína de reserva no grão de milho, está envolvida na formação da matriz proteica que interage com os grânulos de amido. Esta interação pode afetar a organização e a compactação dos grânulos de amido, influenciando assim

a dureza do grão (Kljak et al., 2024). A presença de zeína pode, portanto, modificar a textura do endosperma ao alterar a proporção e a distribuição de amilose e amilopectina. Além disso, possui a capacidade de se dissolver em soluções alcoólicas e interage de perto com o amido. Essas interações têm o potencial de afetar a solubilidade, viscosidade e estabilidade do amido, desempenhando um papel importante na indústria de alimentos e na fabricação de produtos derivados do milho (Paes, 2006).

A vitreosidade tem sido aplicada para identificar materiais caracterizados como duros e farináceos, apesar de que a vitreosidade e a dureza sejam propriedades distintas (Paes, 2006). Embora muitas mutações que interferem nas proteínas zeínas e na síntese de amido tenham sido estudadas e auxiliado no entendimento dos mecanismos presentes na formação do endosperma vítreo, ainda pouco se sabe sobre os genes de características quantitativas, assim como seus produtos metabólicos que explicam a variabilidade genética na textura dos grãos (Khatefov et al., 2021).

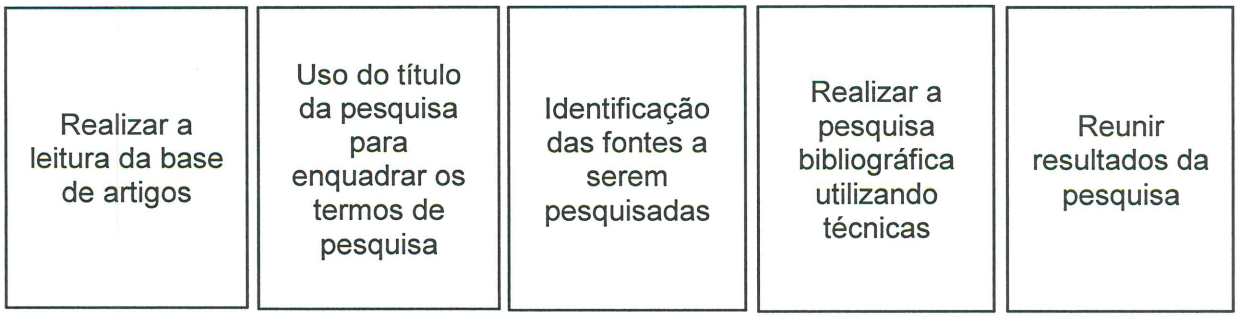
Em grãos de milho que apresentam uma dureza mais elevada, pode haver maior exigência por energia durante o processamento, resultando em um impacto na eficiência energética dos equipamentos utilizados durante o processamento de milho. Este fenômeno foi estudado por Coelho et al., (2018), que investigaram as propriedades físicas de diferentes tipos de grãos de milho e a relação com o consumo energético durante o processamento dos grãos. Este estudo revelou que grãos com massa específica, aparente e real, mais elevada, apresentam menor porosidade intergranular, o que pode aumentar a resistência à passagem do ar durante a secagem e aeração, exigindo assim mais energia para essas operações.

As distintas variedades de milho podem apresentar variações na composição e estrutura interna dos grãos, especialmente no endosperma (Allen et al., 2021). Portanto, a presente revisão tem por objetivo abordar como as características presentes nas variedades de milho podem afetar a composição do endosperma, a textura e a dureza do grão de milho, sintetizando informações cruciais e identificando tendências atuais no campo de estudo. A compreensão dessas características é fundamental para otimizar os processos de produção e garantir a qualidade dos alimentos, rações e demais elementos produzidos a partir desse cereal versátil.

2. METODOLOGIA

A metodologia empregada para a busca de artigos relevantes consistiu na aplicação de uma busca booleana, uma técnica amplamente reconhecida por sua eficácia na localização de resultados pertinentes e fontes confiáveis (Fukuda et al., 2019). A busca booleana permite a combinação de palavras-chave com operadores lógicos, como AND, OR e NOT, para refinar a pesquisa e obter resultados mais precisos (Figura 2). Essa técnica é essencial para assegurar a precisão na seleção da literatura relevante, especialmente em campos de estudo amplos como variedades de milho, dureza e composição de endosperma.

FIGURA 2: ETAPAS DO PROCESSO DE PESQUISA BIBLIOGRÁFICA



FONTE: Adaptado de Chigbu et al (2023).

Adicionalmente, foram utilizados mecanismos de busca abertos e fechados, tais como Scopus, Web of Science, Portal CAFe Capes, ResearchGate e Google Acadêmico. Essas ferramentas são amplamente utilizados na pesquisa acadêmica e fornecem acesso a uma vasta gama de publicações científicas (Clarivate, 2022). A escolha desses mecanismos foi baseada em critérios como abrangência do banco de dados, relevância das fontes e facilidade de acesso. Por exemplo, o Scopus e o Web of Science são renomados por sua vasta cobertura de periódicos de alto impacto, enquanto o Google Acadêmico facilita o acesso a uma ampla gama de documentos, incluindo teses, dissertações e artigos de acesso aberto.

A pesquisa incluiu tanto artigos nacionais quanto internacionais para garantir uma

visão abrangente e diversificada sobre o tema. A inclusão de artigos de diferentes origens geográficas permitiu a análise de uma ampla variedade de abordagens e resultados, enriquecendo a revisão de literatura.

Na elaboração deste estudo, foram utilizados critérios rigorosos para a seleção dos artigos, com o intuito de garantir a relevância e a qualidade das informações comprovadas. Diversos autores destacados (Coelho et al. 2018; Contini et al. 2019; Khatefov et al. 2021; Paes, 2006), têm contribuído significativamente para o entendimento, cujas pesquisas têm sido fundamentais para a compreensão dos temas abordados e para o desenvolvimento da área de eestudo.

Entre os principais critérios, destacam-se a publicação em revistas de alto impacto, a apresentação de informações pertinentes ao tema de estudo, o caráter atual das publicações, preferencialmente dos últimos cinco anos, a metodologia apresentada nos estudos. Foram encontrados trinta e seis trabalhos, vinte e três em Inglês e treze em Português.

Paralelamente ao processo de seleção, também foram definidos critérios de exclusão, com o objetivo de eliminar publicações que não atendessem aos padrões de qualidade e relevância deste trabalho. Os principais critérios de exclusão incluíram artigos que não foram apresentados em relação direta com o tema central do estudo e aqueles publicados antes de 1980. Esses critérios garantiram que apenas os artigos mais pertinentes fossem considerados para a análise final.

As principais palavras-chave utilizadas foram: endosperma vítreo, zeína, recipientes de amido e textura. Após a aplicação desses critérios, foram selecionados 15 artigos que atenderam integralmente às critérios determinantes

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

O milho, representa grande importância, em especial, devido do seu alto valor nutricional, e sua relevância econômica. Caracterizado po apresentar elevada versatilidade e adaptabilidade a diferentes condições do clima possibilitam uma ampla distribuição geográfica e produção em larga escala (Lima et al., 2023).

Para o atual ano agrícola (2023/2024), a estimativa de colheita está em 115,86 milhões de toneladas, em uma area de de 20,8 milhões de hectares e produtividade média de 5.553 kg por hectare (Conab Julho/2024).

A importância econômica do milho é evidenciada pelo seu uso diversificado, que vai desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia, sendo cerca de 70% do consumo mundial destinado à alimentação animal, No Brasil essa porcentagem varia entre 60% e 80%, dependendo da fonte da estimativa e de ano para ano (USDA 2021).

Além disso, o milho é um ingrediente fundamental na dieta de muitas populações, especialmente em regiões de baixa renda, onde constitui uma fonte primária de energia e nutrientes (Swapna et al., 2020).

No agronegócio, o milho é um elemento chave, não apenas pela sua contribuição direta na forma de grãos, mas também pelo seu papel na cadeia produtiva de proteínas animais, com a produção de milho acompanhando o crescimento da produção de suínos e aves, sendo um dos principaisl ingrediente nas rações desses animais. O milho é também o principal ingrediente energético utilizado na ração dos animais na atividade leiteira (Neto et al., 2008).

O cultivo do milho também está intrinsecamente ligado à sustentabilidade e à segurança alimentar, permitindo a rotação de culturas, contribuindo para a saúde do solo e a redução da erosão, além de ser um componente vital na agricultura familiar, fornecendo alimento e renda para milhões de pequenos produtores rurais (Zapałowska et al., 2024).

No mercado internacional, o milho é um dos produtos agrícolas mais comercializados, com o Brasil sendo um dos maiores exportadores mundiais, o que

fortalece a economia nacional e posiciona o país como um *player* importante no mercado global de grãos (Souza et al., 2017).

3.2. VARIEDADE E HÍBRIDOS DE MILHO

O termo "cultivar" refere-se a uma planta que foi aprimorada pelo ser humano para atender às necessidades agrícolas, como produtividade, resistência a doenças ou qualidade nutricional (Vidal et al., 2024). Cultivares são, muitas vezes, registrados e protegidos legalmente, e incluem tanto variedades tradicionais quanto híbridos.

A ultilização de híbridos de milho na agricultura moderna apresenta diversas vantagens significativas, especialmente no contexto da otimização da produtividade e são o resultado do cruzamento controlado entre duas linhagens consideradas puras de milho, o que permite a expressão do vigor híbrido ou heterose (Awata et al., 2019). Esse vigor reflete em plantas com maior resistência a estresses bióticos e abióticos, e, por concequência, com maior potencial de rendimento em comparação com variedades tradicionais (Costa et al., 2010). Além disso, os híbridos são frequentemente desenvolvidos com características específicas, ajustados às necessidades dos agricultores, o que contribui para uma maior eficiência na produção.

No Brasil, a produção de milho é atualmente dominada pelo uso de híbridos, desenvolvidos por empresas multinacionais e por institutos de pesquisa nacionais. Os hibridos mais usados no país são caracterizados por sua alta produtividade, resistência a doenças e tolerância a condições adversas, como seca e solos de baixa fertilidade (Costa et al., 2010).

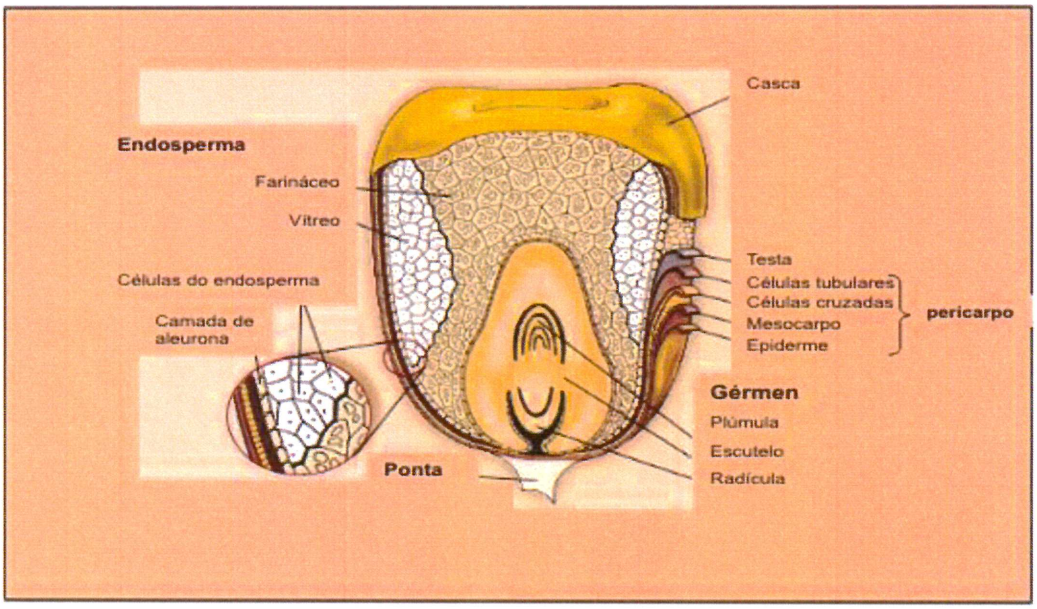
3.3. ESTRUTURA ANATÔMICA E COMPOSIÇÃO DO ENDOSPERMA

Os grãos do milho, na maioria das vezes, são amarelos ou brancos, porém também podem apresentar colorações variando desde o preto até o vermelho e, botanicamente é conhecido como uma cariopse (Paes, 2006). Esse gão consiste em três partes principais (Figura 3); o pericarpo, o endosperma e o embrião (Belfield et al., 2008).

O grão de milho é constituído em grande parte por endosperma rico em amido. Essa região consiste em duas regiões distritais com propriedades físicas diferentes. camada mais externa, rica em enzimas hidrolíticas secretadas por células especializadas (Sofi et al., 2009). Em

tecidos específicos do endosperma, são encontrados os carotenoides, que são substâncias lipídicas que proporcionam a coloração dos grãos de milho. Exemplos desses carotenoides incluem zeaxantina, luteína, beta-criptoxantina, alfa e beta carotenos (Paes, 2006).

FIG1URA 3 - ANATOMIA DO GRÃO DE MILHO E SUAS PARTES



FONTE: Britannica (2006). Adaptado por Paes (2006).

No endosperma também estão presentes as proteínas de reserva, conhecidas como zeínas, Essas proteínas são encontradas na região vítrea e formam corpos proteicos e próximo à maturação são densamente compactadas entre os grânulos de amido (Gibbon et al., 2005). Baseado na distribuição dos grânulos de amido e da matriz proteica formada, o endosperma é classificado em dois tipos: farináceo e vítreo. No primeiro, os grânulos de amido possuem a forma esférica e têm distribuição dispersa; não há uma matriz proteica densa ao seu redor, o que resulta em espaços vazios durante o processo de secagem do grão, os quais anteriormente estavam preenchidos por água durante o tempo de desenvolvimento. Já no endosperma vítreo, a matriz proteica apresenta maior densidade e os corpos proteicos envolvem os grânulos de amido, que possuem formato poligonal, não permitindo a formação de espaços entre as estruturas. Esse tipo de endosperma é importante para a resistência a danos causados por insetos

e fungos, resiliência durante a colheita e armazenamento e muitas características de uso final (Holding et al., 2014). A classificação vítreo/farináceo diz respeito ao aspecto dos grãos em relação à incidência da luz sobre este grão. No endosperma farináceo, há espaços vazios que permitem a passagem e frequentemente apresentam fragmentos no acúmulo de zeínas (Holding, 2014).

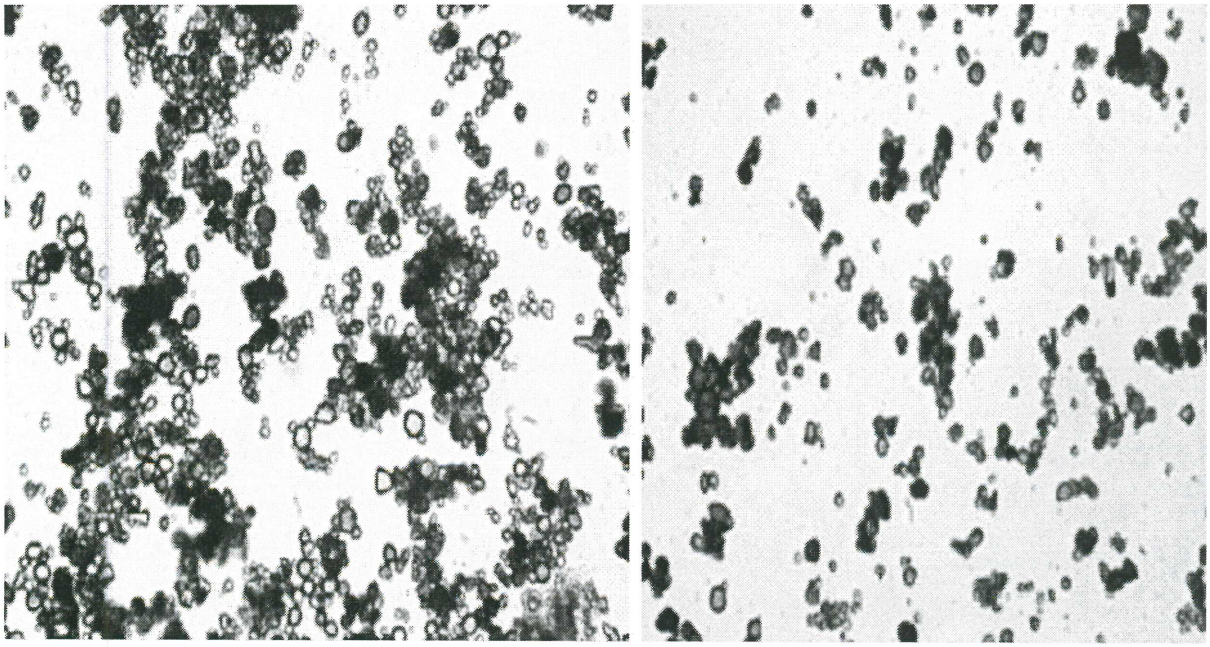
A vitreosidade tem sido aplicada para identificar materiais caracterizados como duros e farináceos, apesar de que a vitreosidade e a dureza sejam propriedades distintas (Paes, 2006).

3.3.1. Grânulos de amido no milho

Os grânulos de amido armazenam o amido, que é o principal carboidrato de reserva do grão de milho. Esses grânulos são constituídos por amilose e amilopectina. A amilose é uma molécula linear, enquanto a amilopectina é um polissacarídeo com alta ramificação. Estes dois polissacarídeos compõem os grânulos de amido presentes no milho. A proporção de amilose e amilopectina no amido pode variar entre as variedades de milho, o que afeta diretamente a dureza do grão.

Diversos estudos têm investigado a relação entre a composição química e a morfologia dos grânulos de amido. Khatefov et al. (2021) conduziram uma investigação comparativa sobre a composição química e a morfologia dos grânulos de amido em grãos de milho doce, contrastando variedades diploides e tetraploides. Foi encontrado um efeito inibitório da dose do gene estudado (su2), que influencia as características do endosperma de milho, no tamanho dos grânulos de amido (Figura 4). Essa descoberta implica que a existência de fatores genéticos afetam de maneira significativa a composição química e o tamanho dos grânulos de amido.

FIGURA 4 - TAMANHO DOS GRÂNULOS DE AMIDO NOENDOSPERMA DE VARIEDADES DIPLOIDES E TETRAPLÓIDES



FONTE: Khatefov et al. (2021) – **Os tamanhos dos grânulos de amido isolados do endosperma da cultivar "Baksanskaya sakharnaya". Análise comparativa da composição química e tamanho dos grânulos de amido em grãos entre cultivares diplóides (à direita) e tetraplóides (à esquerda) de milho doce.**

Tais diferenças anatômicas são cruciais para as propriedades sensoriais e o perfil nutricional dos grãos, influenciando fatores como palatabilidade, textura e valor energético. A configuração dos grânulos de amido, em particular, está intrinsecamente ligada a características físico-químicas fundamentais (Yonemoto et al., 2007).

A arquitetura molecular do amido, que engloba a concentração de amilose, a distribuição do comprimento das cadeias de amilopectina e o nível de cristalinidade, está intimamente associada a fenômenos relacionados à gelatinização e retrogradação (Diamantino et al., 2018).

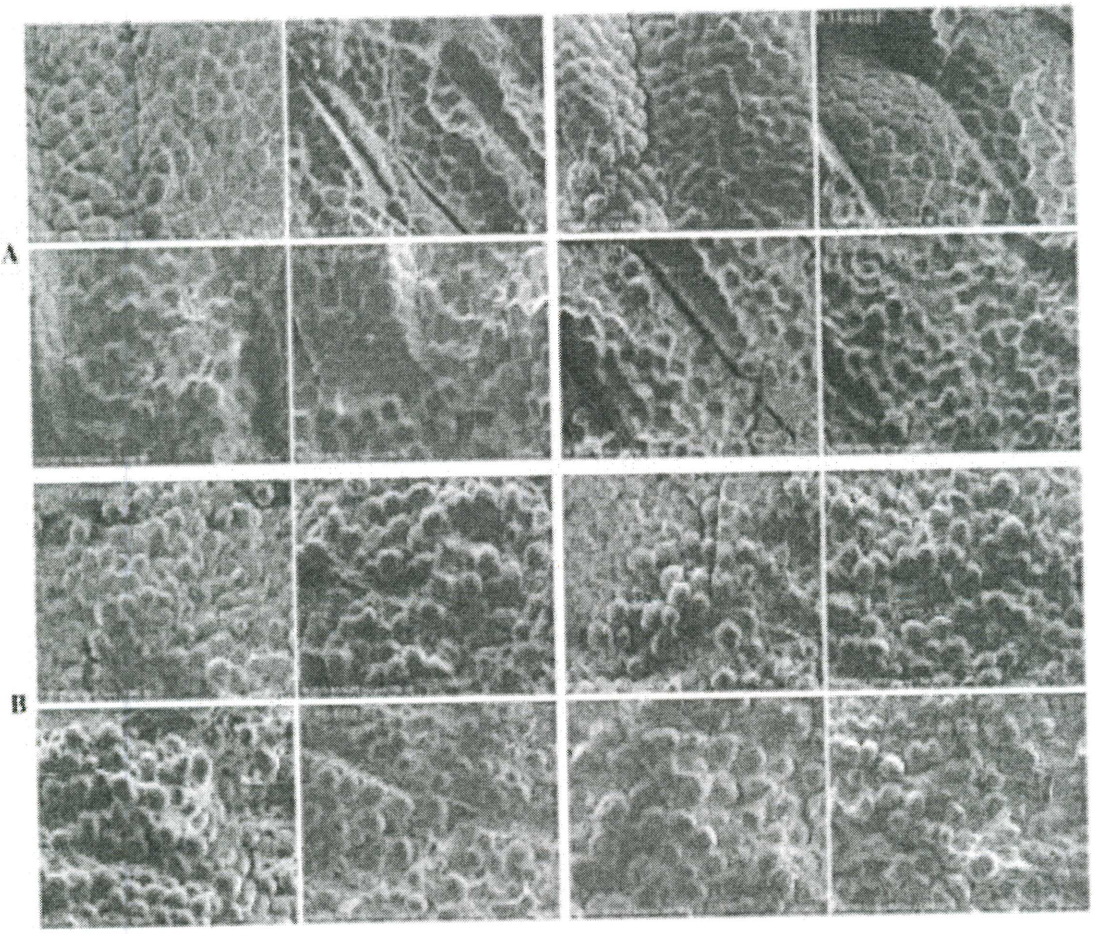
Estudos adicionais têm destacado a importância da distribuição do tamanho dos grânulos de amido e sua influência nas propriedades funcionais do amido. Os grânulos maiores são preferíveis para certas aplicações, principalmente devido à sua menor suscetibilidade à hidrólise enzimática e maior estabilidade durante o processamento (Yonemoto et al., 2007). Estes aspectos sublinham a necessidade de uma seleção

criteriosa de variedades de milho para aplicações específicas, visando maximizar a eficiência do processamento e a qualidade do produto.

Ren et al (2024) investigaram os efeitos da secagem por radiofrequência de alta amplitude nas propriedades físico-químicas e morfológicas do amido de milho (Figura 5).

Observou-se que a secagem por radiofrequência resultou em mudanças na estrutura molecular do amido, incluindo aumento do teor de amilose e interações amido-proteína. Além disso, houve deformação dos grânulos de amido, com aumento da gelatinização e alterações na morfologia dos grânulos durante o tratamento.

FIGURA 5 - MORFOLOGIA MICROSCÓPICA DOS GRÂNULOS DE AMIDO



FONTE: Ren et al (2024) – **Morfologia microscópica dos grânulos de amido e do endosperma de milho (A endosperma vítreo; B endosperma farináceo) submetidos a diferentes tratamentos de secagem por radiofrequência de alta amplitude.**

3.3.2. Acumulo de proteínas zeínas

As zeínas são as principais proteínas de reserva do milho e constituem aproximadamente 80% da totalidade de proteínas do grão (Xie et al., 2018). Estão localizadas na região do endosperma do grão, na forma de corpos proteicos. Essas proteínas são sintetizadas no retículo endoplasmático rugoso (Santos et atl., 2015). Os genes que as codificam são classificados em: α-zeínas, β-zeínas e γ-zeínas e δ-zeínas, sendo as α-zeínas, sendo vitais para o acumulo de proteinas de reserva (Song et al. 2003; Zhang et al. 2015). Além disso, também desempenha um papel crucial na determinação da textura do endosperma. desempenhando um papel crucial na formação e estrutura do grão (Wang et al., 2020).

Essa proteína possui a capacidade de se dissolver em soluções alcoólicas e interage de perto com o amido. Essas interações têm o potencial de afetar a solubilidade, viscosidade e estabilidade do amido, desempenhando um papel importante na indústria de alimentos e na fabricação de produtos derivados do milho (Paes 2006).

Em relação ao desenvolvimento do endosperma de milho, as zeínas são reguladas por alguns fatores de transcrição específicos, por exemplo, o O2 (*opaque2*) e proteínas heterodimerizantes OHP (*opaque heterodimerizing proteins*), que desempenham um papel fundamental na expressão gênica das zeínas. Estudos têm demonstrado a relevância desses fatores de transcrição na regulação da síntese de zeínas e por concequencia, na composição proteica do endosperma de milho (Xie et al., 2018).

O acúmulo de zeína no endosperma do milho pode ser afetado por diversos fatores, incluindo a regulação genética, a síntese de proteínas, e as interações entre diferentes componentes celulares durante o processo de desenvolvimento do grão. Os resíduos de glutamina são essenciais na formação da estrutura das zeínas. Modelos estruturais indicam a presença de nove hélices topologicamente antiparalelas adjacentes, agrupadas em um cilindro distorcido de seção oval. A glutamina é encontrada nas regiões de virada entre as hélices e nas extremidades do cilindro helicoidal, promovendo interações entre as cadeias laterais e o empilhamento das moléculas de zeína em planos moleculares (Argos et al., 1982). Essas interações mediadas pela glutamina pode

explicar formação de depósitos densos e membranosos nas sementes de milho.

A quantidade de zeína acumulada pode ser influenciada por mutações genéticas que afetam a expressão dos genes responsáveis pela síntese de zeína. Além disso, a regulação da síntese de proteínas e a formação de corpos proteicos no retículo endoplasmático rugoso também desempenham um papel importante no acúmulo de zeína. Interferências nas interações entre os componentes celulares, como grânulos de amido e corpos proteicos, durante o desenvolvimento do endosperma também podem afetar a acumulação de zeína (Wang et al., 2020). Todos esses fatores contribuem para a composição do endosperma interferindo intimamente na textura.

Diversas pesquisas têm sido sido realizadas observando a realçao entre diferentes variedades e o acumulo de proteinas zeinas, Wang et al. (2020) comparando duas variedades de milho A619 e W64A, observaram Inicialmente que a variedade A619 tinha menos proteínas zeínas do que a W64A, o que poderia explicar o menor número e tamanho dos organelas armazenadoras de protinas de reserva, e, consequentemente, um endosperma farináceo. No entanto, quando verificaram mais detalhadamente, os níveis de RNA e proteínas zeínas eram praticamente iguais em NILW64A e NILA619. Isso mostra que a quantidade de zeína não está relacionada diretamente à textura do endosperma no estudo menscionado.

Esses resultados contrastam com os observados por Kljak et al (2018) que analizaram a influência da distribuição proteica do endosperma do milho quantificaram a relação entre vitreosidade e concentração de prolaminas no milho e concluíram que milhos mais vítreos contêm mais prolaminas do que milhos menos vítreo.

3.4. VITROSIDADE DO ENDOSPERMA E DUREZA DO GRÃO DE MILHO

As diferenças entre o endosperma vitreo e o endosperma farináceo no milho se devem principalmente à estrutura e composição dessa região do grão. (Paes, 2006). A textura do grão de milho é uma característica complexa e é afetada por muitos fatores genéticos e não genéticos (Wang et al., 2020).

O desenvolvimento do endosperma do milho é geralmente caracterizado por três estágios: uma fase de latência durante 0–15 dias após a polinização (DAP), uma fase de

enchimento de aproximadamente 15 DAP até 40–50 DAP, e uma fase de maturação aproximadamente após 40 DAP (Prioul et al. 2008). A fase de enchimento é uma fase crítica para o acúmulo de amido e proteínas de reserva (Xie et al., 2018) No endosperma do milho, os genes relacionados ao metabolismo do amido são constituídos em sua maioria durante a parte inicial (aproximadamente 15 DAP) da fase de enchimento (Prioul et al. 2008), e em meio a fase de enchimento (aproximadamente 25 DAP), a taxa de enchimento geralmente atinge um pico e essas duas fases costumam ser as mais criticas para o desenvolvimento do endosperma (Jin et al. 2013).

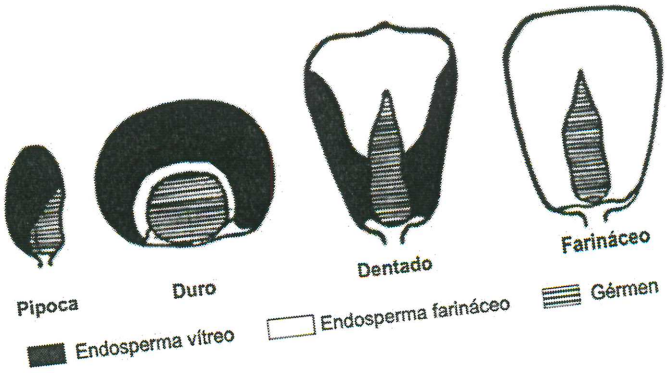
O endosperma do milho é uma região rica em nutrientes que desempenha um papel crucial na alimentação humana e animal. Essa região é composta principalmente por amido e proteínas. Essa composição bioquímica é fundamental para a dureza e a textura do grão de milho, influenciando diretamente suas aplicações industriais e seu valor nutricional. Fatores relaconados as cracteristicas geneticas de cada uma das diferentes variedades podem modificar consideravelmente a composição do endosperma.

Embora muitas mutações que influenciam as proteínas zeínas e a síntese de amido tenham sido identificadas e ajudado a entender os mecanismos que formam o endosperma vítreo, ainda se sabe pouco sobre os genes de características quantitativas e seus produtos metabólicos que explicam a variação genética na textura dos grãos em populações naturais (Wang et al., 2020).

A anatomia do endosperma do milho também influencia a dureza do grão. O endosperma vítreo é associado a uma maior dureza do grão, o que é benéfico para a produção de milho-pipoca e outros produtos que requerem grãos resistentes. A dureza do endosperma vítreo está relacionada à densidade e à organização dos grânulos de amido, bem como à presença de uma matriz proteica mais rígida (Espinosa et al., 2023).

Essa propriedade tem sido aplicada para a identificação de materiais duros e farináceos, embora a vitreosidade e a dureza sejam distintas propriedades (Paes et al.,2006).

FIGURA 6 - TIPOS DE MILHO E PROPORÇÕES DO ENDOSPERMA FARINÁCEO E VITREO



FONTE: (Paes et al., 2006).

A presença de zeína pode, portanto, modificar a textura do endosperma ao alterar a proporção e a distribuição de amilose e amilopectina. Essa interação entre as zeínas e outros componentes do endosperma influencia a textura e a dureza do grão de milho (Figura 6), sendo um dos fatores-chave na classificação dos diferentes tipos de milho com base n6a sua dureza (Simões et al., 2024).

Dessa forma, referente à textura do endosperma, os grãos de milho podem ser classificados em duas formas principais: em duro, quando existe maior proporção de endosperma vítreo (Correa et al., 2002), ou dentado, quando há maior proporção de endosperma farináceo (Xu et al., 2019). Portanto, de acordo com a finalidadede de cada aplicação industrial, a dureza do grão é buscada por determinadas características, das quais podem ser alcançadas por meio das mais diversas técnicas de manipulação genética.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a elaboração da presente revisão, é possível observar que o investimento em novos trabalhos na área de melhoramento genético e manipulação gênica do milho é fundamental para o desenvolvimento de novas variedades que apresentem as características desejadas, neste caso, quanto à composição química do endosperma e, por consequência, à textura e dureza. A complexidade da composição do endosperma, influenciada pelo acúmulo de proteínas de reserva, pela formação da matriz proteica e pela estrutura dos grânulos de amido, exige um enfoque multidisciplinar que envolva biotecnologia, genética e nutrição para alcançar resultados que melhorem a qualidade na indústria de alimentos e nos mais diversos segmentos que têm como matéria-prima esse grão versátil.

Referente à indústria de produção de rações, o conhecimento relacionado à dureza dos grãos que compõem a formulação das dietas, que utilizam diferentes tipos de milho, é essencial para que sejam produzidas rações que atendam às exigências nutricionais de cada espécie animal, melhorando a eficiência energética das fábricas e diminuindo os custos de produção.

Sabendo que o milho é o principal componente das dietas formuladas no Brasil na produção de aves e suínos, o conhecimento da sua composição, entre as mais diversas variedades comercializadas, é fundamental para que a indústria brasileira de proteína animal continue entre os maiores produtores mundiais.

REFERÊNCIAS

ALLEN, M.; LONGUSKI, R.; YING, Y. **Efeitos do tipo de endosperma do grão de milho e da finura da moagem no consumo de ração, comportamento alimentar e desempenho produtivo de vacas leiteiras em lactação.** Journal of Dairy Science, v. 7, p. 7630-7640, 2021.

ARGOS, P. et al. **A structural model for maize zein proteins**. Journal of Biological Chemistry, v. 257, n. 17, p. 9984-9990, 1982.

AWATA, L. et al. **Understanding tropical maize (Zea mays L.)**: The major monocot in modernization and sustainability of agriculture in sub-Saharan Africa. 2019.

BELFIELD, et al. **Manual de cultura de campo: milho. Um guia para produção em terras altas no Camboja** . 2008.

CHIGBU, U.; ATIKU, S.; DU PLESSIS, C. **The Science of Literature Reviews: Searching, Identifying, Selecting, and Synthesising. Publications,** v. 11, n. 1, p. 2, 2023.

COELHO, R. da S., et al. **Propriedades físicas de diferentes grãos de milho.** In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE PÓS-COLHEITA, 7 SIMPÓSIO PARANAENSE DE PÓS-COLHEITA DE GRÃOS, 2018

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 11, safra 2023/24, n. 7 sétimo levantamento, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/ >. Acesso em: 19 maio 2024.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 10, safra 2022/23, n. 12 décimo segundo levantamento, 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/ >. Acesso em: 19 maio 2024.

CONTINI, E. et al. **Milho: caracterização e desafios tecnológicos.** Brasília: Embrapa. (Desafios do Agronegócio Brasileiro, 2), 2019.

CORREA, C. E. S. et al. **Relationship between corn vitreousness and ruminal in situ starch degradability.** Journal of Dairy Science, v. 85, n. 11, p. 3008-3012, 2002.

COSTA, E. et al. **Interação entre genótipos e ambientes em diferentes tipos de híbridos de milho.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 45, p. 1433-1440, 2010.

DE SOUZA, A. et al. **Brazilian corn exports: an analysis of cargo flow in Santos and Paranagua port. In: Advances in Production Management Systems.** The Path to Intelligent, Collaborative and Sustainable Manufacturing: IFIP WG 5.7 International

Conference, APMS 2017, Hamburg, Germany, September 3-7, 2017, Proceedings, Part II. Springer International Publishing, 2017. p. 105-112, 2017.

ESPINOSA, C. et al. **Effects of corn hardness and drying temperature on digestibility of energy and nutrients in diets fed to growing pigs.** Journal of animal science, v. 101, p. skad124, 2023.

FUKUDA, S.; TOMIURA, Y.; ISHITA, E. **Research Paper Search Using a Topic-Based Boolean Query Search and a General Query-Based Ranking Model.** In: Database and Expert Systems Applications: 30th International Conference, DEXA 2019, Linz, Austria, August 26–29, 2019, Proceedings, Part II 30. Springer International Publishing, 2019. p. 65-75, 2019.

GIBBON, A. et al. **Molecular genetic approaches to developing quality protein maize.** TRENDS in Genetics, v. 21, n. 4, p. 227-233, 2005.

HOLDING, D. **Recent advances in the study of prolamin storage protein organization and function.** Frontiers in plant science , v. 5, p. 276, 2014.

KHATEFOV, E. B. et al. **Comparative analysis of the chemical composition and size of starch granules in grain between diploid and tetraploid sweetcorn cultivars.** Proceedings on applied botany, genetics and breeding, v. 182, n. 2, p. 53-62, 2021.

KLJAK, K. et al. **Relationship of Physical Properties and Macronutrient Composition with Carotenoid Profile in Maize Hybrids**. Agriculture, v. 14, n. 3, p. 384, 2024.

KLJAK, K.; DUVNJAK, M.; GRBEŠA, D. **Contribution of zein content and starch characteristics to vitreousness of commercial maize hybrids**. Journal of Cereal Science, v. 80, p. 57-62, 2018.

Lima, J. et al. **Adaptabilidade e estabilidade de híbridos de milho para o sul do bioma Amazônia via GGE biplot.** Pesquisa Agropecuaria Brasileira, v. 58, n. AA, p. 02931, 2024.

OLIVEIRA, A**. O consumo de milho na produção de aves, suínos e leite.** Revista de Política Agrícola, v. 17, n. 1, p. 89-96, 2008.

PAES, M. **Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 6 p. (Circular Técnica n. 75), 2006.

PRIOUL, J. et al. **A joint transcriptomic, proteomic and metabolic analysis of maize endosperm development and starch filling.** Plant Biotechnology Journal, v. 6, n. 9, p. 855-869, 2008.

REN, L. et al. **Radio Frequency Modulates the Multi-scale Structure and Physicochemical Properties of Corn Starch: The Related Mechanism.** Food and Bioprocess Technology, p. 1-16, 2024.

SIMÕES, C. **Influência da textura do endosperma nas características físicas, na composição nutricional e na concentração de micotoxinas em grãos de milho cultivados no Brasil.** Diss. Universidade Federal de Santa Maria, 2024.
SOFI, P. et al. **Manipulação para a fortificação nutricional do milho**. Journal of Plant Breeding and Crop Science , v. 1, n. 6, p. 244-253, 2009.

SONG, R.; MESSING, J. **Gene expression of a gene family in maize based on noncollinear haplotypes.** Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 100, n. 15, p. 9055-9060, 2003.

SWAPNA, G.; JADESHA, G.; MAHADEVU, P. **Milho doce – um futuro alimento saudável para nutrição humana.** Internacional J. Curr. Microbiol. Aplicativo. Ciência, v. 7, pág. 3859-3865, 2020.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Grain and Feed Annual Report.** Brasília, 2021. Disponível em: <http:// https://usdabrazil.org.br/report/>. Acesso em: 30 maio 2024.

VIDAL, J. et al. **Classificação de híbridos de milho por características produtivas, nutricionais e micotoxicológicas para nutrição animal**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria, 2024.

WANG, H. et al. **Carotenoids modulate kernel texture in maize by influencing amyloplast envelope integrity.** Nature Communications, v. 11, n. 1, p. 5346, 2020.

XIE, S. et al. **Identification of genes alternatively spliced in developing maize endosperm.** Plant Biology, v. 20, n. 1, p. 59-66, 2018.

XU, A. et al. **Morphological characteristics of endosperm in different regions of maize kernels with different vitreousness.** Journal of Cereal Science, v. 87, p. 273-279, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.04.010.>. Acesso em: 20 de Fvereiro de 2024.

YONEMOTO, P. et al. **Efeito do tamanho dos grânulos nas características estruturais e físico-químicas do amido de trigo.** Food Science and Technology, v. 27, p. 761-771, 2007.

ZAPAŁOWSKA, A.; JARECKI, W. **The Impact of Using Different Types of Compost on the Growth and Yield of Corn.** Sustainability, v. 16, n. 2, p. 511, 2024.

ZHANG, Z.; YANG, J.; WU, Y. **Transcriptional regulation of zein gene expression in maize through the additive and synergistic action of opaque2, prolamine-box**

binding factor, and O2 heterodimerizing proteins. The Plant Cell, v. 27, n. 4, p. 1162-1172, 2015.