

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
ESCOLA DE QUÍMICA

**Lorena Regis dos Santos**



AREIA HIGIÊNICA PARA GATOS À BASE DE AMIDO DE MILHO  
MODIFICADO

RIO DE JANEIRO

2023

Lorena Regis dos Santos

AREIA HIGIÊNICA PARA GATOS À BASE DE AMIDO DE MILHO MODIFICADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro de Alimentos.

Orientador(es): Prof<sup>ª</sup> Eveline Lopes Almeida, *D.Sc.*

Rio de Janeiro

2023

## **Ficha Catalográfica**

Santos, Lorena Regis.

Areia higiênica para gatos à base de amido de milho modificado/ Lorena Regis dos Santos. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2023.

67 p.; il.

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2023.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Eveline Lopes Almeida, *D.Sc*

1. Areia higiênica para gatos. 2. Amido de milho. 3. Modificação. 4. Monografia (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Prof<sup>a</sup> Eveline Lopes Almeida, *D.Sc*. I. Areia higiênica para gatos à base de amido de milho modificado

Lorena Regis dos Santos

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro de Alimentos.

Aprovado em 20 de dezembro de 2023.

---

Profª Eveline Lopes Almeida, *D.Sc.*

---

Chaline Detoni, *D.Sc.*, UFRJ

---

Poliana Sander Ferreira, *M.Sc.*, UFRJ

Rio de Janeiro  
2023

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, que sempre me incentivaram e não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida. Aos meus irmãos e primos, companheiros de vida desde sempre. Ao Caio Lemos, namorado e amigo, por todo apoio, companheirismo e por sempre acreditar em mim.

À orientadora e professora Eveline Lopes, pelo ensinamento, suporte e tempo dedicado ao trabalho. Ao corpo docente da EQ, por todo ensinamento ao longo do curso. Em especial à professora Ana Lúcia Vendramini, pela oportunidade de Iniciação Científica logo no início do curso e suporte.

Às amigas da UFRJ, em especial Nina, Priscilla, Tuany, Fernanda, Lara, Vanessa, Renata, Karina e Mariana, que trilharam esse caminho comigo desde o início, com incontáveis histórias e muito apoio. Aos amigos de escola Ariel, Vicente, Gabriel, Carol e Guilherme, pela amizade forte, incentivo e apoio constantes.

A todos os professores da escola, que foram fundamentais para a minha formação e desenvolvimento, não só acadêmico como pessoal. A todos os colegas que eu tive o prazer de conhecer em minhas experiências profissionais, Fluxo Consultoria, IEG e Petfive, que acreditaram no meu potencial e contribuíram para minha formação profissional.

A todos, o meu muito obrigada. Sem vocês nada disso seria possível.

## RESUMO

SANTOS, Lorena Regis dos. **Areia higiênica para gatos à base de amido de milho modificado**. Rio de Janeiro, 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

O mercado de animais domésticos vem se expandindo e diversificando cada vez mais, com expectativa de crescimento para o segmento de areias para gatos nos próximos anos. O presente estudo buscou propor uma alternativa biodegradável de areia higiênica para gatos, à base de amido de milho, definindo-se o melhor processo de modificação do amido de milho a ser aplicado para obter as propriedades tecnológicas necessárias ao produto final. Por meio de uma revisão bibliográfica, abordou-se a estrutura do amido, bem como seus componentes e suas propriedades, visando o maior entendimento de suas modificações químicas, físicas e/ou bioquímicas e suas propriedades tecnológicas obtidas. Com base nestes levantamentos realizados, o intuito foi de propor o melhor processo de modificação do amido de milho para aplicação na indústria de areia higiênica para gatos, com o objetivo de formar aglutinados de grânulos para fácil remoção e limpeza da caixa higiênica do animal. Conclui-se que seria adequado o emprego de amido modificado por meio da combinação de modificação física (pré-gelatinização) e química (estabilização), que melhoram a capacidade de absorção de água do amido, bem como a alteração das propriedades físicas da areia (redução de granulometria), uma vez que aumenta a área de superfície disponível para a absorção e há o favorecimento da aglutinação. Essas modificações combinadas sugerem como resultado uma areia com maior eficiência na absorção de líquidos, apresentando uma solução comercialmente adequada para a areia higiênica para gatos.

Palavras-chave: Animal de estimação. Areia sanitária. Biodegradável. Felino. Higiene.

## ABSTRACT

SANTOS, Lorena Regis dos. **Areia higiênica para gatos à base de amido de milho modificado**. Rio de Janeiro, 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

The pet market has been expanding and diversifying increasingly, with an expected growth in the cat litter segment in the coming years. The present study aimed to propose a biodegradable alternative for cat litter, based on corn starch, defining the optimal modification process for corn starch to achieve the necessary technological properties for the final product. Through a bibliographic review, the study addressed the starch structure, its components and properties, aiming to have a better understanding of its chemical, physical and/or biochemical modifications and their technological properties. Based on the review conducted, the aim was to propose the best modification process of corn starch for application in the cat litter industry, intending to form granular agglomerates for easy removal and cleaning of the animal's litter box. The conclusion was that the use of modified starch through a combination of physical modification (pre-gelatinization) and chemical modification (stabilization), as well as the alteration of the physical properties of the litter (reduction in particle size), would be suitable. The acetylation and the pre-gelatinization improve the swelling capacity of the starch, while the reduction of the particle size increases the available surface area to be absorbed and also suggests agglutination. These combined modifications suggest a litter with better swelling capacity efficiency, offering a more commercially viable solution for cat litter.

Key words: Pet. Cat litter. Biodegradable. Feline. Hygiene.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 — Ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4 e  $\alpha$ -1,6 no amido
- Figura 2 — Ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4 da amilose
- Figura 3 — Complexo amilose-lipídio: uma hélice de amilose é complexada com a cadeia de ácido graxo de um monoglicerídeo
- Figura 4 — Representação estrutural básica de (a) unidades de glicose, (b) amilose e (c) amilopectina
- Figura 5 — Representação de uma molécula de amilopectina
- Figura 6 — Estrutura do grânulo de amido
- Figura 7 — Representação da gelatinização do amido
- Figura 8 — Composição básica do grão de milho
- Figura 9 — Principais etapas no isolamento de amido de grãos de cereais
- Figura 10 — Secagem em tambor, A: secador de tambor simples e B: secador de tambor duplo
- Figura 11 — Modificações físicas da estrutura dos grânulos do amido
- Figura 12 — *Crosslinking* do amido por reação química com oxiclreto de fósforo
- Figura 13 — Efeito da substituição (acetilação) no perfil de viscosidade do amido de milho
- Figura 14 — Reação do amido com tripolifosfato de sódio para formação do fosfato de amido
- Figura 15 — Reação do amido com anidrido succínico para formação do succinato de amido
- Figura 16 — Reação do amido com óxido de propileno para formação do amido hidroxipropilado
- Figura 17 — Transformações moleculares que ocorrem no processo de piroconversão
- Figura 18 — Ação das enzimas de hidrólise do amido sobre os polímeros de amilose e amilopectina
- Figura 19 — Torrão formado pela areia higiênica Viva Verde da marca Petfive, à base de amido de milho modificado

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Uso Industrial do Amido

Tabela 2 — Característica da amilose e da amilopectina

Tabela 3 — Teor aproximado de amilose e amilopectina de alguns amidos

Tabela 4 — Teor aproximado de proteínas e lipídios de alguns amidos

Tabela 5 — Tamanho aproximado e forma dos grânulos de alguns amidos

Tabela 6 — Classificações do amido resistente

Tabela 7 — Rendimento médio na moagem de milho por via úmida

Tabela 8 — Aplicações dos amidos modificados na indústria de alimentos

Tabela 9 — Parâmetros das endotermas de gelatinização de amidos nativos e tratados pelo processo de *heat-moisture*

Tabela 10 — Valores de poder de inchamento de amido de milho às temperaturas de 50 e 70°C (expressos em vezes de aumento de peso)

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>15</b>
2.1. OBJETIVO GERAL	15
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
<b>3. METODOLOGIA</b>	<b>16</b>
<b>4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>17</b>
4.1. APLICAÇÕES DO AMIDO	17
4.2. MORFOLOGIA, ESTRUTURA QUÍMICA E ORGANIZAÇÃO ESTRUTURAL	18
<b>4.2.1. Amilose</b>	<b>20</b>
<b>4.2.2. Amilopectina</b>	<b>22</b>
<b>4.2.3. Outros componentes</b>	<b>23</b>
<b>4.2.4. Grânulo de Amido</b>	<b>24</b>
4.3. PROPRIEDADES DO AMIDO	26
<b>4.3.1. Nutricional</b>	<b>26</b>
<b>4.3.2. Tecnológica</b>	<b>27</b>
4.4. FONTES DE AMIDO	29
<b>4.4.1. Milho</b>	<b>29</b>
4.4.1.1. Processo de extração do amido de milho	30
4.5. MODIFICAÇÃO DO AMIDO	32
<b>4.5.1. Modificações físicas</b>	<b>33</b>
4.5.1.1. Pré-gelatinização	34
4.5.1.2. Modificações hidrotérmicas	36
4.5.1.2.1. <i>Annealing</i>	37
4.5.1.2.2. <i>Heat-moisture</i>	38
4.5.1.2.3. Modificações físicas não-térmicas	39
<b>4.5.2. Modificações químicas</b>	<b>40</b>
4.5.2.1. <i>Crosslinking</i>	41
4.5.2.2. Substituição (Estabilização)	42
4.5.2.2.1. Esterificação	43
4.5.2.2.2. Eterificação	45
4.5.2.3. Conversão	46
4.5.2.3.1. Hidrólise ácida	47
4.5.2.3.2. Oxidação (ou Branqueamento)	47
4.5.2.3.3. Piroconversão ou dextrinização	48
<b>4.5.3. Modificações enzimáticas</b>	<b>49</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>52</b>
5.1. AREIA HIGIÊNICA PARA GATOS	52
5.2. UTILIZAÇÃO DO AMIDO APLICADO À AREIA HIGIÊNICA PARA GATOS	54

5.3. MODIFICAÇÕES DO AMIDO DE MILHO PARA A AREIA HIGIÊNICA	55
<b>6. CONCLUSÃO</b>	<b>58</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>60</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo pesquisa realizada em 2020 pela ABINPET (Associação Brasileira da Indústria de Produtos para Animais de Estimação), o Brasil é o terceiro maior país em população total de animais de estimação, respondendo por 4,7% do faturamento da indústria mundial. Com quase 142 milhões em população total de animais de estimação, os gatos representam cerca de 17% desse total (ABINPET, 2020). Segundo o Instituto Pet Brasil (IPB) (2019), a população de gatos apresentou maior crescimento acumulado de 2013 a 2018. O número de gatos cresceu 8,1%, enquanto a de cães 3,8%, menos da metade que o registrado para gatos. Estes dados sugerem uma tendência de crescimento do mercado consumidor de produtos para os felinos.

Dada a tamanha representatividade e a rápida transformação no Brasil e no mundo, o mercado de animais domésticos vem se expandindo e diversificando cada vez mais. Além da ração, a areia higiênica é item necessário aos gatos, principalmente em apartamentos. Com um mercado global avaliado em 3,9 bilhões de dólares, a expectativa é de crescimento para o segmento de areias higiênicas para gatos nos próximos anos (GRAND VIEW RESEARCH, 2019).

A variedade de areias higiênicas para gatos já é bem alta, especialmente nos Estados Unidos, que atualmente é o país que mais movimentava a economia global neste segmento (ABINPET, 2020), mas novos produtos vêm ganhando cada vez mais espaço no mercado brasileiro. Atualmente, os granulados de argila e sílica predominam no mercado como as principais opções disponíveis, principalmente por suas capacidades de absorção da urina do animal (GRAND VIEW RESEARCH, 2019).

Uma das vantagens do uso da argila é que ela se expande ao entrar em contato com o líquido e endurece quase que imediatamente, facilitando o descarte na hora da limpeza. Já a sílica, além da propriedade absorvente, ela é livre de poeira e apresenta bom controle de odores (GRAND VIEW RESEARCH, 2019). Porém, esses materiais não são biodegradáveis e seu descarte tem apresentado impactos no meio ambiente, além de não ser possível o descarte no vaso sanitário (VAUGHN *et al.*, 2023). Alternativas à base de produtos vegetais, como milho, trigo e papel estão disponíveis no mercado em uma parcela menos representativa, e se apresentam como opções biodegradáveis e mais amigáveis ao meio ambiente (VAUGHN *et al.*, 2023).

Um estudo realizado por Saikeaw *et al.* (2021) aborda a produção de uma alternativa sustentável à areia convencional para gatos, feita a partir do tronco de mandioca. A obtenção desse estudo se deu por meio da extração da lignocelulose a partir do tronco da mandioca e seu posterior processamento até a obtenção de grânulos com propriedades desejadas. A areia higiênica derivada do tronco de mandioca apresentou características semelhantes às versões tradicionais: boa absorção de líquidos, controle de odores e formação de aglomerados. Além disso, é biodegradável, o que significa que se decompõe naturalmente no ambiente, reduzindo o impacto ambiental.

Vaughn *et al.* (2023) testaram diferentes formulações para encontrar a melhor combinação de ingredientes e obter um produto eficaz na absorção de líquidos e na redução de odores. Os resultados mostraram que a nova areia de gato produzida a partir de cascas de soja e *biochar* de cascas de soja superou outras areias de gato comerciais em termos de redução de odor e formação de aglomerados. Além disso, a areia produzida é biodegradável e contribui para a sustentabilidade ambiental. Portanto, concluiu-se que a casca de soja e o *biochar* de casca de soja têm potencial para serem utilizados como materiais biobaseados na produção de areias de gato.

No Brasil, de acordo com uma pesquisa realizada pelo Instituto Akatu em 2018, a procura por consumo e produtos sustentáveis está em ascensão. Um destes produtos que vêm ganhando destaque nos últimos anos é a areia higiênica à base de amido de milho.

Existem estudos relacionados à utilização de milho e amido de milho na formulação de areias para gatos. No entanto, não foram encontrados estudos que abordassem todas as modificações do amido de milho e suas aplicações para a produção de areia higiênica para gatos. No estudo realizado por Vaughn *et al.* (2011), os autores exploraram a viabilidade de utilizar grãos de milho secos derivados de destilarias extraídos por solvente na fabricação de uma areia para gatos biodegradável e redutora de odores. Os grãos secos de milho são um importante subproduto da indústria de etanol e são amplamente utilizados como ração animal. No entanto, os pesquisadores buscaram uma aplicação alternativa e sustentável para esses grãos, formulando uma areia para gatos. Embora esse estudo tenha utilizado grãos secos destilados de milho extraídos por solvente, ainda é necessário realizar pesquisas específicas para avaliar a viabilidade e as características de uma areia para gatos baseada em amido de milho.

Alguns estudos têm avaliado a utilização do amido como material para produzir areias higiênicas para gatos. Por exemplo, o estudo de Chai *et al.* (2016) avaliou o desempenho do

amido de milho e do amido de mandioca como materiais para a fabricação de areia higiênica para gatos. Os resultados indicaram que ambos os amidos foram capazes de absorver a urina do gato e controlar o odor, mas o amido de mandioca foi mais eficaz em termos de absorção de líquidos. Além disso, a areia higiênica produzida com amido de mandioca foi mais leve e menos poeirenta do que a produzida com amido de milho.

Em outro estudo, Mei *et al.* (2020) preparou e avaliou a eficácia da areia higiênica para gatos produzida a partir de amido de milho. Os resultados indicaram que a areia higiênica produzida com amido de milho apresentou uma capacidade de absorção de água de 300% e uma capacidade de retenção de odor de 90%. Além disso, a areia higiênica produzida foi biodegradável, fácil de limpar e não produziu poeira.

Por fim, o estudo de Queiroz *et al.* (2021) desenvolveu uma areia higiênica para gatos a partir de amido de mandioca e bagaço de cana-de-açúcar. Os resultados indicaram que a areia higiênica produzida apresentou uma capacidade de absorção de líquidos de 329% e uma capacidade de retenção de odor de 82%. Além disso, a areia higiênica produzida foi biodegradável, fácil de limpar e não produziu poeira.

Importante destacar também que misturas de amidos de diferentes fontes, principalmente milho nativo, milho ceroso e mandioca, são bastante utilizadas para atingir propriedades tecnológicas desejadas (SILVA *et al.*, 2006), e podem ser excelentes opções a serem estudadas para alcançar uma melhor aplicação desejada para o produto. Entretanto, devido à grande disponibilidade do amido de milho no mercado brasileiro e exterior, com vantagem de custo como matéria-prima frente a outras fontes, em especial ao amido de mandioca, entende-se que o amido de milho pode ser a opção mais economicamente viável para este produto.

O milho, produzido em quase todos os continentes, é uma das principais *commodities* agrícolas produzidas no mundo. Atualmente, ele ocupa o segundo lugar na produção de grãos no Brasil, atrás somente da produção de soja (CONAB, 2019). Desta forma, demonstra-se como uma matéria-prima disponível e relativamente barata para aplicação como matéria-prima principal do produto de areia higiênica para gatos, possibilitando sua ampla produção e escala.

A CONAB prevê um aumento de 15% na produção total de milho para a safra 2022/23, em comparação com a safra anterior, estimada em 130 milhões de toneladas (CONAB, 2023). Em relação à demanda doméstica, a CONAB espera um aumento de 6,5%

no consumo interno de milho ao longo de 2023, em comparação com a safra anterior, totalizando 79,3 milhões de toneladas de milho.

De acordo com a FAMASUL (2023), a produção mundial de milho deverá atingir um recorde, com um aumento previsto na produção para os Estados Unidos, Argentina, União Europeia, China e Sérvia. A projeção para a produção mundial de milho em 2023/24 teve um aumento significativo de 6,5% entre abril e maio de 2023, chegando a 1.219,6 milhões de toneladas. O Brasil é o terceiro maior produtor de milho do mundo, atrás apenas dos Estados Unidos e China, e exportou em 2020 o equivalente a 19,8% das exportações totais (CONAB, 2023). A CONAB estima que 50 milhões de toneladas serão exportadas do país na safra de 2022/23, considerando-se o aumento na produção brasileira, alinhado à maior demanda internacional.

O amido, segundo polímero natural mais abundante na terra, se mostra um recurso renovável, barato e amplamente disponível. Ele vem recebendo cada vez mais destaque por sua natureza biodegradável (DHARMADHIKARI e SABHARWAL, 2018). Embora a indústria de alimentos seja projetada para ser o maior consumidor final, com sua aplicação em alimentos, bebidas e rações, o amido e seus derivados também são cada vez mais usados em várias outras indústrias não-alimentícias, devido a suas várias funcionalidades, como espessante, agente de ligação, formação de filme, revestimento e estabilização (MARKETS & MARKETS ANALYSIS, 2016).

De acordo com o instituto de pesquisa *Grand View Research* (2019), avanços tecnológicos na Índia, China e Brasil para o desenvolvimento de novos produtos devem criar novas oportunidades para o crescimento da indústria de amidos modificados, com previsão de crescimento ao ano de 5,7% de 2017 a 2025. Ainda de acordo com a pesquisa, o aumento da renda disponível dos consumidores e a rápida urbanização são fatores macro que devem impulsionar a demanda na região durante o período de previsão.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo deste estudo é propor, teoricamente, uma alternativa biodegradável de areia higiênica para gatos, à base de amido de milho modificado, definindo-se o melhor processo de modificação do amido de milho a ser aplicado para obter as propriedades tecnológicas necessárias ao produto final.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O presente estudo apresenta os seguintes objetivos específicos:

- Elaborar uma revisão bibliográfica acerca da estrutura do amido, bem como seus componentes e suas propriedades;
- Apresentar um levantamento de estudos sobre o amido, visando o maior entendimento de suas modificações químicas, físicas e/ou bioquímicas;
- Realizar um levantamento sobre o mercado e avaliar quais são as matérias-primas industrialmente utilizadas para areia higiênica para gatos;
- Sugerir quais processos de modificação de amidos são os mais indicados para utilização como areia higiênica para gatos.

### 3. METODOLOGIA

O presente estudo foi realizado por meio da revisão de literatura de artigos acadêmicos, livros, *sites* e revistas que abordem assuntos relacionados ao tema de modificação de amido e areia higiênica para gatos. Para isso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica durante o período de 2019 a 2023, bem como publicações que não excediam o período de 25 anos após a publicação. Essa abordagem permite uma análise atualizada e abrangente do tema em questão.

A análise bibliográfica foi realizada em pesquisa nas plataformas de buscas especializadas como SciELO, Scopus e Web of Science. Utilizou-se os seguintes termos de busca: “corn or maize and starch”, “corn or maize and starch and modification”, “starch and physical modification”, “starch and chemical modification”. Da mesma maneira, para elaboração de resultados e discussões, utilizou-se os seguintes termos de busca: “cat litter”, “biodegradable cat litter”, “cat litter and starch”, “cat litter and starch and corn or maize”. Além disso, foram realizadas também pesquisas em revistas científicas especializadas em comportamento animal, medicina veterinária, produtos *pet* e ciência dos materiais com artigos que abordam esse tema na plataforma PubMed.

A partir destas pesquisas e revisões literárias sobre o assunto, foi elaborado o material a seguir, onde se identificou os conceitos e dados relevantes. Além disso, após a revisão e a partir da informação resumida e sintetizada, analisou-se os dados coletados para propor a melhor solução para o desenvolvimento do produto em estudo: a areia higiênica biodegradável à base de amido de milho modificado.

## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O amido é um polissacarídeo presente nos vegetais, sendo o principal material de reserva do reino vegetal e a principal fonte de carboidratos disponível para alimentação humana (AGEITEC, 2019). Formado pela união de várias moléculas de glicose, o amido é encontrado em vegetais na forma de grânulos insolúveis em água fria, que variam de 1 a 100 µm de tamanho, dependendo da espécie da planta (CUI, 2005).

### 4.1. APLICAÇÕES DO AMIDO

O amido possui características físicas e químicas bastante únicas, bem diferente de outros carboidratos existentes, e por isso é uma das matérias-primas mais importantes na indústria, sendo usado para alterar as propriedades físicas de diversos produtos, tanto em sua forma nativa como também modificada (THOMAS e ATWELL, 1999). Alguns exemplos da aplicação do amido podem ser encontrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Uso industrial do amido

Indústria	Uso de amido nativo ou modificado
Alimentos	Espessantes e/ou estabilizantes, filme comestível, agente de revestimento
Adesivos	Agente de ligação
Papel	Agente de ligação e de revestimento, engomagem
Têxtil	Engomagem de fios, acabamento de tecidos
Farmacêutica	Diluyente, ligante, carreador do princípio ativo (encapsulação)
Perfuração de petróleo	Modificador de viscosidade
Detergente	Surfactantes, agente de suspensão, agente de branqueamento e ativadores de branqueamento
Agroquímica	Carreador de pesticida, cobertura de semente
Plásticos	Embalagens plásticas biodegradáveis
Cosméticos	Pó para face e talco
Médica	Extensores de plasma sanguíneo, preservação de órgãos transplantados, produtos absorventes sanitários

Fonte: Cui (2005)

Na indústria de alimentos e bebidas, nenhum outro ingrediente se compara ao amido em termos de versatilidade de aplicação (ELIASSON, 2004). É geralmente utilizado na sua forma nativa para fornecer aos alimentos maior consistência, textura e estabilidade necessárias. Já em suas formas modificadas, suas aplicações são ainda mais amplas, com possibilidade de propriedades que os amidos nativos não desempenham de forma desejada (MARKETS & MARKETS ANALYSIS, 2016).

A aplicação do amido no mercado de alimentação animal ainda é relativamente pequena, em comparação com os mercados de alimentação humana e não-alimentício, mas ainda assim tem sua importância. Enquanto amidos modificados e nativos são usados como espessantes e aglutinantes na alimentação animal, outros derivados de amido atuam como fonte de fibra e como colorantes e adoçantes em alimentos destinados a animais de estimação (MARKETS & MARKETS ANALYSIS, 2016).

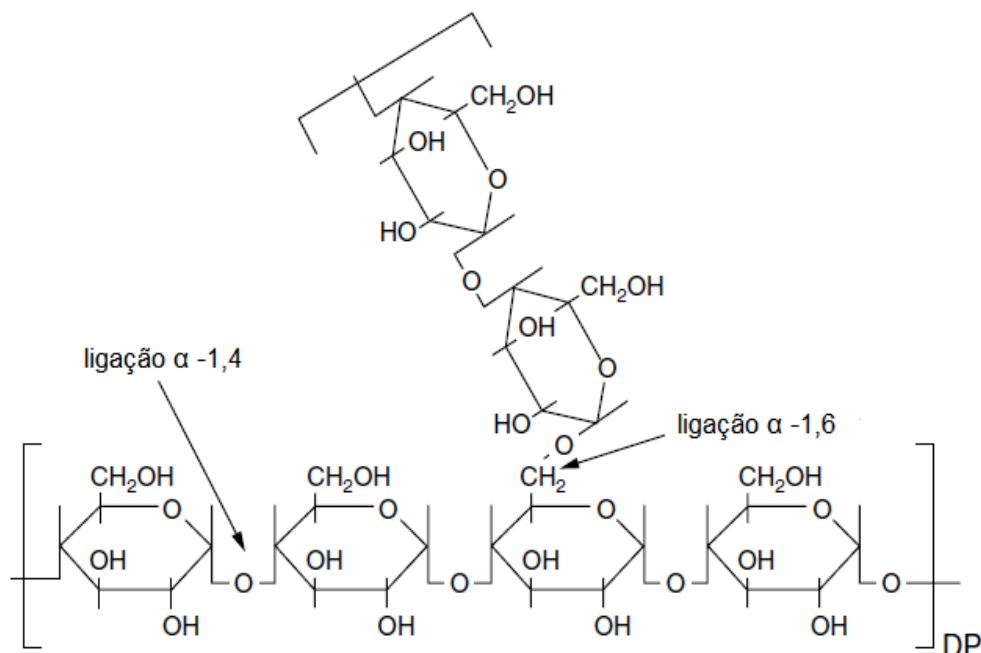
Além das indústrias de alimentos e rações, o amido e seus derivados encontram aplicação em outras indústrias, como papel, farmacêutica, têxtil, cosmética, mineração e perfuração, construção e produtos químicos (MARKETS & MARKETS ANALYSIS, 2016).

#### 4.2. MORFOLOGIA, ESTRUTURA QUÍMICA E ORGANIZAÇÃO ESTRUTURAL

O amido encontra-se nas plantas sob a forma de grânulos (DENARDIN e DA SILVA, 2009; ALCÁZAR-ALAY e MEIRELES, 2015). A grande maioria dos grânulos de amido, independentemente da fonte ou tecido da planta, contém dois tipos principais e muito importantes de polissacarídeos: a amilose e a amilopectina (ELIASSON, 2004).

A amilose e a amilopectina são polímeros de glicose formados através de síntese por desidratação, ou seja, a cada ligação de duas glicoses, ocorre a “liberação” de uma molécula de água (DENARDIN e DA SILVA, 2009; FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2015). Ambos são polímeros de  $\alpha$ -D-glicose ligados por ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4 e  $\alpha$ -1,6. Para que ocorram estas ligações, o carbono número 1 (C1) de uma molécula de D-glicopiranosose reage com o carbono número 4 (C4), ou com o carbono número 6 (C6) a partir de uma molécula de D-glicopiranosose adjacente (THOMAS e ATWELL, 1999), como mostrado na Figura 1.

**Figura 1 – Ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4 e  $\alpha$ -1,6 no amido**



Fonte: Cui (2005)

Apesar de tanto a amilose quanto a amilopectina serem constituídos por moléculas de glicose, os dois polímeros possuem algumas diferenças estruturais que resultam em significativas diferenças nas propriedades funcionais do amido (THOMAS e ATWELL, 1999). Algumas dessas diferenças estruturais estão descritas na Tabela 2.

**Tabela 2 – Características da amilose e da amilopectina**

Característica	Amilose	Amilopectina
Forma	Essencialmente linear	Ramificada
Ligações glicosídicas	$\alpha$ -1,4 (algumas $\alpha$ -1,6)	$\alpha$ -1,4 e $\alpha$ -1,6
Formação de Gel	Forma géis firmes	Não gelificante a suave

Fonte: Adaptado de Thomas e Atwell (1999)

Um ponto muito importante a ser considerado para a funcionalidade do amido é a proporção amilose-amilopectina em um determinado tipo de amido, que podem variar de acordo com a fonte botânica, variedades de uma mesma espécie e, até mesmo em uma mesma variedade, de acordo com o grau de maturação da planta. Atualmente, com o avanço tecnológico da biologia molecular, é possível obter amidos de várias fontes de plantas híbridas, como os amidos cerosos, que são virtualmente ausentes de amilose (99% amilopectina), bem como amidos com alto teor de amilose (até cerca de 85% de amilose para o amido de milho). Diferenças nessa proporção podem afetar a estrutura do grânulo de amido,

e também os perfis de gelatinização e formação de pasta e os atributos de textura (THOMAS e ATWELL, 1999; DENARDIN e DA SILVA, 2009).

O teor aproximado de amilose e amilopectina em diversas fontes de amidos é indicado na Tabela 3.

**Tabela 3 – Teor aproximado de amilose e amilopectina de alguns amidos**

Fonte de Amido	Amilose (%)	Amilopectina (%)
Milho	24 - 27	70
Arroz	15 - 18,5	79
Trigo	20 - 25	80
Mandioca	16,7 - 20	80
Batata-inglesa	22 - 25	75

Fonte: Scipioni (2011)

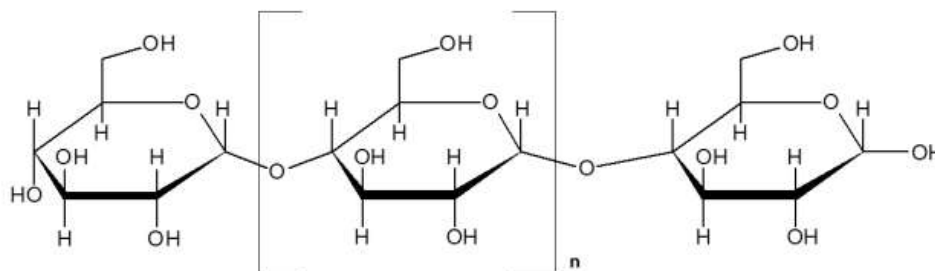
O amido de milho ceroso contém basicamente apenas moléculas de amilopectina, já o amido de milho com alto teor de amilose tem o teor de amilose alterado de 25% (teor normalmente encontrado no milho dentado) para 55-70%, podendo-se até alcançar níveis maiores (BEMILLER e WHISTLER, 2015).

#### 4.2.1. Amilose

A amilose está normalmente presente no grânulo de amido com cerca de 20-30%, e tem uma grande influência em suas propriedades (SMITH, 2001; WEBER, COLLARES-QUEIROZ e CHANG, 2009). Majoritariamente linear, o polímero consiste em cadeias longas de unidades de glicose ligadas a  $\alpha$ -1,4, porém a maioria das estruturas de amido contém também moléculas de amilose ligeiramente ramificadas, com a presença de ligações  $\alpha$ -1,6 (SMITH, 2001; ALCÁZAR-ALAY e MEIRELES, 2015).

Um modelo simplificado da estrutura de amilose é representado na Figura 2.

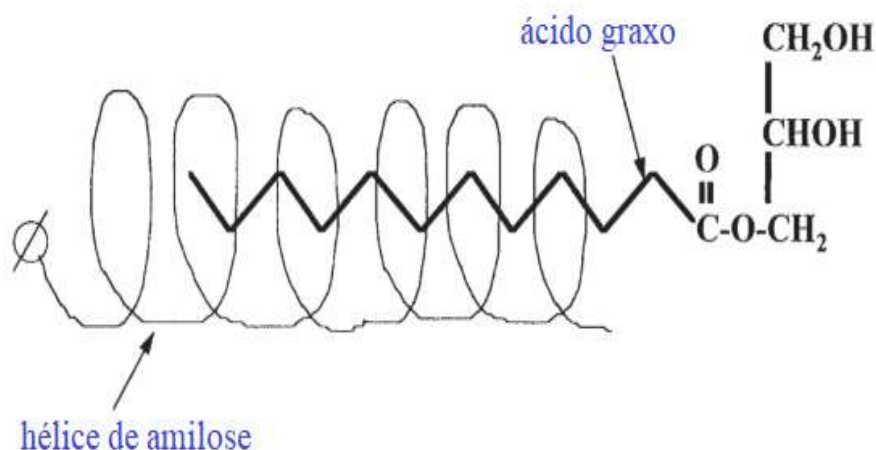
**Figura 2 – Ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4 da amilose**



Fonte: Ferreira e Almeida (2022)

Embora seja normalmente ilustrada como uma estrutura de cadeia linear, a amilose é, na verdade, helicoidal, presente na forma de complexos amilose-lipídios ou de amilose livre (DENARDIN e DA SILVA, 2009). O interior da hélice contém átomos de hidrogênio, sendo portanto hidrofóbico, fazendo com que a amilose forme um tipo de complexo com ácidos graxos livres, componentes de ácidos graxos de glicerídeos, alguns álcoois e iodo. Essa formação e estabilidade da estrutura dos complexos amilose com os lipídios são funções de vários fatores, incluindo temperatura, pH, contato e/ou tempo de mistura entre as moléculas, e a estrutura do ácido graxo ou glicerídeo (THOMAS e ATWELL, 1999). Um modelo desse complexo amilose-lipídio está representado na Figura 3.

**Figura 3 – Complexo amilose-lipídio: uma hélice de amilose é complexada com a cadeia de ácido graxo de um monoglicerídeo**



Fonte: Thomas e Atwell (1999)

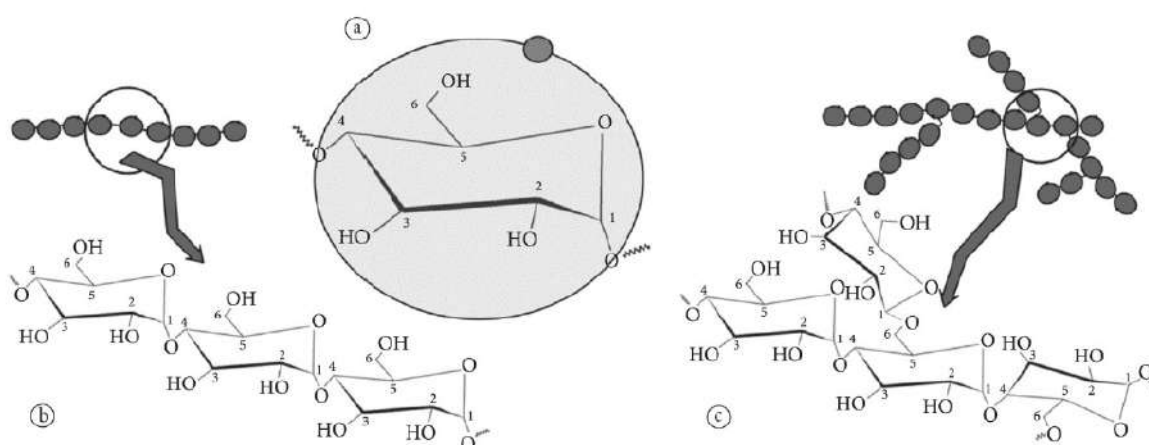
Grande parte das propriedades da amilose pode ser explicada justamente por essa habilidade em formar estruturas moleculares, devido a sua estrutura helicoidal (DENARDIN e DA SILVA, 2009). Por isso a quantidade de amilose presente no grânulo, que pode variar até

mesmo dentro da mesma variedade botânica, devido a diferenças na origem geográfica e nas condições de cultura, afeta significativamente as propriedades físico-químicas e funcionais do amido (ALCÁZAR-ALAY e MEIRELES, 2015). O amido de milho comum possui em torno de 25%, enquanto que o amido de milho rico em amilose, isolado de plantas híbridas de milho, contém mais de 40% de amilose (THOMAS e ATWELL, 1999). Além disso, existem também alguns cereais cerosos que possuem teores de amilose bem mais baixos do que a maioria dos grânulos de amido (DENARDIN e DA SILVA, 2009).

#### 4.2.2. Amilopectina

A amilopectina é a molécula predominante na maioria dos amidos (geralmente entre 70-80%), sendo considerada o polissacarídeo mais importante do amido, tanto do ponto de vista estrutural quanto funcional. Consiste em um polímero ramificado e muito maior do que a amilose, com cadeias lineares de glicose ligadas a  $\alpha$ -1,4, ligadas entre si por ligações  $\alpha$ -1,6 em alguns pontos. Estima-se que cerca de 4-6% das ligações dentro de uma molécula média de amilopectina são ligações do tipo  $\alpha$ -1,6 (THOMAS e ATWELL, 1999; SMITH, 2001; DENARDIN e DA SILVA, 2009). A Figura 4 apresenta as ilustrações das estruturas básicas das moléculas de glicose, amilose e amilopectina.

**Figura 4 – Representação estrutural básica de (a) unidades de glicose, (b) amilose e (c) amilopectina**

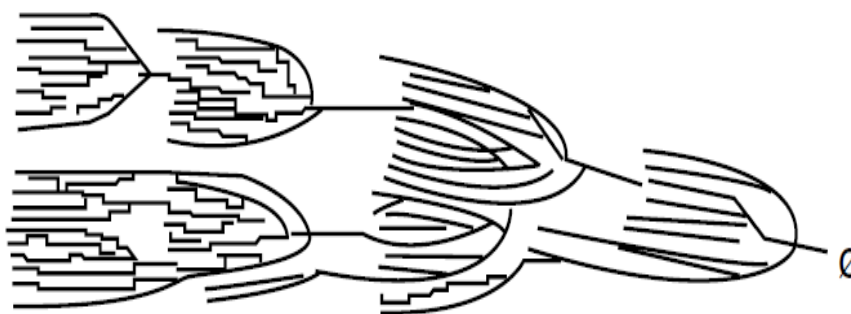


Fonte: Alcázar-Alay e Meireles (2015)

Smith (2001) destaca que a amilopectina possui muitas ramificações, formadas por ligações  $\alpha$ -1,6, que se interconectam com as cadeias principais da amilopectina, compostas

por ligações  $\alpha$ -1,4. Essas ramificações resultam em uma estrutura altamente ramificada e tridimensional, que é capaz de armazenar grandes quantidades de amido de forma compacta nos grânulos. Os pontos de ramificação da amilopectina estão dispostos de uma forma bem organizada, em que as cadeiras de aglomerados ocorrem em intervalos regulares ao longo do eixo da molécula, a cada cerca de 12 a 20 unidades de glicose. De acordo com Eliasson (2004), a formação de *clusters* (ou agregados), representado na Figura 5, de amido em solução é influenciada por vários fatores, como a temperatura, o pH e a concentração de eletrólitos na solução. A formação de *clusters* pode afetar as propriedades de gelificação e textura do amido em solução, bem como sua capacidade de retenção de água. Diferentes tipos de amido apresentam diferentes padrões e graus de formação de *clusters* em solução, o que é importante considerar em aplicações industriais.

**Figura 5 – Representação de uma molécula de amilopectina**



Fonte: Cui (2005)

Por sua natureza altamente ramificada, as propriedades da amilopectina diferem das da amilose, fazendo principalmente com que sua retrogradação seja retardada e a formação de gel atrasada ou até mesmo evitada. Por exemplo, as pastas de amido cerosos, amidos em que o teor de amilopectina é geralmente cerca de 95% ou mais, como no caso de certos cereais como milho e arroz cerosos, são consideradas não gelificantes, e requer alta energia para gelatinização por sua alta cristalinidade (THOMAS e ATWELL, 1999; ALCÁZAR-ALAY e MEIRELES, 2015).

#### **4.2.3. Outros componentes**

Apesar dos polímeros de amilose e amilopectina serem os principais componentes de todos os grânulos de amido, também há a presença de componentes minoritários, como

proteínas, lipídios, umidade e cinzas (sais minerais), presentes no grânulo em uma proporção de 0,5 a 2% (m/m) de não-carboidratos (THOMAS e ATWELL, 1999; CUI, 2005). A Tabela 4 apresenta a composição aproximada de lipídios e proteínas em alguns amidos.

**Tabela 4 – Teor aproximado de proteínas e lipídios de alguns amidos**

Propriedade	Milho dentado	Milho ceroso	Trigo	Batata	Tapioca
Proteínas (%)	0,35	0,25	0,4	0,1	0,1
Lipídios (%)	0,8	0,2	0,9	0,1	0,1

Fonte: Thomas e Atwell (1999)

Os amidos extraídos de tubérculos, como a batata, e de raízes, como a mandioca, apresentam uma porcentagem muito baixa de lipídios, em torno de 0,1%, e de proteínas (cerca de 0,1%). Já os amidos derivados de cereais, como milho, trigo, arroz e sorgo, contêm de 0,8 a 1,0% de lipídios e 0,2 a 0,4% de proteínas (MCDONAGH, 2012).

Apesar de serem minoritários, estes componentes também desempenham um papel importante nas propriedades físico-químicas do amido. Por exemplo, como já citado anteriormente, amidos de cereais contêm moléculas lipídicas em suas estruturas na forma de fosfolipídios e ácidos graxos livres, associados com a fração de amilose, e esse complexo amilose-lipídio aumenta a resistência do amido à hidrólise enzimática (ALCÁZAR-ALAY e MEIRELES, 2015; CUI, 2005).

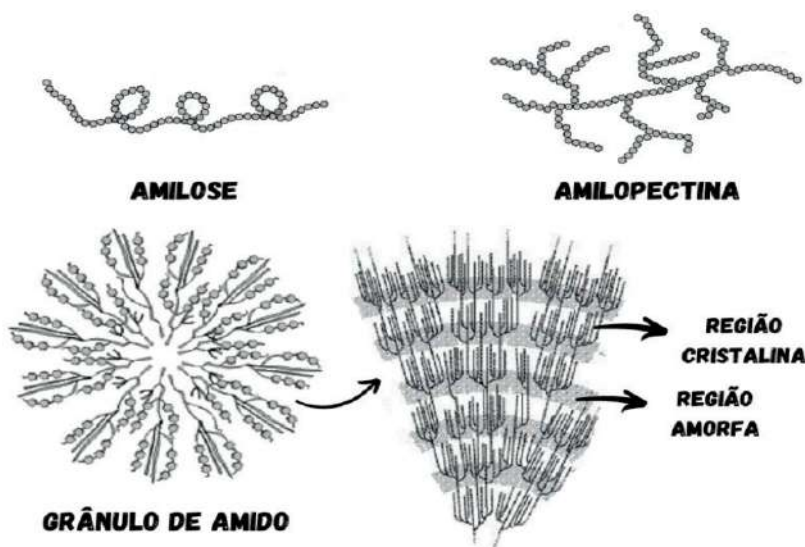
O amido também contém uma quantidade relativamente pequena (<0,4%) de minerais (cálcio, magnésio, fósforo, potássio e sódio). O fósforo também pode afetar significativamente as características funcionais, como no caso dos fosfatos monoéster associados à fração amilopectina por ligações covalentes, aumentando a claridade e a viscosidade da pasta, enquanto a presença de fosfolipídios resulta em pastas opacas e de baixa viscosidade (ALCÁZAR-ALAY e MEIRELES, 2015).

#### **4.2.4. Grânulo de Amido**

A amilose e a amilopectina não existem livres e isoladas na natureza, mas sim como componentes dos grânulos de amido, que, por sua vez, possuem estruturas complexas, formadas em função de variações em sua composição, estrutura de componentes e variação entre regiões amorfas e cristalinas (THOMAS e ATWELL, 1999; ALCÁZAR-ALAY e MEIRELES, 2015), como ilustrado na Figura 6. A cristalinidade dos grânulos de amido é

considerada baixa, em torno de 15% a 45%, e aumenta proporcionalmente à quantidade de amilopectina presente no amido (DOME, 2020).

**Figura 6 – Estrutura do grânulo de amido**



Fonte: Borba *et al.* (2021)

O formato dos grânulos de amido pode variar, podendo ser regular, como por exemplo, redondo, oval, poliédrico, ou até irregular. O tamanho da partícula também pode variar bastante, de diâmetros com menos de 1  $\mu\text{m}$  até mais de 100  $\mu\text{m}$  (DENARDIN e DA SILVA, 2009). Essas diferentes características dos grânulos são definidas de acordo com sua origem botânica, como mostrado na Tabela 5.

**Tabela 5 – Tamanho aproximado e forma dos grânulos de alguns amidos**

Propriedade	Milho dentado	Milho ceroso	Milho com alto teor de amilose	Trigo	Arroz	Batata	Tapioca
Fonte	Cereal	Cereal	Cereal	Cereal	Cereal	Tubérculo	Raiz
Diâmetro ( $\mu\text{m}$ )	5-30	5-30	5-30	1-45	1-3	5-100	4-35
Forma	Poligonal, redondo	Poligonal, redondo	Poligonal, redondo, irregular	Redondo, lenticular	Poligonal	Oval, esférico	Oval, truncado

Fonte: Thomas e Atwell (1999)

Sabe-se que há um padrão entre as regiões amorfas e cristalinas dentro do grânulo. As cadeias de amilopectina interagem tão fortemente entre si por conta de sua proximidade,

resultando em uma região bem ordenada, chamada de região cristalina. Por outro lado, a amilose associada a estes *clusters* de amilopectina bem organizados, compreende a região amorfa. Apesar de sua localização exata dentro do grânulo ainda não ser bem entendida, acredita-se que a amilose fique localizada entre as cadeias de amilopectina, aleatoriamente entre essas regiões amorfas e cristalinas (THOMAS e ATWELL, 1999; DENARDIN e DA SILVA, 2009; ALCÁZAR-ALAY e MEIRELES, 2015).

Apesar da estrutura dos polímeros de amilose e amilopectina no grânulo ser bastante organizada, quando aquecido em água, esse arranjo começa a perder essa estrutura organizada, podendo chegar até ao ponto de desintegração completa e liberação dos polímeros em solução aquosa. Essa perda do ordenamento interno pode ocorrer em diferentes temperaturas para os diferentes tipos de amido (THOMAS e ATWELL, 1999).

#### 4.3. PROPRIEDADES DO AMIDO

O amido possui diversas propriedades funcionais, úteis não só para aplicações alimentares, mas também não alimentares, sendo algumas destas exclusivas do amido devido à organização das cadeias de amilose e amilopectina (CUI, 2005).

##### 4.3.1. Nutricional

O amido é classificado em função da sua estrutura físico-química e também da sua susceptibilidade à hidrólise enzimática. Nesta última, é dividido em três categorias, de acordo com a velocidade na qual é digerido: amido rapidamente digerível, amido lentamente digerível e amido resistente (LOBO e SILVA, 2003). A principal diferença entre amidos digeríveis e resistentes é a acessibilidade do amido aos processos digestivos e, posteriormente, a facilidade com que as ligações glicosídicas contidas nas moléculas de amido podem ser hidrolisadas (THOMAS e ATWELL, 1999).

O amido rapidamente digerível causa um súbito aumento do nível de glicose no sangue após ingestão, convertendo-se em glicose em até 20 min (POLESI *et al.*, 2014). Por outro lado, o amido lentamente digerível é aquele em que ocorre a hidrólise completa no intestino delgado, porém em uma velocidade menor do que o rapidamente digerível, conferindo também mais benefícios fisiológicos. Como, por exemplo, o favorecimento da liberação completa e prolongada de glicose no sangue, característica de grande importância na prevenção de doenças como a diabetes (PAIVA, 2018).

Os amidos resistentes, ou seja, que não são digeridos pelo intestino, são aqueles protegidos por paredes celulares ou outras barreiras que impeçam a ação de enzimas digestivas e condições ácidas do trato digestivo (THOMAS e ATWELL, 1999; SANTANA e MEIRELES, 2014) e, podem ser classificados em cinco diferentes tipos, como mostra a Tabela 6.

**Tabela 6 – Classificações do amido resistente**

Categoria	Definição
Tipo I	Amido fisicamente inacessível para digestão enzimática
Tipo II	Amido granular nativo (encontrado em alimentos não cozidos, como bananas)
Tipo III	Amido retrogradado (se forma após o tratamento por calor e umidade; pode estar presente em alimentos como batatas cozidas)
Tipo IV	Amido quimicamente modificado
Tipo V	Complexo amilose-lipídeo

Fonte: Adaptado de Thomas e Atwell (1999) e Barretti (2020)

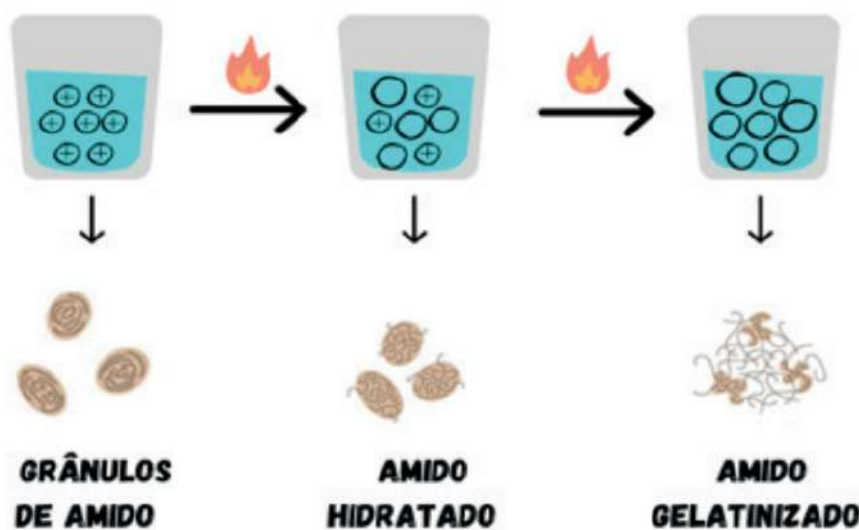
#### 4.3.2. Tecnológica

O amido possui diversas características físico-químicas e aplicações industriais, de acordo com suas diferentes fontes vegetais, que estão ligadas diretamente à relação da concentração de amilose/amilopectina, grau de cristalinidade, forma física e tipos de processamento (AZEVEDO *et al.*, 2018).

Os grânulos de amido são relativamente densos e insolúveis em água a temperatura ambiente, e se hidratam de forma reversível sob estas condições. O estágio de intumescimento dos grânulos de amido é a etapa inicial de todas as outras características da pasta. Inicialmente, o inchaço dos grânulos é reversível e limitado, aumentando seu volume em até 30%. Porém, quando aquecidos em água, incham irreversivelmente (ALCÁZAR-ALAY e MEIRELES, 2015; BORBA *et al.*, 2021).

Essa sua capacidade de gelatinização é justamente uma das propriedades mais importantes do amido, em que, na presença de excesso de água e calor, ocorre a destruição da cristalinidade e ordem molecular do grânulo, através do rompimento das ligações de hidrogênio (MALI *et al.*, 2010). Neste momento, ocorre a transformação irreversível do amido granular em uma pasta viscoelástica (AZEVEDO *et al.*, 2018). Uma representação gráfica da gelatinização do amido está ilustrada na Figura 7.

**Figura 7 – Representação da gelatinização do amido**



Fonte: Borba *et al.* (2021)

A gelatinização do amido é sucedida por um processo de formação de pasta. Os grânulos de amido, quando gelatinizados e expandidos, tornam-se bastante frágeis e suscetíveis a rupturas e, com o aquecimento contínuo em excesso de água e sob ação cisalhante, esses grânulos resultam na formação de uma substância viscosa conhecida como pasta de amido (FERREIRA e ALMEIDA, 2022). A gelatinização afeta as propriedades reológicas e a viscosidade da pasta e, quando os grânulos de amido incham e seus componentes estão em solução, suas propriedades mudam de uma simples suspensão de grânulos de amido para uma pasta de amido (ALCÁZAR-ALAY e MEIRELES, 2015).

À medida que esta pasta de amido é resfriada, inicia-se a gelificação, um processo que ocorre após a gelatinização do amido em que se forma um gel tridimensional de amido que retém água e outras moléculas, este processo é influenciado por fatores como a concentração de amido, temperatura e pH da solução. Após a formação do gel, inicia-se a retrogradação, processo em que as moléculas de amido começam a se reassociar e, sob condições favoráveis, uma estrutura cristalina volta novamente a se formar (MALI *et al.*, 2010). É observado nessa etapa um aumento da opacidade e a formação de um gel viscoelástico firme. A taxa em que esse fenômeno ocorre depende da natureza do amido, proporção e estrutura de amilose e amilopectina, pH, concentração do amido, presença de outros componentes e condições de tempo e temperatura (BORBA *et al.*, 2021).

#### 4.4. FONTES DE AMIDO

O amido está presente em todo o universo das plantas, mas a composição de seus grânulos varia bastante em cada tecido vegetal, sendo sua forma, tamanho, estrutura e composição únicos para cada espécie botânica (CUI, 2005; SMITH, 2001).

Amidos são encontrados em diversas fontes, como cereais (40 a 90%), raízes (30 a 70%), tubérculos (65 a 85%), leguminosas (25 a 50%) e alguns frutos, como bananas e mangas (cerca de 70%) (ALCÁZAR-ALAY e MEIRELES, 2015). Além disso, seu teor aumenta com o grau de refinamento nos produtos moídos; por exemplo, representa cerca de 70% em farinha de trigo tradicional e cerca de 60% na farinha de trigo integral, sendo a quantidade de amido inversamente proporcional à presença de celulose e hemicelulose (CUI, 2005).

##### 4.4.1. Milho

O milho é a principal fonte comercial de amido no mundo, como afirmado por Lopes da Silva e Stefansson (2003). Isso se deve ao fato de que o milho é uma cultura de grande escala, cultivada em todo o mundo para produção de alimentos e outros produtos. Os autores destacam que o amido de milho tem propriedades únicas que o tornam uma escolha popular na indústria alimentícia, como sua alta viscosidade e sua capacidade de formar géis estáveis. Além disso, o amido de milho é amplamente disponível e relativamente barato, tornando-se uma escolha econômica para muitas aplicações.

O milho é formado por quatro principais estruturas físicas: endosperma, farelo e gérmen (Figura 8), os quais diferem em composição química e também na organização dentro do grão (STRAZZI, 2015; PAES, 2006). De acordo com uma revisão realizada por Liu *et al.* (2021), o endosperma é rico em amido e proteína, enquanto o gérmen é uma fonte importante de lipídios, proteínas e fibras. O endosperma representa a maior parte do grão, aproximadamente 82,9 % do mesmo, sendo constituído principalmente de amido (87,6 %). Porém, outros componentes como lipídeos, proteínas, açúcares e cinzas também estão presentes em todo o grão de milho (STRAZZI, 2015).

**Figura 8 – Composição básica do grão de milho**

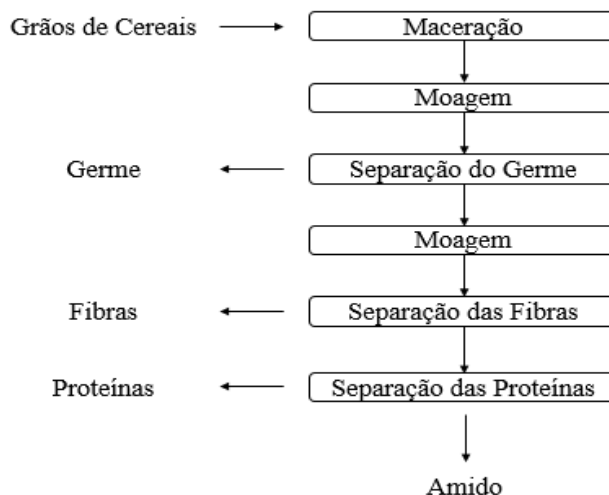


Fonte: Modificado de Strazzi (2015)

O endosperma pode ser classificado em dois tipos: farináceo e vítreo. No farináceo, os grânulos de amido são arredondados e estão dispersos, sem a presença de matriz proteica envolvendo as estruturas, fazendo com que os espaços vagos permitam a passagem da luz, conferindo opacidade. Por outro lado, no endosperma vítreo, a matriz proteica é densa, não permitindo espaços entre as estruturas, promovendo a reflexão da luz e resultando em aspecto vítreo ao endosperma (PAES, 2006).

#### **4.4.1.1. Processo de extração do amido de milho**

O amido pode ser extraído por diferentes processos, dependendo da fonte da planta e de seu uso final (CUI, 2005). No caso do milho, o grão possui duas formas principais de processamento: a moagem por via seca e moagem por via úmida, sendo esta última amplamente utilizada na produção de amido derivado de cereais, como no caso do amido de milho (STRAZZI, 2015; AGEITEC, 2019). Apesar do amido de milho representar o principal produto do processamento via úmida, outros produtos também são obtidos no processo, como óleo, fibra e proteína (STRAZZI, 2015). O principal objetivo da moagem úmida é separar os componentes constituintes do grão. Como mostrado no esquema da Figura 9, os principais passos do isolamento do amido de cereais incluem maceração, moagem e separação (CUI, 2005).

**Figura 9 – Principais etapas no isolamento de amido de grãos de cereais**

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de Cui (2005) e Strazzi (2015)

Na etapa de maceração, os componentes solúveis são extraídos do grão e geralmente envolve o uso de uma solução aquosa de dióxido de enxofre e ácido lático, a determinado pH e temperatura, por certos períodos de tempo. Os principais objetivos dessa etapa são afrouxar os grânulos na estrutura celular compactada, isolar o amido com danos mínimos e máxima pureza e reduzir ou inibir a atividade de microrganismos indesejáveis (CUI, 2005).

Posteriormente, o grão amolecido é submetido a um processo de moagem grossa e separação do gérmen, com extração e refino do óleo em sequência. O material fibroso é separado por filtração. Depois, o amido e a proteína são separados por diferença de densidade entre eles, pelo uso de centrífugas ou hidrociclones (STRAZZI, 2015). O amido úmido é então seco ou modificado para futuras aplicações (CUI, 2005). O amido nativo e os xaropes de glicose e maltose são os principais produtos obtidos na moagem por via úmida (STRAZZI, 2015), sendo o amido o mais representativo, como mostrado na Tabela 7.

Tabela 7 – Rendimento médio na moagem de milho por via úmida

Produto	Rendimento Médio
Amido	68%
Solúveis	8%
Fibra	10%
Proteína	6%
Gérmen	8%

Fonte: Strazzi (2015)

#### 4.5. MODIFICAÇÃO DO AMIDO

Os amidos nativos são utilizados como ingredientes no preparo de diferentes produtos, porém, sabe-se que sua utilização direta é limitada, por conta de sua instabilidade em relação a variações de temperatura, pH e forças de cisalhamento (ALCÁZAR-ALAY e MEIRELES, 2015; SILVA, 2008). Por isso, modificações físicas, químicas e/ou bioquímicas dos amidos são frequentemente utilizadas para alterar suas propriedades e ampliar sua gama de aplicações (LOBO e SILVA, 2003).

Os amidos nativos geralmente não possuem a diversidade necessária para atender às demandas das indústrias. Portanto, é comum que esses amidos passem por um processo de modificação a fim de adquirir propriedades específicas (CEREDA *et al.*, 2003). Para a obtenção de propriedades tecnológicas desejáveis são realizadas as modificações, em que os grupos hidroxila e as ligações glicosídicas presentes na estrutura do amido são modificados de diversas formas (BORBA *et al.*, 2021).

Essas modificações podem ocorrer com diversas finalidades, como o desenvolvimento de propriedades para modificar características de cozimento; para diminuir a retrogradação e a tendência das pastas em formarem géis; para aumentar a estabilidade das pastas ao resfriamento e descongelamento; para melhorar a textura das pastas ou géis e a formação de filmes; para adicionar grupamentos hidrofóbicos e introduzir capacidade emulsificante; entre outras (SILVA *et al.*, 2006; ALCÁZAR-ALAY e MEIRELES, 2015).

As modificações do amido podem ser obtidas por processos físicos, químicos e/ou enzimáticos. Os métodos físicos, por exemplo, envolvem o uso de calor e umidade, por meio de tratamentos térmicos e/ou exposição a radiações, enquanto que as modificações químicas introduzem grupos funcionais para alterar a estrutura das macromoléculas, por meio de reações de derivatização (por exemplo, eterificação, esterificação, reticulação) ou reações de ruptura (por exemplo, hidrólise e oxidação) (SILVA *et al.*, 2006; ALCÁZAR-ALAY e MEIRELES, 2015). Já as modificações enzimáticas, por meio da aplicação de enzimas, promovem a hidrólise das ligações glicosídicas nos polímeros de amido, como uma opção mais segura e sustentável ao consumo final (ELIASSON, 2004). A Tabela 8 mostra algumas aplicações dos amidos modificados na indústria alimentícia.

**Tabela 8 – Aplicações dos amidos modificados na indústria de alimentos**

Indústria	Função do Amido	Tipo de Modificação	Características não desejadas do amido nativo
Sorvetes	Espessantes	Oxidação, Pré-gelatinização, Fosfatação	Não resistem a baixas temperaturas, pois retrogradam mais facilmente, gerando sinérese
Pudins e Sobremesas	Espessantes	Ligação Cruzada e Pré-gelatinização	Após cozido, não apresenta a textura suave recomendada
Extrusados		Ligação Cruzada e Pré-gelatinização	Não resistem a temperaturas altas e corte. A quebra dos grânulos deixa a massa grudada e favorecem a perda da capacidade de retenção de água
Balas e Caramelos	Agentes Ligantes	Ácidos Modificados e Pré-gelatinizados	Viscosidade a quente muito elevada quando utilizado com altos teores e sólidos
Sopas e Conservantes	Espessantes	Oxidação e Ligação Cruzada	Não retém alta umidade após esterilização
Molhos	Espessantes	Ligação Cruzada	Resistência à alta acidez e à ação mecânica durante a homogeneização do molho

Fonte: Alexander (1996)

Nos tópicos a seguir, iremos apresentar os tipos de modificações e suas principais características para aplicação final do amido.

#### 4.5.1. Modificações físicas

A modificação física do amido é considerado um processo simples, barato e seguro, tendo como objetivo principal melhorar sua solubilidade em água e reduzir o tamanho dos grânulos (ALCÁZAR-ALAY e MEIRELES, 2015). Seus resultados incluem variações no tamanho da partícula, índice de solubilidade e propriedades funcionais, como absorção de água, gelificação e capacidade de inchamento (BORBA *et al.*, 2021).

Os métodos físicos para tratar os grânulos nativos incluem diferentes combinações dos fatores de temperatura, umidade, pressão, cisalhamento e irradiação. Essas técnicas são preferidas principalmente quando o produto é destinado ao consumo humano, já que não

requerem agentes químicos ou biológicos, permitindo classificá-lo como um ingrediente ou produto natural (ALCÁZAR-ALAY e MEIRELES, 2015; BORBA *et al.*, 2021).

#### 4.5.1.1. Pré-gelatinização

Um dos resultados do processo de modificação física é o amido pré-gelatinizado, chamado de pré-gél ou amido instantâneo, caracterizando-se pelo amido que passou por um processo de cozimento até a gelatinização completa e um processo de secagem simultâneo, ou subsequente, obtendo como produto final um pó ou pequenos aglomerados secos (THOMAS e ATWELL, 1999; ALCÁZAR-ALAY e MEIRELES, 2015).

Uma das propriedades mais importantes do amido pré-gelatinizado é sua capacidade de hidratação e inchamento instantâneo quando em contato com água em temperatura ambiente (CUI, 2005). O grânulo de amido atua como uma esponja e absorve a água imediatamente. Além disso, os perfis de viscosidade dos pré-géis podem variar dependendo do tipo de amido utilizado (ALCÁZAR-ALAY e MEIRELES, 2015).

Dentre os amidos fisicamente modificados, o pré-gel é amplamente utilizado como espessante em diversos produtos instantâneos, como alimentos para bebês, sopas e sobremesas, devido à sua capacidade de formar pastas e se dissolver em água fria. Além disso, é empregado em alimentos sensíveis ao calor, pois não necessita de aquecimento para formar a pasta (ALCÁZAR-ALAY e MEIRELES, 2015).

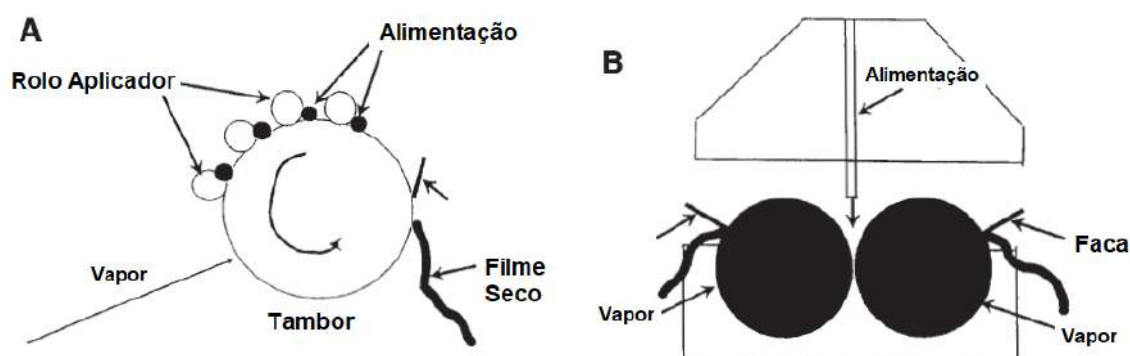
O estudo realizado por Fiorda *et al.* (2013) abordou as propriedades funcionais e tecnológicas de farinhas pré-gelatinizadas de bagaço e fécula de mandioca. A pesquisa avaliou características como capacidade de absorção de água e viscosidade dessas farinhas. Os resultados indicaram que as farinhas pré-gelatinizadas de bagaço e fécula de mandioca apresentaram boa capacidade de absorção de água, sendo adequadas para a formação de massas e produtos alimentícios. Além disso, a viscosidade dessas farinhas variou, sendo a fécula de mandioca pré-gelatinizada a que mostrou maior viscosidade.

Os métodos utilizados na pré-gelatinização do amido incluem secagem em tambor, secagem por *spray drying*, processamento à base de solvente e extrusão (THOMAS e ATWELL, 1999; ALCÁZAR-ALAY e MEIRELES, 2015).

A secagem em tambor é o método mais comum para produção de amido pré-gél, podendo ser realizada em secadores de tambor simples ou duplo (Figura 10). No processo em secador simples, uma pasta de amido de concentração entre 30-40% é alimentada diretamente entre o rolo aplicador e o tambor aquecido. Já no secador duplo, a pasta é alimentada nas

superfícies aquecidas entre os dois tambores. O amido cozido e seco é removido dos tambores, utilizando uma lâmina de faca, e moído em partículas de tamanho desejado. Geralmente, o secador duplo apresenta menor cisalhamento mecânico e produz filmes mais finos. O amido oriundo do secador de tambor duplo tende a apresentar uma viscosidade ligeiramente superior quando comparada com a do secador de tambor simples (THOMAS e ATWELL, 1999).

**Figura 10 – Secagem em tambor, A: secador de tambor simples e B: secador de tambor duplo**



Fonte: Thomas e Atwell (1999)

Como o amido pré-gel é seco em tambor e moído após a secagem, as propriedades de dispersibilidade e textura podem ser manipuladas controlando o processo de moagem e o tamanho de partícula resultante. Geralmente, amido pré-gél com menor granulometria apresentam textura mais suave, porém de dispersão mais difícil. Já os mais grossos apresentam uma textura mais polposa, porém de melhor dispersão (THOMAS e ATWELL, 1999).

No método de secagem por *spray drying*, uma pasta de amido entra através de um bico muito fino e é dispersa sob a forma de pequenas gotículas em uma câmara, ao mesmo tempo em que um vapor quente é injetado na câmara para cozinhar o amido (CUI, 2005). Este método é particularmente útil na produção de um amido uniformemente gelatinizado, com danos mínimos de cisalhamento e calor. Entretanto, não é um método amplamente utilizado devido ao seu alto custo (THOMAS e ATWELL, 1999; CUI, 2005).

O processo de pré-gelatinização também pode ser realizado por meio de extrusão, que combina várias operações unitárias, incluindo mistura, cisalhamento, aquecimento, refrigeração, modelagem e conformação (THOMAS e ATWELL, 1999; CUI, 2005). A extrusão termoplástica é definida como um processo a alta temperatura e em curto período de

tempo (HTST - *high temperatures and short time*), em que os grânulos de amido são submetidos a forças de cisalhamento mecânicas em um ambiente de umidade relativamente baixa, sendo comprimido em uma pasta densa e compacta. Posteriormente, o amido extrusado é seco e moído ao tamanho de partícula desejado. A temperatura na extrusora pode chegar a 200 °C e o tempo de permanência na mesma é curto (de 10 a 60 s) (THOMAS e ATWELL, 1999; ALCÁZAR-ALAY e MEIRELES, 2015).

A interação sinérgica das condições de calor, pressão e força de cisalhamento durante a extrusão desencadeia a gelatinização parcial do amido, resultando em uma estrutura pré-gelatinizada. Essa estrutura é caracterizada pela solubilização e expansão parcial dos grânulos de amido, promovendo sua dispersão na matriz proteica. A pré-gelatinização confere ao amido uma maior solubilidade e facilita sua reidratação em água, além de conferir propriedades funcionais específicas, como espessamento, estabilidade de viscosidade e capacidade de formação de géis (GUY, 2001).

Por causa do alto rendimento e consumo de energia relativamente baixo, o cozimento por extrusão é considerado um processo de baixo custo para a produção de pré-géis. Entretanto, a viscosidade dos pré-géis obtidos nesse processo não é muito alta e a qualidade dos mesmos é inferior ao dos métodos anteriormente citados (THOMAS e ATWELL, 1999).

Um estudo realizado por Clerici e El-Dash (2008) revelou que através do processo de extrusão termoplástica, foi possível obter farinhas de arroz com propriedades desejáveis, como gelatinização parcial do amido, expansão e solubilização dos grânulos de amido. Essas características conferiram às farinhas pré-gelatinizadas uma maior solubilidade em água, facilitando sua reidratação e uso em diversas aplicações na indústria de alimentos. Além disso, essas farinhas apresentaram propriedades funcionais específicas, como capacidade de espessamento, estabilidade de viscosidade e formação de géis.

O processo de pré-gelatinização também pode ser feito pelo aquecimento de cerca de 20 % de amido em álcool, como etanol, contendo 20-30 % de água, a aproximadamente 160-175 °C por 2-5 min. Diferentemente dos métodos por secagem em tambor e extrusão, no processamento por solventes, a integridade granular é mantida, porém ocorre a perda da birrefringência do mesmo (THOMAS e ATWELL, 1999).

#### 4.5.1.2. Modificações hidrotérmicas

A modificação hidrotérmica do amido pelos processos de *annealing* e *heat-moisture* envolve alterações nas propriedades físicas e químicas do amido, sem que haja a destruição da estrutura do grânulo ou perda de sua birrefringência (ALCÁZAR-ALAY e MEIRELES, 2015).

##### 4.5.1.2.1. Annealing

No processo de *annealing* (em tradução livre, recozimento), os parâmetros de umidade, temperatura e tempo de aquecimento determinam os resultados obtidos. Neste tratamento, o amido é aquecido em excesso de água (> 60% m/m) ou em uma quantidade intermediária de água (40% a 55% m/m), com o objetivo de modificar as propriedades físico-químicas do amido sem destruir a estrutura do grânulo (CUI, 2005; ALCÁZAR-ALAY e MEIRELES, 2015). O aquecimento é feito a uma temperatura entre a temperatura de transição vítrea e a temperatura de gelatinização, durante um certo período de tempo, com o objetivo de aumentar a mobilidade molecular (THOMAS e ATWELL, 1999; CUI, 2005; ALCÁZAR-ALAY e MEIRELES, 2015).

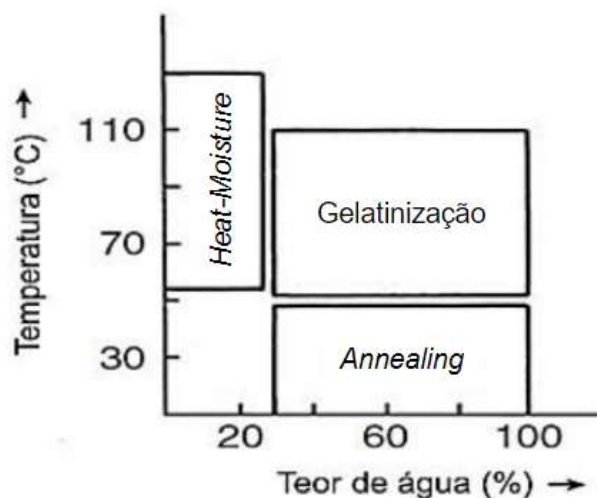
O processo de *annealing* modifica as propriedades físico-químicas do amido, mantendo-se sua estrutura granular. Como resultado, leva ao aumento das temperaturas de gelatinização do amido e ao estreitamento da faixa de gelatinização e reduz seu poder de inchamento (DEBON e TESTER, 1999).

Há outras formas de se obter amido com características superiores ao amido anelado, por meio de processos químicos de menor custo e maior seletividade. Entretanto, como forma de otimizar e aumentar a eficiência, o *annealing* pode ocorrer como etapa de um processo, como na maceração usada na moagem via úmida do milho (CUI, 2005).

De acordo com Domenez (2016), as alterações nos grânulos de amido envolve a fusão, modificação e recristalização dos cristais, resultando em cristais maiores e mais uniformes. Isso leva a novas interações intermoleculares, reduzindo as variações e modificando a região não cristalina do grânulo.

A Figura 11 correlaciona as variáveis temperatura e umidade para três diferentes tipos de modificações: gelatinização, *heat-moisture* e *annealing*.

**Figura 11 – Modificações físicas da estrutura dos grânulos de amido**



Fonte: BEMILLER (1997)

#### 4.5.1.2.2. Heat-moisture

Já no tratamento *heat-moisture* (em tradução livre, calor-umidade), o amido é aquecido a uma temperatura acima de sua temperatura de gelatinização, porém na presença de uma quantidade de água insuficiente para que ocorra a gelatinização (geralmente inferior a 35 % m/m). O tempo de processo pode variar de 15 min até 16 h (THOMAS e ATWELL, 1999; ALCÁZAR-ALAY e MEIRELES, 2015).

Os efeitos desse tratamento nas propriedades dos grânulos de amido incluem importantes alterações na estrutura cristalina, capacidade de inchamento, gelatinização, propriedades da pasta e retrogradação. Além disso, o tratamento *heat-moisture* também é usado como pré-tratamento, devido à modificação estrutural nas regiões amorfa e cristalina dos grânulos, tornando-os suscetíveis a modificações químicas e enzimáticas e à hidrólise ácida (ALCÁZAR-ALAY e MEIRELES, 2015).

Esse tipo de tratamento normalmente gera um aumento da temperatura de gelatinização, além de ampliar a faixa de temperatura de gelatinização e diminuir o poder de inchamento do grânulo (Tabela 9) (CUI, 2005).

**Tabela 9 – Parâmetros das endotermas de gelatinização de amidos nativos e tratados pelo processo de *heat-moisture***

Fonte	Tratamento	T <sub>o</sub> (°C)	T <sub>p</sub> (°C)	T <sub>c</sub> (°C)	T <sub>c</sub> – T <sub>o</sub> (°C)	H (cal/g)
Trigo	Nativo	56	61	67	11	2.3
	HMT	65	70	78	13	2.3
Aveia	Nativo	60	64	70	10	2.5
	HMT	64	75	80	16	2.5
Lentilha	Nativo	55	61	68	13	1.8
	HMT	64	71	78	14	1.8
Batata	Nativo	54	59	64	10	3.8
	HMT	65	71	80	15	2.7
Inhame	Nativo	72	77	83	11	5.0
	HMT	77	84	90	13	3.6
Milho Normal	Nativo	59	66	73	14	3.4
	HMT	62	71	82	20	3.4
Milho Ceroso	Nativo	65	73	82	17	3.8
	HMT	67	74	84	17	3.8

\* HMT: tratamento de *heat-moisture* a 100 ° C, 16h e 30% de umidade. T<sub>o</sub>, T<sub>p</sub> e T<sub>c</sub> indicam a temperatura do início, pico e conclusão da gelatinização. H: entalpia de gelatinização.  
Fonte: Adaptado de Cui (2005)

#### 4.5.1.2.3. Modificações físicas não-térmicas

Técnicas não térmicas de modificação do amido não utilizam fontes de calor intencional, e envolvem o uso de tratamentos de alta pressão, ultrassom, campo elétrico pulsado, micronização, entre outros (BORBA *et al.*, 2021).

Na técnica de alta pressão, é realizada a hidrólise das ligações não covalentes, resultando em alterações estruturais do amido, e geralmente, como resultado, restringe a capacidade de inchamento do grânulo e, conseqüentemente, diminui a viscosidade da pasta. Já no ultrassom ocorre a propagação de ondas ultrassom, que atuam principalmente na região amorfa do grânulo, resultando em um amido de superfície porosa (ÁLCAZAR-ALAY e MEIRELES, 2015; BORBA *et al.*, 2021).

Singh *et al.*(2020), Li *et al.* (2016) e Zhang e Harper (2017) discutem várias técnicas de modificação física não-térmica do amido, como a modificação mecânica, a modificação enzimática, a modificação por ultrassom e a modificação por radiação. Eles revisam as vantagens e desvantagens dessas técnicas e suas aplicações em alimentos e outras áreas.

A tecnologia do campo elétrico pulsado tem vantagens como processamento em baixas temperaturas, tempo de tratamento rápido, e é bastante aplicado para pasteurização não térmica de alimentos líquidos. No estudo de Sjöö e Nilsson (2017), os autores avaliaram o

efeito da tecnologia de campo elétrico na modificação do amido de batata. Os resultados do estudo mostraram alterações significativas nas propriedades físicas e funcionais do amido de batata. Os autores observaram que o campo elétrico reduziu a cristalinidade do amido de batata modificado, o que pode melhorar sua digestibilidade e solubilidade. Além disso, o campo elétrico diminuiu o seu tamanho das partículas, o que pode afetar a textura e a aparência de produtos alimentares que contenham esse ingrediente; bem como, resultou em um amido modificado com maior estabilidade térmica, quando comparado ao amido de batata nativo, sugerindo que essa técnica pode ser uma alternativa eficaz aos métodos tradicionais de modificação térmica do amido.

Outro processo utilizado é a radiação por micro-ondas, sendo os parâmetros mais importantes a umidade e a temperatura, que influenciam as propriedades dielétricas do amido. O resultado é o rearranjo das moléculas do amido, promovendo alterações na solubilidade, capacidade de inchamento do grânulo, nas propriedades reológicas, temperaturas e entalpia de gelatinização. A radiação pode induzir a hidrólise de ligações de glicose no amido, resultando em uma redução do peso molecular e no aumento da solubilidade. Além disso, a radiação pode afetar a estrutura cristalina do amido, resultando em uma redução do tamanho das partículas e uma melhoria na capacidade de gelificação. No entanto, a radiação pode levar à formação de produtos tóxicos, como furanos e acrilamida, que podem ser prejudiciais à saúde (ÁLCAZAR-ALAY e MEIRELES, 2015).

#### **4.5.2. Modificações químicas**

O tipo de modificação mais comum é o tratamento de amidos nativos com pequenas quantidades de reagentes químicos, por meio da inserção de um grupo funcional à cadeia de amido, como carboxil, acetil, hidroxipropil, entre outros (FERREIRA e ALMEIDA, 2022). A química envolvida nesse tipo de modificação é bastante direta e envolve principalmente reações associadas aos grupos hidroxila do polímero de amido (THOMAS e ATWELL, 1999).

As modificações químicas mais comuns incluem oxidação, esterificação e eterificação e, no geral, estas resultam em maior estabilidade molecular com relação ao cisalhamento mecânico, hidrólise ácida e a alta temperatura; obtenção do teor de viscosidade desejado; aumento da interação com íons, substâncias eletronegativas ou eletropositivas; e redução da taxa de retrogradação do amido não modificado (CUI, 2005). A inserção de novos grupos funcionais alteram as propriedades físico-químicas e funcionais dos amidos, como os

comportamentos de gelatinização, formação de pasta, gelificação e retrogradação (FERREIRA e ALMEIDA, 2022).

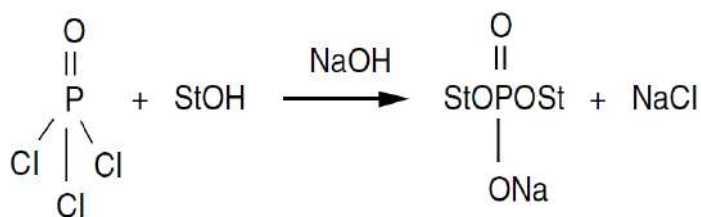
A modificação química pode ser realizada em três diferentes formas: amido em suspensão, pastoso ou em forma sólida. Em suspensão, o amido é disperso em água e a reação química é realizada em meio aquoso até que as propriedades desejadas sejam alcançadas, e então a suspensão é filtrada, lavada e seca. Em forma de pasta, onde o amido é gelatinizado com produtos químicos em uma pequena quantidade de água, a pasta é agitada e, quando a reação é concluída, o amido é seco. E, por último, no estado sólido, onde o amido é hidratado com uma solução de um reagente, a mistura é seca e finalmente aquecida em alta temperatura ( $\geq 100^{\circ}\text{C}$ ) para que a reação química desejada ocorra (CUI, 2005). Em sua maioria, os casos de modificações químicas ocorrem em meio aquoso, em que uma suspensão (normalmente 30-45% m/m) é tratada com um reagente químico sob diferentes condições de agitação, temperatura e pH. A reação é completa e o amido é levado ao pH desejado por ação de um agente neutralizador e posteriormente purificado, por meio de lavagem em água, e seco (THOMAS e ATWELL, 1999).

#### **4.5.2.1. *Crosslinking***

O *crosslinking* (em tradução livre, reticulação) é uma das técnicas mais comuns de modificação química do amido. Ela consiste na derivatização do amido usando um reagente químico capaz de reagir com dois ou mais grupos hidroxila diferentes da mesma cadeia polimérica ou de cadeias poliméricas distintas do amido. O processo ocorre quando as cadeias lineares, ou ramificadas, formam ligações covalentes entre si, que atuam como "pontos de solda" para reforçar a estrutura granular. Os reagentes utilizados formam ligações éter ou éster com grupos hidroxila nas moléculas de amido (THOMAS e ATWELL, 1999; ALCÁZAR-ALAY e MEIRELES, 2015).

Os reagentes mais utilizados para formação de amidos reticulados são fosfatos e glicerol, porém o ácido cítrico é empregado, já que também possui capacidade de reação com o amido por ser constituído de três grupos carboxilas (BORBA *et al.*, 2021). O processo mais conhecido de *cross-linking* é aquele que tem como resultado o fosfato de amido, também chamado de diéster de fosfato de amido, que ocorre quando grânulos de amido reagem com cloreto de fosforila ( $\text{POCl}_3$ , também conhecido como oxiclreto de fósforo), como ilustrado na Figura 12 (BEMILLER, 2018).

**Figura 12 – *Crosslinking* do amido por reação química com oxicloreto de fósforo**



Fonte: Thomas e Atwell (1999)

Nesse processo, as ligações do amido são reforçadas pelas ligações cruzadas em posições aleatórias, formando “pontos de solda” (BORBA *et al.*, 2021). Dessa forma, o *crosslinking* controla o inchamento granular e produz um amido que pode tolerar alta temperatura, alto cisalhamento e condições ácidas. O amido reticulado, às vezes, é chamado de amido "inibido", já que o processo tende a inibir o inchaço granular durante o cozimento e, em altos níveis de reticulação, as ligações impedem completamente o grânulo de inchar (THOMAS e ATWELL, 1999; CUI, 2005).

A literatura mostra que a modificação *crosslinking* resulta em um amido mais estável, resistente e viscoso. A estabilidade térmica do amido *crosslinking* é significativamente melhorada, tornando-o menos suscetível à degradação térmica durante o processamento, tornando-o mais adequado para aplicações que exigem alta resistência, como em adesivos ou papel (ABDEL-AAL & EL-SHAMI, 2002).

A modificação *crosslinking* também aumenta a viscosidade do amido, tornando-o mais adequado para uso como espessante e estabilizante em alimentos, como pudins, molhos e sobremesas (KAUR *et al.*, 2017). Além disso, a capacidade de retenção de água do amido *crosslinking* é maior do que a do amido não modificado, tornando-o mais útil em aplicações que exigem maior hidratação, como em produtos de panificação e produtos cárneos (KAUR & KAUR, 2018).

#### 4.5.2.2. *Substituição (Estabilização)*

A modificação química do amido por este processo consiste na substituição do hidrogênio das hidroxilas das cadeias de amido por ésteres ou éteres (BORBA *et al.*, 2021). Também conhecida como estabilização, os amidos resultantes são chamados de amidos estabilizados ou substituídos (BEMILLER, 2018). Diversos derivados de ácidos orgânicos podem ser utilizados para a realização dessa modificação, como anidridos e cloretos, além dos derivados de ácidos inorgânicos, como sulfatos e fosfatos (BORBA *et al.*, 2021).

Alguns exemplos de reações de substituição química do amido são as reações de esterificação, como succinilação, acetilação e fosforilação, e eterificação, como hidroxipropilação (ELIASSON, 2004).

O processo de substituição química atua de forma a “afrouxar” a estrutura polimérica do grânulo, tornando-o mais suscetível ao cozimento. A eficácia da estabilização depende do número e da natureza do grupo substituto (THOMAS e ATWELL, 1999; ELIASSON, 2004). De forma geral, os efeitos do processo são a diminuição da temperatura de gelatinização, o aumento do pico de viscosidade, uma diminuição na retrogradação durante o resfriamento da pasta, especialmente em amido que possui amilose, e uma pasta estável que é resistente à retrogradação durante o armazenamento (THOMAS e ATWELL, 1999).

As modificações na estrutura do amido que ocorrem durante a substituição ou estabilização são variadas e podem incluir aumento da viscosidade, diminuição da retrogradação, aumento da resistência ao cisalhamento e aumento da estabilidade térmica (YIN *et al.*, 2017; LIN *et al.*, 2018).

#### 4.5.2.2.1. Esterificação

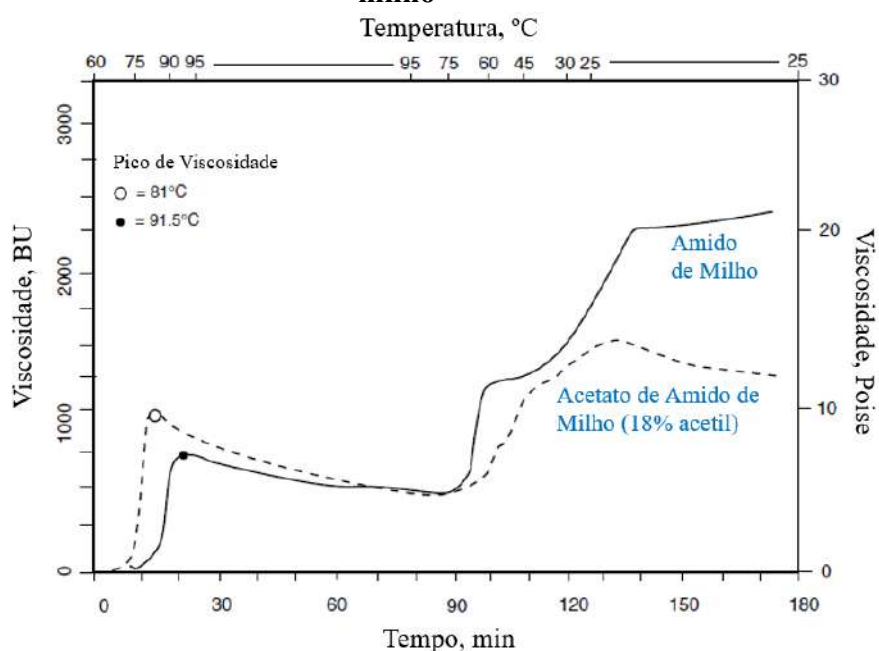
O éster de amido é um grupo de amidos modificados nos quais alguns grupos hidroxila foram substituídos por grupos éster, promovendo a formação de ligações ésteres entre grupo um grupamento álcool e o ácido carboxílico (BORBA *et al.*, 2021). Suas formas mais comuns são acetatos de amido, fosfato de amido e succinato de amido (CUI, 2005). O grau de substituição é uma medida utilizada para avaliar a extensão da modificação no amido. No caso da esterificação, ele é o número de grupos éster introduzidos na reação por unidades de glicose, podendo variar de 0 (zero) a 3 (três) (FREITAS, 2021).

A esterificação do amido, também conhecida por acetilação, é um dos métodos mais comuns de estabilização na prática comercial e uma das modificações químicas mais conhecidas pelos pesquisadores. A reação de acetilação consiste na substituição dos grupos hidroxila por grupos acetil, formando o acetato de amido (FREITAS, 2021). A introdução destes grupos reduz a resistência das ligações entre as moléculas de amido e aumenta a capacidade de inchamento e solubilidade do amido acetilado, em comparação com o amido nativo (ALCÁZAR-ALAY e MEIRELES, 2015).

O amido acetilado é tipicamente preparado pela adição lenta de anidrido acético ou acetato de vinila a uma pasta de amido em pH 7,5-9,0. A pasta é neutralizada e lavada após a

conclusão da reação, e então o amido é recuperado como um pó por centrifugação e secagem. Os efeitos da substituição química no perfil de viscosidade do amido incluem: redução da temperatura de gelatinização, aumento no pico de viscosidade, e uma pasta estável que é resistente à retrogradação durante o armazenamento (Figura 13) (THOMAS e ATWELL, 1999).

**Figura 13 – Efeito da substituição (acetilação) no perfil de viscosidade do amido de milho**



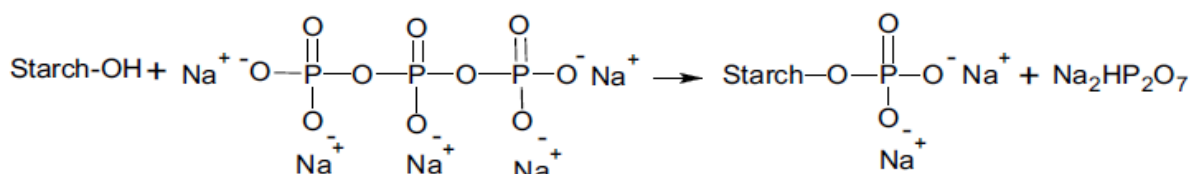
Fonte: Adaptado de Thomas e Atwell (1999)

As propriedades dos amidos acetilados variam de acordo com a origem botânica do amido e o grau de substituição (LIN *et al.*, 2017). Nos graus de substituição até 0,3 os acetatos continuam insolúveis e, entre os graus de substituição 0,3 a 1,1, tornam-se solúveis em água e insolúveis em solventes orgânicos; acima desse grau de substituição são insolúveis em água e solúveis em solventes orgânicos. Com a acetilação, a temperatura de gelatinização diminui e o inchamento dos grânulos aumenta e, quanto mais acetilado é o amido, menor o número de grupos hidroxila presentes nas cadeias poliméricas para absorver as moléculas de água (FREITAS, 2021).

Outro resultado da esterificação são os fosfatos de amido, que são derivados de éster de ácido fosfórico e produzidos usando reagentes monofuncionais, como ortofosfato de sódio e tripolifosfato de sódio, como indicado na Figura 14 (THOMAS e ATWELL, 1999; CUI,

2005). As pastas de fosfato de amido geralmente apresentam maior clareza e estabilidade em baixas temperaturas (THOMAS e ATWELL, 1999).

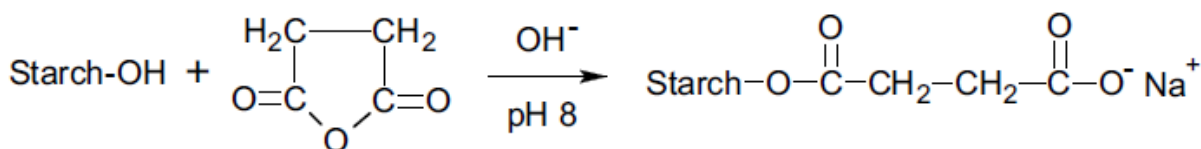
**Figura 14 – Reação do amido com tripolifosfato de sódio para formação do fosfato de amido**



Fonte: Cui (2005)

Por último, o succinato de amido é produzido pela reação do amido com anidrido succínico (Figura 15). Para um baixo grau de substituição, pode ser preparado por um procedimento semelhante ao acetato de amido. A suspensão de amido é preparada em pH 8, aproximadamente, e o anidrido succínico é adicionado lentamente à suspensão de amido enquanto o pH é controlado. Posteriormente, o amido é isolado por lavagem e secagem (CUI, 2005).

**Figura 15 – Reação do amido com anidrido succínico para formação do succinato de amido**



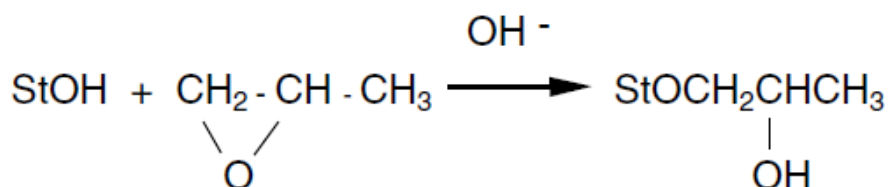
Fonte: Cui (2005)

O succinato de amido contém um grupo carboxilato livre que aumenta o poder de retenção de água e a tendência a inchar em água fria. Essa capacidade de dilatação em água fria aumenta com níveis maiores de anidrido succínico (CUI, 2005). Da mesma forma, a temperatura de gelatinização diminui com o aumento da substituição (THOMAS e ATWELL, 1999). O tratamento do amido de milho com esse processo produz pastas de amido que são relativamente transparentes, estáveis a mudanças de viscosidade, mas de textura pegajosa (ELIASSON, 2004).

#### 4.5.2.2.2. Eterificação

Ao contrário das ligações éster, como o acetato de amido, que tendem a se desfazer em condições alcalinas, as ligações éter são mais estáveis mesmo em pH alto (CUI, 2005). O processo de eterificação confere ao amido uma excelente estabilidade de viscosidade. O amido hidroxipropilado, por exemplo, é gerado pela reação do óxido de propileno com amido em condições altamente alcalinas, a uma temperatura de aproximadamente 30-50°C (Figura 16) (THOMAS e ATWELL, 1999; CUI, 2005).

**Figura 16 – Reação do amido com óxido de propileno para formação do amido hidroxipropilado**



Fonte: Thomas e Atwell (1999)

O amido hidroxipropilado trouxe uma nova dimensão para a indústria de alimentos por causa de suas características funcionais melhoradas em comparação com outros tipos de produtos de amido substituído, apresentando maior viscosidade, sinérese reduzida e estabilidade de congelamento-descongelamento. Amidos hidroxipropilados reticulados são possivelmente os amidos modificados mais comumente usados na indústria alimentícia (THOMAS e ATWELL, 1999).

Estudos indicam que os efeitos da eterificação no amido podem variar dependendo das condições de reação, bem como do tipo e número de grupos éster introduzidos. Por exemplo, a eterificação do amido de milho com ácido cítrico sob irradiação de micro-ondas resultou em uma melhor capacidade de carregar fármacos em comparação com o amido não modificado (LIU *et al.*, 2017). Já a eterificação do amido de mandioca com anidrido acético resultou em um aumento na capacidade de absorção de água e estabilidade térmica (RODRIGUES *et al.*, 2019).

### 4.5.2.3. *Conversão*

Conversão é um termo utilizado para uma série de reações de clivagem em cadeia do amido, sendo hidrólise ácida, oxidação, piroconversão (ou dextrinização) e hidrólise enzimática os métodos mais comuns de conversão utilizados na indústria de amido (ELIASSON, 2004). A hidrólise enzimática será abordada na seção 4.5.3.

#### 4.5.2.3.1. *Hidrólise ácida*

O processo de hidrólise ácida envolve a hidrólise catalisada por ácido de ambas as ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4 e  $\alpha$ -1,6. A reação ocorre predominantemente nas regiões amorfas do grânulo, aumentando a cristalinidade desta região. Dessa forma, quando o amido é aquecido além de sua temperatura de gelatinização, os grânulos se rompem rapidamente. Esta forma de hidrólise se difere da dextrinização por ser conduzida em condições aquosas, sendo os ácidos clorídrico (HCl) e sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) comumente utilizados no processo de conversão (THOMAS e ATWELL, 1999; ELIASSON, 2004).

O amido convertido por ácido é produzido comercialmente pela adição controlada de ácido a uma pasta de amido sob agitação a uma temperatura que varia de ambiente (25 °C) a alguns graus abaixo da temperatura típica de gelatinização do amido, até que o grau apropriado de hidrólise seja alcançado. O ácido é então neutralizado e os grânulos de amido convertidos são recuperados por filtração, lavados e secos (THOMAS e ATWELL, 1999). O efeito no cozimento é uma menor viscosidade a quente e, devido ao aumento na proporção de moléculas lineares menores, um gel mais forte se desenvolve no resfriamento em comparação ao seu respectivo amido nativo (ELIASSON, 2004).

#### 4.5.2.3.2. *Oxidação (ou Branqueamento)*

Os amidos podem ser modificados com agentes oxidantes sob condições controladas e, dependendo do tipo e quantidade de reagente usado, esta forma de modificação é classificada como oxidação ou branqueamento. O objetivo principal do branqueamento do amido de milho, por exemplo, é melhorar a brancura do pó de amido, oxidando as impurezas, como caroteno, xantofila e pigmentos relacionados (THOMAS e ATWELL, 1999).

A oxidação do amido tem sido praticada desde o início de 1800, e vários agentes oxidantes foram usados durante esse tempo, como por exemplo, hipoclorito, peróxido de hidrogênio, periodato, permanganato, dicromato, persulfato e clorito (CUI, 2005). Ocorrem duas modificações importantes no processo: os grupos relativamente volumosos carboxila (COOH) e carbonila (CO) são introduzidos, em conjunto, com a despolimerização parcial das cadeias de amido (ELIASSON, 2004).

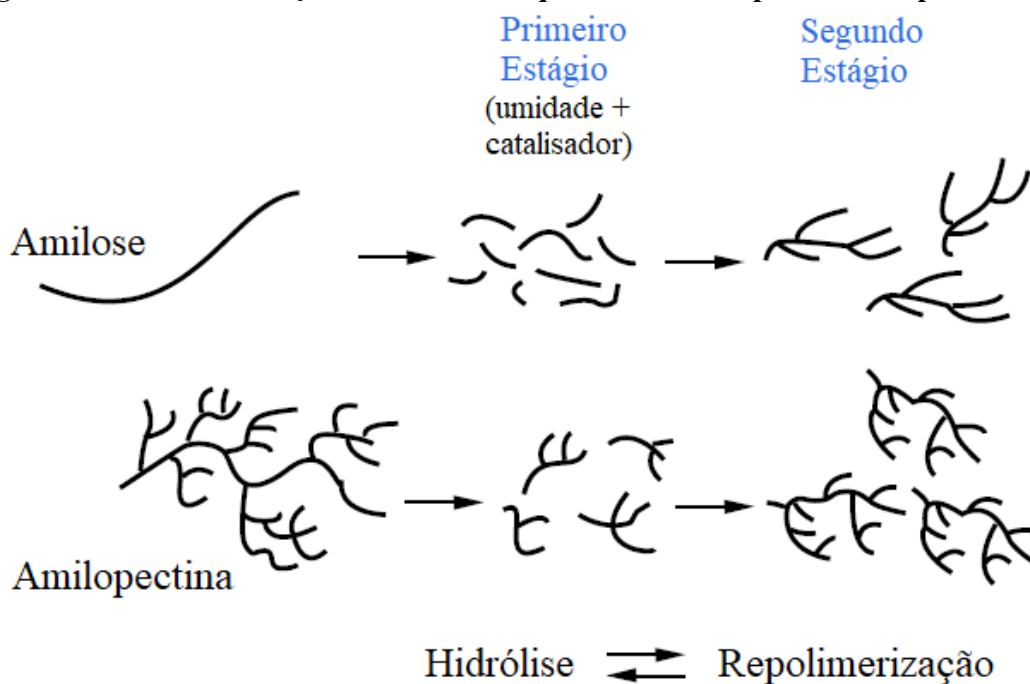
Os amidos oxidados exibem o mesmo padrão de difração de raios X que o do amido nativo, o que indica que a oxidação ocorre principalmente nas fases amorfas do grânulo, e são normalmente mais brancos que amidos não modificados, porque os pigmentos na superfície do grânulo são oxidados e o amido é branqueado (CUI, 2005). Além disso, geralmente têm baixa viscosidade, excelente claridade e estabilidade em baixa temperatura (THOMAS e ATWELL, 1999).

#### 4.5.2.3.3. *Piroconversão ou dextrinização*

Na piroconversão, o amido acidificado é submetido à torrefação a seco. Os produtos obtidos são chamados de dextrinas ou, mais precisamente, pirodextrinas. Dependendo das condições de reação, a piroconversão produz uma gama de produtos que variam em viscosidade, solubilidade em água fria, cor, teor de açúcar redutor e estabilidade. Dessa forma, são normalmente classificados como dextrinas brancas, dextrinas amarelas ou gomas britânicas (THOMAS e ATWELL, 1999; ELIASSON, 2004).

O processo refere-se a dois estágios da modificação estrutural do amido. O primeiro é uma despolimerização parcial obtida por hidrólise, geralmente obtida por torrefação a seco do amido puro, utilizando seu teor de umidade natural de 10-20%, ou na presença de quantidades catalíticas de ácido, para facilitar a hidrólise glicosídica, dando origem a uma gama de frações de polímero de comprimento de cadeia variável (baixa conversão). O segundo estágio envolve uma recombinação desses fragmentos (repolimerização), mas desta vez de forma ramificada (alta conversão). O processo de piroconversão geralmente cria novas ligações glicosídicas além das ligações  $\alpha$ -1,4 e  $\alpha$ -1,6 existentes (Figura 17) (THOMAS e ATWELL, 1999; ELIASSON, 2004).

**Figura 17 – Transformações moleculares que ocorrem no processo de piroconversão**



Fonte: Adaptado de Thomas e Atwell (1999)

#### 4.5.3. Modificações enzimáticas

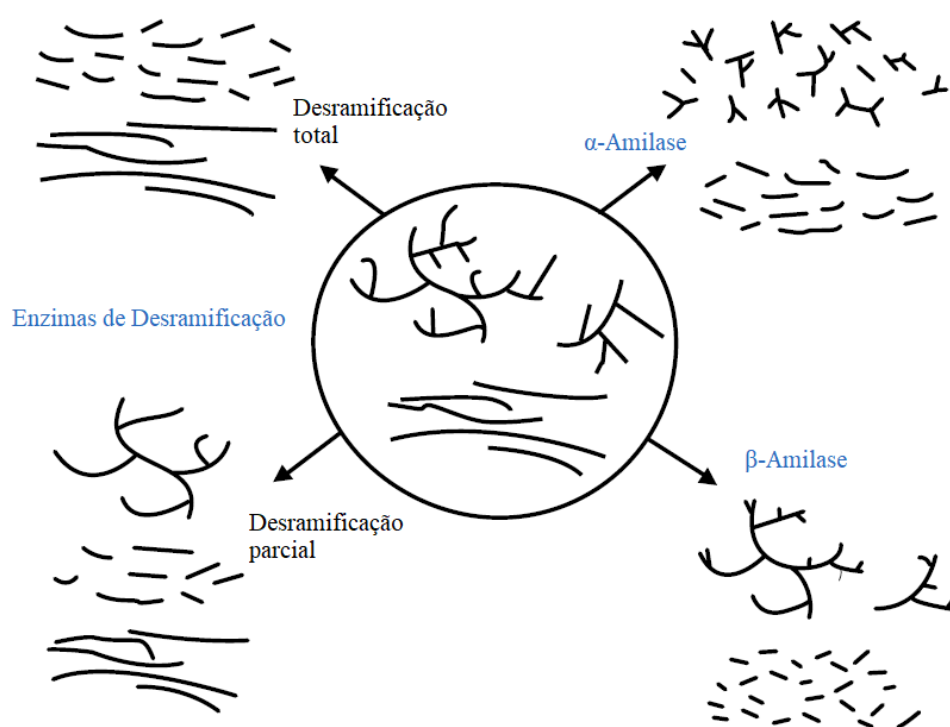
A preparação do amido modificado foi originalmente realizada com o uso de aditivos químicos, porém, os métodos enzimáticos vêm amplamente substituindo o uso de reagentes químicos. Essa mudança se deve principalmente ao fato de as enzimas serem mais seguras e sustentáveis para o meio ambiente e para os consumidores de produtos que contêm amido, além de serem vantajosas por realizarem reações de hidrólise mais específicas, com rendimentos mais elevados e também gerando menos subprodutos (ELIASSON, 2004). Dessa forma, embora os hidrolisados de amido possam ser obtidos por tratamento com ácido, os hidrolisados de alta conversão são obtidos quase exclusivamente pelo uso de enzimas (CUI, 2005).

A modificação enzimática de amido mais amplamente usada é a conversão de amido em maltodextrinas, xaropes de milho e açúcares (por exemplo, dextrose). Existe uma grande variedade desses produtos, que se distinguem pelo tamanho das moléculas na mistura de reação final, e quanto menores as moléculas, mais doce é a mistura e maior a dextrose equivalente (DE) (THOMAS e ATWELL, 1999). A DE é um indicador usado para definir o poder redutor, sendo medido de forma específica e calculado como dextrose expressa em

porcentagem da substância seca (CUI, 2005). Por definição, o DE da dextrose é 100, e do amido é 0 (THOMAS e ATWELL, 1999). Hidrolisados com DE abaixo de 20 são referidos como maltodextrinas, enquanto aqueles com DE entre 20 e 100 são referidos como xaropes de glicose (ELIASSON, 2004).

Existem muitas enzimas que são capazes de hidrolisar as ligações glicosídicas nos polímeros de amido. As amilases hidrolisam principalmente ligações  $\alpha$ -1,4. Outro grupo, enzimas de desramificação, hidrolisa especificamente ligações  $\alpha$ -1,6 nos pontos de ramificação em polímeros de amido (Figura 18) (THOMAS e ATWELL, 1999).

**Figura 18 – Ação das enzimas de hidrólise do amido sobre os polímeros de amilose e amilopectina**



Fonte: Adaptado de Thomas e Atwell (1999)

Existem dois tipos de tipos de enzimas que atuam no amido que podem ser distinguidos por sua atividade: as  $\alpha$ -glucanohidrolases, que catalizam a hidrólise das ligações  $\alpha$ -1,4 e/ou  $\alpha$ -1,6, resultando na despolimerização do amido; e as  $\alpha$ -glucanotransferases, que promovem a transferência de monômeros ou oligômeros de um doador de glucosil para um acceptor de glucosil (ELIASSON, 2004). As condições ideais para uma determinada enzima dependem da fonte da enzima e podem mudar ao longo do tempo. A hidrólise enzimática é conduzida a temperaturas relativamente baixas e pH 4 a 5, onde os açúcares redutores têm estabilidade máxima (CUI, 2005).

A  $\alpha$ -amilase é uma endoenzima, ou seja, enzima que realiza a hidrólise ligações  $\alpha$ -1,4 dentro da cadeia de amido, de forma a reduzir rapidamente o tamanho molecular do amido e a viscosidade da solução. Ela pode ser extraída de várias fontes, incluindo fungos, bactérias, mamíferos e cereais. As atividades máximas das  $\alpha$ -amilases são geralmente alcançadas em condições ácidas entre pH 4,8 e 6,5, mas as atividades enzimáticas variam de acordo com as fontes da enzima. A  $\alpha$ -amilase não é capaz de realizar a hidrólise das ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,6 que formam os pontos de ramificação na amilopectina, nem das ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4 que estão próximas a um ponto de ramificação (THOMAS e ATWELL, 1999; CUI, 2005).

A  $\beta$ -amilase, por sua vez, é uma exoenzima, que hidrolisa apenas ligações terminais em uma cadeia de polímero e remove especificamente uma unidade de maltose de cada vez da extremidade não redutora de uma molécula de amido, hidrolisando todas as outras ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4. A atividade é interrompida ao atingir as ligações  $\alpha$ -1,6 da amilopectina, já que a  $\beta$ -amilase é incapaz de hidrolisar ligações  $\alpha$ -1,6 na amilopectina (ou antes de atingir a ligação  $\alpha$ -1,6 se houver um número insuficiente de unidades de glicose para que ela reaja), gerando assim a chamada  $\beta$ -dextrina limite. Essa enzima pode ser encontrada em muitos tipos de plantas, como cevada, trigo, batata doce e soja (THOMAS e ATWELL, 1999; CUI, 2005).

De forma geral, a  $\alpha$ -amilase ataca seletivamente as ligações  $\alpha$ -1,4 do amido para produzir maltodextrinas e xaropes de baixo DE. Já a  $\beta$ -amilase é mais completa e ataca todas as ligações  $\alpha$ -1,4 para dar fragmentos moleculares inferiores e xaropes de DE superior, por exemplo, maltose que tem um DE de 50 (ELIASSON, 2004).

Outra importante exoenzima é a glucoamilase, que remove unidades de glicose da extremidade não redutora das moléculas de amido e tem a capacidade de hidrolisar ligações  $\alpha$ -1,4 e  $\alpha$ -1,6. A hidrólise das ligações  $\alpha$ -1,4 é consideravelmente mais rápida do que as ligações  $\alpha$ -1,6. No entanto, se a atividade da glucoamilase durar o suficiente, o amido é completamente convertido em glicose, independentemente da extensão da ramificação (THOMAS e ATWELL, 1999).

Outras enzimas comumente usadas incluem isoamilase e pululanase, enzimas de desramificação que hidrolisam especificamente ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,6, e que também dão xaropes de alto DE por meio de ataque hidrolítico em outros locais específicos do amido, como reações de ramificação nas ligações  $\alpha$ -1,6 (ELIASSON, 2004).

Dependendo das enzimas e das condições de hidrólise, os produtos do hidrolisado de amido incluem maltodextrinas, xaropes e ciclodextrinas. As maltodextrinas têm muitas

propriedades funcionais importantes, como de espessante, de inibição da cristalização, da promoção da dispersibilidade e de controle de congelamento (CUI, 2005).

Os derivados do amido provenientes da hidrólise podem ser disponibilizados tanto na forma seca quanto em xaropes. No entanto, a remoção da água dos xaropes para a obtenção de pós secos não é um processo simples. Devido ao risco de descoloração dos xaropes com alto teor de DE (Dextrose Equivalente), é comum empregar o vácuo juntamente com o calor para desidratá-los. Frequentemente, a produção de produtos secos requer várias fases de purificação, evaporação, cristalização e filtração (THOMAS e ATWELL, 1999).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. AREIA HIGIÊNICA PARA GATOS

A areia para gatos é um material absorvente que pode absorver líquidos, odores e ajudar a eliminar os resíduos do gato de forma mais fácil e confortável de limpar (SAIKEAW *et al.*, 2021). Existem diversos tipos de areia higiênica para gatos que podem ser encontrados atualmente no mercado, sendo os principais substratos aqueles à base de argila bentonita, sílica e granulados de madeira (VILLENEUVE-BEUGNET, 2018). No entanto, essas opções apresentam desvantagens, como a falta de biodegradabilidade, dificuldades na limpeza e descarte, além da potencial preocupação com a saúde dos gatos devido à possível inalação prolongada ao longo do tempo (SAIKEAW *et al.*, 2021; VAUGHN *et al.*, 2023).

Conforme descrito na patente de Scheidt *et al.* (2001), a argila, material mais comumente utilizado, forma aglomerados quando em contato com líquidos, o que facilita para o dono do animal selecionar e remover seletivamente a areia higiênica usada da caixa de areia. No entanto, além da argila não ser um bem renovável, o material possui uma capacidade de absorção comparativamente baixa e os aglomerados de argila que se formam também possuem uma coesão relativamente baixa, o que resulta em uma tendência de desagregar após a secagem e se desfazer ao ser removido da caixa de areia, anulando assim o propósito de formar aglomerados e tornando mais difícil o descarte dos resíduos. Além disso, aumenta a probabilidade de permanecerem resíduos na caixa de areia, o que gera odores desagradáveis devido aos resíduos remanescentes na caixa de areia. A patente de Scheidt *et al.* (2001) também menciona a poeira, que é gerada durante a produção no processo de moagem e fica acumulada na embalagem, como um problema adicional associado às areias para gatos à base de argila, uma vez que o animal pode contrair doenças respiratórias ao inalar a poeira.

Villeneuve-Beugnet (2018) destaca que os fabricantes de areia sanitária estão continuamente em busca de aumentar a capacidade de absorção do substrato para simplificar a limpeza e desenvolver materiais mais econômicos. Estudos também indicam que os gatos tendem a preferir substratos aglomerantes, desde que estejam devidamente higienizados e possuam uma textura fina nos grãos.

As principais características da areia higiênica para gatos domésticos são a absorção de líquidos, eliminação de odores desagradáveis (compostos voláteis de enxofre e tióis) (MIYAZAKI *et al.*, 2006; VAUGHN *et al.*, 2023) e o poder de aglutinação, necessários para

formação de torrão consistente. Ou seja, quando em contato com a urina do animal, o material precisa absorver o líquido e o odor e, formar aglomerados, permitindo uma limpeza simples e a manutenção eficaz da caixa de areia, como ilustrado na Figura 19.

**Figura 19 – Torrão formado pela areia higiênica Viva Verde da marca Petfive, à base de amido de milho modificado**



Fonte: Viva Verde (2022)

Alternativas à base de substratos orgânicos vêm ganhando espaço no mercado e se tornando populares, incluindo uma variedade de materiais, como serragem, trigo, alfafa, cascas de aveia, espigas de milho, cascas de amendoim ou até mesmo jornal reciclado, além de amidos e amidos modificados (SAIKEAW *et al.*, 2021; VAUGHN *et al.*, 2011).

As areias para gatos à base de materiais fibrosos enfrentam desafios semelhantes às de argila, incluindo problemas de poeira, baixa capacidade de absorção e a falta de capacidade para neutralizar naturalmente a urina ou eliminar odores associados à urina de animais. Esses tipos de areia para gatos têm problemas de poeira, devido ao fato de que os materiais celulósicos ou fibrosos geralmente não são firmemente unidos ao formar as partículas da areia, o que as torna facilmente quebráveis quando o gato caminha sobre elas. As partículas da areia fibrosa geralmente têm baixa densidade, propiciando dispersão das partículas quebradas (SCHEIDT *et al.*, 2001).

Como uma alternativa para minimizar problemas de poeiras em areias higiênicas, alguns aditivos como surfactantes e outros aglutinantes podem ser adicionados aos produtos de areia para gatos, porém estes aditivos tornam o processo de produção mais complicado e também mais caro (SCHEIDT *et al.*, 2001). Um estudo realizado por Vaughn *et al.* (2013) avaliou a utilização de substratos alternativos à goma guar, um dos principais componentes

utilizados como agente aglutinante em areias biodegradáveis, devido ao aumento significativo de preço nos últimos anos. Dentre os substratos avaliados nesse estudo estavam os amidos de milho modificados.

A patente de Scheidt *et al.* (2001) menciona a busca por uma areia para gatos biodegradável, obtida de maneira econômica a partir de subprodutos de amido presentes no processo de moagem de grãos, com a possibilidade de descarte em sistemas de esgoto. O objetivo é criar partículas de areia para gatos que, quando em contato com líquidos, sejam capazes de formar aglomerados facilmente, que mantenham-se fortemente unidas para evitar poeira e rastreamento e sem odor discernível.

## 5.2. UTILIZAÇÃO DO AMIDO APLICADO À AREIA HIGIÊNICA PARA GATOS

Atualmente, há uma variedade de estudos e artigos científicos que exploram o uso de diversos substratos em areias higiênicas para gatos, examinando sua eficácia na absorção de umidade, capacidade de formação de aglomerados, biodegradabilidade, impacto ambiental e aceitação pelos felinos. No entanto, são escassos os estudos dedicados especificamente à investigação do emprego de amidos modificados, em especial o amido de milho, e suas distintas formas de modificação nesse contexto.

A patente de Scheidt *et al.* (2001) destaca a importância do amido como parte integrante da composição da areia higiênica para gatos. Sugere-se que o amido seja adicionado devido à sua habilidade de absorver umidade, prevenindo o acúmulo de urina durante o uso da areia higiênica para gatos. Além disso, atua como aglutinante, impedindo a fácil quebra dos torrões formados a partir de partículas menores de amido e outros possíveis constituintes da areia. Ainda, como o amido une facilmente as partículas que formam a areia, os problemas de poeira são minimizados. A patente também cita a preferência pela utilização de amido de milho como a fonte de amido do produto de areia higiênica, porém apenas como parte constituinte do produto e não como componente principal, e ainda sem elaborar sobre o processo de modificação mais adequado para o produto final.

Radanova (2019) analisou diferentes espécies de plantas utilizadas como substratos em areias para gatos biodegradáveis, e identificou que, na categoria à base de sementes, são utilizadas principalmente sementes de gramíneas e leguminosas, como trigo, milho, soja, entre outras. Estas sementes são ricas em amido, o qual tem a capacidade de absorver

umidade e formar aglomerados com facilidade. Tanto o núcleo quanto toda a espiga são comumente utilizados na produção dessas areias para gatos.

O estudo realizado por Vaughn *et al.* (2013), que avaliou a utilização de substratos alternativos à goma guar, menciona que o grupo de pesquisa desenvolveu complexos de inclusão de amido de milho-palmitato de sódio, cujas propriedades de maior solubilidade em água e características polieletrólíticas, comparadas ao amido de milho puro, indicam benefícios potenciais para aprimorar sua eficácia como aglutinante.

O amido apresenta diversas vantagens, como baixo custo, biodegradabilidade e fácil disponibilidade, além de ser renovável. Porém, possui algumas limitações devido às suas características de baixa solubilidade e poder de absorção, sendo recomendada a modificação do amido para a melhora destas propriedades (VAUGHN *et al.*, 2013; FREITAS, 2021).

### 5.3. MODIFICAÇÕES DO AMIDO DE MILHO PARA A AREIA HIGIÊNICA

As principais características do produto de areia higiênica para gatos à base de amido de milho são as capacidades de absorção de líquidos e de aglutinação.

Em relação à capacidade de absorção de líquidos, quanto maior a absorção, maior o poder de inchamento do grânulo de amido, ou seja, o poder de inchamento indica a capacidade de absorção e retenção de líquidos do amido (EE *et al.*, 2020; KAUR *et al.*, 2011).

De acordo com um estudo publicado na revista Pubvet por Freitas *et al.* (2020), a temperatura corporal normal de um gato saudável varia entre 37,8°C e 39,2°C. Portanto, o amido para areia higiênica de gato deverá apresentar boa propriedade de absorção de líquido nesta faixa de temperatura.

O poder de inchamento de diversas fontes de amidos, incluindo-se o amido de milho, foi analisado por Silva *et al.* (2006), e os resultados mostraram que amidos pré-gelatinizados e intercruzados/ substituídos apresentaram maior poder de inchamento dos grânulos em relação aos demais, como indicado na Tabela 10, podendo indicar maior capacidade de absorção de água. Além disso, foi possível observar que as amostras de amido de milho regular nativo apresentaram poder de inchamento limitado.

**Tabela 10 – Valores de poder de inchamento de amido de milho às temperaturas de 50 e 70°C (expresso em vezes de aumento de peso)**

Fonte Botânica	Tipo de Modificação ou Aplicação	50°C	70°C
milho ceroso	intercruzado (a)	2,1	14,1
milho ceroso	intercruzado/ substituído (a)	4,2	17,7
milho ceroso	intercruzado/ substituído (b)	3,3	14,2
milho ceroso	intercruzado/ substituído (c)	2,9	15,8
milho ceroso	intercruzado (b)	2,0	13,9
milho ceroso	molho para salada	3,4	16,3
milho ceroso	intercruzado (c)	2,8	15,6
milho regular	ácido modificado (a)	4,3	8,2
milho regular	nativo (a)	1,8	12,4
milho regular	ácido modificado (b)	2,5	3,1
milho regular	ácido modificado (c)	2,0	8,8
milho ceroso	nativo	2,7	25,2
milho regular	nativo (b)	1,8	12,4

*(a), (b), (c) representam amostras com diferentes graus de modificação e/ou de diferentes produtores.*

Fonte: Adaptado de Silva *et al.* (2006)

Em relação à modificação química do amido de milho, é possível realizar um processo conhecido como modificação por acetilação (substituição), um dos métodos mais comuns de estabilização na prática comercial. Essa técnica envolve a introdução de grupos acetila no amido, que reduz a resistência das ligações entre as moléculas de amido e leva a uma melhoria significativa nas propriedades de absorção de líquidos, aumentando a capacidade de inchamento do grânulo (THOMAS e ATWELL, 1999; ALCÁZAR-ALAY e MEIRELES, 2015).

É importante ressaltar que o resultado final da acetilação deve estar em uma faixa de grau de substituição entre os GS 0,3 a 1,1, uma vez que, tanto abaixo, quanto acima desta faixa de grau de substituição, os acetatos são insolúveis em água (FREITAS, 2021).

Han *et al.* (2012) comparou as propriedades funcionais dos amidos de milho nativo e acetilado, e identificou que a acetilação aumenta o poder de inchamento e a absorção de água do amido de milho. Da mesma forma, o estudo de Lawal *et al.* (2015) teve como objetivo determinar os efeitos da modificação por acetilação e pré-gelatinização nas propriedades dos

amidos de milho, e concluiu que o poder de inchamento e a capacidade de absorção de água do amido parecem estar diretamente relacionados aos seus valores de solubilidade, e aumentaram com a acetilação e a pré-gelatinização.

Desta forma, para melhorar as propriedades de absorção, outra modificação que poderia ser realizada seria a pré-gelatinização do amido. Uma das propriedades mais importantes do amido pré-gelatinizado é justamente sua capacidade de hidratação e inchamento instantâneo quando em contato com água em temperatura ambiente (CUI, 2005).

A pré-gelatinização é o processo em que ocorre a redução da temperatura de gelatinização do amido de milho, sendo uma modificação importante a ser considerada para melhorar a capacidade de absorção de líquidos da areia feita à base de amido de milho (SILVA *et al.*, 2006). Nesse processo, o amido é tratado com calor e umidade, resultando em uma pré-gelatinização parcial e reduzindo a temperatura necessária para que o amido inicie o processo de gelatinização completo. Amido de milho nativo apresenta temperatura de gelatinização entre 70-77°C (SOUZA, 2000; WEBER, 2009). Com uma temperatura de gelatinização mais baixa, a areia sanitária à base de amido de milho terá uma resposta mais rápida à absorção de líquidos, uma vez que não precisa passar pela gelatinização novamente ao entrar em contato com a água, proporcionando uma absorção mais eficiente da urina do gato (FERREIRA e ALMEIDA, 2022).

A pré-gelatinização envolve o aquecimento até a completa gelatinização, seguido por secagem e redução das partículas (PUNIA, 2020). Esta última também se mostra uma abordagem eficaz para o produto final, uma vez que danificar mecanicamente os grânulos de amido reduz a cristalinidade da molécula de amilopectina, eliminando restrições na capacidade de inchamento e facilitando assim a gelatinização subsequente (ALCÁZAR-ALAY e MEIRELES, 2015; BORBA *et al.*, 2021). Além disso, partículas de amido pré-gelatinizado que possuem menor granulometria e, portanto, uma área de superfície maior, têm tendência a formar aglomerados durante a hidratação (THOMAS e ATWELL, 1999).

A patente de Scheidt *et al.* (2001), que cita a preferência pela utilização de amido de milho como a fonte de amido do produto de areia higiênica, destaca que um menor tamanho de partícula também é ideal por conta da maior área de superfície do amido exposta, o que é preferível para a absorção de líquidos e aglutinação. Além disso, ressalta-se que, como o amido une facilmente as partículas que formam a areia, os problemas de poeira são minimizados. O método de gelatinização apontado na patente é a extrusão dos grãos de

amido, uma vez que este método envolve a adição de calor e umidade, ambos necessários para a gelatinização do amido. O estudo também cita que a extrusão pode ser realizada utilizando-se qualquer método conhecido, desde que os parâmetros resultem em uma gelatinização do amido, gerando partículas de densidade variando entre cerca de 250 kg/m<sup>3</sup> e 300 kg/m<sup>3</sup>, faixa que contribui para a absorção de líquidos.

## 6. CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste trabalho possibilitou conhecer algumas peculiaridades do mercado de areia higiênica para gatos, assim como os amidos modificados que poderiam ser aplicados como substratos alternativos para os produtos de areias higiênicas para gatos.

A modificação sugerida, a partir deste estudo, para melhorar a capacidade de absorção de líquidos (urina de gato) de uma areia feita à base de amido de milho envolve a combinação de três fatores principais: modificação física do amido, por meio da pré-gelatinização, modificação química do amido, por meio da acetilação, e alteração das propriedades físicas da areia, por meio da redução da granulometria.

Ao combinar o processo de pré-gelatinização com a acetilação, com redução da temperatura de gelatinização, além da redução do tamanho das partículas da areia de amido de milho, é sugerida a possibilidade de se obter uma areia com capacidade de absorção de líquidos (na temperatura de saída da urina de gato) e aglutinação. A acetilação, bem como a pré-gelatinização, melhoram a capacidade de absorção de água do amido, enquanto a redução do tamanho das partículas aumenta a área de superfície disponível para a absorção e sugere o favorecimento da aglutinação. Essas modificações combinadas sugerem como resultado uma areia de amido de milho com maior eficiência na absorção de líquidos, apresentando uma solução para a absorção da urina de gato e fácil descarte e limpeza da areia higiênica.

Como sugestão para trabalhos futuros, experimentos controlados e estudos detalhados são necessárias investigações futuras e mais aprofundadas, e imprescindíveis para avaliar as diferentes técnicas de modificação de amido de milho e seu impacto nas propriedades desejadas, fornecendo assim informações mais conclusivas e direcionadas para seu uso em produtos como a areia higiênica para gatos.

Ainda, estudos futuros de viabilidade econômica são necessários para explorar e desenvolver as soluções mais adequadas e econômicas na produção de areia de gato à base de amido de milho modificado. Embora as pesquisas realizadas até o momento tenham mostrado resultados promissores, faz-se fundamental continuar a investigação com o objetivo de buscar métodos que possuam menores custos de produção, tornando essa solução mais acessível para os consumidores. É importante ressaltar a necessidade de uma análise aprofundada também para alcançar o melhor custo benefício do produto final, sendo possível optar por apenas uma das modificações sugeridas, caso esta atinja as propriedades desejadas para o produto final.

A realização de estudos abrangentes e aprofundados permitirá avanços significativos na área, contribuindo para o desenvolvimento de uma areia de gato eficiente, biodegradável, sustentável e com preço competitivo no mercado.

## REFERÊNCIAS

ABDEL-AAL, E. S. M., EL-SHAMI, M. S. (2002). Crosslinking of potato starch by sodium trimetaphosphate. *Journal of Food Science*, 67(6), 2106-2112.

ABINPET. Mercado Pet Brasil. São Paulo, 2020. Disponível em: <[http://abinpet.org.br/wp-content/uploads/2020/06/abinpet\\_folder\\_2020\\_draft3.pdf](http://abinpet.org.br/wp-content/uploads/2020/06/abinpet_folder_2020_draft3.pdf)>. Acesso em: 27 mar. 2021.

ABRAHÃO, F.; CARVALHO, M. C. Educação Assistida por Animais como recurso pedagógico na educação regular especial - uma revisão bibliográfica. *Revista Científica Digital da FAETEC*, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 1-16, 2015.

AI Y., JANE J-L.. Understanding starch structure and functionality. In: Sjö M, Nilsson L, editors. *Starch in food: structure, function and applications*. 2nd ed. Woodhead Publishing; 2018. p. 151-78.

ALCÁZAR-ALAY, S. C.; MEIRELES, M. A. A. Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. *Journal of Food Science and Technology (Campinas)*, v. 35, n. 2, p. 215-236, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1678-457X.6749>>.

ALEXANDER, R.J. (1996). New starches for food application. *Cereal foods world*, 41, 10, 796-799

AMARAL, L. J. D. D. *et al.*. Obtenção de amidos termoplásticos para a extrusão de pós cerâmicos. *Polímeros*, v. 26, n. SPE, p. 60-67, 2016.

AZEVEDO, L. C. D. *et al.*. Propriedades do amido e suas aplicações em biopolímeros. *Cadernos de Prospecção*, São Paulo, v. 11, n. 4, p. 625-635, 2018.

BARRETTI, B. R. V. Avaliação da digestibilidade *in vitro*, propriedades estruturais, térmicas e de pasta dos amidos de milho modificados por *heat-moisture treatment* (HMT) com adição de ácidos orgânicos. 2020. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2020.

BEMILLER, J. N.; WHISTLER, R. L. *Starch: chemistry and technology*. 4ª ed. San Diego: Academic Press, 2015. 894p.

BEMILLER, J. N. *Carbohydrate chemistry for food scientists*. Elsevier, 2019. 428p.

BORBA, V. S. *et al.*. Modificações do amido e suas implicações tecnológicas e nutricionais. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v. 23, e5224, 2021.

CEREDA, M.P.; VILPOUX, O.; DEMIATE, I.M. Amidos modificados. In: CEREDA, M.P.; VILPOUX, O. *Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas latino-americanas. série Cultura de tuberosas amiláceas latino americanas, Vol 3. Cap. 12.* Fundação Cargill, São Paulo, 2003. p.246-332.

CHAI, S. H.; LOH, T. C.; FOO, H. L.; LAW, F. L.; TEE, Y. H. Performance of corn starch and diatomaceous earth as absorbents for cat litter. *Animal Science Journal*, v. 87, n. 11, p. 1393-1398, 2016.

CHUNG, H. J., LIU, Q., HOOVER, R. (2009). Impact of annealing and heat-moisture treatment on rapidly digestible, slowly digestible and resistant starch levels in native and gelatinized corn, pea and lentil starches. *Carbohydrate Polymers*, 75, 436–447.

CLERICI, M. T. P. S., EL-DASH, A. A.. Características Tecnológicas De Farinhas De Arroz Prégelatinizadas Obtidas Por Extrusão Termoplástica. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1543-1550. 2008.

CONAB. Boletim da safra de grãos. 11º Levantamento - Safra 2022/23. Brasília, DF, 2023. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>.

CUI, S. W. *Food carbohydrates: chemistry, physical properties, and applications.* Boca Raton: CRC Press, 2005.

DEBON, S. J J.; TESTER, R. F.; Annealing of starch — a review. *International Journal of Biological Macromolecules*, Glasgow, UK, 1999.

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

DHARMADHIKARI, K. K.; SABHARWAL, S. G. Isolation and study of Starch and Starch composite Film from source Eleusine coracana. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, v. 7, n. 8, p. 175-178, 2018.

DOME K., PODGORBUNSKIKH E., BYCHKOV A., LOMOVSKY O.. Changes in the crystallinity degree of starch having different types of crystal structure after mechanical pretreatment. *Polymers (Basel)*. 2020;12(3):1–12

DOMENEZ, E. P. Propriedades tecnológicas de amido e farinha de arroz tratados por *annealing*. 2016, 87p. Dissertação (mestrado em ciência e tecnologia de alimentos) Universidade Federal De Viçosa, Viçosa, MG. 2016.

EE, K. Y.; ENG, M. K.; LEE, M. L.. Physicochemical, thermal and rheological properties of commercial wheat flours and corresponding starches. *Food Science and Technology*, v. 40, p. 51-59, 2020.

ELIASSON, A. C. (Ed.). *Starch in food: Structure, function and applications*. Boca Raton: CRC Press, 2004. 624p.

FELLOWS, P. J. *Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e práticas*. 2ª ed. Porto Alegre: Artmed. 2006. 602p.

FERREIRA, P. S., ALMEIDA, E. L. (2022). Amido – uma abordagem acerca da composição, estrutura, propriedades, modificação e aplicação. In: Medeiros, J. A. (Ed.), *Produção animal e vegetal: inovações e atualidades – Vol. 2* (pp. 892-908). Jardim do Seridó, RN: Agron Food Academy.

FIESP. Safra Mundial de Milho 2018/2019 - 12º Levantamento do USDA. Informativo - Abril de 2019. São Paulo, 2019. Disponível em: <<https://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/safra-mundial-de-milho-2/attachment/file-20190415194851-boletimmilhoabril2019/>>. Acesso em: 27 jan. 2023.

FIORDA, F. A.; MOURA, C. M.; SOUZA, T. S. C.; SOARES, J. M. S.. *Propriedades Funcionais Tecnológicas de Farinhas Pré-Gelatinizadas de Bagaço e Fécula de Mandioca*. Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás. 2013.

FREITAS, G. C. *et al.*. Avaliação de parâmetros clínicos de gatos durante atendimento na Clínica Veterinária Universitária–UFT, Araguaína. *Pubvet*, v. 14, p. 119, 2020.

FREITAS, R. R. M.. *Estudo da acetilação do amido de milho visando a síntese de hidrogéis*. 2021.

FU, Z. Q.; WANG, L. J.; LI, D.; ADHIKARI, B.. Effects of partial gelatinization on structure and thermal properties of corn starch after spray drying. *Carbohydrate Polymers*, v. 88, n. 4, p. 1319-1325, 2012.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4ª ed. São Paulo: Atlas, 2002. 4p.

GRAND VIEW RESEARCH. Cat litter products market size, share & trends analysis report by product type (clumping, conventional), by raw material (clay, silica), by distribution channel, and segment forecasts. San Francisco, 2019. Disponível em: <<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/cat-litter-products-market>>. Acesso em: 27 mar. 2021.

GRAND VIEW RESEARCH. Corn starch market size, application analysis, Regional outlook, competitive strategies and forecasts, 2019 to 2025. San Francisco, 2018. Disponível em: <<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/corn-starch-market>>. Acesso em: 27 jan. 2023.

GRAND VIEW RESEARCH. Modified starch market size, share & trends analysis report by product (starch esters & ethers, resistant, cationic), by material, by function, by end use (f&b, animal feed, paper, textiles), and segment forecasts, 2019 – 2025. San Francisco, 2019. Disponível em: <<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/modified-starch-market>>. Acesso em: 27 mar. 2021.

GRAND VIEW RESEARCH. Starch derivatives market analysis by product (cyclodextrin, maltodextrin, glucose syrup, hydrolysates, modified starch), by application (food & beverage, cosmetics, paper, pharmaceuticals, feed) and segment forecasts To 2022. 2016. Disponível em: <<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/starch-derivatives-market>>. Acesso em: 27 mar. 2021.

GUY, R.C.E.. Extrusion cooking: technologies and applications. Cambridge, UK: Woodhead Publishing, 2001. 288p.

HAN, F.; LIU, M.; GONG, H.; LÜ, S.; NI, B.; ZHANG, B.. Synthesis, characterization and functional properties of low substituted acetylated corn starch. International Journal of Biological Macromolecules, v. 50, n. 4, p. 1026-1034, 2012.

INSTITUTO PET BRASIL. Censo Pet: 139,3 milhões de animais de estimação no Brasil. São Paulo, 2019. Disponível em: <<http://institutopetbrasil.com/imprensa/cento-pet-1393-milhoes-de-animais-de-estimacao-no-brasil>>. Acesso em: 27 mar. 2021.

INSTITUTO AKATU. Panorama do consumo consciente no Brasil. São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://akatu.org.br/pesquisa-akatu-2018-traca-panorama-do-consumo-consciente-no-brasil>>. Acesso em: 27 mar. 2021.

KAUR, M. *et al.*. Physicochemical, morphological and pasting properties of acid treated starches from different botanical sources. *Journal of food science and technology*, v. 48, p. 460-465, 2011.

LAWAL, M. V.; ODENIYI, M. A.; ITIOLA, O. A. Material and rheological properties of native, acetylated, and pregelatinized forms of corn, cassava, and sweet potato starches. *Starch - Stärke*, vol. 67, no. 11–12, p. 964–975, 2015.

LI, H., CHEN, L., WANG, S. (2016). Non-thermal physical modification of starch: a review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 91, 758-764.

LIN, D. *et al.*. Study on the synthesis and physicochemical properties of starch acetate with low substitution under microwave assistance. *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 103, p. 316–326, 2017.

LIU, X; YANG, J; HE, Z; WANG, S; XU, X; ZHANG, Y; SUN, X. Esterification of corn starch with citric acid under microwave irradiation: characterization and application as a drug carrier. *RSC Advances*, v. 7, n. 17, p. 10102-10109, 2017

KAUR, T., KAUR, B. (2018). Physical and chemical modification of starches: a review. *Food Science and Technology International*, 24(7), 551-567.

LOBO, A. R.; SILVA, G. E. B. Amido resistente e suas propriedades físico-químicas. *Revista de Nutrição*, v. 16, n. 2, p. 219-226, 2003.

LOPES DA SILVA, J. A.; STEFANSSON, B. R. Chemical composition, structure, and functional properties of tuber and root starches: a review. *Journal of Food Science*, v. 68, n. 2, p. 476-490, 2003.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 31, n. 1, p. 137-155, 2010.

MARKETS & MARKETS. Modified starch market by raw material (corn, tapioca, potato & wheat), function (thickening, stabilizing, binding & emulsifying), application (food, feed, and non-food), & by region - global trends & forecast to 2020. Pune, 2016. Disponível em: <<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/industrial-starch-market-104251261.html>>. Acesso em: 27 jan. 2023.

MCDONAGH P. Native, modified and clean label starches in foods and beverages. In: Baines D, Seal R, editors. Natural food additives, ingredients and flavourings. Cambridge: Woodhead Publishing; 2012. p. 162–75.

MONROY, Y.; RIVERO, S; GARCÍA, M. A. Microstructural and techno-functional properties of cassava starch modified by ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 42, p. 795-804, 2018.

OLIVEIRA, L. S.; DE QUEIROZ, L. A.; TAVARES, M. L. F.; CAVALCANTE, A. C. R.; DE LIMA, M. A. A.; DE ANDRADE, J. C. Physical, chemical, and microbiological characterization of cat litter produced with different proportions of cassava starch and cellulose fibers. *Journal of Polymers and the Environment*, v. 28, n. 9, p. 2451-2460, 2020.

PAES, M. C. D. Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho. Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica (INFOTECA-E), n. 90, 2006.

PAIVA, G. D. Impacto do processamento sobre os teores de amidos resistente e lentamente digerível em banana verde. 2018. Monografia (Graduação em Nutrição) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

POLESI, L. F. *et al.*. Caracterização físico-química, funcional e nutricional de duas cultivares brasileiras de arroz. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, Ponta Grossa, v. 8, n. 1, 2014.

PUNIA, S.. Barley starch modifications: Physical, chemical and enzymatic - A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 144, p. 578–585, fev. 2020.

RADANOVA, S. S.. Biodegradable Plant Based Cat Litter Fillers–Relevance Of The Topic In Bulgaria. *history*, n. 4, p. 78-86, 2019.

RODRIGUES, D. M. O.; ANDRADE, C. T.; PEREIRA, H. F.; BORGES, S. V.; SILVA, M. A. F.; RODRIGUES, F. H. A. Esterification of cassava starch with acetic anhydride: Effect of reaction parameters and characterization. *Food Chemistry*, v. 279, p. 330-336, 2019

SAIKEAW, N. *et al.*. Preparation and properties of biodegradable cat litter produced from cassava (*Manihot esculenta* L. Crantz) trunk. In: *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences, 2021. p. 02017.

SANTANA, Á. L.; MEIRELES, M. A. A. New starches are the trend for industry applications: a review. *Food and Public Health*, v. 4, n. 5, p. 229-241, 2014.

SCIPIONI, G. C. Otimização do processo de sacarificação do amido de batata (*Solanum Tuberosum* L.) utilizando enzimas amilolíticas. 2011. 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2011. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7954/SCIPIONI%2C%20GUSTAVO%20CALLEGARI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 14 set. 2023.

SCHEIDT, J. F. *et al.*. Clumping animal litter. US Patent 6220206 B1, 24 abr. 2001.

SILVA, G. D. O. D. *et al.*. Características físico-químicas de amidos modificados de grau alimentício comercializados no Brasil. *Journal of Food Science and Technology* (Campinas), Campinas, v. 26, n. 2, p. 188-197, 2006.

SILVA, R. M. *et al.*. Características físico-químicas de amidos modificados com permanganato de potássio/ácido láctico e hipoclorito de sódio/ácido láctico. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 28, n. 2, p. 445-450, 2008.

SINGH, J., KAUR, L., SINGH, H. (2020). Non-thermal physical modifications of starch: a review. *Food Hydrocolloids*, 99, 105345.

SJÖÖ, M.; NILSSON, L. (Eds.). *Starch in food: Structure, function and applications*. Woodhead Publishing, 2017. 894p.

SMITH, A. M. The biosynthesis of starch granules. *Biomacromolecules*, Washington, v. 2, n. 2, p. 335-341, 2001.

SOUZA, R. C. R.; ANDRADE, C. T.. Investigação dos processos de gelatinização e extrusão de amido de milho. *Polímeros*, v. 10, p. 24-30, 2000.

STRAZZI, S. Derivados do milho são usados em mais de 150 diferentes produtos industriais. *Visão Agrícola*, v. 13, n. 1, 2015. Disponível em: <[https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA\\_13\\_Industrializacao-artigo4.pdf](https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA_13_Industrializacao-artigo4.pdf)>. Acesso em: 27 jan. 2023.

THOMAS, D. J.; ATWELL, W. A. *Starches*. Eagan Press handbook series. St. Paul: Eagan Press, 1999. 92p.

VAUGHN, S. F. *et al.*. Production of an odor-reducing, low-dust, clumping cat litter from soybean hulls and soybean hull biochar. *Bioresource Technology Reports*, v. 21, p. 101317, 2023.

VAUGHN, S. F. *et al.*. Evaluation of alternatives to guar gum as tackifiers for hydromulch and as clumping agents for biodegradable cat litter. *Industrial Crops and Products*, v. 43, p. 798-801, 2013.

VAUGHN, S. F. *et al.*. Formulation of a biodegradable, odor-reducing cat litter from solvent-extracted corn dried distillers grains. *Industrial Crops and Products*, v. 34, n. 1, p. 999-1002, 2011.

VILLENEUVE-BEUGNET, V.; BEUGNET, F.. Field assessment of cats' litter box substrate preferences. *Journal of Veterinary Behavior*, v. 25, p. 65-70, 2018.

WEBER, F. H.; COLLARES-QUEIROZ, f. P.; CHANG, Y. K.. Caracterização físico-química, reológica, morfológica e térmica dos amidos de milho normal, ceroso e com alto teor de amilose. *Journal of Food Science and Technology (Campinas)*, Campinas, v. 29, n. 2, p. 209-216, 2009.

YIN, S. W., ZHANG, L., ZHANG, Y., WANG, Q. Effect of cross-linking degree on the properties of corn starch-based films: Water resistance, mechanical properties, and thermal stability. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 134, n. 8, p. 44555, 2017.

ZHANG, X., HARPER, J. M. (2017). Physical modification of starch: a review. *Food Reviews International*, 33(4), 487-518.

ZAVAREZE, E. R., DIAS, A. R. G. (2011). Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: A review. *Carbohydrate Polymers*, 83, 317–328.