

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PRÓ REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
DOUTORADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

GISELE KIRCHBANER CONTINI

ESTUDO DAS PROPRIEDADES DO AMIDO DE BANANA VERDE MODIFICADO
COM ANIDRIDO OCTENIL SUCCÍNICO (OSA) E APLICAÇÃO EM CHOCOLATE AO
LEITE EM ESCALA INDUSTRIAL

PONTA GROSSA
2024

GISELE KIRCHBANER CONTINI

ESTUDO DAS PROPRIEDADES DO AMIDO DE BANANA VERDE MODIFICADO
COM ANIDRIDO OCTENIL SUCCÍNICO (OSA) E APLICAÇÃO EM CHOCOLATE AO
LEITE EM ESCALA INDUSTRIAL

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutora em Ciência e Tecnologia de
Alimentos, Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Tecnologia de Alimentos da
Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Ivo Mottin Demiate

PONTA GROSSA
2024

C762 Contini, Gisele Kirchbaner

 Estudo das propriedades do amido de banana verde modificado com anidrido octenil succínico (OSA) e aplicação em chocolate ao leite em escala industrial / Gisele Kirchbaner Contini. Ponta Grossa, 2024.
 108 f.

 Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Área de Concentração: Ciências e Tecnologia de Alimentos), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

 Orientador: Prof. Dr. Ivo Mottin Demiate.

 1. Digestibilidade. 2. Musa acuminata - subgrupo cavendish. 3. Musa sapientum - subgrupo terra. 4. Musa balbisiana - subgrupo prata. 5. Análise sensorial. I. Demiate, Ivo Mottin. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ciências e Tecnologia de Alimentos. III.T.

CDD: 664

TERMO DE APROVAÇÃO

GISELE KIRCHBANER CONTINI

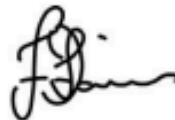
“Estudo das propriedades do amido de banana verde modificado com anidrido octenil succinico (OSA) e aplicação em chocolate ao leite em escala industrial”.

Tese aprovada como requisito para obtenção do grau de Doutor(a) no Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:

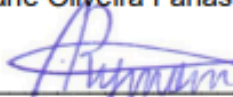
Orientador: Prof. Dr. Ivo Mottin Demiate - UEPG-PR



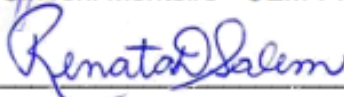
Prof. Dr. Ivo Mottin Demiate - UEPG-PR - Presidente



Profa. Dra. Fabiane Oliveira Farias - UFPR-PR - Membro Titular Externo



Prof. Dr. Antonio Roberto Griboni Monteiro - UEM-PR - Membro Titular Externo



Profa. Dra. Renata Dinnies Santos Salem - UEPG-PR - Membro Titular Interno



Prof. Dr. Luiz Gustavo Lacerda - UEPG-PR - Membro Titular Interno

Ponta Grossa, 11 de setembro de 2024.

*“Seja forte e corajoso! Não se apavore,
nem desanime, pois o senhor, o seu Deus, está
contigo por onde andar.”*

Josué 1:9

RESUMO

Importante cultura comercial nos países subdesenvolvidos e tropicais, a banana (*Musa* spp.) exerce papel considerável na economia mundial. Seu consumo tem aumentado nos últimos tempos devido aos hábitos dos consumidores, tanto no mercado interno quanto no mercado externo, preferindo alimentos com alto valor nutricional e que ainda acarretem benefícios à sua saúde. Essa pseudobaga é um dos alimentos mais produzidos em todo o mundo, sendo cultivada em mais de 112 países, principalmente na Índia, China, Filipinas, Equador e Brasil. Desta forma, o objetivo deste trabalho, foi modificar quimicamente o amido de banana e aplicar em chocolate para verificar o poder emulsificante proporcionando a redução de gordura saturada e aumento do conteúdo de amido resistente. *Musa acuminata* subgrupo cavendish (grupo genômico AAA, banana nanica), *Musa acuminata* e *Musa balbisiana* subgrupo prata (grupo genômico AAB, banana prata), *Musa acuminata* subgrupo ouro (grupo genômico AA, banana ouro) e *Musa sapientum* subgrupo terra (grupo genômico AAB, banana terra) foram estudadas. Os resultados mostraram que a banana da terra, com maior pureza na extração, apresentou o teor mais alto de amido total, e sua pureza foi possível observar nas micrografias. A modificação com OSA (Anidrido Octenil succínico) afetou mais os amidos com grânulos menores, como os de milho e mandioca (estas amostras foram utilizadas para comparação com a banana), promovendo uma reação mais intensa e superficial. Para os amidos de banana, a modificação resultou em aumento da cristalinidade e alterações nas superfícies dos grânulos. Os amidos modificados com OSA demonstraram propriedades superiores de formação de pasta, incluindo maior viscosidade e estabilidade. A modificação também alterou o padrão cristalino dos amidos, com redução da cristalinidade para milho e mandioca, e aumento para banana. No espectro FTIR, foram observados picos característicos da modificação com OSA. Os amidos de banana mostraram variações no teor de amilose, com redução significativa em algumas variedades. A aplicação dos amidos foi feita em chocolates ao leite zero adição de açúcares. A análise sensorial foi realizada comparando a amostra padrão já disponível no mercado, com as amostras em que a manteiga de cacau foi parcialmente substituída por amidos modificados de Banana da Terra, Milho e Mandioca. Na análise sensorial as amostras não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos com o padrão quanto a aceitabilidade. A amostra com amido Terra Banana modificado com OSA apresentou a maior dureza (32,43 N), enquanto a amostra de chocolate elaborada com amido de Milho modificado com OSA apresentou a menor dureza (16,87 N). Ambas foram penalizadas na análise sensorial. No mapa de preferência a amostra com amido de Mandioca modificado foi a mais preferida e obteve a maior redução no teor de lipídio (28,81%), juntamente com um aumento no amido resistente (AR) e amido de digestão lenta (SDS). Isso confirma que a modificação com OSA pode melhorar as propriedades nutricionais e sensoriais dos alimentos, como o chocolate, proporcionando benefícios significativos. Em resumo, a modificação química do amido de banana com OSA é eficaz para otimizar as propriedades nutricionais e sensoriais dos alimentos, especialmente em produtos como o chocolate.

PALAVRAS-CHAVE: digestibilidade, *Musa acuminata* subgrupo cavendish, *Musa acuminata* e *Musa balbisiana* subgrupo prata, *Musa acuminata* subgrupo ouro, *Musa sapientum* subgrupo terra, análise sensorial.

ABSTRACT

An important commercial crop in underdeveloped and tropical countries, bananas (*Musa* spp.) play a significant role in the world economy. Their consumption has increased in recent times due to consumer habits, both in the domestic and foreign markets, who prefer foods with high nutritional value and that also bring health benefits. This pseudoberry is one of the most widely produced foods in the world, being cultivated in more than 112 countries, mainly in India, China, the Philippines, Ecuador and Brazil. Thus, the objective of this study was to chemically modify banana starch and apply it to chocolate to verify its emulsifying power, providing a reduction in saturated fat and an increase in the resistant starch content. *Musa acuminata* subgroup cavendish (genomic group AAA, dwarf banana), *Musa acuminata* and *Musa balbisiana* subgroup prata (genomic group AAB, silver banana), *Musa acuminata* subgroup ouro (genomic group AA, gold banana) and *Musa sapientum* subgroup terra (genomic group AAB, ground banana) were studied. The results showed that plantain, with greater purity in the extraction, presented the highest total starch content, and its purity was observed in the micrographs. The modification with OSA affected more the starches with smaller granules, such as those from corn and cassava, promoting a more intense and superficial reaction. For the banana starches, the modification resulted in increased crystallinity and changes in the surfaces of the granules. The starches modified with OSA demonstrated superior paste-forming properties, including greater viscosity and stability. The modification also changed the crystalline pattern of the starches, with reduced crystallinity for corn and cassava, and increased for banana. In the FTIR spectrum, peaks characteristic of the modification with OSA were observed. The banana starches showed variations in the amylose content, with a significant reduction in some varieties. The starches were applied to milk chocolates with zero added sugar. Sensory analysis was performed by comparing the standard sample already available on the market with samples in which cocoa butter was partially replaced by modified starches from Banana da Terra, Corn and Cassava. In the sensory analysis, the samples did not show significant differences between the treatments with the standard regarding acceptability. The sample with Terra Banana starch modified with OSA presented the highest hardness (32.43 N), while the chocolate sample made with corn starch modified with OSA presented the lowest hardness (16.87 N). Both were penalized in the sensory analysis. In the preference map, the sample with modified cassava starch was the most preferred and obtained the greatest reduction in fat content (28.81%), along with an increase in resistant starch (RS) and slowly digestible starch (SDS). This confirms that modification with OSA can improve the nutritional and sensory properties of foods, such as chocolate, providing significant benefits. In summary, the chemical modification of banana starch with OSA is effective in optimizing the nutritional and sensory properties of foods, especially in products such as chocolate.

KEYWORDS: digestibility, *Musa acuminata* subgrupo cavendish, *Musa acuminata* and *Musa balbisiana* subgrupo prata, *Musa acuminata* subgrupo ouro, *Musa Sapientum* subgrupo terra, *sensory analysis*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Representação esquemática da amilose e amilopectina.....	21
Figura 2	Perfil típico de RVA de uma amostra de amido.....	23
Figura 3	Reação química durante a modificação do amido com OSA.....	25
Figura 4	Etapas do processo para obtenção de um chocolate.....	29
Figura 5	Fluxograma da digestibilidade do amido no sistema gastrointestinal humano...	34
Figura 6	Etapas do processamento de obtenção de chocolate.....	41
Figura 7	Análise de efeito para DS em relação ao tempo e % OSA utilizado na modificação do amido OSA de mandioca.....	50
Figura 8	Perfil viscoamilográfico de amostras de amidos nativos e modificados com OSA de Mandioca.....	54
Figura 9	Perfil viscoamilográfico de amostras de amidos nativos e modificados com OSA de Milho.....	55
Figura 10	Perfil viscoamilográfico de amostras de amidos nativos e modificados com OSA de Banana da terra.....	56
Figura 11	Perfil viscoamilográfico de amostras de amidos nativos e modificados com OSA de Banana Nanica.....	57
Figura 12	Efeitos das variáveis tempo e % OSA no pico de viscosidade dos amidos modificados.....	58
Figura 13	Perfil de difração de raios X de amostras de amidos nativos e modificados de Milho com OSA.....	59
Figura 14	Perfil de difração de raios X de amostras de amidos de Mandioca nativos e modificados com OSA.....	59
Figura 15	Perfil de difração de raios X de amostras de amidos de Banana Prata nativos e modificados com OSA.....	60
Figura 16	Perfil de difração de raios X de amostras de amidos de Banana Nanica nativos e modificados com OSA.....	60

Figura 17	Perfil de difração de raios X de amostras de amidos de Banana Nanica nativos e modificados com OSA.....	61
Figura 18	Perfil de difração de raios X de amostras de amidos de Banana da Terra nativos e modificados com OSA.....	61
Figura 19	Termogramas de amostras de mandioca, milho, banana da terra, banana nanica, banana ouro e banana prata.....	63
Figura 20	Imagens microscópicas (aumento de 5.000x) de amostras de amido de mandioca.....	68
Figura 21	Imagens microscópicas (aumento de 5.000x) de amostras de amido de milho...	68
Figura 22	Imagens microscópicas (aumento de 5.000x) de amostras de amido de Banana Prata.....	69
Figura 23	Imagens microscópicas (aumento de 5.000x) de amostras de amido de Banana Nanica.....	70
Figura 24	Imagens microscópicas (aumento de 5.000x) de amostras de amido de banana ouro.....	70
Figura 25	Imagens microscópicas (aumento de 5.000x) de amostras de amido de Banana da Terra.....	71
Figura 26	Espectro FTIR de Amidos nativos e modificados de mandioca.....	72
Figura 27	Espectro FTIR de Amidos nativos e modificados de milho.....	72
Figura 28	Espectro FTIR de Amidos nativos e modificados de Banana Prata.....	73
Figura 29	Espectro FTIR de Amidos nativos e modificados de Banana Nanica.....	73
Figura 30	Espectro FTIR de Amidos nativos e modificados de Banana Ouro.....	74
Figura 31	Espectro FTIR de Amidos nativos e modificados de Banana Terra.....	74
Figura 32	Mapa de preferência sobre a escala hedônica de 1 (desgostei muitíssimo) a 9 (gostei muitíssimo).....	80
Figura 33	Gráficos sobre a impressão global das amostras.....	81

Figura 34	Gráficos sobre a impressão global das amostras em relação ao odor.....	81
Figura 35	Gráficos sobre a impressão global das amostras em relação à doçura.....	82
Figura 36	Gráficos sobre a impressão global das amostras em relação à textura.....	82
Figura 37	Frequências de penalidade da análise de escala do ideal para chocolate padrão e chocolates com adição de amido modificados (OSA) de banana, milho e mandioca.....	83
Figura 38	Gráfico de simetria entre os atributos e amostras analisadas.....	85

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - O grau de substituição do amido OSA (DS).....	36
Equação 2 - Cristalinidade Relativa.....	37
Equação 3 - Teor de Amilose.....	39
Equação 4 - Amido de digestão rápida.....	42
Equação 5 - Amido de digestão lenta.....	42
Equação 6 - Amido total.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Planejamento experimental de modificação dos amidos, tempo utilizado em cada modificação e a concentração (%) de anidrido octenil succínico utilizado.....	38
Tabela 2	Teor de amido total nas amostras que foram feitas a extração de amido das bananas.....	47
Tabela 3	Resultados de todos os tratamentos para as análises de grau de substituição (DS), % Cristalinidade relativa e % amilose.....	51
Tabela 4	Dados do perfil RVA das amostras de amido de Mandioca, Milho, Banana nanica e Banana da terra nativos e tratados com OSA.....	52
Tabela 5	Resultados do DSC do amido nativo e modificados.....	63
Tabela 6	Resultados das análises físico-químicas das amostras de chocolates adicionados os amidos modificados OSA de Banana da Terra, Milho e Mandioca.....	77
Tabela 7	Resultados das análises de digestibilidades in vitro dos amidos nativos, dos amidos modificados e dos chocolates adicionados dos amidos modificados OSA de Banana da Terra, Milho e Mandioca.....	78
Tabela 8	Resultados das análises de Textura com relação a dureza chocolates adicionados dos amidos modificados OSA de Banana da Terra, Milho e Mandioca.....	79
Tabela 9	Resultados da análise sensorial de impressão global, odor, doçura e textura em escala hedônica de 1 a 9.....	81
Tabela 10	Penalidades para o atributo odor em chocolate padrão e chocolates com adição de amidos de banana, milho e mandioca.....	83
Tabela 11	Penalidades para o atributo doçura em chocolate padrão e chocolates com adição de amidos de banana, milho e mandioca.....	84
Tabela 12	Penalidades para o atributo doçura em chocolate padrão e chocolates com adição de amidos de banana, milho e mandioca.....	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

OSA	Octenil succínico
MI	Amido de Milho nativo
MA	Amido de Mandioca nativo
BT	Amido de Banana da Terra nativo
BN	Amido de Banana Nanica nativo
BO	Amido de Banana Ouro nativo
BP	Amido de Banana Prata nativo
CATA	Check all that apply
JAR	<i>Just-about-right</i>
RVA	<i>Rapid Visco Analyser</i>
FTIR	Espectroscopia na região do infravermelho com
transformada de fourier	DSC Calorimetria exploratória diferencial
DRX	Difração de raios x
MEV	Microscopia eletrônica de varredura por
efeito de campo RS	Amido resistente
RDS	Amido rapidamente digerível
SDS	Amido lentamente digerível
AT	Amido total
CR	Cristalinidade relativa
GT	Glicose Total
CBT	Chocolate com amido OSA de Banana da Terra
CMA	Chocolate com amido OSA de Mandioca
CMI	Chocolate com amido OSA de milho
CP	Chocolate padrão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 OBJETIVOS.....	16
2.1 OBJETIVO GERAL.....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1 BANANA.....	17
3.2 AMIDO.....	18
3.3 MODIFICAÇÃO DO AMIDO.....	22
3.4 ELABORAÇÃO DE NOVOS PRODUTOS - CHOCOLATE.....	24
3.5 ANÁLISE SENSORIAL.....	29
3.6 ANÁLISE DE TEXTURA.....	31
3.7 DIGESTIBILIDADE.....	31
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
4.1 MATERIAIS.....	34
4.2 MÉTODOS.....	34
4.2.1 Extração Do Amido De Banana Verde.....	35
4.2.2 Modificação Do Amido.....	35
4.2.3 Propriedades Físico-Químicas E Tecnológicas Dos Amidos.....	36
4.2.4 Propriedades Da Pasta (RVA).....	37
4.2.5 Difração De Raios X.....	37
4.2.6 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC).....	37
4.2.7 Microscopia Eletrônica De Varredura Por Efeito De Campo (MEV).....	38
4.2.8 Espectroscopia Na Região Do Infravermelho Com Transformada De Fourier (FTIR).....	38
4.2.9 Amilose.....	38
4.2.10 Elaboração De Novos Produtos Em Escala Industrial.....	39
4.2.11 Digestibilidade In Vitro Dos Amidos E Chocolates.....	42
4.2.12 Análise De Textura Do Chocolate.....	43
4.2.13 Análise Sensorial.....	43
4.2.14 Análise Estatística.....	43
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
5.1 TEOR DE AMIDO.....	45
5.2 MODIFICAÇÃO DO AMIDO.....	46
5.3 PROPRIEDADE DE PASTA (RVA).....	50
5.4 DIFRAÇÃO DE RAIOS X (DRX).....	56
5.5 CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC).....	60
5.6 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA POR EMISSÃO DE CAMPO (MEV).....	65
5.7 ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO MÉDIO COM	

TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR).....	69
5.8 AMIOLOSE.....	72
5.9 ELABORAÇÃO DE CHOCOLATES COM AMIDO MODIFICADOS DE BANANA DA TERRA, AMIDO DE MILHO E MANDIOCA.....	74
5.11 ANÁLISE DE TEXTURA.....	76
5.12 ANÁLISE SENSORIAL.....	77
5.12.1 Escala Do Ideal.....	81
5.12.2 CATA (Check All That Apply).....	83
6 CONCLUSÃO.....	85
REFERÊNCIAS.....	87
ANEXO A - FORMULÁRIO UTILIZADO NA SENSORIAL.....	101

1 INTRODUÇÃO

A indústria de alimentos sempre está em busca de novas fontes de matérias-primas para desenvolver novos produtos devido à crescente tendência de procura por alimentos mais fáceis e convenientes e que ao mesmo tempo sejam bons para a saúde dos consumidores. Os consumidores estão exigindo que a indústria melhore os processos de produção de alimentos para substituir matérias-primas tradicionais com baixo valor nutricional por produtos alternativos provenientes de várias fontes botânicas, como farinhas integrais, biomassas, proteínas e amidos.

O componente em maior quantidade presente nas farinhas oriundas de frutas, vegetais e cereais no início do estágio de maturação é o amido. Caracterizar suas propriedades tecnológicas possibilita determinar aplicações com funções específicas deste componente, em diferentes produtos. Por isso, é de suma importância conhecer parâmetros como: a temperatura de gelatinização, a formação da estrutura molecular e suas propriedades funcionais. Cada amido de origem botânica diferente possui características específicas, devido à sua biossíntese que pode ocorrer de forma diferente para cada planta (Halley; Avérous, 2014; Tagliapietra *et al.* 2021).

Considerada uma fonte não convencional de amido, a banana (*Musa spp*) é a fruta mais produzida no mundo, com valor anual de aproximadamente 150 milhões de toneladas (Tagliapietra *et al.* 2021; FAO, 2022). Trata-se de uma ótima fonte energética, composta por vitaminas A e vitaminas do complexo B, além de fibras, proteínas, carboidratos, cinzas, lipídeos, potássio, fósforo, magnésio, sódio e outros minerais em menores quantidades (Castilho; Alcantara; Clemnete, 2014; Sing *et al.*, 2016).

A banana verde (imatura, não amadurecida) apresenta uma dureza significativa que dificulta o seu consumo *in natura*, além de um sabor adstringente, elevado teor de amido resistente e baixo teor de açúcares. O amido resistente (AR) tem comportamento similar ao das fibras alimentares no intestino delgado, pois não é completamente digerido, o que acarreta diversos benefícios para a saúde do consumidor (Ormenesse, 2010; Bello-Perez *et al.*, 2020). As fibras dietéticas solúveis e insolúveis e fruto-oligossacarídeos possuem a ação de melhorar a função intestinal, retardar o esvaziamento gástrico e diminuir os índices de colesterol sanguíneo (Leon, 2010).

A produção de amidos modificados tem sido usada para superar uma ou mais restrições dos amidos nativos. Uma maneira de melhorar as propriedades funcionais de um amido resistente é a modificação de amido com anidrido octenil succínico (OSA). Quando o

amido parcialmente hidrolisado obtém um elemento hidrofóbico de grupos octenil, ocorre a modificação. Isso resulta em moléculas inteiras com características anfífilas (Sweedman; Schafer; Gilbert, 2013). A modificação química é um método para produzir o amido resistente tipo RS4, ocorrendo a resistência à ação de enzimas amilolíticas decorre de mudanças na composição e estrutura de amido após modificação (Leszczynski, 2004).

O OSA é um agente de modificação que reage com o amido, adicionando grupos octenil succinato a suas moléculas. É importante mencionar que a modificação química do amido resistente pode trazer vantagens para a indústria alimentícia, melhorando textura e estabilidade dos produtos. Essa modificação tem como objetivo aumentar a capacidade do amido de se ligar à água e formar géis, o que pode melhorar sua estabilidade em altas temperaturas e acidez, além de conferir textura e consistência desejáveis aos alimentos.

A modificação com OSA também pode aumentar a capacidade do amido resistente de formar complexos com outras substâncias, como proteínas e lipídios, e atribui propriedades emulsificantes ao polissacarídeo. Destaca-se que a modificação de amido com OSA pode ser aplicada na formulação de diversos alimentos, como pães, bolos, molhos, sobremesas, produtos lácteos e chocolates, trazendo benefícios tanto para a indústria alimentícia quanto para os consumidores. No entanto, torna-se necessário realizar análises e estudos para avaliar a segurança e a qualidade dos produtos resultantes.

Neste sentido, com o propósito de melhorar os aspectos nutricionais do produto final, analisando as diferentes cultivares de banana *Musa acuminata* subgrupo cavendish, *Musa acuminata* e *Musa balbisiana* subgrupo prata, *Musa acuminata* subgrupo ouro, *Musa sapientum* subgrupo terra, justifica-se o estudo de aplicar o amido modificado quimicamente em chocolate ao leite, a fim de também avaliar as propriedades tecnológicas dos mesmos aumentando o seu teor de amido resistente e reduzindo o teor de gordura.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar e avaliar as propriedades tecnológicas de amidos de diferentes cultivares de banana verde, modificando-os quimicamente e avaliar a aplicação em chocolate ao leite.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Extrair e caracterizar o amido de banana verde de quatro diferentes cultivares de banana.
- Modificar com anidrido octenil succínico (OSA) amidos de banana, de milho e de mandioca.
- Aplicar amidos modificados de banana (com melhor rendimento de extração) de milho e de mandioca em chocolate ao leite, e avaliar propriedades físico-químicas, nutricionais e a quantidade de amido resistente no produto final.
- Verificar a viabilidade de produção com testes preliminares em bancada e elaborar, em escala industrial, chocolates com substituição da manteiga de cacau por amido OSA de banana, milho e mandioca.
- Avaliar a substituição parcial da manteiga de cacau por amido modificado.
- Realizar análise sensorial utilizando o teste de aceitação, análise de CATA (*Check-all- that-apply*) e escala do ideal.
- Realizar a análise de digestibilidade *in vitro* do amido adicionado aos chocolates.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 BANANA

A banana (*Musa* spp) é um dos alimentos mais produzidos e consumidos no mundo, sendo produzidas anualmente em mais de 112 países (FAO, 2022). De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, a Índia é o principal produtor de banana com produção anual de 30 milhões de toneladas, seguida pela China, Indonésia e Brasil (FAOSTAT, 2019).

Sua produção mundial tem passado por um aumento significativo nas últimas décadas, de 69 milhões de toneladas em 2002 para 116 milhões de toneladas em 2019 (Turco *et al.*, 2021). A bananicultura possui como vantagens, o retorno rápido de investimento e a possibilidade de comercialização durante o ano todo. Esse rendimento econômico torna o negócio atraente, se comparado ao cultivo de outras frutas (Silva Júnior *et al.*, 2012; Lessa *et al.*, 2012, Arinzechukwu, Nkama, 2019).

Fruta tropical pertencente à família *Musaceae*, a banana (*Musa* spp) conta com mais de trinta espécies do gênero *Musa*, a qual possui cerca de setecentas variedades (Stover *et al.*, 1987; Robinson, 1996; Souza *et al.*, 2011; Asmar *et al.*, 2013). O genoma A da *Musa acuminata* e o genoma B da *Musa balbisiana* são os híbridos que constituem os cultivares comerciais de banana. A nomenclatura do genoma cria grupos varietais que agrupam cultivares com características idênticas (ITAL, 1985).

A banana é um pseudofruto tropical que se desenvolve no tubo floral junto com o ovário durante a frutificação. A temperatura ideal para o cultivo é 28 °C, e as temperaturas de produção podem variar de 15 °C a 35 °C. Temperaturas acima de 35 °C desidratam as folhas e afetam o desenvolvimento da planta, enquanto temperaturas abaixo de 15 °C afetam a maturação da fruta e sua fisiologia, causando o defeito conhecido como chilling (EMBRAPA, 2012).

O que diferencia a banana madura da banana verde (imatura), é o estágio de maturação da fruta; com o amadurecimento, ocorrem várias transformações bioquímicas em que a reserva energética da fruta, o amido, é convertido quase que na sua totalidade em açúcares, além de ocorrer a solubilização da pectina, aumento da taxa respiratória e mudanças na permeabilidade da casca (Chitarra; Chitarra, 1984).

A fruta madura possui larga aceitação sensorial e destaca-se de outras frutas devido a sua versatilidade de uso com um preço acessível e alto valor energético (Matsuura *et al.*,

2014). A banana verde é rica em polissacarídeos não amiláceos como frutooligossacarídeos e inulina, possui também fibra alimentar, amido resistente e outros compostos bioativos, podendo ser usada como uma rica fonte de amido. Por outro lado, a banana madura é consumida como alimento fresco ou como matéria-prima para produtos à base de açúcar (Montoya López *et al.*, 2015; Bi *et al.*, 2017).

A banana verde tem um sabor adstringente, um alto teor de amido resistente e um baixo teor de açúcares. Além disso, sua dureza significativa torna inviável o consumo natural. Devido à sua digestão comparável às fibras alimentares no intestino delgado, o amido resistente (AR) oferece vários benefícios aos consumidores (Ormenese, 2010).

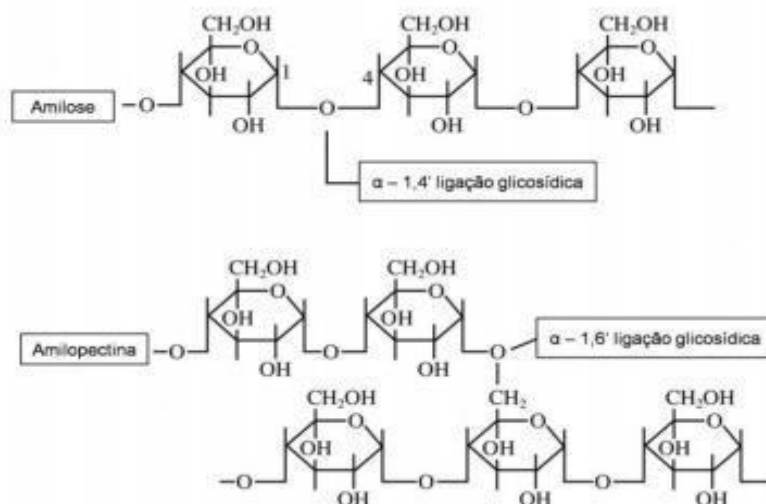
A indústria de processamento de alimentos vem buscando novas fontes botânicas que substituam as matérias-primas tradicionalmente utilizadas, como por exemplo, o amido de banana, que além de servir como fonte de energia, pode ser empregado em uma variedade de aplicações industriais, incluindo a fabricação de espessantes em alimentos, substitutos de gorduras ou como matéria-prima na fabricação de produtos químicos, papel e têxteis.

3.2 AMIDO

A principal forma de armazenamento de energia das plantas é o amido, sendo um polissacarídeo complexo formado por moléculas de glicose. Ele está presente em órgãos de armazenamento das plantas, como sementes, raízes, tubérculos, caules e frutas. É uma reserva de carboidratos que as plantas podem hidrolisar para fornecer energia quando necessário, como durante a germinação de sementes ou em condições de crescimento rápido (Yazid *et al.*, 2018).

Os grânulos de amido são estruturas semi cristalinas que consistem em amilose (uma cadeia predominantemente linear de glicose) e amilopectina (uma cadeia ramificada de glicose). Na amilose, as glicoses anidras são unidas por ligações glicosídicas do tipo α -1,4 (Figura 1), que caracterizam a cadeia linear, enquanto na amilopectina as glicoses são unidas por ligações do tipo glicosídicas α -1,4, mas também por ligações glicosídicas do tipo α -1,6 que permitem a disposição das moléculas de forma altamente ramificada (Hill, 2005; Park *et al.*, 2009; Noor, *et al.*, 2021).

Figura 1 Representação esquemática da amilose e amilopectina



Fonte: HILL (2005)

A origem botânica de cada amido tem influência direta ligada à estrutura, composição e às propriedades reológicas. Isso acontece devido a mecanismos da biossíntese e pela presença de outras macromoléculas que podem estar ligadas aos amidos, como proteínas e lipídeos; sendo assim, amidos de diferentes fontes botânicas e grau de maturação, apresentam diferenças estruturais de formas, tamanhos e composição (Halley; Avérous, 2014; Yashini *et al.*, 2022).

A diferença na composição está relacionada à proporção de amilose e amilopectina, o que pode causar alterações nas propriedades de gelificação e viscosidade do amido (Bobbio; Bobbio, 1995). Pode também, alterar a cristalinidade do grânulo, pois proporções maiores de amilopectina formam regiões densas e cristalinas, devido à morfologia das ramificações e cadeias laterais, já que suas moléculas são dispostas de forma helicoidal, dupla e compactada. As ligações entre as glicoses são do tipo α (1 $\rightarrow$ 6), essas ligações fazem com que a molécula seja altamente ramificada e volumosa impedindo sua sobreposição. Os espaços entre ramificações permitem a difração da luz e por isso é considerada uma região cristalina.

Composições nas quais predominam amilose, por sua vez, formam regiões amorfas, pois suas cadeias lineares conseguem sobrepor com maior facilidade e organização, diminuindo assim a área cristalina (Jane *et al.*, 2003; Pérez; Bertoft, 2010; Noor, *et al.*, 2021; Yashini *et al.*, 2022). A cristalinidade está diretamente relacionada com a solubilidade do amido em água e temperatura ambiente. Amidos com maior região cristalina tem uma solubilidade menor, do que amidos com maior região amorfa, pois a estrutura da região cristalina é ordenada e compactada com ligações de hidrogênio fortemente ligadas. Para o

enfraquecimento dessas ligações é necessário o emprego de calor ou modificações que permitam alterar as ligações, para facilitar a entrada de água. Para aplicação do amido na indústria de alimentos é de suma importância entender a qual temperatura de aplicação é indicado cada tipo de amido (Denardin, Da Silva, 2009; Wei, 2017).

A característica da cristalinidade relativa de cada grânulo de amido, possibilita classificá-los em diferentes padrões de cristalinidade (tipos A, B e C). O tipo A é encontrado geralmente em cereais, tubérculos e banana verde; o tipo B é encontrado geralmente em leguminosas e sementes e alguns cereais ricos em amilose (*high amylose*); e o tipo C é encontrado geralmente em leguminosas e algumas sementes (He; Wei, 2017; Yang *et al.*, 2022).

O padrão de difração dos amidos se avalia por meio de difratogramas de raios X. Quando submetidos à análise de difração de raios X, a variação nos picos em diferentes ângulos permite a classificação de forma que, os amidos com cristalinidade relativa do tipo A apresentam picos em ângulos 2θ de 15, 17, 18 e 23°, os de tipo B em 5,6, 15, 17, 22 e 23° e, por fim, os de tipo C são a mistura dos tipos A e B, apresentando picos em 5,5, 15, 17, 22 e 23° em $2(\theta)$ (Marcon, 2009; He; Wei, 2017).

Paramasivam *et al.* (2021) investigaram as propriedades físico-químicas, funcionais, estruturais e de pasta de amidos de banana de diferentes cultivares, incluindo bananas de sobremesa e de uso culinário. Eles descobriram que os amidos das variedades científicas (*Musa spp*) apresentam padrões distintos de cristalinidade, predominantemente dos tipos B e C (*Musa spp*) com níveis variados de cristalinidade (21,19–52,01%).

Remya, Jyothi e Sreekumar (2018) estudaram as propriedades morfológicas, estruturais e de digestibilidade do RS4 de amidos de batata doce, banana e lentilha modificados com OSA e obtiveram dados de cristalinidade do amido de banana nativo com padrão cristalino tipo C com picos principais em $2\theta = 14,86, 17,06$ e $22,95$, os amidos modificados OSA exibiram padrões cristalinos semelhantes aos amidos convencionais. Segundo Zhang *et al.* (2005), dependendo da fonte botânica da fruta, das condições de cultivo e da técnica de isolamento utilizada, o amido de banana pode ter cristalinidade do tipo A, B ou C.

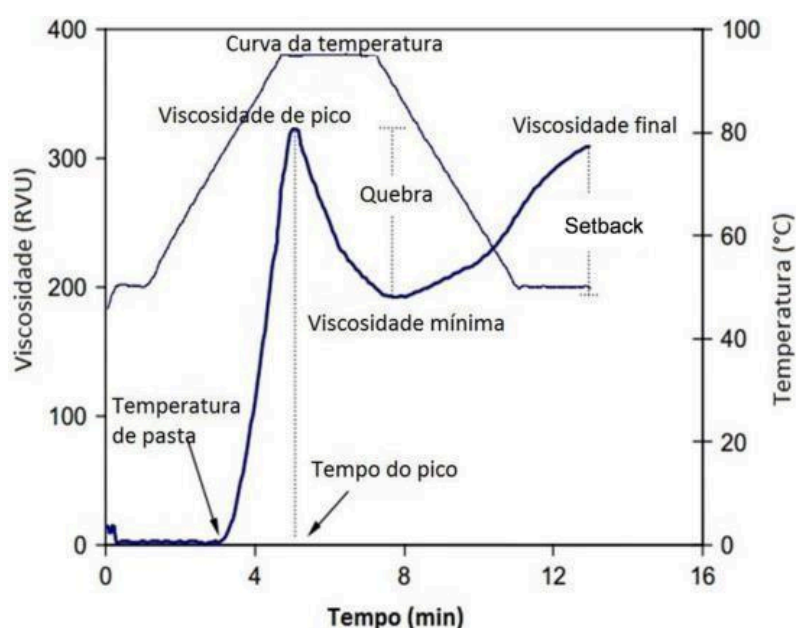
Outras características tecnológicas importantes do amido são a gelatinização e a retrogradação. A gelatinização ocorre quando o amido nativo absorve água aquecida, de forma que algumas estruturas são danificadas com o crescimento dos anéis da região amorfa. O entumescimento completo dos divisores de amido ocorre quando eles absorvem água suficiente para que essa penetre nas regiões cristalinas, quebrando as ligações de proteção que

mantêm essa estrutura organizada. Nesse ponto, os grânulos perdem totalmente sua estrutura cristalina original, tornando-se amorfos, inchados e ocupam mais espaço. Esse processo é irreversível, o amido disperso começa a formar uma rede e a viscosidade do meio aumenta de forma significativa (Jenkins; Donald, 1998).

A retrogradação decorre do resfriamento do amido gelatinizado; com a redução da temperatura ocorre o rearranjo das ligações de hidrogênio que formam cadeias bem organizadas com reaparecimento de áreas cristalinas e parcial expulsão da água absorvida inicialmente (Denardin; Silva, 2009).

As temperaturas em que estas mudanças ocorrem no grânulo podem ser determinadas com o auxílio do equipamento *Rapid Visco Analyser* (RVA). O RVA mede a viscosidade da suspensão, simulando o processamento de alimentos, com o aquecimento e resfriamento do meio (Copeland *et al.*, 2009) e são definidas diferentes características conforme a Figura 2.

Figura 2 Perfil típico de RVA de uma amostra de amido.



Fonte: Adaptado Copeland *et al.*, (2009)

No RVA, um viscosímetro rotacional, uma suspensão de amido em água é aquecida e resfriada sob condições controladas, para monitorar variações na viscosidade ao longo do processo. O comportamento viscoso dos componentes poliméricos do amido é examinado, bem como sua propensão à formação de novas ligações de hidrogênio, que pode levar à rápida retrogradação (Varela; Navarro; Yamul, 2016).

A primeira temperatura que pode ser determinada na suspensão de amido é a

temperatura de pasta ou empastamento, onde inicialmente os grânulos aquecidos sob agitação rotacional, começam a alterar a viscosidade do meio (Singh *et al.*, 2011). Com o passar do tempo, pode ser determinado o tempo de pico e a viscosidade máxima, que é o tempo em que a suspensão leva para atingir o máximo de inchamento dos grânulos sem o seu rompimento (Copeland *et al.*, 2009).

O tempo de pico e pico de viscosidade, são parâmetros relacionados com a capacidade de ligação da água com o amido, consequentemente ao grau de intumescimento dos grânulos de amido durante o aquecimento e a facilidade com que os grânulos serão desintegrados. Assim, quando existem grandes quantidades de grânulos com elevada capacidade de intumescimento, ocorrem elevados picos de viscosidade (Oro *et al.*, 2013).

Após a temperatura de viscosidade máxima, ocorre um decréscimo na viscosidade do meio, devido à ruptura dos grânulos, atingindo o ponto de viscosidade mínima, logo a temperatura diminui e ocorre um novo aumento da viscosidade devido à retrogradação do amido. A diferença entre a viscosidade final e mínima é denominada *Setback*, e está associada à tendência à retrogradação (Copeland *et al.*, 2009).

3.3 MODIFICAÇÃO DO AMIDO

Os amidos nativos possuem limitações em suas propriedades funcionais para diversas aplicações. E para chegar ao resultado esperado, algumas modificações podem ser realizadas. Essas mudanças podem ser obtidas por diferentes técnicas, entre elas as mais utilizadas são: modificações físicas (tratamentos térmicos, pré-gelatinização, ultrassom, infravermelho, umidade) e químicas (esterificação, ligações cruzadas, hidrólise ácida ou enzimática, eterificação) (Zhu; Xie, 2018).

A modificação física de um amido ocorre sem alterar sua estrutura química básica; a modificação química, por outro lado, envolve reações químicas específicas que mudam sua estrutura molecular. Esses procedimentos são usados para melhorar as características funcionais do amido, como solubilidade, viscosidade, capacidade de gelatinização e estabilidade térmica. Essas alterações tornam o amido mais eficaz em várias aplicações alimentícias e industriais, dando aos produtos finais, as características desejáveis (Raghunathan *et al.*, 2021).

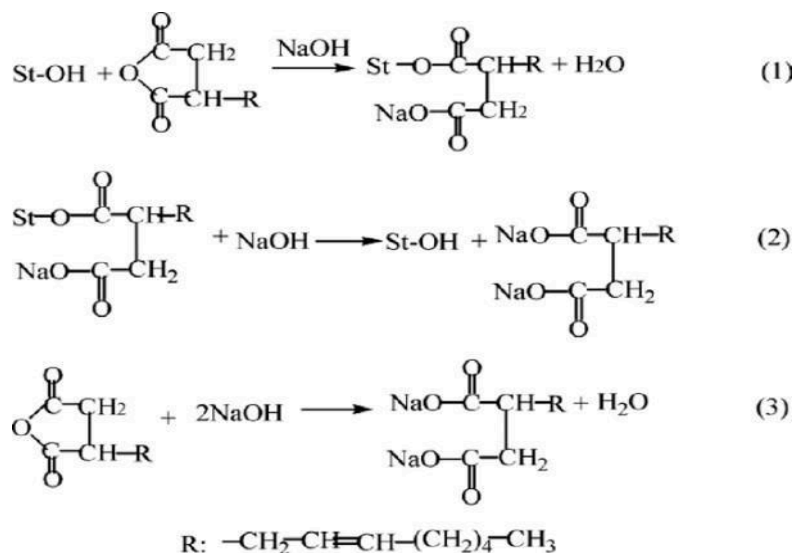
O uso do OSA em modificações químicas de amidos anidridos foi autorizado pela agência norte-americana *Food and Drug Administration* (Bhosale, Singhal, 2006). Cada país tem leis que estabelecem a quantidade de octenilsuccinato de amido, ou OSA, usado para modificar o amido.

No Brasil a Resolução da diretoria colegiada nº 778, de 1º de março de 2023, a qual dispõe sobre os princípios gerais, as funções tecnológicas e as condições de uso de aditivos alimentares e coadjuvantes de tecnologia em alimentos, informa que esta resolução não se aplica aos amidos modificados quimicamente e que deverão obedecer às especificações pelo Código de Produtos Químicos Alimentares (Food Chemicals Codex - FCC). O *Codex Alimentarius* é um conjunto de diretrizes internacionais sobre alimentos e oferece uma estrutura de regulamentação comum. O *Codex Alimentarius* limita a substituição de amido por OSA a 3 % (v/m) em peso (base seca). Isso indica que o amido modificado pode conter OSA até 3 %.

O amido nativo, por não ser hidrofóbico, geralmente não é eficaz na adsorção na interface água-óleo e, portanto, não é ideal para estabilizar emulsões. No entanto, a hidrofobicidade do amido pode ser aumentada através de modificações químicas. Um exemplo é o uso de anidrido octenil succínico (OSA), que é aprovado para uso alimentar. Esse tratamento químico altera o amido, aumentando sua capacidade de estabilizar emulsões devido à introdução dos grupos hidrofóbicos octenil (Wurzburg, 1995).

A modificação química utilizando o OSA ocorre por meio da reação de esterificação entre os grupos hidroxila do amido e anidrido octenil succínico adicionado ao meio reacional (Figura 3). A reação ocorre em meio aquoso, com o amido granular; em meio levemente alcalino, essas condições favorecem as reações pois, enfraquecem as ligações de hidrogênio entre as cadeias constituintes dos grânulos de amido, favorecendo o inchamento dos grânulos e a difusão de moléculas de OSA para dentro dos grânulos dilatados (Sweedman, 2013).

Figura 3 Reação química durante a modificação do amido com OSA



Fonte: R. Hui *et al.*, (2009)

O anidrido octenil succínico (OSA) modifica quimicamente o amido pela ocorrência de reação de esterificação entre os grupos hidroxila do amido e o anidrido adicionado ao meio reacional. A intensidade da modificação pode ser medida pelo grau de substituição (DS) que é o número médio de octenilsuccinato obtido por unidade de glicose anidra. Quanto maior for o valor de DS, maior é a ocorrência da reação de esterificação do amido e maior a eficiência de utilização do OSA na modificação (Fredriksson *et al.*, 1998; Liu *et al.*, 2008).

Esta modificação permite melhorar as propriedades emulsificantes, tornando-o útil em aplicações como estabilizantes em alimentos. A modificação com OSA também pode ajudar o amido resistente a formar complexos com outras substâncias, como proteínas e lipídios; além disso, pode dar ao amido OSA propriedades emulsificantes (Sweedman, 2013).

Para analisar se realmente ocorreu a modificação química pela inserção de grupos funcionais específicos pode ser realizada a análise de espectroscopia na região do infravermelho médio com transformada de fourier (FTIR), em que por meio da capacidade das moléculas de absorver a radiação infravermelha resulta em transições vibracionais e essas vibrações fornecem informações relevantes sobre a dinâmica e a estrutura molecular, para encontrar compostos químicos e examinar as propriedades dos materiais. Todas estas informações podem ser explicadas por meio do uso da espectroscopia FTIR (Song, 2007; Sweedman *et al.*, 2013).

A radiação infravermelha é aplicada à amostra e as frequências de absorção dessa radiação são determinadas pelas moléculas, que dependem das energias das vibrações das ligações químicas. O espectro resultante mostra picos de absorção em várias frequências. Esses picos podem ser usados para identificar grupos funcionais e compostos específicos na amostra (Mota *et al.*, 2014).

3.4 ELABORAÇÃO DE NOVOS PRODUTOS - CHOCOLATE

Fortalecer os alimentos frequentemente consumidos com baixo valor nutricional e desenvolver novas formulações para aumentar seu conteúdo de fibras, proteínas e outros componentes importantes é uma maneira de garantir que a população em geral tenha acesso a produtos práticos com propriedades nutricionais melhoradas.

O chocolate é um dos alimentos mais apreciados no mundo, seu sabor rico e doce, juntamente com suas inúmeras variações e formas, o torna prestigiado. Este é um produto dos grãos da semente da árvore *Theobroma cacao* L., também conhecida como cacaueiro, uma planta nativa das áreas tropicais da América Central e do Sul e que produz frutos contendo

sementes, chamadas de sementes de cacau (Afoakwa, 2016). Destas sementes é possível obter nibs, liquor, manteiga e cacau em pó e todos estes ingredientes podem ser utilizados para a elaboração de chocolate.

O consumo moderado de chocolate está relacionado à redução dos níveis de pressão sanguínea, produção de serotonina, que causa sensações de prazer e bem-estar, estimula o sistema nervoso central, coração, circulação e reduz o cansaço, melhora a evolução motora e aumenta a atividade sensorial (Muhammad *et al.*, 2018).

A legislação brasileira por meio da RDC nº 723, de 01 de julho de 2022, publicou o regulamento técnico para chocolate e produtos de cacau, no qual define que chocolate é o produto obtido a partir de uma mistura de derivados de cacau (*Theobroma cacao* L.), massa (ou massa ou licor) de cacau, cacau em pó e ou manteiga de cacau com outros ingredientes, contendo no mínimo 25 % (g/100 g) de sólidos totais de cacau (ANVISA, 2022).

Os chocolates amargo, ao leite e branco são os três tipos principais, que diferem de acordo com a quantidade de sólidos de cacau, leite e manteiga de cacau. A produção de chocolate envolve várias etapas, como a colheita e fermentação das sementes de cacau, a torrefação e moagem e a mistura com outros ingredientes, como açúcar ou substitutos de açúcares e leite (Afoakwa, 2016).

A fabricação de chocolate é uma operação composta por várias etapas. As qualidades sensoriais são influenciadas por vários fatores, desde o processo de cultivo do grão de cacau até o momento em que o produto final é armazenado. As fazendas de cacau extraem as amêndoas ou sementes dos frutos para fazer chocolate. Cada cacau tem de vinte a cinquenta sementes, com alto teor de gordura e água, que são fermentadas para o desenvolvimento dos sabores e aromas característicos do chocolate. Portanto, para fermentar, eles devem ser secados ao sol durante oito dias (García-Rincón *et al.*, 2021).

Depois que as amêndoas secam, elas são submetidas a um processo de aquecimento, que elimina toda a umidade e ajuda no desenvolvimento de cores, aromas e sabores. Em seguida, as sementes são encaminhadas para o triturador, que extrai a casca das amêndoas. No descascamento as sementes são moídas para produzir a massa de cacau, também conhecida como liquor de cacau; o liquor então pode ser prensando para a obtenção da manteiga de cacau (Silva, Oliveira, 2020).

Após a obtenção da matéria-prima, o produto segue para a industrialização que inclui as fases de conchagem e refino. Que consiste em um tratamento térmico prolongado, forças mecânicas e adição de gordura e emulsificantes. O tipo de processo de conchagem está relacionado ao sabor do chocolate, é nesta etapa também, que devido aos efeitos mecânicos o

tamanho das partículas dos ingredientes são reduzidas, com isso o número de partículas aumenta (Toker, Palabiyik, 2019). Na temperagem o chocolate é submetido à uma temperatura específica para cristalização da gordura em forma polimórfica β_2 , para melhorar a estabilidade do produto após desmolde (Tran *et al.*, 2014), o fluxograma de processo está descrito na Figura 4.

Figura 4 Etapas do processo para obtenção de um chocolate



Fonte: Autor

As qualidades sensoriais e físicas do chocolate são influenciadas pela gordura, que é um componente essencial de sua estrutura. A gordura utilizada para a formulação do chocolate é a manteiga de cacau, que está presente também no liquor de cacau numa proporção de aproximadamente 50%. É também atribuída a gordura, a textura suave e a cremosidade do chocolate, que permite o derretimento na boca a uma temperatura semelhante à do corpo humano (cerca de 34-36°C), resultando em uma sensação agradável e uniforme (Lida, Arm, 1998).

A textura está relacionada à cristalização da manteiga de cacau que pode cristalizar em formas polimórficas diferentes, mas, a forma β_2 , é a única que confere aparência brilhante do chocolate bem temperado. A caracterização da forma cristalina é fundamental para aplicações na indústria alimentícia, para otimizar processos industriais ou criar novos produtos (Tran *et al.*, 2014, Hernández *et al.*, 2020).

Além disso, a gordura é responsável pela captura e liberação de sabores e aromas no chocolate. A experiência sensorial do consumo deste produto é ampliada pela liberação gradual desses compostos durante a mastigação. A particularidade do chocolate derretido é influenciada pelo tipo de gordura e pela quantidade de gordura utilizada durante o processo de fabricação. Para processos como moldagem, revestimento e conchagem, sempre há um padrão de viscosidade que é inspirado, pela quantidade de manteiga de cacau utilizada (McClements, Demetriades, 1998).

Alguns ingredientes são utilizados para substituição parcial da manteiga de cacau no chocolate, eles são chamados de imitadores ou derivados de gordura. De acordo com sua natureza química, eles também podem ser divididos em três categorias: carboidratos, proteínas e gordura (Richter *et al.*, 2009; Limbardo, *et al.*, 2017).

Quando há a substituição da manteiga de cacau por outra gordura ou por derivados de gordura, não há redução significativa na quantidade de gordura saturada, pois estes produtos possuem quantidades muito semelhantes de gordura saturada. Por isso é essencial que sejam testadas novas opções de substitutos que consigam ser emulsionados e que contenham uma quantidade de gordura saturada reduzida ou inexistente (Afoakwa, 2010).

O estudo e aplicação de amidos modificados como substitutos parciais da manteiga de cacau oferecem diversos benefícios à indústria de alimentos. Ao utilizar amidos modificados, como o amido OSA, em vez de gorduras como a CBE (*Cocoa Butter Equivalent*), é possível reduzir significativamente a quantidade de gordura saturada no produto final.

A gordura CBE, embora seja uma alternativa comum à manteiga de cacau, ainda é rica em gorduras saturadas, o que obriga a indústria a declarar a LUPA de "alto em gordura

saturada" no painel frontal das embalagens, conforme exigido pela IN Nº 75, de 8 de outubro de 2020, da ANVISA. Essa declaração é um requisito para alimentos que contêm altos níveis de gordura saturada e pode impactar negativamente a percepção do consumidor. Por outro lado, ao substituir parcialmente a manteiga de cacau por amido OSA, é possível reduzir o teor de gordura saturada, melhorando a apresentação do produto no ponto de venda e tornando-o mais atraente para consumidores que buscam opções mais saudáveis. Isso representa uma vantagem competitiva significativa para a indústria alimentícia, permitindo a produção de chocolates e outros produtos derivados de cacau com perfis nutricionais mais favoráveis.

Esse benefício regulatório pode tornar os produtos mais atraentes para consumidores preocupados com a saúde, ao mesmo tempo em que mantém as propriedades desejadas do chocolate. Além disso, a redução de gordura saturada sem comprometer a qualidade do produto final pode influenciar o posicionamento de mercado pela busca de alimentos que atendam a demanda por produtos mais saudáveis.

3.5 ANÁLISE SENSORIAL

A forma técnica-científica de avaliar, analisar, medir e interpretar os dados e/ou as reações percebidas pelos consumidores em relação aos alimentos, é definida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1998) como análise sensorial. Ela é fundamental para qualificar os produtos para consumo humano, pois os avaliadores utilizam dos sentidos: visão, olfato, sabor, tato e audição.

Existem parâmetros que devem ser seguidos para que a técnica de análise seja efetiva, como servir as amostras sob condições adequadas, obter dados numéricos para medir a relação entre as características do produto e a percepção humana; utilizar métodos estatísticos, em que um delineamento experimental é importante para obter dados de boa qualidade, e analisar os dados dentro de um contexto de hipóteses e do conhecimento prévio de suas implicações para a tomada de decisão (Dutcosky, 2013; Ferreira *et al.*, 2000).

Como ferramenta importante para o desenvolvimento de novos produtos, os resultados das análises sensoriais permitem avaliar a aceitação pelo mercado e quais os parâmetros que podem ser modificados para melhorar ou aumentar a sua aceitação. A opinião do consumidor sobre determinado produto é de suma importância, e uma das metodologias utilizadas chama-se "*Check all that apply*" (CATA), a qual pode englobar análise de aceitabilidade, escala do ideal e pesquisas de mercado (Varela; Ares, 2012).

Simultaneamente ao método de CATA podem ser aplicados outros tipos de escalas, como a escala hedônica de aceitabilidade e intenção de compra e a escala de "*Just about*

right" (JAR), que possibilita entender o quanto o produto se afasta ou se aproxima do ideal para determinado atributo, indicando as melhorias que podem ser feitas para que aumente a aceitação dos consumidores (Ares *et al.*, 2014; Jaeger *et al.*, 2015).

Os dados obtidos da análise de aceitabilidade podem ser aplicados em mapas de preferência interno, os quais de maneira gráfica descrevem a preferência do consumidor e as características avaliadas pelos mesmos.

O método *Check-all-that-apply* (CATA) tem sido amplamente utilizado por se tratar de um método rápido, e por não necessitar de uma equipe treinada, com o objetivo de caracterizar os produtos avaliados. Considerado um método simples, pode ser aplicado diretamente aos consumidores, como um teste afetivo (Bruzzone; Ares; Giménez, 2012; Ares *et al.*, 2010). Nesta metodologia os participantes são apresentados a uma lista de atributos em que é solicitado que assinalem nesta ficha todos os atributos que se aplicam à amostra em questão, os termos propostos não possuem escalas, sendo, portanto, uma tarefa mais fácil para o consumidor (Meyners; Castura, 2014; Ares *et al.*, 2014; Ares *et al.*, 2013).

Os termos da análise de CATA podem ser criados por avaliadores treinados, e/ou consumidores identificados para a classe de produtos que será testada, ou seja, o público-alvo para o produto em questão. Esses termos são fornecidos aos avaliadores para que sejam escolhidos como forma de descrever o produto em estudo (Ares *et al.*, 2013, Varela; Ares 2012).

Segundo Jaeger *et al.* (2013), este método é confiável, sendo que os autores realizaram teste e reteste e verificaram que na repetição da análise sensorial não obtiveram alteração no resultado mantendo as mesmas características apontadas pelos avaliadores na primeira análise realizada. Porém, uma limitação encontrada para este teste, é a ordem fixa dos termos. Eles indicaram que a ordem dos termos não deve ser fixa e sim distribuída ao acaso.

Ares *et al.* (2013) estudaram a quantidade necessária de termos CATA para realização dos testes. Relataram que não há necessidade de que estas listas de termos sejam longas, verificaram que quando as listas eram adicionadas com outros termos com a intenção de alterá-las de curtas para longas, os consumidores continuavam marcando maior número de palavras em listas curtas. A quantidade mínima de julgadores/consumidores deve ser de 50 pessoas e o ideal é que seja superior a 100 avaliadores.

Por meio da combinação e correlação entre os testes descritivos e afetivos na análise sensorial, é possível conduzir o desenvolvimento e o melhoramento do produto com as características fornecidas pelos avaliadores.

3.6 ANÁLISE DE TEXTURA

A análise de textura, especialmente no que se refere à dureza, é uma avaliação crítica em muitos alimentos, incluindo chocolates, produtos panificados e derivados de amido. A dureza é definida como a força necessária para alcançar uma determinada deformação em uma amostra (Abbasi, Peighambardoust, Shojaei-aliabadi, 2015).

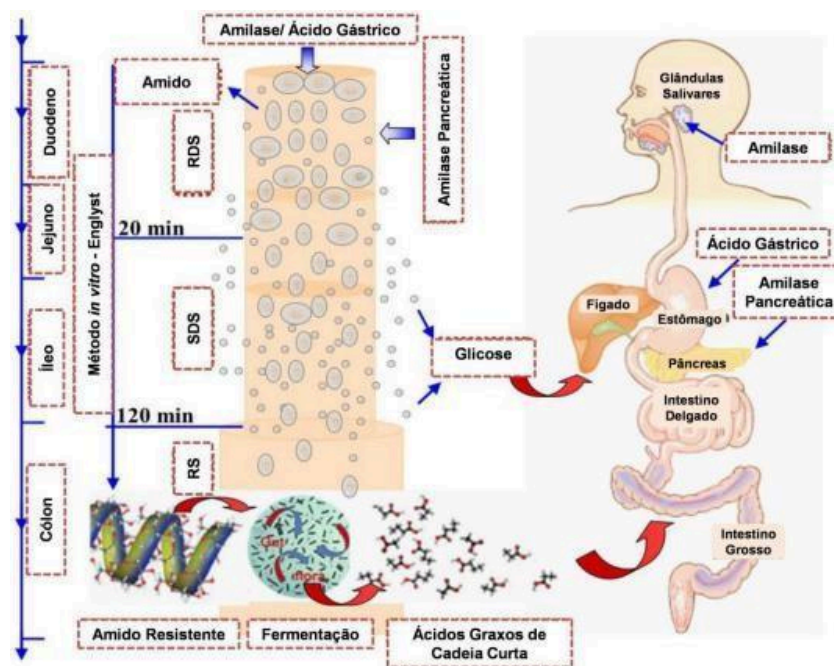
O texturômetro é amplamente utilizado para medir a dureza. No ensaio de penetração, uma sonda comprime a amostra, e a força necessária para essa penetração é registrada como a dureza (*hardness*) está relacionada à força máxima aplicada no primeiro ciclo da compressão da amostra, dureza ideal é desejável para que o produto tenha uma boa quebra ao ser mordido sem ser excessivamente duro. Chevanan *et al.*, 2006; Abbasi, Peighambardoust, Shojaei-aliabadi, 2015; Stamboulis, Kalogeras, Vafolupos, 2019).

3.7 DIGESTIBILIDADE

Os alimentos integrais e as frutas verdes, em sua maioria, possuem naturalmente alto teor de amido resistente (RS), o qual pode ser quantificado por meio da análise de digestibilidade *in vitro*. As diferentes formas de preparo, condições de armazenamento e diferentes fontes botânicas podem variar a quantidade e o tipo de digestibilidade do amido (Tribess *et al.*, 2009; Perera *et al.*, 2010).

Em seres humanos a digestibilidade inicia já na boca (Figura 5), pelas enzimas salivares, as quais catalisam a hidrólise de ligações glicosídicas α -1,4. Após a mastigação e deglutição, a digestão continua no estômago onde as enzimas da saliva são inativadas pela acidez estomacal; em seguida, no intestino ocorre a hidrólise das ligações α -1,6 por ação das enzimas glucosidase e isoamilase tendo como produtos da digestão a glicose ou ácidos graxos de cadeia curta (Lehmann; Robin, 2007).

Figura 5 Fluxograma da digestibilidade do amido no sistema gastrointestinal humano.



Fonte: Liu *et al.*, (2017), traduzido

Existem três classificações quanto à digestibilidade do amido: amido de rápida digestão (RDS), amido de lenta digestão (SDS) e o amido resistente (RS). O amido de rápida digestão é aquele em que as enzimas conseguem acessá-lo facilmente sendo totalmente digerido em apenas 20 min; o amido de lenta digestão é digerido em até 120 min e o amido resistente não é hidrolisado e chega intacto ao intestino grosso (Englyst; Kingman; Cummings, 1992).

O amido resistente é um polissacarídeo com unidades repetitivas de monossacarídeos ligadas entre si por ligações glicosídicas α -1,4 e α -1,6, composto por dois tipos de polissacarídeos: amilose e amilopectina; porém, contém uma quantidade significativa de amilose. A estrutura linear da amilose geralmente consiste em estruturas cristalinas que são mais difíceis de serem hidrolisadas pelas enzimas digestivas, isso lhe assemelha às características das fibras dietéticas solúveis e insolúveis. Ele pode ser classificado em cinco tipos: RS1, RS2, RS3, RS4 e RS5 (Keenan *et al.*, 2015; Noor *et al.*, 2021).

O amido granular encontrado em alimentos como banana verde e batata crua é classificado como RS2, ele está presente em sua forma granular nativa, é resistente à digestão no intestino delgado devido à sua estrutura cristalina compacta, o RS2 passa pelo intestino delgado sem ser digerido e é fermentado pelas bactérias do intestino grosso devido à sua pequena estrutura. Isso leva à produção de ácidos graxos de cadeia curta, que beneficiam a saúde do cólon de várias maneiras.

O amido fisicamente inacessível em grãos inteiros e sementes é classificado como RS1. Quando alimentos contendo amido são cozidos e depois resfriados, surge o amido retrogradado ou RS3. O RS4 é um amido modificado quimicamente para resistir à digestão, e o RS5 é um amido complexado com lipídios que também é resistente à digestão (Dundar, Gocmen 2013; Raigond *et al.*, 2015).

O processo de gelatinização do amido altera a conformação das macromoléculas, pois, o amido perde a sua forma de estrutura helicoidal e isso facilita o acesso das enzimas hidrolíticas, que são as enzimas que atuam somente na presença de excesso de água (Parada; Aguilera, 2009).

Estudos de Wang *et al.* (2019) mostraram que quanto maior a quantidade de água contida durante o cozimento de trigo e inhame, melhor é a hidrólise enzimática. Desta forma temos uma relação inversamente proporcional, onde quanto maior a gelatinização do amido, menor será o conteúdo de amido resistente e ainda quanto menor a disponibilidade de água durante o cozimento menor será a conversão de amidos granulares com cristalinidade do tipo B ou C.

O amido de banana tem ganhado destaque nas pesquisas devido às suas propriedades físico-químicas e digestibilidade, especialmente em fases anteriores ao processamento industrial. No entanto, o futuro é promissor para estudos que explorem suas aplicações práticas em alimentos, com foco na textura e características sensoriais de produtos como chocolate e outros alimentos (TELES *et al.*, 2022).

O uso de amidos modificados, como o amido OSA, na substituição parcial da manteiga de cacau, apresenta vantagens importantes para a indústria alimentícia. Além de melhorar a funcionalidade do chocolate em termos de viscosidade e maquinabilidade, essa substituição pode resultar em um perfil nutricional mais favorável, conforme as regulamentações vigentes. Isso representa um avanço tanto na qualidade do produto quanto na sua aceitação pelo consumidor.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

As cultivares *Musa acuminata* subgrupo cavendish (grupo genômico AAA, banana nanica), *Musa acuminata* e *Musa balbisiana* subgrupo prata (grupo genômico AAB, banana prata), *Musa acuminata* subgrupo ouro (grupo genômico AA, banana ouro) e *Musa sapientum* subgrupo terra (grupo genômico AAB, banana da terra), foram adquiridas no Mercado Municipal de Curitiba (25° 25' 42" S 49° 16' 24" W) Paraná, Brasil. A quantidade adquirida foi 20 kg de cada cultivar, o que tinha disponível no local prospectado para fornecimento de bananas em estado imaturo após 45 dias da primeira floração, sem passar pela câmara de maturação, esses produtos geralmente não comercializadas no varejo ou, por vezes, ofertada para um pequeno público que faz biomassa ou farinha de banana verde.

Os amidos de milho (1 kg) e de mandioca (1 kg) foram adquiridos em supermercados da cidade de Ponta Grossa, de marcas nacionalmente conhecidas.

Os reagentes utilizados para a extração e análises químicas foram ácido clorídrico, hidróxido de sódio, sulfato de cobre e sulfato de potássio, ácido sulfúrico, hexano, ácido acético, cloreto de cálcio, iodo, cloreto de potássio, iodeto de potássio, dimetilsulfóxido (DMSO), hexano (marca Alphatec), todos de grau analítico.

Para a análise de digestibilidade foram utilizados: goma guar (Sigma-Aldrich, St. Louis, EUA), alfa-amilase pancreática suína (Sigma-Aldrich, E.C. 3.2.1.1, 8 × USP specifications, P7545), amiloglucosidase de *Aspergillus nige* (Sigma-Aldrich, E.C. 3.2.1.3, A7095 ≥ 260U/ml). A determinação de amido total foi feita utilizando-se o kit K-TSTA (AA/AMG) fornecido pela Megazyme International (Wicklow, Irlanda), conjuntamente com o kit GOPOD (Megazyme International) de teste D-Glucose o qual contém reagentes de alta pureza para a medição e análise de glicose em extratos de cereais.

4.2 MÉTODOS

As análises foram realizadas nos laboratórios do CTA - Centro de Tecnologia Agroalimentar do Departamento de Engenharia de Alimentos e no Complexo de Laboratórios Multiusuários (C-LABMU) da Universidade Estadual de Ponta Grossa-UEPG.

4.2.1 Extração Do Amido De Banana Verde

O procedimento para a extração do amido de banana verde foi realizado baseado na metodologia descrita por Franco *et al.* (2002). Os frutos verdes foram descascados e homogeneizados com solução de metabissulfito de sódio (1 %, m/v) refrigerada (4°C), em liquidificador industrial por dois minutos. Em seguida, o material foi tamizado em peneira de 0,250 mm e deixou-se decantar por 4 h a 5 °C. Após, foi descartado o líquido sobrenadante, e o amido decantado foi ressuspenso em solução de NaOH 0,05 mol L⁻¹, tamizado novamente em peneira de 0,053 mm e deixado decantar por 4 h a 5 °C. Novamente, a solução foi descartada e o amido ressuspenso em água e centrifugado (Hettich, Rotina 420R, Tuttlingen, Alemanha) a 3.000 rpm por 15 minutos, descartando-se o sobrenadante. Posteriormente, o pH foi ajustado em 6,5 com HCl 0,01 mol L⁻¹. O amido foi filtrado em funil de Buchner com auxílio de uma bomba a vácuo (Tecnal TE-058, Piracicaba SP, Brasil) e lavado com água deionizada três vezes para a completa remoção dos sais. Em seguida o amido já purificado, foi seco em estufa com circulação de ar a 40 °C /24 h, pesado em balança analítica (Shimadzu, modelo AY 220, Quioto, Japão) e embalado em frascos de polietileno.

4.2.2 Modificação Do Amido

Os amidos foram modificados utilizando-se o método empregado por Kim *et al.* (2010) e Remya, Jyothi, e Sreekumar (2018) com algumas modificações. Foram utilizadas três concentrações diferentes de OSA, ou seja, 1, 2 e 3 % (v/v). Foram pesados 30 g de amido (base seca), suspensos em 100 mL de água destilada; a mistura foi mantida em suspensão por meio de agitação magnética à temperatura ambiente (20 °C) em diferentes tempos: 2, 4 e 6 h. Em seguida, cada concentração de OSA foi incorporada por gotejamento em cada uma das suspensões de amido durante uma hora. O pH foi mantido na faixa de 7,0 - 8,5 por meio de uma solução de NaOH a 3 % (m/v) ou HCl (1 mol L⁻¹). No final de cada tempo de reação, a pasta de amido foi neutralizada para pH 7,0 com HCl 1 mol L⁻¹ ou NaOH 3 % (m/v). O amido modificado foi coletado por centrifugação, lavado três vezes com água e, depois, seco a 45 °C por 12 h para obter amido OSA. O amido seco foi mantido em um recipiente hermético até análise posterior.

O grau de substituição do amido OSA (DS) foi determinado por titulometria. Uma alíquota de amido OSA (0,5 g, b.s.) foi dispersa por agitação em banho maria 70 °C durante 10 min em 20 mL de DMSO. A amostra foi retirada do banho deixado resfriar até chegar em temperatura ambiente 25 °C, então, a solução de amido foi titulada com uma solução padrão

de NaOH 0,1 mol L⁻¹, usando fenolftaleína como indicador. O grau de substituição foi calculado de acordo com a equação 1:

$$DS = (162 (V \cdot M) / W) / 1 - [0,210 \cdot V \cdot M / W] \quad (1)$$

Onde V é o volume gasto na titulação, M é a molaridade da solução de NaOH e W é o peso (base seca) do amido OSA (Tong *et al.* 2019; Zheng *et al.*, 2017).

Foi realizado um planejamento experimental 2² com triplicata no ponto central, com quatro combinações possíveis das condições experimentais, onde cada fator foi testado em seus dois níveis (Tabela 1). Foram submetidas ao planejamento experimental as amostras de amido de milho (MI), amido de mandioca (MA), amido de banana Nanica (BN), banana da Terra (BT), banana Ouro (BO) e banana Prata (BP), totalizando 48 amostras.

As amostras das diferentes fontes de amidos foram submetidas às mesmas condições de tratamento de cada nível das variáveis, conforme Tabela 1. Para diferenciar cada amostras, estas foram codificadas com cinco dígitos, em que as duas primeiras letras são de identificação de nomenclatura do amido, seguido pela numeração de amostra, % de OSA utilizado e por fim o tempo de reação.

Tabela 1 - Planejamento experimental de modificação dos amidos, tempo utilizado em cada modificação e a concentração (%) de anidrido octenil succínico utilizado.

VARIÁVEIS REAIS		VARIÁVEIS CODIFICADAS	
OSA %	Tempo (h)	Planejamento	
1	2	-1	-1
1	6	-1	1
3	2	1	-1
3	6	1	1
2	4	0	0
2	4	0	0
2	4	0	0

Fonte: Autor

4.2.3 Propriedades Físico-Químicas E Tecnológicas Dos Amidos

Todas as análises referentes às propriedades tecnológicas do amido de cada matéria-prima foram avaliadas nos laboratórios da UEPG - Universidade Estadual de Ponta Grossa.

A umidade foi determinada em estufa a 105 °C até peso constante, cinzas por incineração a 550 °C durante 6 horas, proteínas pelo método de Micro-Kjeldahl, utilizando 6,25 como fator de conversão de nitrogênio em proteína bruta. Os teores de lipídios foram determinados por extração com solvente a quente (hexano), em extrator Soxhlet. Seguindo as normas da AOAC (AOAC, 2010).

4.2.4 Propriedades Da Pasta (RVA)

As propriedades de pasta ou viscoamilográficas foram determinadas com o auxílio do equipamento chamado viscoamilógrafo Rápido Visco Analisador (RVA-4 Newport Scientific, Narabeen, Austrália) e o programa *Thermocline* for Windows. Foram consideradas suspensões de amido (8 %, m/m, peso seco) em água deionizada e massa total de 28 g. Com esta análise foi possível avaliar os parâmetros: viscosidade máxima, mínima, de quebra, final, tendência a retrogradação, temperatura de pasta e o tempo para atingir a viscosidade máxima. A rampa de temperatura consiste no aquecimento contínuo de 50 até 95 °C, manutenção da temperatura constante por 6 min, seguido por um resfriamento até completar o tempo de análise, que totaliza 23 min (Demiate *et al.*, 2005).

4.2.5 Difração De Raios X

Um difratômetro de raios X Ultima IV (Rigaku, Japão) disponível no Complexo de Laboratórios Multiusuários (C-LabMu) da UEPG, foi usado para coletar difratogramas de amido de banana verde nativo e tratado. Radiação $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1,541 \text{ \AA}$), com tensão de 40 kV e corrente de 20 mA, foi usada. Para a detecção de radiação dispersa, a faixa de intervalo angular foi de 3° a 40° em 2 (θ), com velocidade de escaneamento de 2° min⁻¹ e passo de 0,02° (Bet *et al.*, 2018).

A cristalinidade relativa (CR) das amostras foi calculada conforme a equação 2, a partir dos difratogramas gerados. Para calcular a cristalinidade relativa foi considerada a relação entre as áreas de pico e a área total dos gráficos sem tratamento, evitando assim erros de leitura (Nara; Komiya, 1983). Os difratogramas de raios X passaram pelo processo de alisamento (“*smoothing*”) para diminuir os ruídos instrumentais, no mesmo padrão para todas as amostras.

$$CR\% = A_c / (A_a + A_c) * 100 \quad (2)$$

Onde, A_a representa área amorfa e A_c representa área cristalina do difratograma.

4.2.6 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

Um equipamento Q200 (TA, EUA) foi usado para medir as curvas DSC. Este equipamento foi previamente calibrado com índio (grau de pureza: 99,99%), com um ponto de fusão em 156,6 °C e $\Delta H_{\text{fusão}}$ de 28,56 J g⁻¹. Em cadinhos de alumínio hermeticamente fechados, uma massa de aproximadamente 2,0 mg de amostra (base seca) foi pesada e misturada em 6 µL de água deionizada. A vazão de ar utilizada foi de 50 mL min⁻¹, com uma

faixa de aquecimento de 30 a 100 °C e uma razão de aquecimento de 5 ° C min⁻¹ (Kubiaki *et al.*, 2018).

4.2.7 Microscopia Eletrônica De Varredura Por Efeito De Campo (MEV)

O detalhamento da morfologia dos grânulos foi obtido por microscópio eletrônico de varredura (MEV) MIRA 3 (Tescan, República Tcheca). As amostras de amido foram desidratadas a vácuo; pequenas quantidades de amostra foram pulverizadas sob fita de carbono, e metalizadas com ouro e paládio, e então colocadas sobre suportes metálicos cilíndricos. Para conferir condutividade ao amido, todas as amostras foram recobertas com ouro em metalizador a vácuo (Marca Balzers).

As micrografias foram obtidas sob aceleração de 15kV usando-se filme Neopan SS 135mm, 100 ASA (Ito *et al.*, 2018).

4.2.8 Espectroscopia Na Região Do Infravermelho Com Transformada De Fourier (FTIR)

A análise espectroscópica FTIR foi realizada em uma faixa de número de onda 4000-400 cm⁻¹ em um instrumento FTIR Perkin Elmer (Perkin Elmer, Norwalk, CT, EUA, Spectrum RX1) usando um acessório reflectância difusa. O espectro de fundo foi obtido usando KBr.

4.2.9 Amilose

As amostras dos amidos foram previamente desengorduradas, com metanol (85 % v/v) usando extratores de Soxhlet por 6 h. Em seguida, 0,1 g em base seca de amostra foram adicionados em béquer de 250 mL, juntamente com 1 mL de água deionizada e 5 mL de KOH (1N). A mistura ficou sob agitação (30 minutos), sofrendo um processo de gelatinização química.

Após o tempo de agitação, adicionou-se três gotas do indicador de pH alaranjado de metila, e titulou-se com HCl (0,5 N) até a mistura neutralizar, indicado pela mudança de coloração da solução. Em seguida, adicionou-se 10 mL de KI (0,5N) e uma massa de água até um total de 100,9 g. O teor de amilose aparente foi determinado por método potenciométrico, por titulação de uma solução estoque de KI e KCl, utilizando o equipamento Titrino Plus (Metrohm, Suíça) auto titulador com eletrodo, bureta e software de titulação (Bertoft, 2017). Para o cálculo do teor de amilose, o valor de IA do amido (IAs) foi dividido pelo IA da amilose (20%) usando a equação 3 (Demiate *et al.*, 2016).

$$\text{Amilose (\%)} = 100\% \text{ IAs} / 0,2 \quad (3)$$

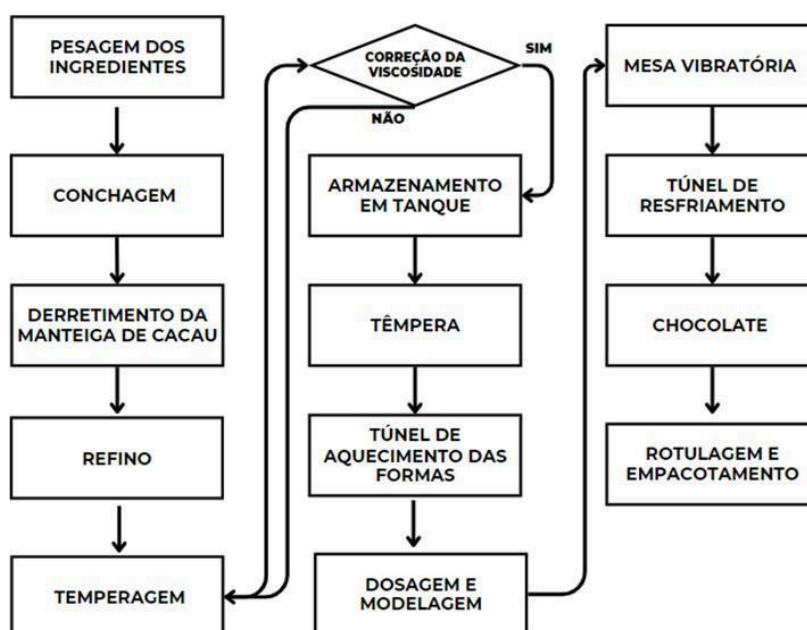
4.2.10 Elaboração De Novos Produtos Em Escala Industrial

Testes preliminares foram realizados para elaboração de chocolate ao leite com a aplicação de amido de milho OSA, amido disponível comercialmente. O objetivo do teste foi entender as dificuldades de aplicação do ingrediente em escala industrial e também para otimização de utilização de amostra.

Para o teste industrial foi utilizado 4,88% de amido OSA em cada formulação (foi feita uma amostra com amido OSA de banana, uma com amido OSA de milho e uma com amido OSA de mandioca) quantidade suficiente em cálculo teórico para reduzir gordura saturada.

Para produção do chocolate existem etapas que devem ser seguidas para obter um produto com parâmetros dentro dos padrões exigidos pela indústria e para que seja aceito pelo consumidor, conforme a Figura 6.

Figura 6 Etapas do processamento de obtenção de chocolate



Fonte: Autor

- PESAGEM

A partir da ordem de produção, os ingredientes são devidamente pesados conforme a formulação.

- CONCHAGEM

Nesta etapa, os ingredientes já pesados são colocados em um funil, que alimenta automaticamente a concha através de uma rosca sem fim. Os ingredientes são homogeneizados até que se obtenha uma pasta viscosa. Para que a mistura não queime, há um controle de temperatura que fica em torno de 45 ° a 60 °C, e manual nas conchas universais.

- DERRETIMENTO DA MANTEIGA DE CACAU

A manteiga, depois de devidamente pesada, é colocada no derretedor em uma temperatura em torno de 50 ° a 70 °C, para que adquira a consistência desejada antes de ser adicionada na concha.

- REFINO

A etapa de refino consiste na redução do tamanho das partículas presentes na massa do chocolate. A redução é realizada através de uma concha universal. Dado o tempo de operação, faz-se o teste de micragem. A micragem é a medida do tamanho das partículas da massa, geralmente utilizado padrão abaixo de 24 µm. Se estiver conforme, os outros ingredientes são adicionados à massa, senão, a massa deve permanecer por mais tempo em refino.

Ainda nesta etapa é realizada a análise de umidade. A medição da umidade através de um aparelho de infravermelho é uma técnica frequentemente empregada na análise de alimentos. A medição da perda de água no material é realizada por meio de absorção de radiação infravermelha. Este procedimento é ágil e eficiente para obter informações de umidade em amostras sólidas, semi-sólidas ou pastosas, tais como chocolates, o padrão deve seguir o intervalo 0,2% e 0,8% durante o processo.

- TEMPERAGEM

A massa de chocolate é enviada para a têmpera que fica em torno 45 °C, que é o equipamento responsável por obter a maior formação de cristais estáveis e homogeneização dos outros ingredientes na massa, evitando que posteriormente ocorra *fat* e *sugar bloom*.

- **CORREÇÃO DA VISCOSIDADE**

Depois da adição de ingredientes é realizado o teste de viscosidade; se conforme, o chocolate segue para o tanque de armazenamento, é feita a correção da massa até que a viscosidade esteja conforme.

- **ARMAZENAMENTO EM TANQUE**

Depois que a viscosidade é aferida, os chocolates são direcionados para os tanques de armazenamento, sendo estes diferentes para cada tipo de chocolate.

- **TÊMPERA**

O chocolate sai dos tanques de armazenamento e segue para a têmpera onde será temperado, é nessa etapa que o chocolate adquire brilho e resistência para o manuseio posteriormente, e a temperatura vai depender de cada formulação. A têmpera possui uma peneira e um imã para retirada de possíveis contaminantes físicos que possam estar contidos no chocolate. Depois o chocolate segue para a dosagem.

- **TÚNEL DE AQUECIMENTOS DAS FÔRMAS**

As fôrmas utilizadas no processo de modelagem dos chocolates entram em túnel de aquecimento em uma temperatura em torno de 60 °C a 65 °C para se aproximar a temperatura do chocolate na hora da dosagem.

- **DOSAGEM E MODELAGEM**

A dosadora é programada para despejar a quantidade correta do produto em sua respectiva fôrma, para ser moldada conforme receita.

- **MESA VIBRATÓRIA**

As fôrmas com chocolates seguem para a mesa vibratória a fim de eliminar bolhas de ar provenientes do manuseio do chocolate, melhorando seu acabamento.

- **TÚNEL DE RESFRIAMENTO**

Em seguida, as fôrmas entram no túnel de resfriamento, sob temperatura controlada em torno de 3,5 °C a 6 °C por aproximadamente 15 min. Na saída do túnel, as barras devem ser desenformadas com facilidade para que as fôrmas possam ser utilizadas novamente na linha de produção.

- DESMOLDE

Os chocolates em barra são retirados de suas fôrmas de forma manual e acondicionados em mesas até seguir para o empacotamento. É nessa etapa do processo que se faz uma amostragem de pesagens dos chocolates, caso não esteja no peso padrão, o chocolate retorna para o tanque de armazenamento como reprocesso.

- ROTULAGEM E EMPACOTAMENTO

Após serem retirados dos moldes, as barras colocadas manualmente na máquina *flow pack*, que rotula e acondiciona o produto individualmente em sua embalagem.

4.2.11 Digestibilidade *In Vitro* Dos Amidos E Chocolates

Para a digestibilidade do amido contido no chocolate, foi adotado o método proposto por Englyst *et al* (1992). A digestão do amido presente no chocolate foi baseada em um processo de hidrólise *in vitro*. Em tubos de 50 mL foram adicionados cerca de 900 mg de amostra, 50 mg de goma guar, cinco bolas de vidro (diâmetro aproximadamente 5mm) e 20 mL tampão acetato 0,1M pH 5,2. Os tubos serão levados ao banho térmico a 37 °C por 5 min para estabilização de temperatura. Em seguida serão adicionados 5 mL de solução enzimática contendo alfa-amilase pancreática suína (Sigma-Aldrich, E.C. 3.2.1.1, 8× USP *specifications*, P7545) e amiloglucosidase de *Aspergillus niger* (Sigma-Aldrich, E.C. 3.2.1.3, A7095,

≥260U/mL). Foram retiradas duas alíquotas de 0,250 mL de amostra após 20 minutos e 120 minutos de banho térmico a 37 °C, e foram colocadas em tubos contendo 10 mL de etanol 66%. Os tubos foram centrifugados por 5 min (1000 ×g). Foi retirada uma fração do sobrenadante e determinada a glicose pelo método de GOPOD (glucose oxidase).

Para determinação da glicose total (GT) foi usado o teste kit para amido total da Megazyme – Método AOAC 996.11. 45. Os valores obtidos para G20, G120 e GT foram utilizados para calcular amido total (AT), RDS, SDS e RS como segue nas equações 4, 5 e 6:

$$RDS = G20 \times 0,9 \quad (4)$$

$$SDS = (G120 - G20) \times 0,9 \quad (5)$$

$$RS = (GT - G120) \times 0,9 \quad (6)$$

G20 representa a fração hidrolisada em 20 min e G120 a fração hidrolisada em 120 min de incubação e 0,9 é o fator de conversão de amido em glicose (calculado a partir do monômero de amido e peso molecular da glicose). AT= Amido total, GT= Glicose Total, RDS = Amido de Rápida Digestão, SDS = Amido de lenta Digestão, RS = Amido Resistente.

4.2.12 Análise De Textura Do Chocolate

Foram realizadas leituras em seis repetições do produto acabado. Um teste de penetração foi feito em um texturômetro TA.XT2 – *Stable Micro Systems*. Uma sonda cilíndrica (diâmetro 3,0 mm) desceu em uma barra de chocolate (25 mm × 22 mm × 11 mm) com uma velocidade de pré-teste 1 mm s⁻¹, velocidade de teste de 0,5 mm s⁻¹ e velocidade de pós-teste 10 mm s⁻¹, em uma distância de 5 mm. A carga máxima é definida como a dureza (Andrae-Nightingale *et. al.*, 2009).

4.2.13 Análise Sensorial

A análise sensorial foi realizada no Laboratório de análise sensorial da empresa em que o chocolate foi desenvolvido e testado. Este trabalho teve o projeto avaliado e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG/PR por meio do parecer 6.114.924. A análise sensorial foi realizada por uma equipe de 122 avaliadores não treinados, constituída por colaboradores da empresa onde o chocolate foi desenvolvido. As quatro amostras foram apresentadas de forma aleatória, codificadas com três dígitos aleatórios. Todos os avaliadores provaram todas as amostras de chocolate, de aproximadamente 6 g, e foram servidas em temperatura ambiente na presença de luz branca. Foram realizados teste de aceitação (ANEXO A) em relação aos atributos impressão global, odor, doçura, e textura, utilizando uma escala hedônica, variando de 1 (desgostei muitíssimo) a 9 (gostei muitíssimo). A escala do ideal "*Just about right*" (JAR) foi aplicada, para os atributos odor, doçura e textura, que solicitava selecionar entre a opção ideal, muito e pouco em relação a cada atributo. Análise de CATA (*Check-all-that-apply*) em que os participantes foram apresentados a 22 atributos que pudessem selecionar para caracterizar a amostra avaliada. Foram ainda realizados no mesmo formulário, questionamentos quanto à frequência de consumo do produto. Para a análise dos dados, recomenda-se o uso de estatística univariada baseada no teste qui-quadrado ou análises multivariadas (Meyners; Castura, 2014, Varela e Ares, 2012; Ares *et al.*, 2014).

4.2.14 Análise Estatística

Os dados foram tratados por Análise de Variância (ANOVA), sendo reportados na forma de média e desvio padrão. As médias serão submetidas ao teste de comparação de médias, pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). A análise estatística será realizada com auxílio do software livre ASSISTAT 7.7 (Silva; Azevedo, 2009). Os resultados obtidos foram

determinados em triplicata.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 TEOR DE AMIDO

A Tabela 2 mostra os resultados da pureza dos amidos das diferentes bananas, extraídos em laboratório.

Tabela 2 Teor de amido total nas amostras de amidos extraídos de bananas verdes.

Amostra	Teor de amido (%)
Terra	96,46 ^a ± 1,13
Nanica	92,64 ^b ± 1,04
Ouro	91,14 ^b ± 1,90
Prata	91,92 ^b ± 1,04

Nota: Valores seguidos pela mesma letra na mesma coluna não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: A autora.

O amido é o principal componente da banana crua, representando 70-80% da massa seca da banana (Liang *et al.*, 2024). Na Tabela 2 pode-se verificar os valores de amido total (AT) obtidos nas variedades estudadas. Verificou-se que a cultivar Terra apresentou valor superior de AT às outras cultivares.

Em seu estudo, Islam *et al.* (2024) mencionam que a farinha de banana verde apresenta valores em torno de 73,4 % de amido total e 17,5 % de amido resistente. Salazar *et al.*, (2022) avaliaram as propriedades físico-químicas e aptidão filmogênica para embalagens comestíveis de farinhas de banana verde descartadas do Equador (*Musa acuminata* (AAA) e encontraram 78,21 % de AT.

Kumar *et al.*, (2019) caracterizam farinha de banana verde obtida de banana de sobremesa e banana-da-terra (*Musa* espécies) e encontraram valores de teor de amido que variaram de 68,97 % a 81,66 %.

Jian *et al.*, (2015) utilizaram duas variedades de farinha de banana verde, *Musa coccinea*, obtidas da *Agricultural Sciences Academy* de Guangxi, China, para isolar o amido, e obtiveram teor total de amido de 95 % valor que corrobora com os valores encontrados neste trabalho. Alanís-López *et al.* (2011) avaliaram a Extrusão e Caracterização de Folhas de Amido Termoplástico de Banana “Macho” e encontraram valores de AT de 87,33 %.

Amidos de diferentes variedades de banana têm características e propriedades diferentes, justificando desta forma, diferenças na quantidade de AT (Liang *et al.*, 2024).

Com base nos dados de AT, foi definido que a amostra utilizada para aplicação no chocolate e realização da análise de digestibilidade foi a amostra amido de banana da Terra.

5.2 MODIFICAÇÃO DO AMIDO

Os resultados obtidos de DS para as amostras de amido de mandioca, com maior intensidade de modificação foi a amostra MA332 (Tabela 3), em que o tratamento utilizado foi de 3% de OSA com tempo de reação de 2 horas. A amostra com menor intensidade de modificação, por sua vez, foi a MA216, com menor quantidade de OSA (1 %) e maior tempo (6 horas), levando a concluir que, para o amido de mandioca nas condições do presente trabalho, o maior tempo não influenciou na reação de esterificação e o que intensificou a reação foi a combinação das variáveis com menor tempo e maior concentração de reagente, mesmo resultado obtido por Guo et al. (2020) para o amido de batata.

Zhong et al. (2019) quando avaliaram o efeito de octenilsuccinilação do amido de mandioca oxidado, verificaram que com o aumento da concentração de OSA, os valores de DS também aumentam, e encontraram valor de DS com 3 % de OSA de 0,015, de acordo com encontrado neste trabalho. O mesmo comportamento pode ser observado na Figura 7, na análise de efeito, quanto maior a concentração de OSA e menor tempo de reação maiores serão os valores para DS.

Para o amido de milho, o maior grau de substituição foi obtido pelas amostras com tempo de reação de 2 h (MI112 e MI332); estas duas amostras não tiveram diferenças significativas entre elas, mesmo tendo quantidades diferentes de adição de OSA (Tabela 3). Isto leva à conclusão que a modificação deste amido com OSA, tem o melhor desempenho com o tempo de 2 h independentemente da quantidade de OSA adicionado neste experimento, visto que estas amostras possuem os pontos mínimos e máximos de concentração de adição do anidrido, isso pode ser verificado na Figura 7 a).

Bai e Shi (2011) avaliaram a estrutura e preparação de ésteres de octenilsuccinato de amido granular, amido microporoso e maltodextrina solúvel e verificaram que taxa de reação variou quando OSA a 3 % reagiu com diferentes formas físicas de amido sugerindo que o tempo de reação esterificação é muito mais rápido com amidos que possuem maior solubilidade em água, e obtiveram resultado de melhor substituição para a maltodextrina com 1 h e 30 min de reação.

Han et al., (2019) verificaram que o grau de substituição diminuiu com o aumento da temperatura ou aumento do tempo da reação, quando avaliaram as propriedades físicas e emulsionantes da dextrina de milho OSA com vários métodos de fabricação.

No amido de milho foi possível confirmar que, com maior tempo de reação, diminui a eficiência do grau de substituição. Esse resultado está conforme com aquele reportado por Jeon, Lowell e Gross (1999), que analisaram o aumento do tempo de 6 h para 24 h para avaliar o impacto do tempo na ocorrência de esterificação do amido e chegaram à conclusão de que o esgotamento do anidrido ocorre com o aumento do tempo, ao longo das reações de esterificação e, conseqüentemente, isso reduz a eficiência de substituição.

Na Figura 7 b é possível observar na análise de efeito, que quanto menor o tempo de reação do amido e OSA, maior será a intensidade da substituição de propriedades resultantes de grupos funcionais que são hidrofílicos e hidrofóbicos (parte octenil).

Quanto às amostras de Banana da Terra e Prata, elas não tiveram diferença significativa em relação aos diferentes tratamentos (Tabela 3). Os valores de DS foram inferiores em todos os tratamentos comparados com as amostras de mandioca e milho. Quanto às amostras de Banana Nanica (Tabela 3), aquela com maior grau de substituição foi a BN216, cujo tratamento é o com menor quantidade de OSA e maior tempo de reação, diferenciando esta amostra do comportamento analisado para os amidos de milho e de mandioca.

Estes resultados podem estar relacionados à estrutura do grânulo, a solubilidade do amido e a solubilidade do OSA, pois, para romper as ligações de hidrogênio, o OSA deve estar solvatado na água da mistura (Abiddin, Yusoff, Ahmad, 2015).

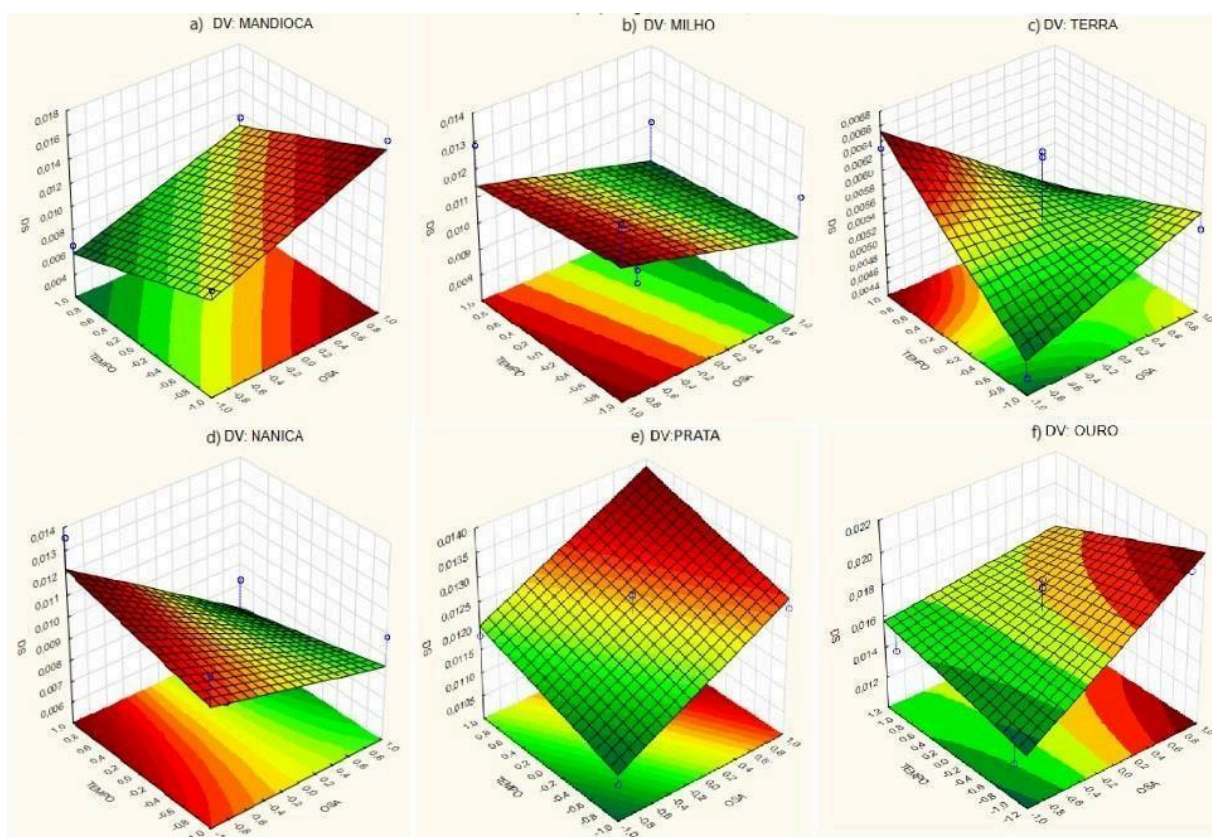
Conforme relatado por Bello-Flores et. al., (2014), Rodriguez-Marin et. al., (2010), Sanchez-Rivera et. al., (2010) e Hernandez-Jaimes (2013) o amido de milho tem melhor resposta às modificações químicas do que o amido de banana. Isso pode estar associado com a estrutura dos grânulos, como pode ser observado nas imagens de MEV (Figura 24 e Figura 28) os grânulos dos amidos de Banana são maiores que os amidos de mandioca e milho. E o tamanho dos grânulos influencia diretamente na reação entre o amido e OSA. Grânulos menores possuem uma maior área superficial em relação ao volume, o que pode aumentar a acessibilidade do reagente ao amido, tornando uma modificação mais uniforme ou intensa. Isso porque, a penetração do OSA pode ser mais limitada, resultando em uma modificação mais superficial em grânulos maiores como os de Banana. Em contraste, grânulos menores podem permitir uma modificação mais profunda e uniforme.

Wang et. al. (2016) mostraram que grânulos menores com maior área de superfície específica tiveram maior grau de substituição quando reagiram com OSA e mostraram distribuição mais uniforme na substituição do octenilsuccinato.

Para a Banana ouro o maior grau de substituição foi obtido para a amostra BO332, que tem como tratamento, maior quantidade de OSA (3 %) e menor tempo de reação (2 h)

(Tabela 3). Esse comportamento foi semelhante ao observado para os amidos de milho e mandioca. Isso confirma o que foi relatado por outros autores citados no parágrafo acima, porque conforme as imagens de microscopia (Figuras 20 a 25) os grânulos de banana ouro são menores que os das outras Bananas, e isso facilitaria a intensidade de reação de esterificação do grânulo.

Figura 7 Efeitos das variáveis tempo e % OSA na modificação do amido de mandioca em relação a DS.



Fonte: Autor

Tabela 3 Resultados de todos os tratamentos para as análises de grau de substituição (DS), % Cristalinidade relativa e % amilose

(Continua)

Amostra	DS	% Cristalinidade	% Amilose
MA112	0,011 ^b ± 0,0004	20,06 ^f ± 3,27	20,74 ^a ± 1,60
MA232	0,006 ^c ± 0,0004	22,67 ^b ± 1,94	24,96 ^a ± 2,38
MA336	0,016 ^a ± 0,0007	22,01 ^c ± 0,86	24,30 ^a ± 7,57
MA424	0,011 ^b ± 0,0009	21,14 ^e ± 0,44	22,90 ^a ± 2,18
MA524	0,009 ^{bc} ± 0,0006	22,51 ^b ± 0,14	24,40 ^a ± 3,46
MA624	0,009 ^{bc} ± 0,0004	21,17 ^e ± 1,20	19,14 ^a ± 2,99
MA712	0,009 ^{bc} ± 0,0026	21,80 ^d ± 0,36	18,60 ^a ± 5,34
MA	n.a	23,59 ^a ± 0,02	22,18 ^a ± 0,58
MI112	0,013 ^a ± 0,0032	21,69 ^b ± 1,20	21,30 ^{ab} ± 1,90
MI216	0,004 ^b ± 0,0003	20,47 ^d ± 1,38	27,81 ^a ± 2,47
MI332	0,012 ^a ± 0,0029	21,26 ^c ± 0,28	16,96 ^b ± 7,03
MI436	0,008 ^{ab} ± 0,0000	20,09 ^f ± 1,75	24,43 ^{ab} ± 6,43
MI524	0,011 ^{ab} ± 0,0030	20,31 ^e ± 1,02	21,71 ^{ab} ± 1,35
MI624	0,011 ^{ab} ± 0,0000	19,58 ^g ± 0,15	23,29 ^{ab} ± 2,48
MI724	0,009 ^{ab} ± 0,0000	19,61 ^g ± 0,02	23,94 ^{ab} ± 2,58
MI	n.a	21,76 ^a ± 3,02	26,73 ^{ab} ± 8,04
BP112	0,010 ^a ± 0,0000	23,58 ^a ± 1,26	29,96 ^{ab} ± 0,03
BP216	0,011 ^a ± 0,0000	20,21 ^e ± 1,04	24,48 ^{ab} ± 3,05
BP332	0,012 ^a ± 0,0000	21,54 ^d ± 0,36	15,89 ^b ± 3,54
BP436	0,013 ^a ± 0,0020	22,34 ^c ± 1,84	16,91 ^b ± 1,21
BP524	0,012 ^a ± 0,0010	23,24 ^b ± 0,78	16,56 ^b ± 2,26
BP624	0,012 ^a ± 0,0010	n.a.	15,51 ^b ± 3,03
BP724	n.a	n.a	16,81 ^b ± 3,11
BP	n.a	16,88 ^f ± 0,24	33,19 ^a ± 6,05
BN112	0,011 ^{ab} ± 0,0000	18,04 ^e ± 0,55	21,56 ^b ± 1,53
BN216	0,013 ^a ± 0,0000	20,31 ^a ± 1,81	24,54 ^b ± 3,03
BN332	0,009 ^{bcd} ± 0,000	19,16 ^d ± 1,94	20,23 ^b ± 1,85
BN436	0,008 ^{cd} ± 0,0010	20,28 ^a ± 0,84	21,24 ^b ± 1,62
BN524	0,006 ^d ± 0,0000	20,12 ^b ± 2,67	27,05 ^b ± 0,04
BN624	0,007 ^d ± 0,0020	19,58 ^c ± 1,02	21,56 ^b ± 1,61
BN724	n.a	n.a	25,22 ^b ± 1,51
BN	n.a	16,33 ^f ± 2,00	29,50 ^a ± 8,20
BO112	0,012 ^d ± 0,0010	18,95 ^f ± 0,87	19,58 ^b ± 7,14
BO216	0,014 ^c ± 0,0000	20,21 ^e ± 1,00	21,09 ^{ab} ± 0,80
BO332	0,019 ^a ± 0,0000	21,54 ^c ± 1,28	23,83 ^{ab} ± 3,81
BO436	0,016 ^{bc} ± 0,0000	22,34 ^b ± 0,14	25,14 ^{ab} ± 2,28
BO524	0,018 ^{ab} ± 0,0000	23,24 ^a ± 2,73	21,41 ^{ab} ± 4,96
BO624	0,018 ^{ab} ± 0,0000	18,61 ^g ± 1,25	20,98 ^{ab} ± 3,09
BO724	0,018 ^{ab} ± 0,000	21,00 ^d ± 0,23	20,75 ^{ab} ± 3,31
BO	n.a	15,37 ^h ± 1,45	34,40 ^a ± 7,14
BT112	0,004 ^a ± 0,0010	22,18 ^d ± 0,68	25,20 ^a ± 2,26
BT216	0,006 ^a ± 0,0000	22,46 ^c ± 0,29	31,95 ^a ± 0,57
BT332	0,005 ^a ± 0,0000	21,90 ^e ± 0,73	26,39 ^a ± 1,01
BT436	0,004 ^a ± 0,0000	21,40 ^f ± 2,84	32,24 ^a ± 0,20

Tabela 3 Resultados de todos os tratamentos para as análises de grau de substituição (DS), % Cristalinidade relativa e % amilose

(Conclusão)

Amostra	DS	% Cristalinidade	% Amilose
BT524	0,006 ^a ± 0,0000	23,47 ^a ± 0,99	26,63 ^a ± 0,24
BT624	0,006 ^a ± 0,0000	22,20 ^d ± 3,11	32,53 ^a ± 4,88
BT724	0,004 ^a ± 0,0000	23,03 ^b ± 0,87	30,74 ^a ± 0,41
BT	n.a	15,37 ^h ± 1,45	23,57 ^a ± 2,10

Nota: Valores seguidos pela mesma letra na mesma coluna não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). MA- amido nativo de mandioca; MI- amido nativo de milho; BP- amido nativo banana prata; BN- amido nativo de banana nanica; Bo- amido nativo de banana ouro; BT- amido nativo de banana da terra; MA112- amido modificado OSA, amostra 1, tratamento 1 % de OSA com 2 horas de reação química (mesma sequência de codificação para os outros tratamentos). n.a - amostra não analisada.

Fonte: A autora.

5.3 PROPRIEDADE DE PASTA (RVA)

Os resultados da análise pelo RVA dos amidos nativos e modificados de mandioca, milho, banana Terra e banana Nanica são mostrados nas Figuras (11,12,13 e 14) respectivamente. Os dados observados após análise estão apresentados na Tabela 4.

As amostras de banana Ouro e banana Prata não foram analisadas por RVA devido ao baixo rendimento de amido, não havendo amostra suficiente para a análise.

Tabela 4 Dados do perfil RVA das amostras de amido de Mandioca, Milho, Banana nanica e Banana da terra nativos e tratados com OSA

(Continua)

Amostra	Temp pasta/ °C	Pico Visc/ mPa.s	Breakdown/ mPa.s	Setback/ mPa.s	Viscosidade final/mPa.s
MA112	67,55 ^a ±0,40	2768 ^b ±3,05	1553 [±] 5,85	553,66 ^b ±4,04	1769 ^b ±1,73
MA216	66,75 ^a ±0,42	3474 ^a ±4,58	2184 ^a ±9,07	892 ^a ±22,60	2181 ^a ±18,47
MA332	66,74 ^a ±0,35	3272 ^a ±3,78	1948 ^a ±4,00	684,33 ^b ±10,69	2008 ^a ±9,23
MA436	66,75 ^a ±0,42	3291 ^a ±4,16	1813 ^b ±7,02	642,66 ^b ±3,78	2120 ^a ±0,57
MA524	66,33 ^a ±0,45	3119 ^a ±2,64	1901 ^a ±4,61	765,00 ^a ±12,28	1982 ^a ±12,70
MA624	66,36 ^a ±0,43	2966 ^a ±6,24	1820 ^b ±16,19	820,33 ^a ±12,85	1966 ^a ±1,73
MA724	67,13 ^a ±0,40	3114 ^a ±3,60	1856 ^b ±5,77	640,66 ^b ±10,78	1898 ^b ±12,70
MA	66,35 ^a ±0,42	3192 ^a ±4,00	2049 ^a ±7,00	854,33 ^a ±8,50	1997 ^a ±10,96
MI112	74,78 ^a ±0,38	2354 ^a ±1,15	1188 ^b ±4,58	1330 ^a ±6,11	2497 ^b ±2,88
MI216	73,61 ^a ±0,45	2906 ^a ±4,58	1705 ^a ±5,13	1495 ^a ±3,21	2696 ^a ±2,88
MI332	75,56 ^a ±0,42	2374 ^a ±4,04	1338 ^b ±4,04	1419 ^a ±1,15	2455 ^b ±1,15
MI436	74,01 ^a ±0,37	2923 ^a ±7,81	1818 ^a ±8,32	1444 ^a ±2,51	2549 ^a ±1,15
MI524	75,98 ^a ±0,37	2381 ^a ±2,00	1250 ^b ±2,88	1328 ^a ±3,21	2459 ^b ±1,73
MI624	75,85 ^a ±0,35	2682 ^a ±1,52	1503 ^a ±1,52	1396 ^a ±0,57	2575 ^a ±0,57
MI724	76,78 ^a ±0,42	2458 ^a ±4,58	1210 ^b ±6,42	1291 ^a ±2,51	2538 ^a ±0,55
MI	82,35 ^a ±0,45	2082 ^b ±3,00	818,00 ^c ±3,00	935,00 ^c ±3,46	2199 ^c ±3,46
BN112	88,78 ^a ±0,40	109,00 ^d ±13,00	39,33 ^c ±15,04	42,00 ^d ±2,00	111,66 ^d ±1,15

Tabela 4 Dados do perfil RVA das amostras de amido de Mandioca, Milho, Banana nanica e Banana da terra nativos e tratados com OSA

(Conclusão)

Amostra	Temp pasta/ °C	Pico Visc/ mPa.s	Breakdown/ mPa.s	Setback/ mPa.s	Viscosidade final/mPa.s
BN216	65,51 ^b ±0,45	2821 ^b ±7,81	1514 ^b ±10,01	979,66 ^b ±3,05	2286 ^b ±3,46
BN332	*****	170,66 ^c ±1,52	14,33 ^d ±2,51	80,66 ^c ±2,51	237,00 ^c ±1,73
BN436	67,13 ^b ±0,43	2668 ^b ±2,51	1226 ^b ±6,65	1102 ^a ±6,08	2544 ^a ±1,73
BN524	67,90 ^b ±0,42	2980 ^b ±4,58	1839 ^a ±15,13	1171 ^a ±12,42	231 ^b ±1,15
BN624	67,91 ^b ±0,43	3094 ^a ±5,00	1808 ^a ±7,50	1188 ^a ±4,04	2474 ^a ±1,15
BN724	*****	*****	*****	*****	*****
BN	69,18 ^b ±0,43	3238 ^a ±2,51	1350 ^a ±3,60	983,33 ^b ±1,52	2872 ^a ±0,00
BT112	75,21 ^b ±0,37	3268 ^a ±4,50	1823 ^b ±6,65	1378 ^c ±4,61	2823 ^b ±0,57
BT216	74,8 ^b ±0,42	3056 ^a ±4,61	1863 ^b ±8,32	1856 ^a ±3,05	3049 ^a ±1,15
BT332	74,4 ^b ±0,35	3167 ^a ±3,05	1579 ^d ±7,00	1269 ^d ±15,69	2858 ^b ±13,27
BT436	73,58 ^c ±0,37	3201 ^a ±0,00	1697 ^c ±6,50	1666 ^b ±7,00	3169 ^a ±11,54
BT524	74,45 ^b ±0,35	3254 ^a ±4,35	1690 ^c ±13,05	1342 ^c ±9,07	2905 ^b ±0,57
BT624	74,03 ^b ±0,35	3284 ^a ±16,09	2062 ^a ±29,26	1379 ^c ±16,44	2601 ^b ±5,77
BT724	72,35 ^c ±0,42	3245 ^a ±3,60	1542 ^d ±7,37	1323 ^c ±4,35	3025 ^a ±1,15
BT	78,40 ^a ±0,37	3021 ^a ±4,93	1697 ^c ±6,42	1717 ^a ±2,64	304 ^a ±1,15

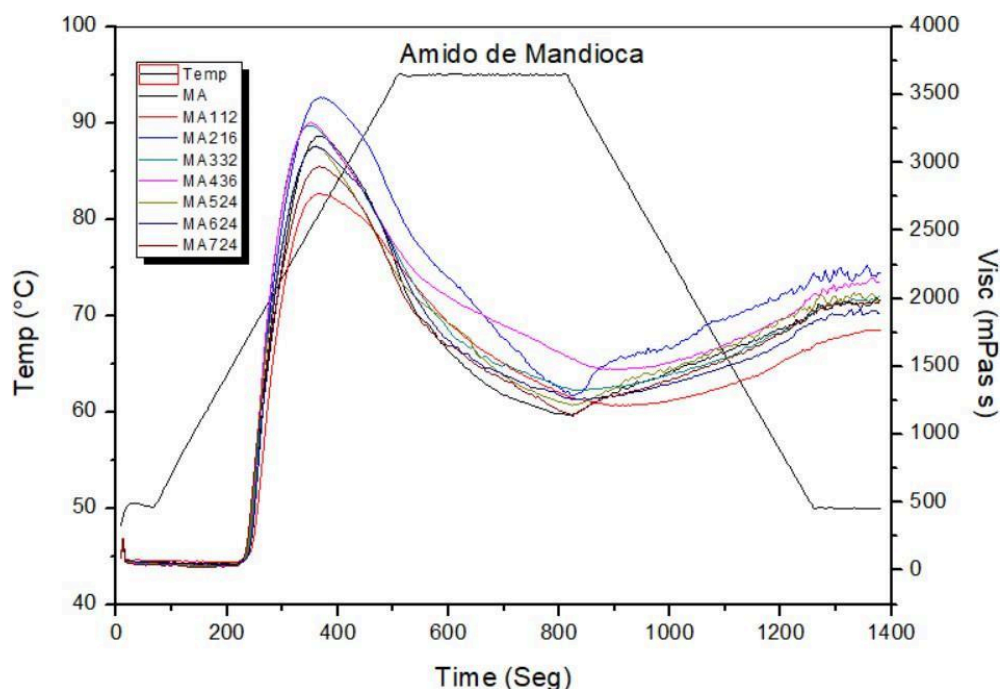
Nota: Valores seguidos pela mesma letra na mesma coluna não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). MA- amido nativo de mandioca; MI- amido nativo de milho; BN- amido nativo de banana nanica; BT- amido nativo de banana da terra; MA112- amido modificado OSA, amostra 1, tratamento 1% de OSA com 2 horas de reação química (mesma sequência de codificação para os outros tratamentos).

Fonte: O autor.

As amostras de amidos modificados e nativo de mandioca, não apresentaram diferença significativa, com exceção da amostra MA112 que teve a menor viscosidade (Tabela 4). Os valores de *breakdown* sugerem que alguns dos tratamentos modificados podem ter uma estabilidade de pasta ligeiramente superior ao amido de mandioca nativo. Os valores de *setback* indicam que as amostras podem ter diferentes susceptibilidades à retrogradação em comparação com o amido de mandioca nativo (Figura 8).

Bao et. al., (2003) quando avaliaram as propriedades físicas de amidos de arroz, trigo e batata modificados com anidrido octenil succínico concluíram que, a temperatura de gelatinização dos amidos OSA encontrada está relacionada ao tipo de amido e ao grau de substituição, eles verificaram também que a temperatura de gelatinização dos amidos de arroz OSA foi menor em DS baixo, e que os amidos de batata OSA tiveram temperatura de gelatinização mais alta do que o amido nativo, e que a temperatura de pasta do amido de trigo OSA (DS 0,0225) e do amido de milho ceroso OSA (DS 0,015) não foram significativamente diferentes dos amidos nativos, corroborando com os resultados obtidos para os amidos de mandioca.

Figura 8 Perfil viscoamilográfico de amostras de amidos nativos e modificados com OSA de Mandioca

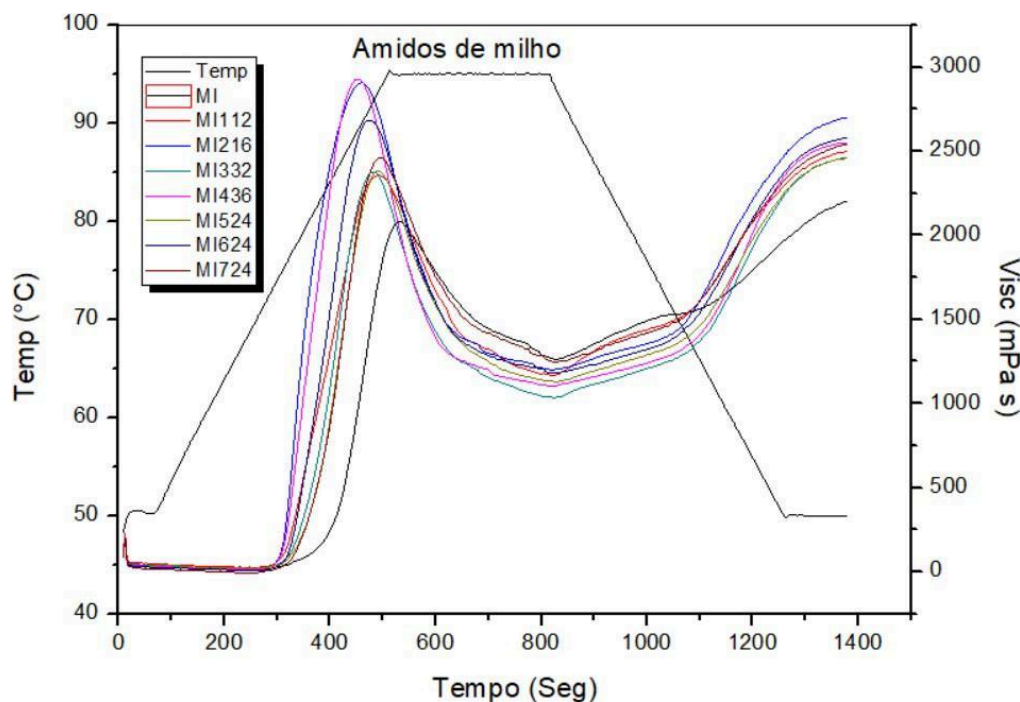


Fonte: Autor

As amostras de amidos modificados de milho, apresentaram viscosidades mais altas do que o amido nativo de milho (MI), o que sugere que os amidos modificados tenham maior capacidade de formar pastas mais viscosas em temperaturas comparáveis ou ligeiramente mais baixas (Tabela 4). A diferença entre o pico de viscosidade e a viscosidade final (*breakdown*) foi utilizada como indicativo da estabilidade da pasta durante o aquecimento. Valores mais baixos indicam que a pasta é mais estável e menos propensa à degradação térmica (Copeland et al., 2009). As amostras com valores mais baixos de *breakdown* sugerem que esses amidos formaram pastas menos estáveis durante o aquecimento.

Com relação à capacidade da pasta de retrogradar e recuperar viscosidade após o resfriamento (*setback*), observou-se que o amido nativo apresentou valor menor em comparação com os tratamentos modificados, indicando uma menor tendência à rápida retrogradação. Esses resultados sugerem que os amidos modificados de milho possuem características superiores em termos de formação de pasta mais viscosa, estabilidade durante o aquecimento e capacidade de retrogradação em comparação com o amido nativo de milho, evidenciando seus potenciais vantagens em aplicações industriais que demandam essas propriedades específicas (Figura 9). Comportamento semelhante foi encontrado por Han, BeMiller (2007), quando avaliaram preparação e características físicas de digestão lenta de amidos alimentares modificados.

Figura 9 Perfil viscoamilográfico de amostras de amidos nativos e modificados com OSA de Milho

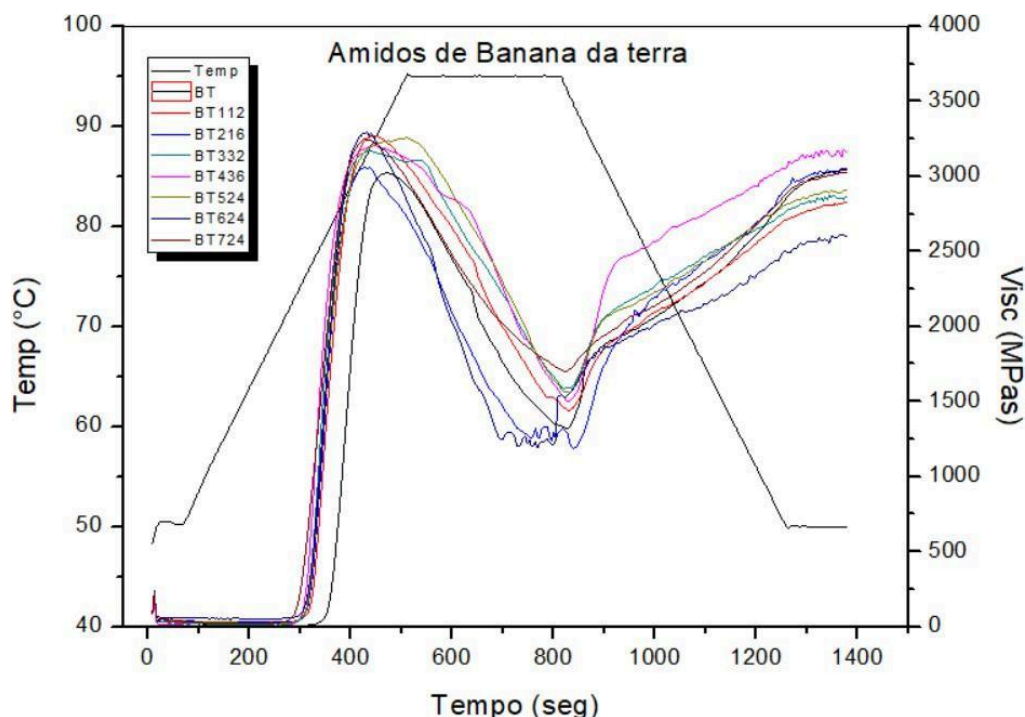


Fonte: Autor

Os amidos modificados de banana da terra demonstraram potencial para formar pastas com viscosidades mais altas e, em alguns casos, uma maior estabilidade. Essas diferenças são cruciais para compreender como os tratamentos modificados podem ser aplicados para melhorar as propriedades funcionais do amido de banana em produtos alimentícios.

A esterificação com OSA diminuiu a temperatura da pasta e aumentou as viscosidades de pico e final. Um padrão semelhante foi encontrado para amido de Banana da Terra por Bello- Flores et. al., (2014). Esses resultados mostram que a incorporação do octenilsuccinato altera a estrutura granular, permitindo que os compostos incham em temperaturas mais baixas e em maior quantidade do que o amido nativo. Segundo Bello-Flores et al., (2014), Chen, He, et al., (2014) e Bhosale, Singhal, (2007) isso ocorre porque a incorporação do grupo carbonila quebra a estrutura ordenada do amido e permitindo que a água entre mais que ajuda o amido OSA a inchar em temperaturas mais baixas.

Figura 10 Perfil viscoamilográfico de amostras de amidos nativos e modificados com OSA de Banana da terra

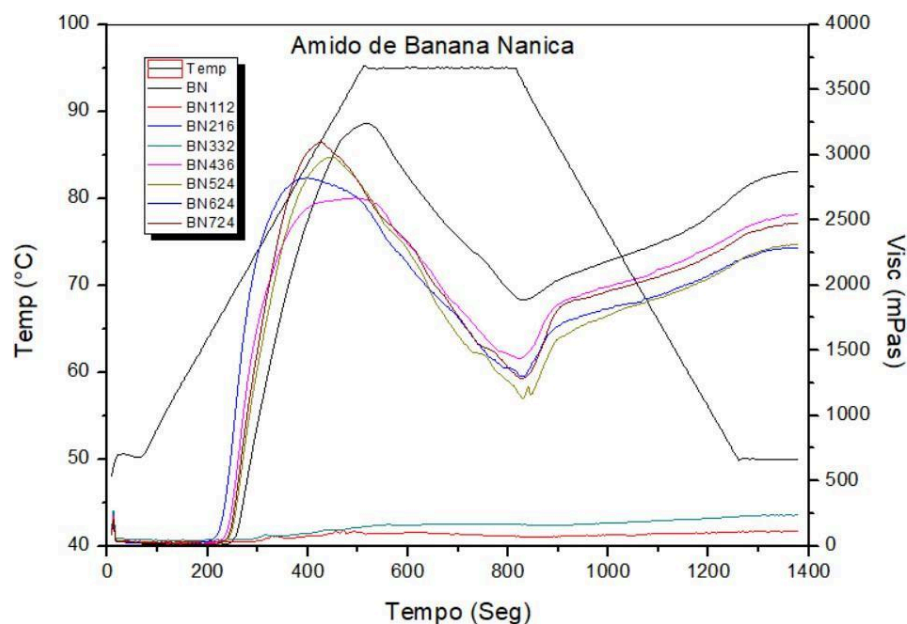


Fonte: Autor

A amostra BN, que consiste em amido de banana nativo, apresentou um pico de indicando a máxima viscosidade alcançada durante o aquecimento e refletindo sua capacidade de empastamento. Os tratamentos modificados exibiram uma ampla variação nos picos de viscosidade. Em termos de *breakdown* os amidos modificados evidenciaram uma variação significativa na estabilidade das pastas entre os tratamentos. Alguns tratamentos modificados mostraram uma maior estabilidade de pasta comparados ao amido de banana nativo.

As viscosidades finais dos tratamentos modificados sugerem que alguns tratamentos modificados podem formar pastas com viscosidades finais distintas do amido de banana nativo. Estes resultados sublinham a capacidade dos tratamentos modificados de influenciar significativamente as propriedades de gelatinização e retrogradação do amido de banana, o que é crucial para aplicações que requerem diferentes perfis de textura e estabilidade em produtos alimentícios.

Figura 11 Perfil viscoamilográfico de amostras de amidos nativos e modificados com OSA de Banana Naninca

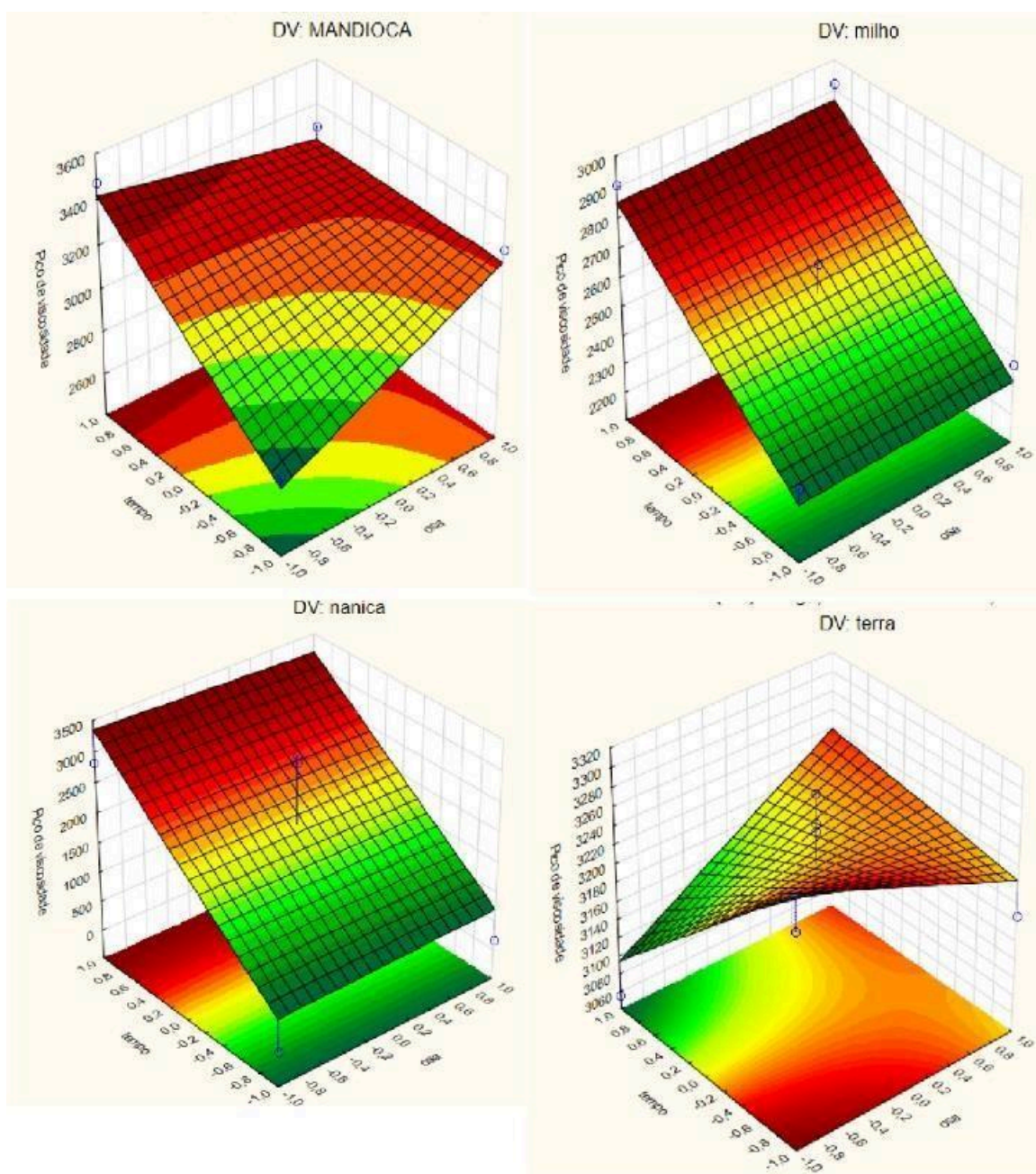


Fonte: Autor

Na análise de efeitos apresentados nos gráficos 3D da Figura 12, pode-se observar que para as amostras de amidos OSA de mandioca, milho e banana nanica, quanto maior o tempo de reação na modificação dos tratamentos maior será o pico de viscosidade das amostras, entretanto para a amostra de amido de banana da terra quanto menor a concentração de OSA e menor tempo de reação maior será o pico de viscosidade das amostras.

O aumento na viscosidade de pico do amido OSA está relacionado ao aumento do volume de inchaço do amido, às interações hidrofóbicas que ocorrem devido à introdução de grupos OSA, e à formação de complexos de inclusão entre a amilose e OSA. Esses complexos amilose-OSA influenciam as propriedades reológicas e estruturais do amido (Thirathumthavorn, Charoenrein, 2006).

Figura 12 Efeitos das variáveis tempo e % OSA no pico de viscosidade dos amidos modificados.



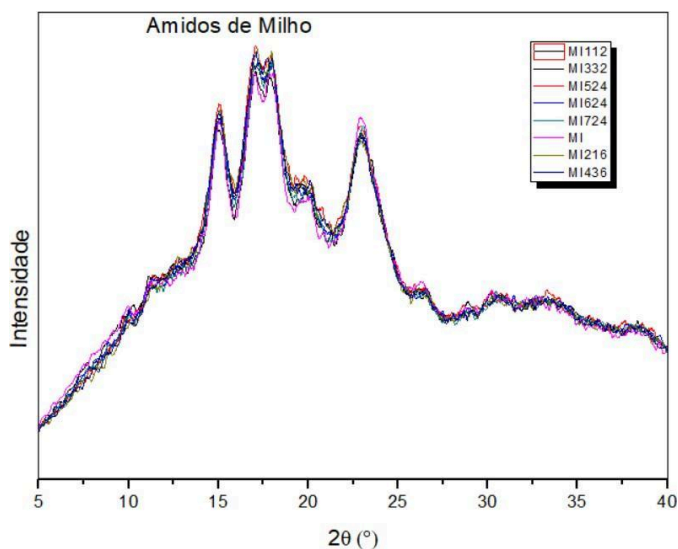
Fonte: autor

5.4 DIFRAÇÃO DE RAIOS X (DRX)

Os amidos de milho e mandioca tiveram picos em 15° , 17° , 18° e 23° , sendo estes classificados com padrão de difração do tipo A, evidenciadas neste estudo (Figura 13 e Figura 14). A cristalinidade do amido de milho teve diferença significativa entre as amostras sendo a amostra MI112 com maior cristalinidade e as amostras com menor cristalinidade foram as amostras codificadas MI624 e MI724 que são os pontos centrais. O amido de mandioca com

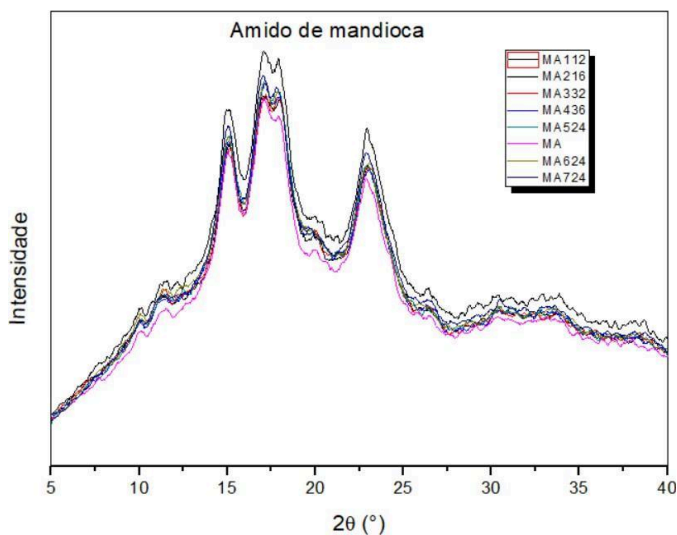
maior cristalinidade, por sua vez, foi o amido nativo enquanto a amostra com menor cristalinidade foi a MA112.

Figura 13 Perfil de difração de raios X de amostras de amidos nativos e modificados de Milho com OSA.



Fonte: autor.

Figura 14 Perfil de difração de raios X de amostras de amidos de Mandioca nativos e modificados com OSA.

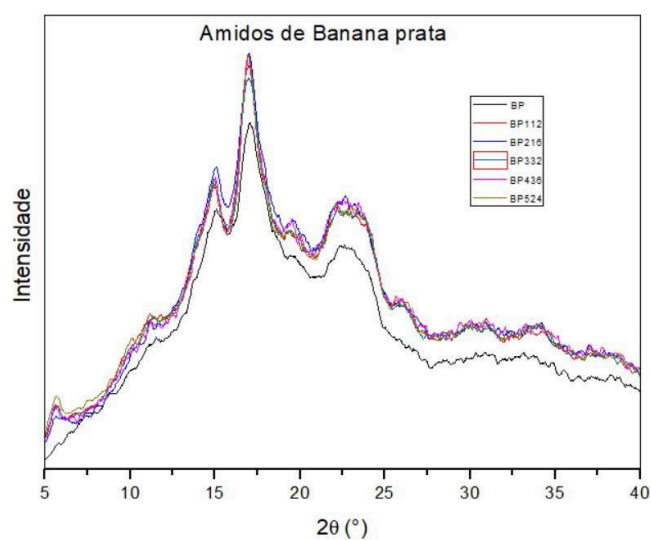


Fonte: autor.

Os amidos de banana Prata, Nanica e Ouro tiveram picos em 6°, 15°, 17° e 23°, sendo este classificado com padrão de difração do tipo C (Figura 15 e Figura 17). O amido de banana da terra teve picos em 6°, 12°, 15°, 17°, 22° e 23°, sendo este classificado com padrão de difração do tipo C evidenciadas neste estudo (Figura 18). Marta et al. (2019) encontram

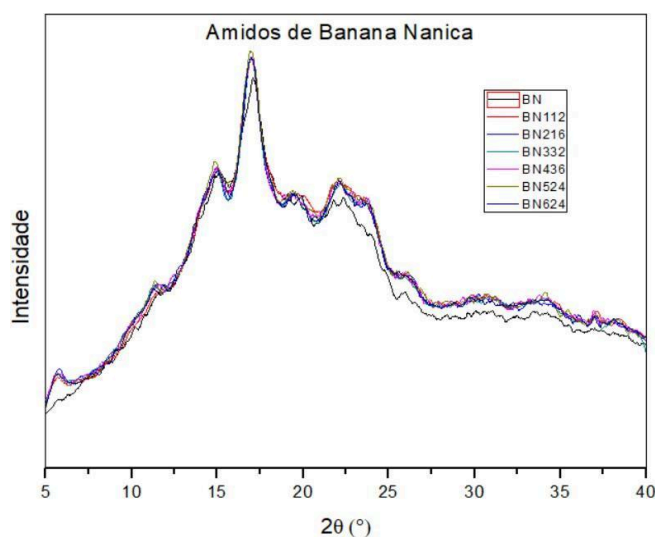
resultados comparáveis ao extrair amido de banana de diferentes cultivares na Indonésia, demonstrando que o padrão de difração do amido pode ser afetado por várias situações, como a cultivar de banana, condições de crescimento da planta e a técnica de extração empregada.

Figura 15 Perfil de difração de raios X de amostras de amidos de Banana Prata nativos e modificados com OSA.



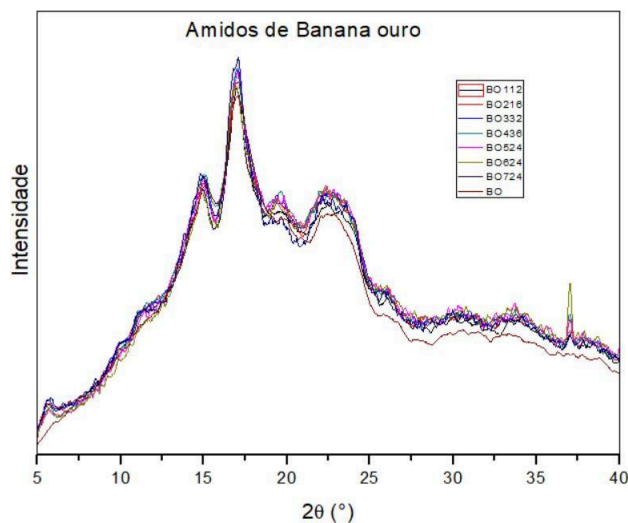
Fonte: autor.

Figura 16 Perfil de difração de raios X de amostras de amidos de Banana Nanica nativos e modificados com OSA.



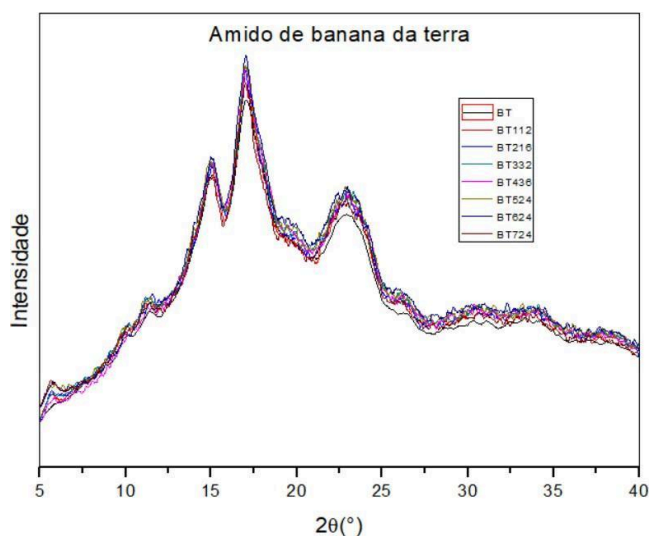
Fonte: autor.

Figura 17 Perfil de difração de raios X de amostras de amidos de Banana Nanica nativos e modificados com OSA.



Fonte: autor.

Figura 18 Perfil de difração de raios X de amostras de amidos de Banana da Terra nativos e modificados com OSA.



Fonte: autor.

Os padrões cristalinos de todos os amidos modificados OSA, foram semelhantes aos de seus amidos nativos, embora com pequenas variações na cristalinidade. A modificação com OSA para o amido de milho e mandioca, obteve redução de cristalinidade dos amidos nativos para as amostras modificadas, porém, as amostras de banana tiveram aumento da área cristalina, padrões semelhantes foram encontrados por outros autores em modificações químicas, físicas e enzimáticas dos amidos (Zhou et al., 2021; Gou et al., 2019; Oh; Bae; Lee, 2018).

A redução da cristalinidade relativa em amidos modificados de milho e mandioca

pode estar ligada à redução dos cristalitos de amilopectina e ao movimento das duplas hélices durante o processo de modificação. Esse fenômeno pode causar uma reorientação dos cristalitos, resultando na diminuição da cristalinidade relativa do amido (Zhou et al., 2021).

As estruturas cristalinas tipo A, como é o caso do amido de milho e mandioca, possuem células unitárias densamente compactadas, o que as torna teoricamente mais resistentes à modificação. No entanto, a suscetibilidade dos amidos às modificações não é determinada apenas pela densidade da estrutura cristalina. Outros fatores, como a localização das ramificações das cadeias de amilopectina, também desempenham um papel crucial. A estrutura de ramificação pode ser agrupada ou dispersa, e essa organização interna pode influenciar significativamente a acessibilidade das reações (Kim, et al., 2012).

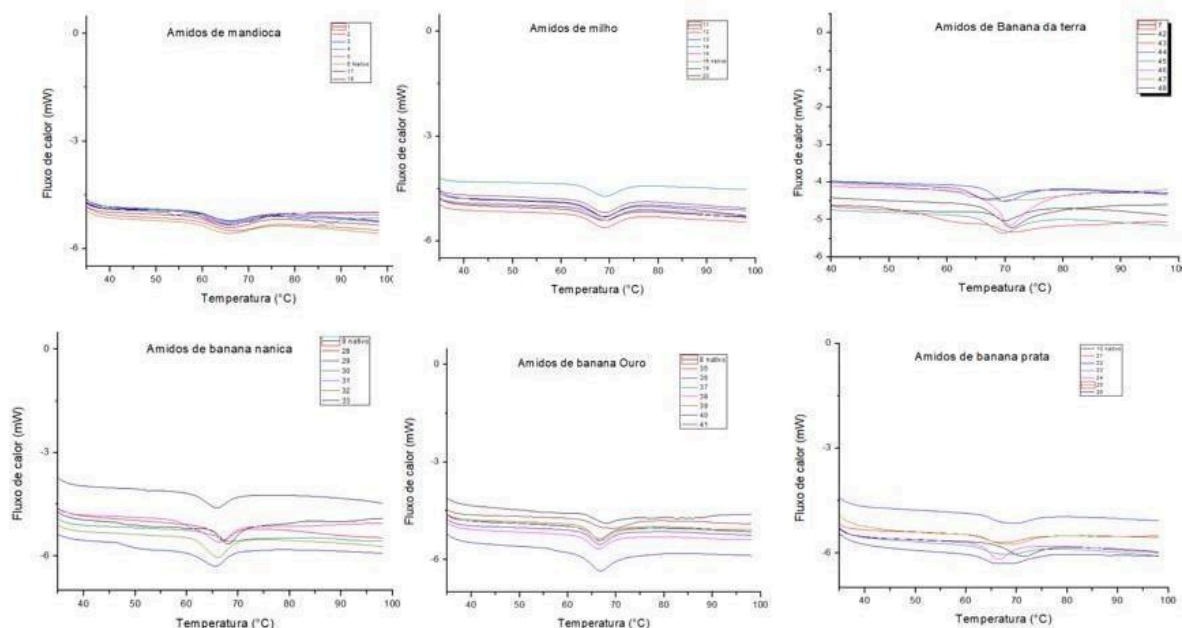
Ademais, a modificação química do amido com OSA não altera a cristalinidade geral da molécula de amido. No entanto, essa modificação induz mudanças na reorganização das cadeias de amilose e amilopectina, o que pode afetar as propriedades funcionais do amido, sem necessariamente modificar sua estrutura cristalina básica (Quintero-Castaño *et al.*, 2020; Lopez-Silva *et al.*, 2019).

Conforme os resultados obtidos neste estudo, o maior teor de amilose comparados às outras amostras foi do amido de Banana, o que segundo Aparicio-Saguilán et al., (2005) um alto teor de amilose e a organização densa das hélices duplas das cadeias lineares de amilopectina nas regiões cristalinas (Li *et al.*, 2012; Le Corre *et al.*, 2011) contribuem para a resistência a modificação do amido de banana em comparação com outras fontes de amido, como o milho ceroso e o milho normal.

5.5 CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)

Os resultados da análise térmica por calorimetria exploratória diferencial (DSC) são mostrados como Figura 19 (termogramas) e Tabela 5 (temperaturas de gelatinização e variação de entalpia de gelatinização).

Figura 19 Termogramas de amostras de mandioca, milho, banana da terra, banana nanica, banana ouro e banana prata



Fonte: Autor.

Tabela 5 Resultados do DSC do amido nativo e modificados.

(Continua)

	To/°C	Tp/°C	Tc/°C	DH J g ⁻¹
MA112	58,63±0,05 ^{kl}	65,32±0,06 ^{pq}	69,82±0,07 ^{qrs}	15,48±0,33 ^e
MA216	59,29±0,07 ^y	66,47±0,01 ^{ijkl}	74,31±0,03 ^{defg}	11,70±0,01 ^{ij}
MA332	58,57±0,08 ^l	65,33±0,01 ^q	73,31±0,53 ^{kl}	11,59±0,17 ^{jk}
MA436	59,17±0,01 ^y	65,66±0,02 ^u	67,75±0,03 ^u	9,52±0,18 ^t
MA524	59,31±0,04 ^y	66,75±0,02 ^{hij}	73,55±0,11 ^{hijk}	16,26±0,41 ^e
MA724	58,89±0,04 ^z	65,67±0,01 ^{opq}	72,87±0,22 ^l	9,63±0,20 ^{rst}
MA624	58,52±0,02 ^l	65,86±0,01 ^{nop}	73,45±0,13 ^{ijk}	12,90±0,02 ^g
MA	58,74±0,01 ^z	65,52±0,01 ^{pq}	73,53±0,15 ^{jk}	12,16±0,06 ^{hi}
MI112	63,26±0,05 ^{lm}	68,75±0,01 ^e	73,97±0,07 ^{fghi}	9,72±0,10 ^{qrst}
MI216	63,31±0,06 ^l	68,82±0,01 ^{de}	74,05±0,34 ^{fghi}	11,25±0,32 ^{ijkl}
MI332	63,72±0,01 ^j	68,88±0,01 ^{de}	74,02±0,04 ^{fgh}	11,32±0,02 ^{jk}
MI436	63,79±0,01 ^{ij}	69,02±0,02 ^{de}	73,84±0,06 ^{fghi}	10,99±0,11 ^{klm}
MI524	63,65±0,01 ^j	68,97±0,01 ^{de}	74,32±0,09 ^{efg}	12,66±0,07 ^{gh}
MI624	63,89±0,02 ^{hi}	69,01±0,02 ^{de}	74,31±0,05 ^{efg}	10,71±0,02 ^{lmn}
MI724	63,71±0,01 ^j	68,87±0,01 ^{de}	73,66±0,07 ^{hij}	10,35±0,04 ^{nop}
MI	64,92±0,02 ^s	69,57±0,02 ^c	73,22±0,03 ^{ijkl}	9,52±0,02 st
BP112	61,68±0,02 st	66,18±0,01 ^{lmn}	69,72±0,02 ^{rs}	8,84±0,11 ^u
BP216	62,93±0,04 ^{op}	69,52±0,01 ^c	74,52±0,02 ^{de}	9,86±0,17 ^{pqrst}
BP332	61,75±0,06 ^s	67,12±0,01 ^{gh}	69,71±0,02 ^{rs}	8,74±0,04 ^{uv}
BP436	62,88±0,01 ^{pq}	66,51±0,06 ^{ijkl}	69,96±0,04 ^{qrs}	10,57±0,09 ^{mno}

Tabela 5 Resultados do DSC do amido nativo e modificados.

(Conclusão)

	To/°C	Tp/°C	Tc/°C	DH J g ⁻¹
BP524	62,10±0,02 ^r	68,95±0,01 ^{de}	74,56±0,03 ^{de}	11,60±0,13 ^{ik}
BP624	61,47±0,12 ^u	66,41±0,01 ^{ijklm}	70,11±0,01 ^{pqr}	12,37±0,03 ^{gh}
BP	59,93±0,02 ^{cd}	71,25±0,01 ^a	75,38±0,01 ^{ab}	9,84±0,09 ^{pqrst}
BN112	64,01±0,03 ^h	67,14±0,03 ^g	70,10±0,07 ^{pqr}	8,20±0,09 ^{vw}
BN216	60,37±0,10 ^w	65,55±0,01 ^{pq}	69,03±0,01 ^t	12,72±0,10 ^{gh}
BN332	64,80±0,06 ^g	68,03±0,05 ^f	70,45±0,03 ^{opqr}	7,50±0,03 ^x
BN436	60,20±0,03 ^x	66,26±0,01 ^{klm}	70,03±0,24 ^{qrs}	18,58±0,52 ^d
BN524	61,60±0,06 ^{tu}	66,04±0,03 ^{mno}	69,52±0,05 st	13,58±0,03 ^f
BN624	60,76±0,02 ^v	66,37±0,01 ^{mno}	69,87±0,13 ^o	22,84±0,04 ^c
BN	65,09±0,02 ^f	68,18±0,01 ^f	71,12±0,04 ⁿ	10,14±0,14 ^{nopqr}
BO112	62,74±0,07 ^q	66,37±0,01 ^{ijklm}	69,87±0,13 ^{qrs}	9,68±0,44 ^t
BO216	63,08±0,02 ^{no}	66,79±0,01 ^{ghi}	70,25±0,04 ^{opq}	10,13±0,17 ^{opqrs}
BO332	63,13±0,02 ^{mn}	66,57±0,01 ^{ijk}	70,12±0,03 ^{opqr}	9,74±0,08 ^{qrst}
BO436	62,88±0,02 ^{pq}	66,36±0,01 ^{ijklm}	69,79±0,06 ^{qrs}	9,58±0,13 ^{rst}
BO524	63,50±0,04 ^k	66,99±0,01 ^{gh}	70,50±0,04 ^{op}	9,70±0,11 ^{qrst}
BO624	56,71±0,03 ^l	66,22±0,02 ^{klmn}	71,84±0,03 ^m	9,68±0,11 ^t
BO724	63,16±0,01 ^{lmn}	69,13±0,01 ^d	74,23±0,02 ^{efg}	10,31±0,15 ^{nopq}
BO	63,70±0,01 ^j	68,28±0,01 ^f	71,18±0,07 ⁿ	6,48±0,04 ^v
BT112	65,81±0,02 ^d	70,05±0,01 ^b	74,79±0,02 ^{cd}	12,76±0,13 ^g
BT216	67,97±0,01 ^b	71,05±0,01 ^a	72,24±0,02 ^m	7,44±0,01 ^x
BT332	66,04±0,01 ^c	69,80±0,01 ^{bc}	75,10±0,01 ^{bc}	12,34±0,05 ^{gh}
BT436	65,41±0,01 ^e	69,63±0,02 ^c	74,41±0,05 ^{def}	13,68±0,02 ^f
BT524	67,87±0,07 ^b	69,96±0,76 ^b	75,89±0,14 ^a	8,84±0,15 ^u
BT624	62,84±0,02 ^{pq}	69,05±0,07 ^{de}	75,82±0,02 ^a	8,09±0,02 ^w
BT	68,48±0,02 ^a	71,20±0,01 ^a	74,48±0,10 ^{de}	11,74±0,08 ^{ij}

Nota: Valores seguidos pela mesma letra na mesma coluna não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Nota: (*) To temperatura inicial, Tp pico de temperatura, Tc temperatura de conclusão, ΔH_{gel} entalpia de gelatinização.

Fonte: Autor.

A entalpia de todos os amidos OSA diminuiu gradualmente com o aumento do DS porque os grupos alquênol reduziram a ligação de hidrogênio interna; assim, ajudando o amido a inchar em baixa temperatura e, portanto, diminuindo gradualmente a entalpia (Bao et al., 2003). Entretanto, a entalpia do amido de milho ceroso OSA gelatinizado (Miller et al., 1991), amido de trigo OSA (DS 0,0225) e amido de batata OSA (DS 0,0171) (Bao et al., 2003) não foi significativamente diferente daquela dos amidos nativos.

Para as amostras de amido de mandioca a temperatura *onset* de gelatinização (To) das amostras variou de 58,52 °C (MA624) a 59,31 °C (MA524), com o amido nativo (MA)

apresentando T_o de 58,74 °C. Esta faixa estreita de T_o indica uma composição relativamente uniforme entre as amostras, apesar das modificações. Estudos de amidos nativos de milho e batata geralmente apresentam valores de T_o entre 60 °C e 70 °C, o que sugere que as amostras de mandioca possuem uma faixa de gelatinização ligeiramente mais baixa, possivelmente devido a variações no teor de amilose e na estrutura granular (Martinez, 2020).

A temperatura de pico (T_p) variou entre 65,33 °C (MA332) e 66,75 °C (MA524), com o amido nativo mostrando T_p de 65,52 °C (MA). As temperaturas de pico são indicativas do ponto máximo de gelatinização, onde a maioria das ligações de hidrogênio no amido é quebrada (Martinez, 2020). Em comparação, amidos nativos como os de milho e batata apresentam T_p típicas de 65 °C a 80 °C. As temperaturas de pico observadas nas amostras de amido mandioca indicam que estas possuem uma faixa de gelatinização compatível com outros amidos, porém com leve variação devido às possíveis modificações estruturais (Wang et al., 2019). A temperatura de conclusão (T_c) variou de 67,75 °C (MA436) a 74,31 °C (MA216), com a MA624 apresentando valor de T_c de 73,53°C. T_c alta indica que a faixa de temperatura necessária para completar a gelatinização é ampla, sugerindo a presença de componentes que retardam a conclusão do processo (Chung et al., 2020). Amidos nativos, como os de milho e batata, geralmente têm T_c entre 75 °C e 85 °C. As T_c das amostras de mandioca estão dentro de uma faixa que sugere modificações que conferem maior resistência estrutural (Pérez, Bertoft, 2020).

A variação de entalpia de gelatinização (ΔH) das amostras variou consideravelmente, de 9,52 J g⁻¹ (MA436) a 16,26 J g⁻¹ (MA524), com o amido nativo apresentando ΔH de 12,16 J g⁻¹. A variação de entalpia de gelatinização representa a energia necessária para a transição do estado cristalino para o amorfo. Comparado a amidos nativos de milho e batata, que têm ΔH entre 10 e 15 J g⁻¹, as variações de entalpias das amostras de mandioca são relativamente comparáveis, embora algumas amostras exibam valores excepcionalmente altos. Isso pode ser devido à alta cristalinidade ou à presença de componentes resistentes que exigem mais energia para gelatinizar (Ratnayake; Jackson, 2021).

A análise detalhada das amostras revela algumas tendências interessantes. A amostra MA112, com alta entalpia (15,48 J g⁻¹) e temperaturas de gelatinização relativamente baixas, sugere uma modificação que aumenta a energia necessária sem alterar significativamente a temperatura de início. A amostra MA216, com T_c muito alta (74,31 °C), indica uma faixa prolongada de temperatura para a conclusão da gelatinização, possivelmente devido a modificações que afetam a homogeneidade do amido (Ma, Floros, 2021). A MA332, com T_o e T_p baixas, mostra facilidade na iniciação da gelatinização, mas a variação de entalpia

relativamente baixa ($11,59 \text{ J g}^{-1}$) sugere uma estrutura menos resistente. A MA436, com a menor ΔH ($9,52 \text{ J g}^{-1}$), indica menor energia necessária para gelatinização, sugerindo uma cristalinidade menor ou modificações que facilitam a gelatinização. A MA524, com a maior ΔH ($16,26 \text{ J g}^{-1}$), destaca-se pela alta resistência à gelatinização, possivelmente devido a uma maior cristalinidade ou ligações cruzadas intensas (Singh et al, 2019).

O amido nativo, serve como referência, apresentando valores medianos de T_o , T_p , T_c e ΔH . Isso é consistente com a literatura sobre amidos nativos de mandioca, que geralmente exibem propriedades térmicas estáveis e intermediárias (Hoover, 2020). A MA724, com entalpia baixa ($9,63 \text{ J g}^{-1}$), sugere uma modificação que reduz a energia necessária para gelatinização, possivelmente tornando-o mais adequado para aplicações que requerem rápida gelatinização. A MA624, com a T_o mais baixa ($58,52^\circ\text{C}$) e entalpia alta ($12,90 \text{ J g}^{-1}$), indica uma facilidade inicial de gelatinização, mas resistência considerável durante o processo (Jane, 2020).

As amostras de amido de milho modificadas foram comparadas ao amido nativo de milho para avaliar suas propriedades térmicas, especificamente a temperatura de gelatinização inicial (T_o), temperatura de pico (T_p), temperatura de conclusão (T_c) e entalpia de gelatinização (ΔH).

A amostra MI112 apresentou uma temperatura de gelatinização inicial (T_o) de $63,26^\circ\text{C}$, enquanto a amostra nativa de milho (MI) apresentou T_o de $64,92^\circ\text{C}$. Estudos recentes, como o de Zheng et al. (2020), mostram que a modificação química dos amidos pode reduzir a T_o , devido à introdução de grupos funcionais que interferem na estrutura granular do amido, facilitando a gelatinização.

Em relação à temperatura de pico (T_p), a amostra nativa teve um T_p de $69,57^\circ\text{C}$, enquanto as amostras modificadas apresentaram valores ligeiramente menores. Este comportamento está em concordância com os achados de Li et al. (2019), que relatam que as modificações químicas podem reduzir o valor de T_p ao alterar a estrutura cristalina dos amidos, tornando-os mais suscetíveis ao calor.

A temperatura de conclusão (T_c) da amostra nativa foi de $73,22^\circ\text{C}$, enquanto as amostras modificadas variaram de $73,66^\circ\text{C}$ a $74,32^\circ\text{C}$. Essa elevação na T_c para amostras modificadas pode ser atribuída à formação de estruturas mais ordenadas após a modificação, conforme sugerido por Liu et al. (2021). A maior T_c das amostras modificadas indica que, apesar de iniciarem a gelatinização em temperaturas mais baixas, elas requerem mais energia para completar o processo.

A variação de entalpia de gelatinização (ΔH) das amostras modificadas variou

consideravelmente. A maior ΔH observada em algumas amostras modificadas, como a MI524, pode indicar uma maior estabilidade térmica e uma estrutura granular mais robusta após a modificação. Conforme relatado por Zhang et al. (2022), as modificações químicas podem aumentar a ΔH ao introduzir ligações cruzadas ou outros grupos funcionais que estabilizam a estrutura do amido.

A análise das propriedades térmicas do Amido da Banana Nanica nativa e das amostras modificadas revela diferenças significativas, refletindo os impactos das modificações químicas no comportamento térmico do amido. A BN apresentou temperatura *onset* de gelatinização (T_o) de 65,09°C, temperatura de pico (T_p) de 68,18°C e temperatura de conclusão (T_c) de 71,12°C, com variação de entalpia de gelatinização (ΔH) de 10,14 J g⁻¹. Comparando com as amostras modificadas, observamos variações distintas nas propriedades térmicas. Comparando com a BN112 e BN332 foi possível observar uma redução em ΔH , em comparação com a amostra nativa, sugere uma diminuição na estabilidade granular após a modificação, o que pode estar relacionado à ruptura parcial da estrutura cristalina, indicando uma possível desestruturação do amido durante a modificação conforme descrito por Li et al. (2021).

Já as amostras BN216, BN436, BN524, BN624 tiveram aumento significativo em ΔH indicando que a modificação aumentou a estabilidade térmica, possivelmente devido à introdução de ligações cruzadas, que reforçam a estrutura granular, como discutido por Zheng et al. (2020); Zhang et al. (2022); Wang et al. (2020); Chen et al. (2021).

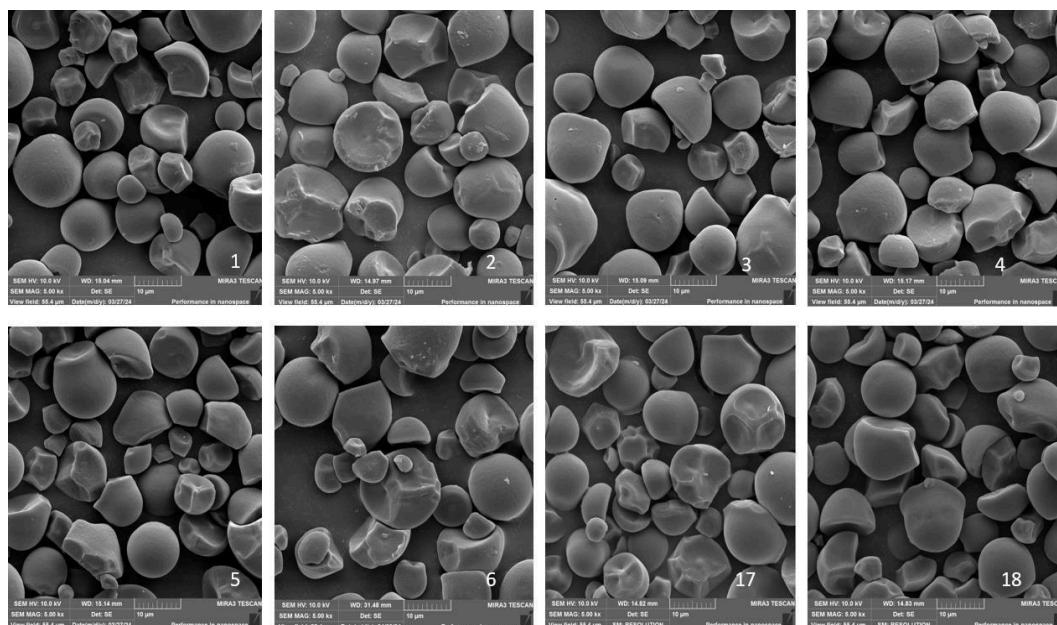
5.6 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA POR EMISSÃO DE CAMPO (MEV)

A microscopia possibilitou a obtenção de imagens dos grânulos dos amidos nativos e modificados, para fins de comparação morfológica. Os resultados são apresentados como micrografias, pelas Figura 20 a 25.

Para o amido de mandioca (Figura 20), não foi possível observar alterações significativas na estrutura dos grânulos modificados, quando comparados ao grânulo do amido nativo MA. Para as amostras de amido de milho (Figura 21) foi possível observar alterações na superfície do amido OSA com a presença de poros e cavidades, característica também observadas por outros autores que evidenciaram que os danos aos grânulos de amido aumentaram com o aumento da quantidade de OSA usado (Quintero-Castaño *et al.*, 2020; Abiddin *et al.*, 2015; Bello-Flores *et al.*, 2014). Song et al., (2006) quando avaliaram a preparação e propriedades do amido de arroz modificado com anidrido octenil succínico,

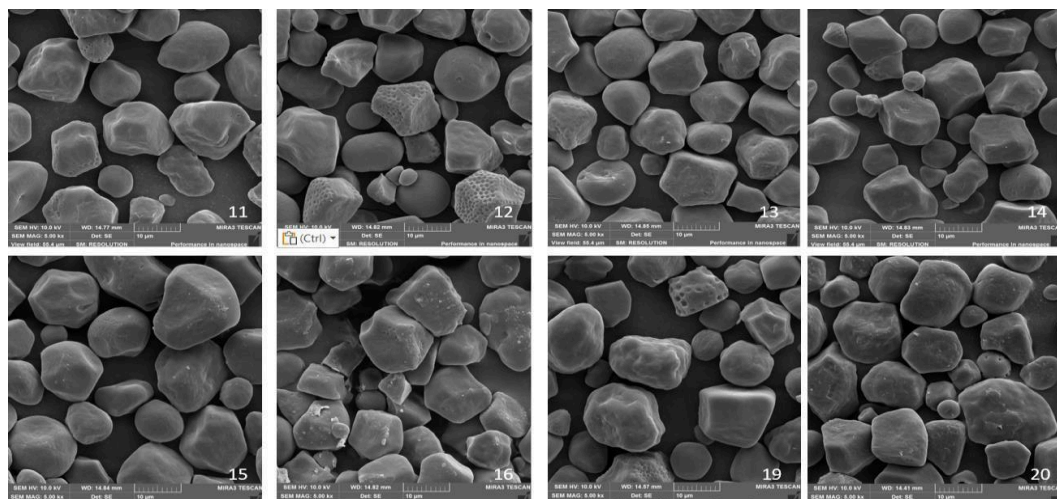
relataram que isso ocorreu provavelmente porque o OSA agiu atacando primeiro a superfície formando poros.

Figura 20 Imagens microscópicas (aumento de 5.000x) de amostras de amido de mandioca.



Fonte: Autor.

Figura 21 Imagens microscópicas (aumento de 5.000x) de amostras de amido de milho.

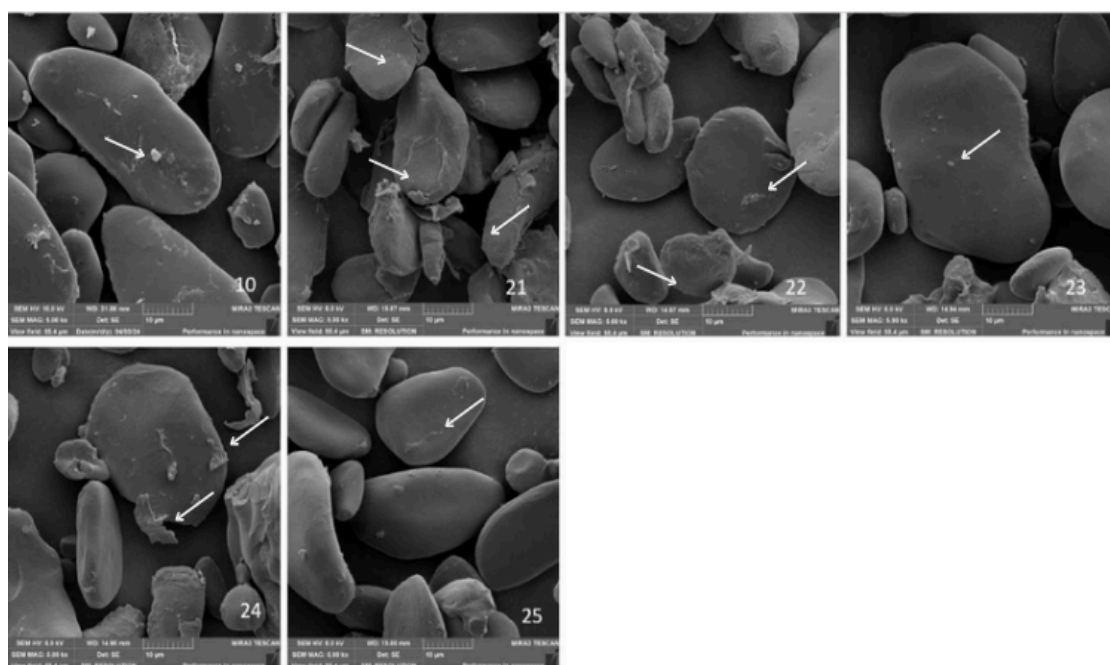


Fonte: Autor.

Para os amidos de banana não foram evidentes alterações na superfície dos grânulos de amido, exceto por alguns resíduos que podem ser observados nas imagens das amostras Banana prata (Figura 22), Banana Nanica (Figura 23) e Banana ouro (Figura 24), esses resíduos podem ser materiais fibrosos remanescentes da polpa da banana (Bello-Flores *et al.*,

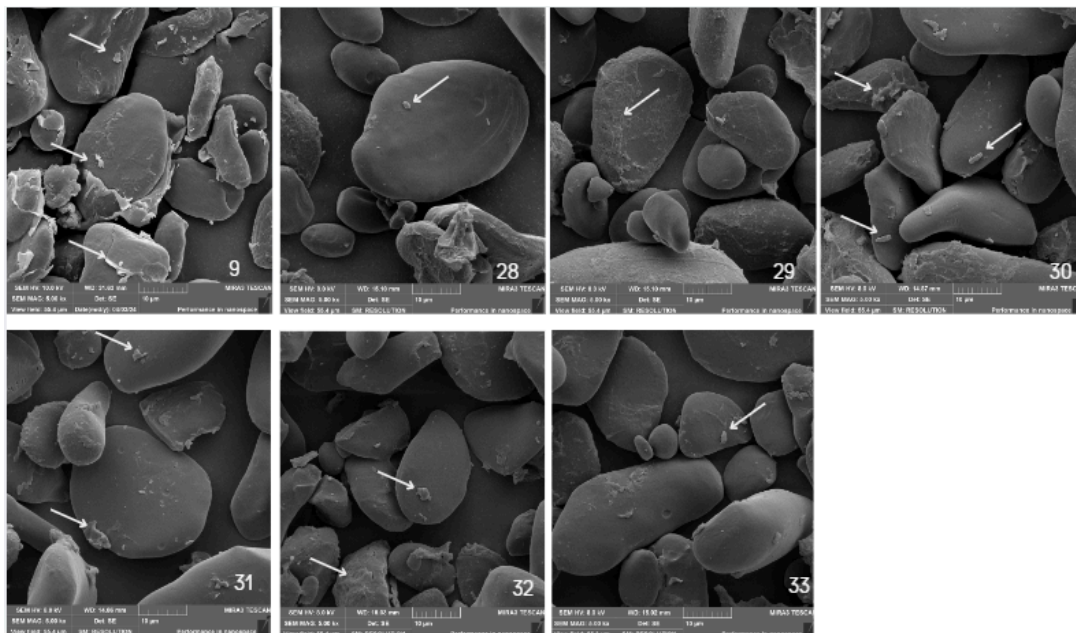
2014). Porém, Quintero-Castaño et al., (2020) relata que a modificação do amido com OSA, causou pequenas alterações na superfície dos grânulos de amido. Essas mudanças foram observadas na forma de pequenos detritos, que podem ser resíduos de proteínas e polissacarídeos não amiláceos e que esses componentes foram separados dos grânulos durante o processo de esterificação, eles relatam ainda que esta separação está relacionada a um ligeiro aumento na pureza do amido modificado e que podem influenciar levemente nas propriedades funcionais do amido, especialmente em relação à sua aplicabilidade em diferentes matrizes alimentares.

Figura 22 Imagens microscópicas (aumento de 5.000x) de amostras de amido de Banana Prata.



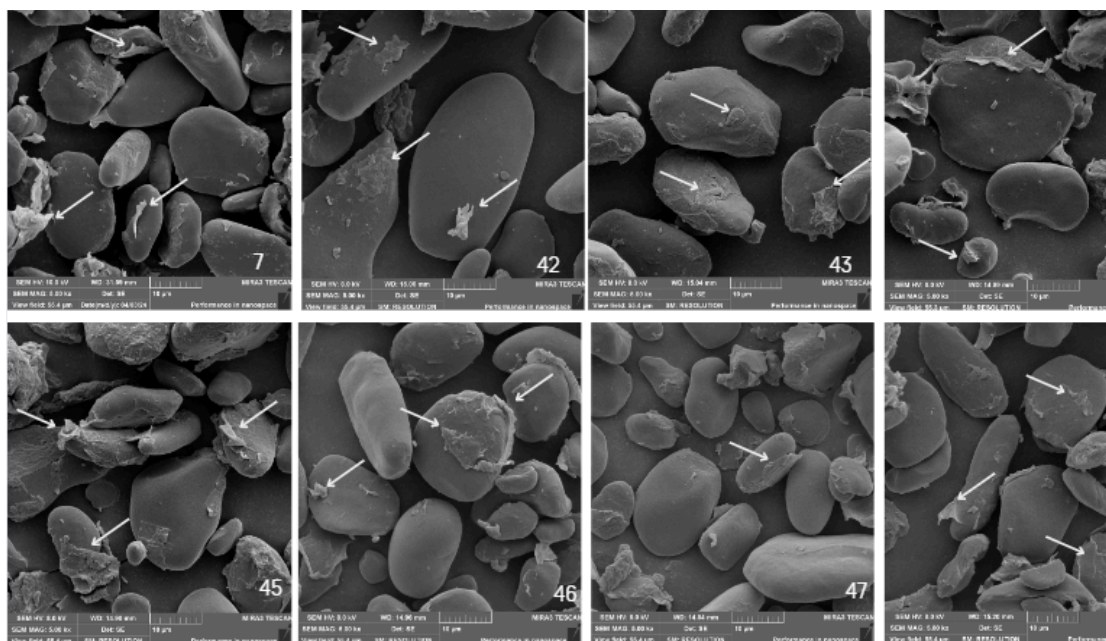
Fonte: Autor.

Figura 23 Imagens microscópicas (aumento de 5.000x) de amostras de amido de Banana Nanica.



Fonte: Autor.

Figura 24 Imagens microscópicas (aumento de 5.000x) de amostras de amido de banana ouro.

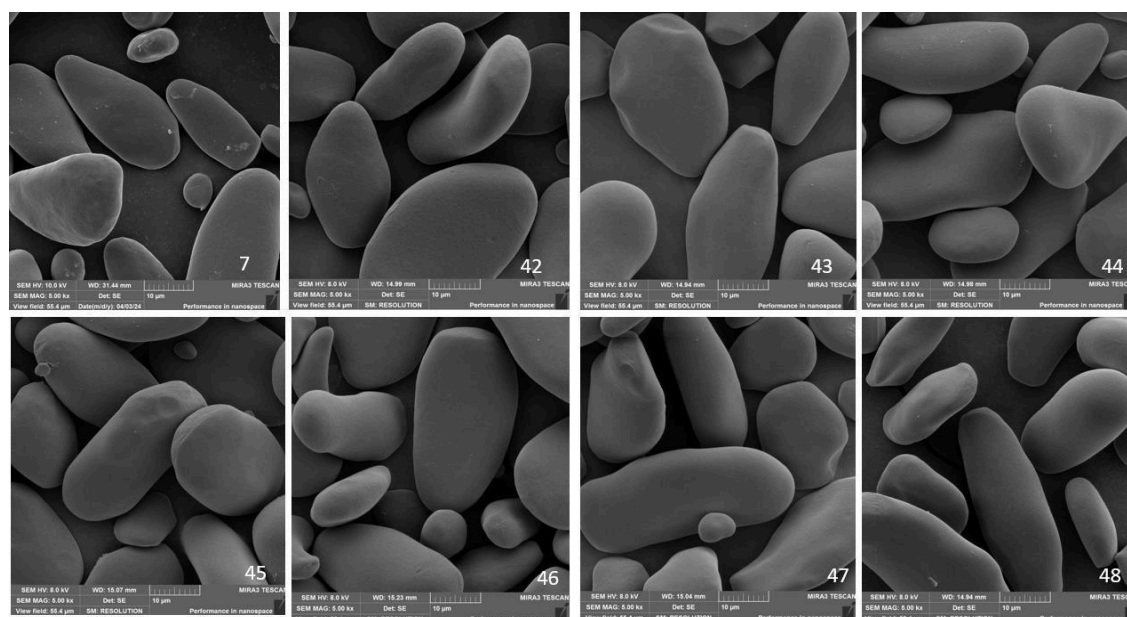


Fonte: Autor.

Para as amostras de amido de Banana da Terra (Figura 25), foi possível verificar uma forma alongada e oval, mesmas características citadas por Remya et al., (2018) e Zhang et al., (2005). No entanto, é importante notar que não há alterações na estrutura dos grânulos e nem

resíduos em suas superfícies, confirmando o que já foi mencionado por outros autores de que o amido de banana apresenta maior resistência à modificação química do que amidos de outras fontes botânicas, pois, o processo de esterificação e secagem de OSA afeta as camadas externas do grânulo de amido sem alterações apreciáveis na morfologia. (Lopez-Silva *et al.*, 2019).

Figura 25 Imagens microscópicas (aumento de 5.000x) de amostras de amido de Banana da Terra.



Fonte: Autor.

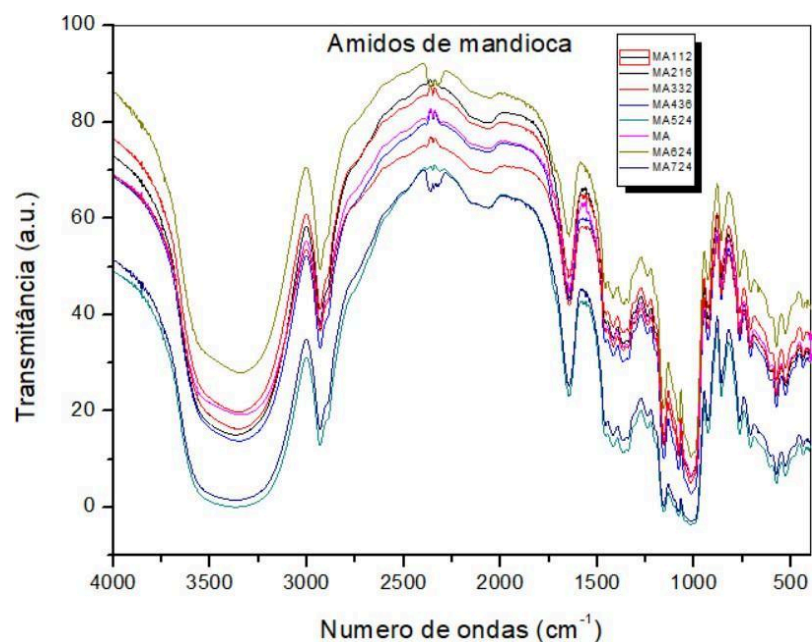
5.7 ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO MÉDIO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

O espectro FTIR está apresentado na Figura 29. É possível observar um pico amplo em torno de 3.400 cm^{-1} , referente à vibração de estiramento da ligação OH (Li et al., 2021). Os picos observados em 2930 e 1650 cm^{-1} são associados ao estiramento da ligação C – H e à vibração de flexão de água ligada presente no amido, respectivamente (Lopez-Silva et al., 2019). Em 1080 e 1100 cm^{-1} apresentação picos característicos de estiramento das ligações de C-O e C-C demonstrando um perfil característico de um polissacarídeo (He et al., 2016); em 930 cm^{-1} ocorre a vibração do esqueleto da ligação glicosídica α -1,4 (Miao et al., 2014).

Dois novos picos são observados no espectro em 1726 e 1572 cm^{-1} onde o primeiro é característico da vibração do alongamento da C=O do grupo éster causado pelo OSA e segundo é devido ao estiramento da vibração do grupo carboxila (Bai, 2008; Hui, Qi-He, Ming- Liang, Qiong; Guoqing, 2009; Wang et al., 2022). Os dois picos adicionais observados

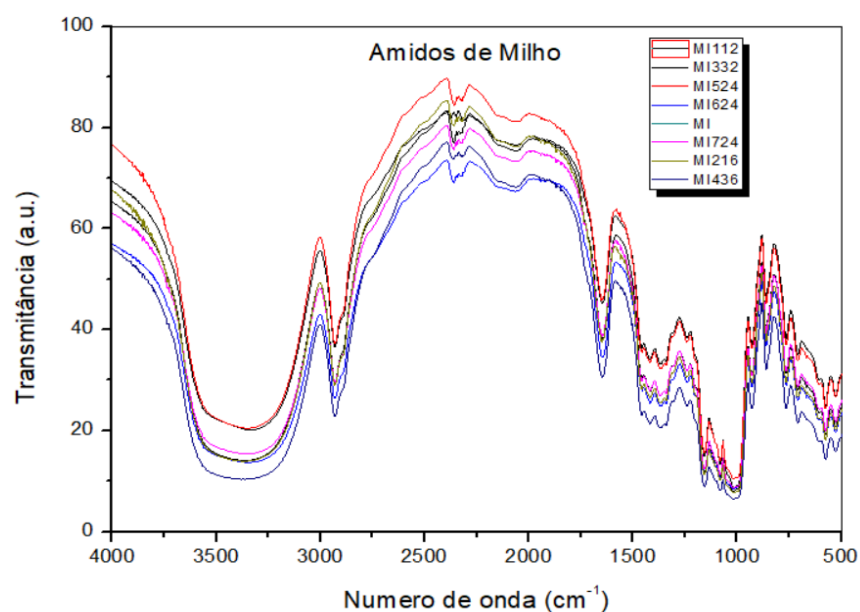
confirmaram a substituição dos grupos hidroxila na molécula de amido pelos grupos éster carbonila e carboxila da OSA, indicando que a esterificação do amido com OSA foi eficaz (Abiddin, Yusoff e Ahmad, 2018). Os resultados da espectroscopia FTIR revelaram que os grupos de OSA foram introduzidos com sucesso nos grânulos de amido.

Figura 26 Espectro FTIR de Amidos nativos e modificados de mandioca.



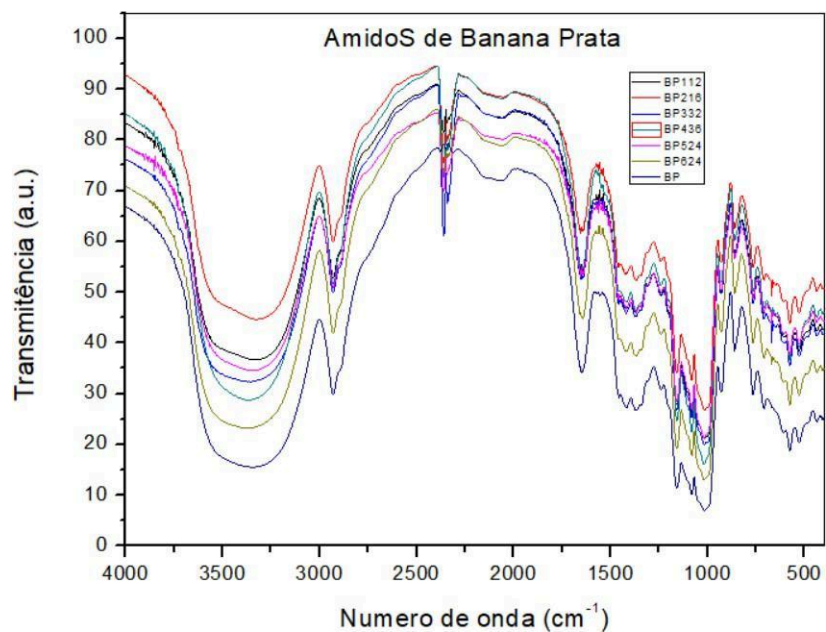
Fonte: Autor.

Figura 27 Espectro FTIR de Amidos nativos e modificados de milho.



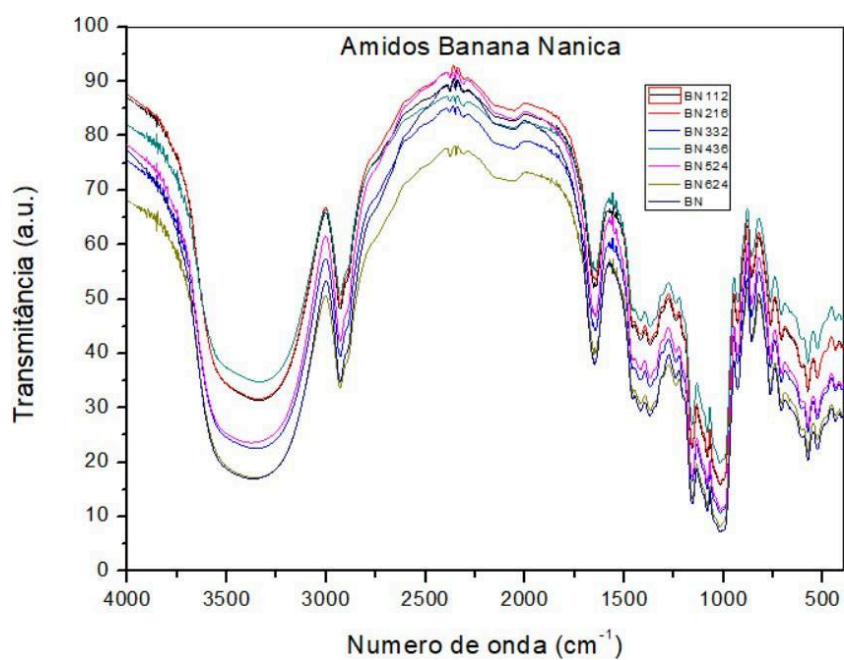
Fonte: Autor

Figura 28 Espectro FTIR de Amidos nativos e modificados de Banana Prata.



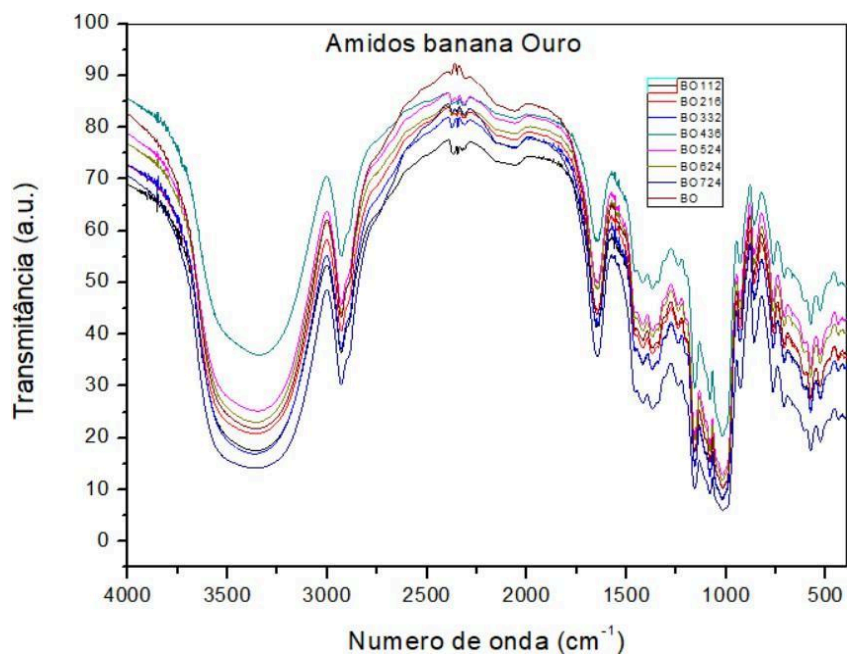
Fonte: Autor

Figura 29 Espectro FTIR de Amidos nativos e modificados de Banana Nanica.



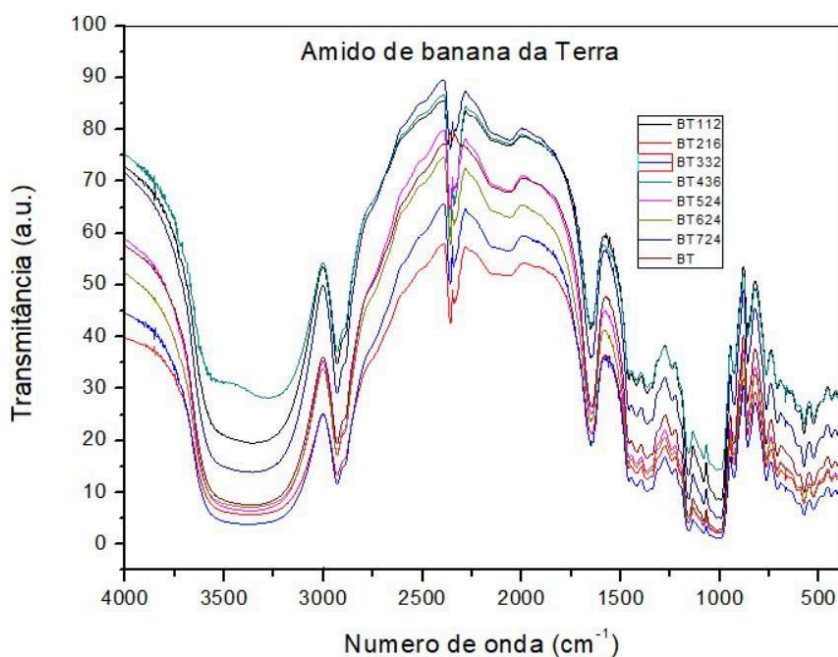
Fonte: Autor

Figura 30 Espectro FTIR de Amidos nativos e modificados de Banana Ouro.



Fonte: Autor

Figura 31 Espectro FTIR de Amidos nativos e modificados de Banana Terra.



Fonte: Autor

5.8 AMILOSE

O princípio do método para determinação de amilose é a formação de um complexo entre a amilose e o indicador potenciométrico, neste caso iodo. Ao adicionar iodo (I_2) à dispersão de amido, ele se insere nas hélices de amilose, formando um complexo

amilose-iodo azul. Este complexo é preciso e estável. Na titulação potenciométrica, o ponto de equivalência entre amilose e iodo é quando a quantidade de iodo adicionada é quimicamente igual à quantidade de amilose na solução durante a titulação, ou seja, é o ponto em que todas as moléculas de amilose encontradas na amostra reagem totalmente com o iodo adicionado, formando o complexo amilose-iodo.

O ponto de equivalência é encontrado por meio da mudança mais acentuada no potencial medido pelo potenciômetro. Este é o ponto em que o iodo é adicionado em quantidade exata para reagir com toda a amilose presente na solução. Qualquer adição adicional de iodo após o ponto de equivalência causará um excesso de iodo livre na solução, alterando novamente o potencial medido.

O teor de amilose para o amido de mandioca apresentou diferença significativa entre as amostras. Já para o amido de milho a amostra com maior teor de amilose foi a MI216, e a amostra com menor valor de amilose foi a MI332 com maior concentração de OSA e menor tempo. Isso demonstra que a modificação química com OSA reduziu a área amorfa, e a esterificação de OSA diminuiu o conteúdo de amilose, pois, a esterificação ocorreu principalmente nas cadeias de amilose (Whitney *et al.*, 2016).

A amilose encontrada variou de 16,96 a 27,81% (Tabela 3) para o amido de milho; os valores deste trabalho foram inferiores aos relatados por Liu et al. (2024), quando avaliaram a influência da extração enzimática nas propriedades do amido de milho. Os autores encontraram valor de amilose de 35,18%. O valor superior está relacionado diretamente ao processo de extração do amido, em que os autores utilizaram enzimas para otimizar a extração o que consequentemente terá maior valor de amido e maior quantidade de amilose. Segundo Tester (2004), a concentração de amilose em amidos regulares geralmente encontra-se no intervalo de 20 a 30%.

Em relação ao teor de amilose do amido de banana da terra, não houve diferença significativa entre o amido nativo e as amostras modificadas; portanto, a esterificação do amido não afetou o conteúdo de amilose. Já para os amidos das bananas nanica, ouro e prata foi possível verificar uma redução na quantidade de amilose em comparação com o amido nativo para todos os tratamentos. E os valores encontrados corroboram com os valores encontrados por Barros et al., (2016) de 25,13 a 29,01% quando estudaram a caracterização de amidos de banana obtidos em diferentes cultivares no Brasil. Também está de acordo com Jiang et al., (2015) quando avaliaram a digestibilidade e alterações nas características estruturais do amido de banana verde durante a digestão *in vitro* em que encontraram de 29,95 a 37,56% de amilose para três diferentes cultivares de bananas.

Mudanças no conteúdo de amilose podem ser causadas pela esterificação com OSA ou por tratamentos alcalinos suaves durante o processo de modificação do amido (Simsek *et al.*, 2015). O teor de amilose exerce uma grande influência na funcionalidade do amido. Pequenas variações na quantidade de amilose podem afetar significativamente as propriedades funcionais e a digestibilidade do amido (Jane *et al.*, 1999).

5.9 ELABORAÇÃO DE CHOCOLATES COM AMIDO MODIFICADOS DE BANANA DA TERRA, AMIDO DE MILHO E MANDIOCA

Para elaboração do chocolate zero adição de açúcares, foi utilizado 4,88 % (p/p) amido modificado com OSA, em cada formulação de chocolate foi cuidadosamente calculado para melhorar a redução do teor de gordura saturada, atendendo às necessidades nutricionais previstas. Essa quantidade também foi escolhida para garantir que a formulação pudesse ser processada com eficiência em maquinários industriais, equilibrando qualidade nutricional e opções operacionais.

A resistência dos chocolates ficou dentro dos padrões industriais, entre 2500 e 3000 cP, e as substituições parciais de manteiga de cacau por amidos modificados não apresentaram problemas de maquinabilidade. O tempo médio de conchagem foi de 8 a 10 horas, com as partículas dos ingredientes reduzidos para um tamanho de 23 a 26 μm e umidade controlada entre 0,2% e 0,8% durante o processo.

Os resultados das análises físico-químicas dos chocolates elaborados com substituição parcial da manteiga de cacau por amido modificado OSA, estão dispostos na Tabela 6. Como já era esperado, pela substituição de manteiga de cacau por amido OSA o produto teve redução de lipídios de aproximadamente 28,81 % quando comparado a amostra padrão CP (Chocolate ao leite zero adição de açúcares sem amido) para as amostras com amidos modificados. Para os resultados de umidade, cinzas e proteínas os valores foram bem próximos entre todas as amostras, isso porque o único ingrediente que foi alterado foi o amido.

Tabela 6 Resultados das análises físico-químicas das amostras de chocolates adicionados os amidos modificados OSA de Banana da Terra, Milho e Mandioca.

	Lípidios %	umidade %	Cinzas %	Proteínas %
CBT	28,97	1,93	2,55	10,79
CMA	26,28	1,95	2,48	10,18
CMI	26,44	1,83	2,88	11,25
CP	36,92	1,91	2,23	10,70

Nota: CBT: chocolate com amido de banana da Terra OSA; CMA: Chocolate amido de mandioca OSA; CMI: Chocolate com amido de milho OSA; CP: chocolate padrão.

Fonte: Autor.

5.10 DIGESTIBILIDADE *IN VITRO*

Os conteúdos de amido rapidamente digerível (RDS), lentamente digerível (SDS) e amido resistente (RS) são expressos na Tabela 7.

Para os resultados de digestibilidade obtidos para os amidos, foi possível verificar que a modificação com OSA reduziu a fração de RDS e SDS para todos os amidos e teve um aumento quanto RS, isso está de acordo com o encontrado Chávez-Salazar et al., (2022) e Olawoye et al., (2022).

Zhang, Mei, Chen e Chen (2017) relataram que a esterificação do amido com anidrido octenil succínico (OSA) reduziu o conteúdo de frações rapidamente digeríveis em amidos provenientes de diferentes fontes botânicas. Isso sugere que a modificação química através da esterificação pode alterar as propriedades digestivas do amido, possivelmente tornando-o mais resistente à digestão rápida.

O aumento de SDS e RS pode ser justificado pela introdução de novos grupos nas cadeias dos amidos o que os torna mais resistentes. A presença de grupos introduzidos pelo OSA pode interferir com a ação das enzimas amilolíticas, como a amilase, dificultando a quebra das cadeias de amido em açúcares menores. Isso resulta em uma maior fração de amido que passa intacta pelo trato digestivo e se comporta como amido resistente. (Remya *et al.*, 2018).

Existem alguns fatores que influenciam o aumento de amidos RDS E RS, entre eles pode-se destacar a interação do amido com outros nutrientes como os lipídios e as proteínas. Os complexos entre amido e lipídio são conhecidos por serem mais resistentes à digestão e podem ser aumentados pela modificação da OSA. Esses complexos aumentam o conteúdo de amido resistente no produto final. Em relação aos lipídeos, eles têm um impacto significativo na gelatinização e na retrogradação do amido. A incorporação de lipídios na cadeia de amilose, que tem uma conformação em dupla hélice e uma estrutura parcialmente cristalina, é o mecanismo pelo qual a amilose tem a interação de lipídios. Este complexo impede que a

amilose cristalize, reduzindo a quantidade de polissacarídeos que pode ser usado para formar pontes de hidrogênio com outras cadeias de amilose (Skrabanja, 1988; Pomeranz, 1992).

Annison, Topping (1994) observaram em estudos sobre a biodisponibilidade do amido que a fração do amido se encontra encapsulada por proteínas, essa interação foi evidenciada na elaboração de pães utilizando-se farinha de trigo com diferentes concentrações de proteínas.

Os resultados de RS para os chocolates adicionados de amidos modificados com OSA, foi totalmente satisfatório, visto que as formulações com amidos OSA, tiveram aumento significativo de RS quando comparado ao chocolate padrão (CP) que continha 30,57 % enquanto a amostra com maior teor de RS foi o chocolate elaborado com amido modificado de Banana da Terra (CBT) teve 52,75 %. A adição de amido modificado na formulação dos chocolates teve um aumento significativo na quantidade de amido RS.

Tabela 7 Resultados das análises de digestibilidades *in vitro* dos amidos nativos, dos amidos modificados e dos chocolates adicionados dos amidos modificados OSA de Banana da Terra, Milho e Mandioca.

Amostra	RDS%	SDS%	RS %
MA	9,35	21,21	69,42
MA332	1,11	11,21	87,67
BT	n.a	n.a	n.a
BT332	0,63	11,49	87,87
MI	3,21	29,99	66,79
MI332	3,05	5,98	90,95
CBT	19,83	27,41	52,75
CMA	23,12	29,32	47,55
CMI	25,35	29,97	44,66
CP	47,45	21,97	30,57

Nota: CBT: chocolate com amido de banana da Terra OSA; CMA: Chocolate amido de mandioca OSA; CMI: Chocolate com amido de milho OSA; CP: chocolate padrão. n.a- Amostra não analisada.

Fonte: Autor.

5.11 ANÁLISE DE TEXTURA

Uma das propriedades mais importantes do chocolate é sua textura, especialmente a dureza, que impacta diretamente na qualidade e percepção do produto. Isso reflete a importância de entender tanto os aspectos instrumentais quanto sensoriais da textura do chocolate para garantir que ele atenda às expectativas dos consumidores e mantenha um padrão de qualidade consistente. Os valores de dureza dos chocolates estão listados na Tabela 8 com base nas medições do analisador de textura.

Entre as amostras de chocolates avaliadas, a amostra com maior dureza foi a amostra formulada com amido de Banana da Terra OSA (32,43 N) e a amostra com menor dureza foi a

amostra de amido de Milho OSA (16,87 N). Característica observada pelos avaliadores na análise sensorial, em que penalizam as duas amostras no quesito textura, sendo a amostra 245 avaliada com sua textura com 41 % acima do ideal e 33 % abaixo do ideal e a amostra 145 35% acima do ideal e 40 % abaixo do ideal.

Razavizadeh, Tabrizi, (2021) quando realizaram a caracterização do chocolate ao leite composto fortificado com óleo de semente de chia microcapsulado encontraram valores de dureza 21 a 22 N, valores próximos ao encontrado neste estudo, em exceção aos valores máximos de dureza que ficaram superiores, o que pode estar relacionado à proporção diferente dos ingredientes.

Tabela 8 Resultados das análises de Textura com relação a dureza chocolates adicionados dos amidos modificados OSA de Banana da Terra, Milho e Mandioca.

Amostra	Dureza (N)
CBT	32,43 ^a
CMA	21,63 ^c
CMI	16,87 ^d
CP	31,10 ^b

Nota: Valores seguidos pela mesma letra na mesma coluna não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Nota: CBT: chocolate com amido de banana da Terra OSA; CMA: Chocolate amido de mandioca OSA; CMI: Chocolate com amido de milho OSA; CP: chocolate padrão.

Fonte: Autor.

5.12 ANÁLISE SENSORIAL

A análise sensorial foi realizada no laboratório de análise sensorial da empresa em que o chocolate foi desenvolvido e testado e a participação dos colaboradores foi de 61% de homens e 39 % de mulheres, totalizando 122 pessoas. A idade dos participantes variou de 18 a 60 anos. Entre os participantes, 45,1% possuem ensino médio completo e renda entre 1 e 2 salários mínimos. Quanto ao consumo de chocolate ao leite, a maioria relata uma frequência de duas a três vezes por semana.

Para a avaliação de impressão global das amostras foi utilizada a escala hedônica de 1 (desgostei muitíssimo) a 9 (gostei muitíssimo), o chocolate com adição de amido de mandioca OSA (CMA) apresentou maiores resultados com uma média de 7,508, seguido pelo chocolate padrão (CP), amido de milho OSA (CMI) e amido de Banana da Terra OSA (CBT), respectivamente.

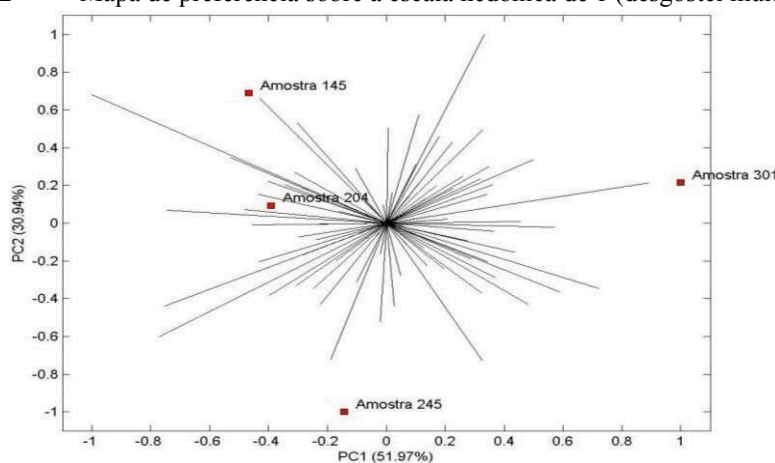
De acordo com os resultados da Tabela 9, pode-se afirmar que, todas as amostras fornecidas são semelhantes, sem diferenças importantes na impressão global, com isso também é possível afirmar que não houve diferença significativa na aceitação de nenhum dos

atributos avaliados entre as amostras. Isso sugere que a adição de diferentes tipos de amido modificados (mandioca OSA, milho OSA, banana OSA) manteve a aceitação dos atributos sensoriais no mesmo nível do chocolate padrão, indicando que todas as formulações foram bem recebidas pelos consumidores.

Um mapa de preferência é uma ferramenta visual usada para analisar e entender as preferências dos consumidores em relação a diferentes produtos ou formulações. Ele permite identificar quais atributos são mais valorizados e ajuda a posicionar as amostras de acordo com o gosto dos consumidores. A amostras CMA (Figura 32) foi a amostra preferida pelos consumidores em comparação com outras amostras testadas. Essa maior preferência pode ser confirmada e reforçada pela análise de penalidade.

Na análise de penalidade, atributos como cor, doçura e textura foram avaliados para determinar quão próximos eles estão do ideal para os consumidores. A amostra CMA foi considerada a mais ideal nesses parâmetros, isso explica sua preferência e reforça os resultados do mapa de preferência.

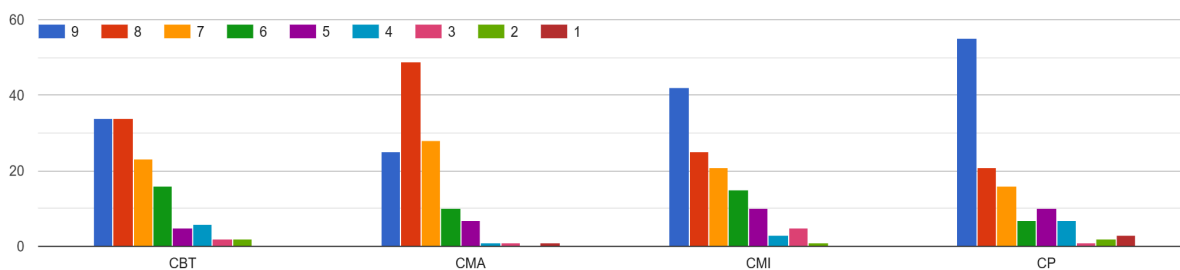
Figura 32 Mapa de preferência sobre a escala hedônica de 1 (desgostei muitíssimo) a 9 (gostei muitíssimo).



Fonte: O autor

Figura 33 Gráficos sobre a impressão global das amostras

Sobre a impressão global das amostras:

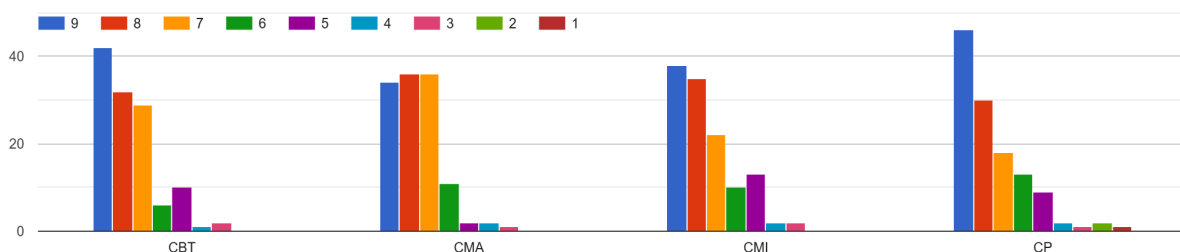


Fonte: Autor

Já os resultados de odor, com a mesma escala hedônica de 1 a 9, os chocolates com adição de amido de banana OSA (CBT) e mandioca OSA (CMA) obtiveram maiores notas, com resultado médio de 7,648. Conforme demonstrado na Tabela 9, não houve diferença significativa entre os resultados.

Figura 34 Gráficos sobre a impressão global das amostras em relação ao odor.

Sobre a odor das amostras:

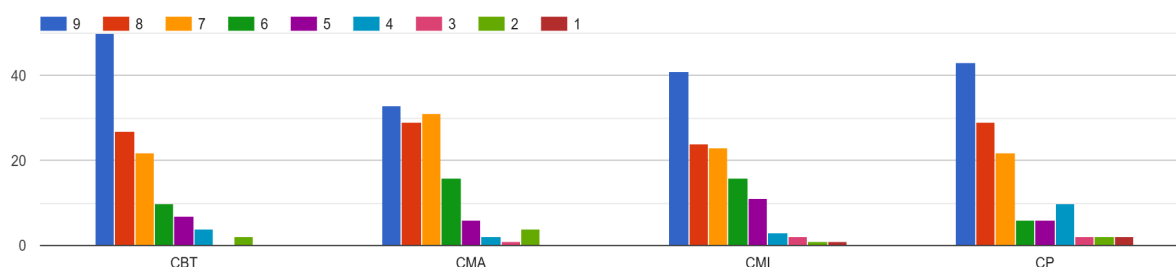


Fonte: Autor

A doçura da amostra CBT teve maior avaliação com média de 7,664. Os outros chocolates obtiveram menores notas, sem apresentar diferença significativa entre as amostras.

Figura 35 Gráficos sobre a impressão global das amostras em relação à doçura.

Sobre a doçura das amostras:

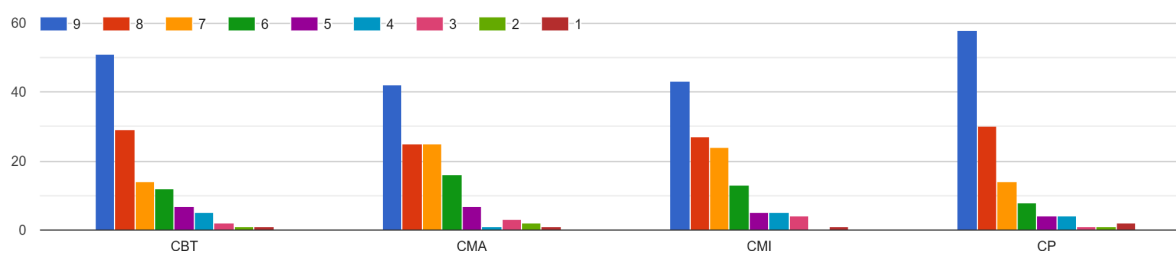


Fonte: Autor

Para a avaliação de textura, o CP obteve maiores notas, seguido pelo CBT sem diferir significativamente entre elas.

Figura 36 Gráficos sobre a impressão global das amostras em relação à textura.

Sobre a textura das amostras:



Fonte: Autor

Tabela 9 Resultados da análise sensorial de impressão global, odor, doçura e textura em escala hedônica de 1 a 9.

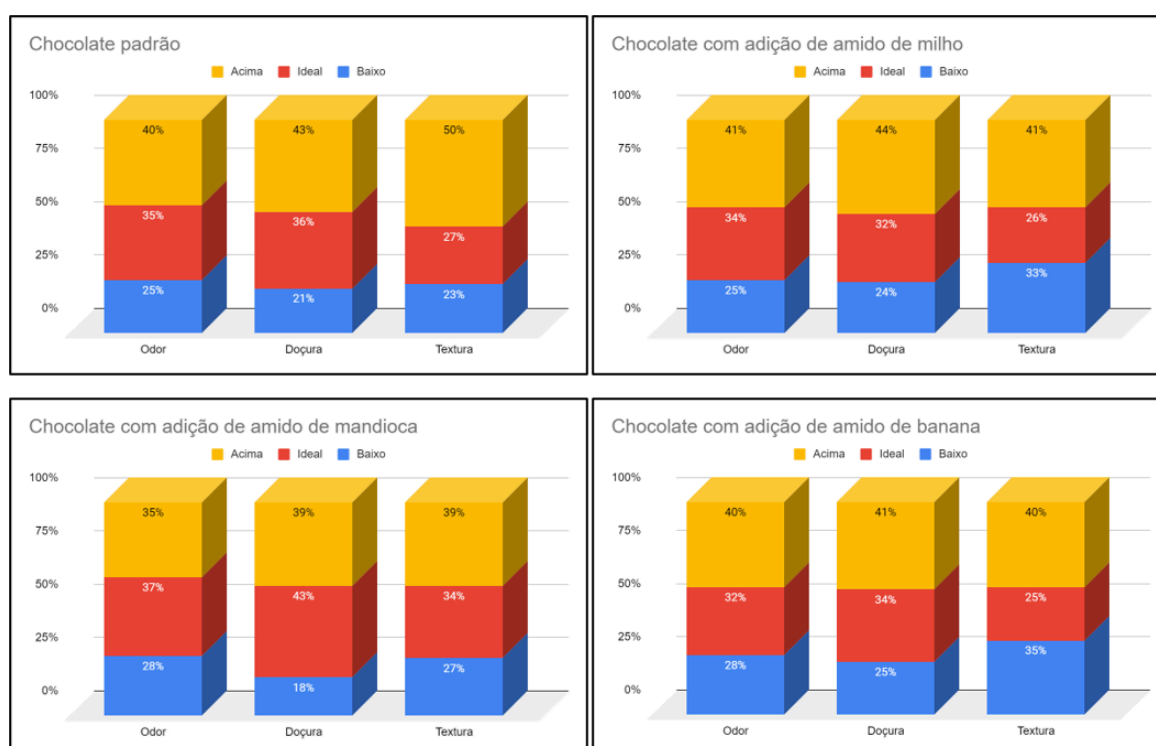
Amostra	Impressão global	Odor	Doçura	Textura
CBT	7,32±1,64 ^a	7,64±1,39 ^a	7,66±1,56 ^a	7,58±1,74 ^a
CMA	7,50±1,33 ^a	7,64±1,19 ^a	7,30±1,63 ^a	7,39±1,72 ^a
CMI	7,32±1,74 ^a	7,50±1,49 ^a	7,32±1,71 ^a	7,43±1,71 ^a
CP	7,41±2,04 ^a	7,53±1,69 ^a	7,30±1,95 ^a	7,79±1,72 ^a

Nota: Valores seguidos pela mesma letra na mesma coluna não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Nota: Amostra 145 chocolate com amido de banana da Terra OSA; Amostra 204 Chocolate amido de mandioca OSA; Amostra 245: Chocolate com amido de milho OSA; Amostra 301 chocolate padrão.
Fonte: Autor.

5.12.1 Escala Do Ideal

Os dados da escala *Just-about-right* (JAR) estão apresentados na Figura 37. Esses resultados permitem visualizar a frequência com que os atributos foram avaliados como acima, ideal ou abaixo do desejado pelos consumidores. A partir dessas informações, é possível avaliar, por meio de penalizações nas escalas, como um ajuste para o ideal poderia melhorar a nota e a aceitação do produto pelos avaliadores. Aquelas características que apresentaram uma frequência de marcação superior a 20 % são consideradas significativas e têm impacto relevante na aceitabilidade da amostra, podendo levar à penalização da nota.

Figura 37 Frequências de penalidade da análise de escala do ideal para chocolate padrão e chocolates com adição de amido modificados (OSA) de banana, milho e mandioca.



Fonte: O autor

Os dados das análises de penalidades para odor, doçura e textura estão apresentados nas Tabelas 10, 11 e 12, respectivamente.

As amostras analisadas obtiveram falta de odor, sentida pelos avaliadores, conforme a Tabela 9. Todas as amostras tiveram como sugestão um aumento de odor para que o mesmo fosse categorizado como ideal. Todas as notas hedônicas seriam maiores se a questão de odor fosse corrigida.

Tabela 10 Penalidades para o atributo odor em chocolate padrão e chocolates com adição de amidos de banana, milho e mandioca.

Amostra	Excesso/Falta	Penalidade	Hedônica	Hedônica corrigida
CBT	Falta	0,902	3,221	4,123
CMA	Falta	0,886	3,164	4,050
CMI	Falta	0,807	3,230	4,037
CP	Falta	0,814	3,254	4,068

Nota: CBT: chocolate com amido de banana da Terra OSA; CMA: Chocolate amido de mandioca OSA; CMI: Chocolate com amido de milho OSA; CP: chocolate padrão.

Fonte: Autor.

Para a avaliação de doçura, conforme demonstrado na Tabela 10, o chocolate com adição de amido de mandioca OSA teve menor penalidade em relação às outras amostras, que se corrigidas, alcançariam a mesma média final para o atributo de doçura.

Tabela 11 Penalidades para o atributo doçura em chocolate padrão e chocolates com adição de amidos de banana, milho e mandioca.

Amostra	Excesso/Falta	Penalidade	Hedônica	Hedônica corrigida
CBT	Falta	0,811	3,246	4,057
CMA	Falta	0,596	3,311	3,907
CMI	Falta	0,793	3,303	4,096
CP	Falta	0,704	3,352	4,056

Nota: CBT: chocolate com amido de banana da Terra OSA; CMA: Chocolate amido de mandioca OSA; CMI: Chocolate com amido de milho OSA; CP: chocolate padrão.

Fonte: Autor.

O atributo de textura, apresentou maior penalidade para os chocolates com adição de amido de banana OSA e amido de milho OSA, conforme Tabela 11. O chocolate padrão obteve menor penalidade em relação às outras amostras, que se corrigidas, alcançariam resultados finais sem diferenças significativas.

Tabela 12 Penalidades para o atributo doçura em chocolate padrão e chocolates com adição de amidos de banana, milho e mandioca.

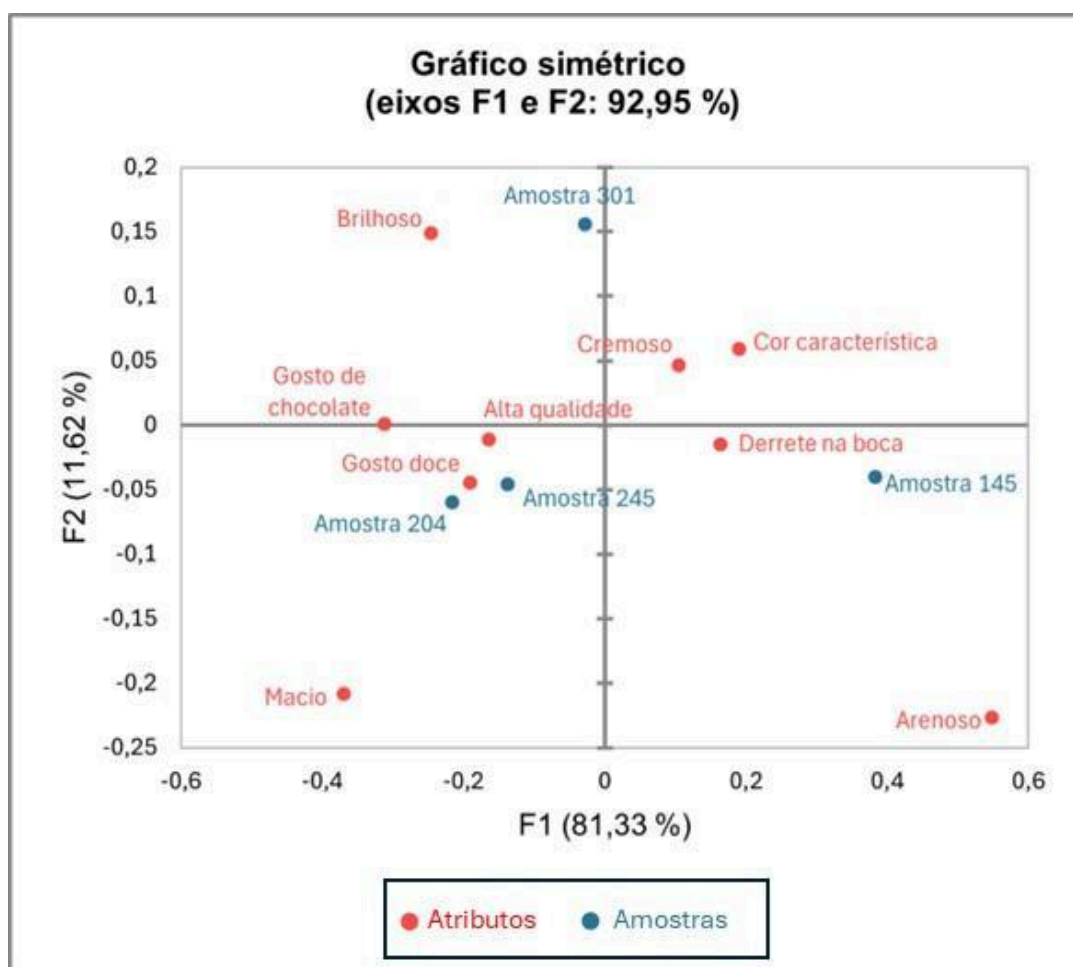
Amostra	Excesso/Falta	Penalidade	Hedônica	Hedônica corrigida
CBT	Falta	1,090	3,115	4,205
CMA	Falta	0,859	3,180	4,039
CMI	Falta	1,022	3,098	4,120
CP	Falta	0,796	3,459	4,255

Nota: CBT: chocolate com amido de banana da Terra OSA; CMA: Chocolate amido de mandioca OSA; CMI: Chocolate com amido de milho OSA; CP: chocolate padrão.

Fonte: Autor.

5.12.2 CATA (*Check All That Apply*)

Figura 38 Gráfico de simetria entre os atributos e amostras analisadas.



Fonte: O autor

Na análise CATA (*Check All That Apply*), aplicada a chocolates, os atributos

escolhidos foram definidos pela equipe técnica do setor do chocolate com o objetivo de capturar as principais características sensoriais percebidas pelos consumidores. No gráfico de simetria entre os atributos e amostras analisadas, os atributos que caracterizam cada amostra podem ser identificados pela proximidade dos atributos em relação às amostras no gráfico. Essa proximidade no gráfico indica a força da associação entre os atributos e as amostras. Quando os atributos e as amostras estão próximos ao centro do gráfico, isso sugere que essas amostras compartilham características comuns, sem uma forte diferenciação em termos de atributos específicos. Por outro lado, quanto mais afastado do centro e mais próximo de um atributo específico uma amostra estiver, maior a tendência dessa amostra ser fortemente caracterizada por esse atributo.

Portanto, os atributos que estão mais distantes do centro e próximos a uma amostra indicam que essa característica é uma descrição predominante para essa amostra específica. Isso ajuda a identificar as particularidades de cada amostra, permitindo uma melhor compreensão de como os diferentes atributos sensoriais contribuem para as percepções dos consumidores.

A CP (chocolate padrão) sendo associada aos atributos "brilhoso" e "cremoso" sugere que essas características são mais marcantes e definidoras para essa amostra. Por outro lado, as amostras CMA (chocolate amido de mandioca OSA) e CMI (chocolate amido de milho OSA), sendo predominantemente associadas a "gosto doce", "alta qualidade" e "gosto de chocolate", indicam que essas amostras são percebidas como mais próximas do perfil tradicional de um chocolate de alta qualidade, doce e com sabor característico de chocolate. A CBT, destacada pelo atributo "derrete na boca", aponta para uma característica de textura que pode ser muito apreciada por consumidores que buscam essa experiência sensorial.

A CMA destaca-se como a mais macia e com menor penalidade em relação à textura, reforçando a sua posição de preferência entre os avaliadores. O fato de 34% dos avaliadores considerarem a textura ideal é um indicador significativo de que essa amostra atende bem às expectativas sensoriais, o que explica preferência. Esse resultado mostra a importância de uma textura agradável para o consumidor, especialmente quando associada a outros atributos positivos, como o gosto doce e a qualidade percebida.

Essas observações são importantes para entender as preferências dos consumidores e como cada amostra se diferencia em termos sensoriais.

6 CONCLUSÃO

Por meio dos resultados obtidos, observou-se que a banana da terra apresentou maior pureza na extração de amido, resultando em um teor total de amido mais elevado, e foi evidenciado pelas micrografias a presença de impurezas nas amostras de banana nanica, prata e ouro. A modificação com OSA teve um impacto mais significativo nos amidos com grânulos menores, devido à maior área de superfície disponível para a reação. Nos amidos de milho e mandioca, com grânulos menores e mais uniformes, a reação com OSA foi mais intensa e superficial, facilitando a substituição dos grupos hidroxila. Grânulos com estrutura mais compacta, como os de banana, oferecem maior resistência à penetração do OSA, resultando em uma modificação menos pronunciada.

Os amidos modificados com OSA demonstraram características superiores em termos de formação de pasta mais viscosa, estabilidade durante o aquecimento e capacidade de retrogradação, em comparação com os amidos nativos. Os amidos de milho e mandioca foram classificados com o padrão cristalino tipo A, enquanto os amidos de banana apresentaram padrão tipo C. A modificação com OSA resultou em uma redução da cristalinidade para os amidos de milho e mandioca, mas um aumento da cristalinidade dos amidos de banana, com um aumento na entalpia para os amidos de banana nanica.

As imagens de MEV revelaram que a modificação com OSA causou alterações superficiais nos grânulos dos amidos de milho, com a presença de poros e cavidades. Para os amidos de banana, os resíduos nas superfícies podem ser materiais fibrosos resultantes da extração, sem alterações superficiais significativas. O espectro FTIR revelou dois novos picos, em 1726 e 1572 cm^{-1} , indicando a presença dos grupos éster e carboxila, confirmando a modificação química com OSA.

O teor de amilose não apresentou diferenças significativas para os amidos de mandioca e banana da terra entre os tratamentos e a amostra nativa, mas os amidos de banana ouro, nanica e prata mostraram redução do teor de amilose em comparação com os amidos nativos. O amido de milho com menor teor de amilose foi tratado por 2 horas com 3% de OSA.

No contexto do chocolate, a amostra CMA (chocolate amido de mandioca OSA) destacou-se pela maior preferência, apresentando uma redução de 28,81% no conteúdo de lipídio. Os amidos modificados e chocolates formulados com OSA mostraram aumento na fração de amido resistente (RS) e amido de digestão lenta (SDS), e redução no amido de

digestão rápida (RDS). Esses resultados confirmam que a modificação química do amido de banana pode melhorar as propriedades nutricionais e sensoriais de produtos alimentícios, como o chocolate, ao reduzir o teor de gordura saturada e aumentar o amido resistente. As variações entre as diferentes variedades de banana indicam que cada tipo de amido pode ser utilizado de forma específica para atender às propriedades desejadas no produto final.

Em conclusão, a modificação química do amido de banana com OSA é uma estratégia eficaz para otimizar as propriedades nutricionais e sensoriais de produtos alimentícios, especialmente no chocolate.

REFERÊNCIAS

- ABIDDIN, N. F. Z.; YUSOFF, A.; AHMAD, N. Optimisation of reaction conditions of octenyl succinic anhydride (OSA) modified sago starch using response surface methodology (RSM). **International Journal of Food Research and Technology**, v. 22, n. 3, p. 930-935, 2015.
- ABIDDIN, N. F. Z., YUSOFF, A., AHMAD, N. Optimisation of reaction conditions of octenyl succinic anhydride (OSA) modified sago starch using response surface methodology (RSM). **International Journal of Food Research and Technology**, v. 22(3), p. 930-935, 2015.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Análise sensorial dos alimentos e bebidas. NBR 12806: Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Escalas utilizadas em análise sensorial de alimentos e bebidas. NBR 14141: Rio de Janeiro, 1998.
- AFOAKWA, E. O. Chocolate Ciência e Tecnologia. 1. ed. Chichester: Wiley, 2016. ISBN 978-1-118-91378-9.
- ALANÍS-LÓPEZ, P., PÉREZ-GONZÁLEZ, J., RENDÓN-VILLALOBOS, R., JIMÉNEZ-PÉREZ, A., SOLORZA-FERIA, J. Extrusion and Characterization of Thermoplastic Starch Sheets from “Macho” Banana. **Journal of Food Science**, v. 76(6), p. E465– E471, 2011.
- ANDRAE-NIGHTINGALE, L. M.; LEE, S.Y.; ENGESETH, N. J. Textural changes in chocolate characterized by instrumental and sensory techniques. **Journal of Food Science and Human Nutrition**, University of Illinois, Urbana, IL, 2009.
- ANNISON G, TOPPING DL. Nutritional role of resistant starch: chemical structure vs physiological function. *Ann Rev Nutr* 1994; 14:297-320.
- AOAC. Official methods of analysis of AOAC international. 18. ed. Gaithersburg, 2010.
- ARINZECHUKWU, C. S.; NKAMA, I. Production and quality evaluation of fruit bars from banana (*Musa sapientum*) and cashew (*Anacardium occidentale*) apple fruit blends. **Asian Food Science Journal**, v. 10, n. 2, p. 1–16, 2019.
- ARES, G.; BARREIRO, C.; DELIZA, R.; GIMÉNEZ, A.; GÁMBARO, A. Application of a check-all-that-apply question to the development of chocolate Milk desserts. **Journal of Sensory Studies**, v. 25, n. 1, p. 67-86, 2010.
- ARES, G.; ANTÚNEZ, L.; GIMÉNEZ, A.; ROIGARD, C. M.; PINEAU, B.; HUNTER, D. C.; JAEGER, S. R. Further investigations into the reproducibility of check-all-that-apply (CATA) questions for sensory product characterization elicited by consumers. **Food Quality and Preference**, v. 36, p. 111-121, 2014.

ARES, G.; JAEGER, S. R.; BAVA, C. M.; CHHEANG, S. L.; JIN, D.; GIMENEZ, A.; VARELA, P. CATA questions for sensory product characterization: Raising awareness of biases. **Food Quality and Preference**, v. 30, n. 2, p. 114-122, 2013.

ARES, G.; TÁRREGA, A.; IZQUIERDO, L.; JAEGER, S. R. Investigation of the number of consumers necessary to obtain stable sample and descriptor configurations from check-all-that-apply (CATA) questions. **Food Quality and Preference**, v. 31, p. 135-141, 2014.

ASMAR, S. A.; CASTRO, E. M.; PASQUALI, M.; PEREIRA, F. J.; SOARES, J. D. R. Changes in leaf anatomy and photosynthesis of micropropagated banana plantlets under different silicon sources. **Scientia Horticulturae**, v. 161, p. 328–332, 2013.

BAI, Y.; SHI, Y. C. Estrutura e preparação de ésteres octenil succínicos de amido granular, amido microporoso e maltodextrina solúvel. **Carbohydrate Polymers**, v. 83, n. 2, p. 520-527, 2011.

BAO, J., XING, J., PHILLIPS, D. L., CORKE, H. Propriedades físicas de amidos de arroz, trigo e batata modificados com anidrido octenil succínico. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51(8), p.2283–2287, 2003.

BELLO-FLORES, C., NUÑEZ-SANTIAGO, M. C., MARTÍN-GONZALEZ, M.F.S., BEMILLER, J.N., BELLO-PÉREZ, L.A. Preparação e caracterização de amido de banana octenilsuccinilado. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 70, p. 334–339, 2014.

BELLO-PEREZ, L. A., P. C. FLORES-SILVA, E. AGAMA-ACEVEDO, AND J. TOVAR. Starch digestibility: Past, present, and future. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v. 100, 2020.

BET, C. D.; OLIVEIRA, C. S.; COLMAN, T. A. D.; MARINHO, M. T.; LACERDA, L. G.; RAMOS, A. P.; SCHNITZLER, E. Amido de amaranto orgânico: um estudo de suas propriedades tecnológicas após tratamento com calor e umidade. **Química Alimentar**, v. 264, p. 435-442, out. 2018.

BHOSALE, R.; SINGHAL, R. Otimização de processos para síntese de derivado octenil succinil de amidos de milho ceroso e amaranto. **Polímeros de carboidratos**, v. 66, n. 4, p. 521-527, 2006.

BI, Y.; ZHANG, Y.; JIANG, H.; HONG, Y.; GU, Z.; CHENG, L.; LI, Z.; LI, C. Molecular structure and digestibility of banana flour and starch. **Food Hydrocoll.**, 72:219– 227, 2017.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução à química de alimentos**. 2.ed. São Paulo: Varela, 1995. 223 p.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução à química de alimentos**. 3.ed. São Paulo: Varela, 2003. 228 p.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa N° 75, de 8 de outubro de 2020**. Estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 158, n. 195, p. 1, 9 out. 2020.

Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução da Diretoria Colegiada - RDC N° 723, de 1° de julho de 2022**. Dispõe sobre os requisitos sanitários do açúcar, açúcar líquido invertido, açúcar de confeitaria, adoçante de mesa, bala, bombom, cacau em pó, cacau solúvel, chocolate, chocolate branco, goma de mascar, manteiga de cacau, massa de cacau, melaço, melado e rapadura. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 160, n. 126, p. 38, 6 jul. 2022.

BRUZZONE, F.; ARES, G.; GIMÉNEZ, A. Consumers' texture perception of milk desserts. II – comparison with trained assessors' data. **Journal of Texture Studies**, v. 43, n. 3, p. 214-226, 2012.

CASTILHO, L. G.; ALCANTARA, B. M.; CLEMENTE, E. Desenvolvimento e análise físico- química da Farinha da casca, da casca in natura e da polpa de Banana verde das cultivares maçã e prata. **E-xacta**, Belo Horizonte, v. 7, n. 2, p. 107-114, 2014.

CHÁVEZ-SALAZAR, A.; ÁLVAREZ-BARRETO, C. I.; HOYOS-LEYVA, J. D.; BELLO-PÉREZ, L. A.; CASTELLANOS-GALEANO, F. J. Drying processes of OSA-modified plantain starch trigger changes in its functional properties and digestibility. **LWT - Food Science and Technology**, v. 154, p. 112846, 2022.

CHEVANAN, N.; MUTHUKUMARAPPAN, K.; UPRETI, P.; METZGER, L. E. Effect of calcium and phosphorus, residual lactose and salt-to-moisture ratio on textural properties of cheddar cheese during ripening. **Journal of Texture Studies**, v. 37, p. 711-730, 2006.

CHEN, P.; ZHANG, H.; LI, Y. Comparative analysis of the physicochemical properties of native and modified starches. **Starch/Stärke**, v. 73, n. 1-2, 2021.

CHITARRA, A. B.; CHITARRA, M. I. F. Manejo pós-colheita e amadurecimento comercial de banana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 19, n. 6, p. 761-771, 1984.

CHUNG, H.J.; LIU, Q.; AND HOOVER, R. "Impact of Molecular Structure on Physicochemical Properties of Legume Starches." **Food Chemistry**, v. 107, n. 2, p. 656-665, 2020.

COPELAND, L.; BLAZEK, J.; SALMAN, H.; TANG, M. C. Form and functionality of starch. **Food Hydrocolloids**, v. 23, n. 6, p. 1527-1534, 2009.

CUMMINGS, J. H.; MACFARLANE, G. T. Gastrointestinal effects of prebiotics. **The British Journal of Nutrition**, v.2, p. 145-155, 2002.

DEMIATE, I. M.; WOSIACKI, G.; CEREDA, M. P.; MESTRES, C. Características viscoamilográficas de amidos de mandioca quimicamente modificados. **UEPG: Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, v. 11, n. 1, p. 7–17, 2005.

DEMIATE, I. M.; FIGUEROA, A. M.; GUIDOLIN, M. E. B. Z.; SANTOS, T. P. R.; YANGCHENG, H.; CHANG, F.; JANE, J. Physicochemical characterization of starches from dry beans cultivated in Brazil. **Food Hydrocolloids**, v. 61, p. 812-820, 2016.

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

DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. da. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, v. 39(3), p. 945–954, 2017.

DEVOS, H. N.; REYMAN D. D.; SANCHEZ-CORTÉS, S. Chocolate composition and its crystallization process: a multidisciplinary analysis. **Food Chemistry**, v. 345, 2020.

DUNDAR, A. N.; GOCMEN, D. Efeitos da temperatura de autoclavagem e do tempo de armazenamento na formação de amido resistente e suas propriedades funcionais e físico-químicas. **Polímeros de carboidratos**, v. 97, n. 2, p. 764-771, 2013.

DUTCOSKY, S. D. Análise Sensorial de Alimentos. 2ª ed. Curitiba: Champagnat, 2013. 239 p.

EMBRAPA - Banana: o produtor pergunta, a Embrapa responde / editores técnicos, Marcelo Bezerra Lima, Sebastião de Oliveira e Silva, Cláudia Fortes Ferreira. – 2 ed. rev. e ampl. – Brasília, DF : 2012. 214 p. ISBN 978-85-7035-118-0

ENGLYST, H. N.; KINGMAN, S. M.; CUMMINGS, J. H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 46, p. 33–50, 1992.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Banana**. Disponível em: <https://www.fao.org/markets-and-trade/commodities/bananas/en/>. Acesso em: 15 out. 2023.

FAOSTAT. (2019). Crop production, statistics division. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <http://fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 15 out. 2023.

FERREIRA, V. L. P.; ALMEIDA, T. C. A.; PETTINELLI, M. C. V.; SILVA, M. A. P.; CHAVES, J. B. P.; BARBOSA, E. M. M. Análise sensorial: testes discriminativos e afetivos. Campinas: **SBCTA**, 2000. 127 p.

FRANCO, C. M. L.; WONG, K.S.; YOO, S.H.; JANE, J.L. Structural and functional characteristics of selected soft wheat starches. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 79, n. 2, p. 243-248, 2002.

FREDRIKSSON, H.; SILVERIO, J.; ANDERSSON, R.; ELIASSON, A. C.; AMAN, P. The influence of amylose and amylopectin characteristics on gelatinization and retrogradation properties of different starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 35, n. 3-4, p. 119-134, 1998.

GARCÍA-RINCÓN, PAOLA.; NÚÑEZ-RAMÍREZ, JOSÉ M.; BAHAMÓN-MONJE, ANDRÉS F. Physicochemical and sensory characteristics of fermented almonds of national cacao (*Theobroma Cacao* L.) with addition of probiotics in the Amazonic research center, Cimaz Macagual (Caquetá, Colombia). **Revista Universidad de la Amazonía**, vol. 20, pp. 35-47, 2021.

GAVÍN, J.; PARENTE, J.; GOOSSENS, A. Allergic contact dermatitis caused by sodium metabisulfite: A challenging allergen. **A case series and literature review**. *Contact Dermatitis*, Copenhagen, v. 67, n. 5, 2012.

GOU, M.; WU, H.; SALEH, A. S. M.; JING L.; LIU, Y.; ZHAO, K.; SU, C.; ZHANG, B.; JIANG, H.; LI, W. Effects of repeated and continuous dry heat treatments on properties of sweet potato starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 129, p. 869-877, 2019.

GUO, J.; TANG, W.; QUEK, S. Y.; LIU, Z.; LU, S.; TU, K. Evaluation of structural and physicochemical properties of octenyl succinic anhydride modified sweet potato starch with different degrees of substitution. **Journal of Food Science**, v. 85, n. 3, p. 666-672, 2020.

HALLEY, P. J.; AVÉROUS, L. Starch polymers: From genetic engineering to green applications. **Esilver**, San Diego, p.484, 2014.

HAN, J.-A., CHUNG, H.-J., LIM, S.-T. Propriedades físicas e emulsificantes da dextrina de milho OSA com vários métodos de fabricação. **Food Hydrocolloids**, v. 89, p. 563– 569, 2019.

HE, H.; HONG, Y.; GU, Z.; LIU, G.; CHENG, L.; LI, Z. Improved stability and controlled release of CLA with spray-dried microcapsules of OSA-modified starch and xanthan gum. **Carbohydrate Polymers**, v. 147, p. 243-250, 2016.

HERNÁNDEZ-JAIMES, C., BELLO-PÉREZ, L. A., VERNON-CARTER, E. J., ALVAREZ-RAMIREZ, J. Plantain starch granules morphology, crystallinity, structure transition, and size evolution upon acid hydrolysis. **Carbohydrate Polymers**, v. 95(1), p. 207– 213, 2013.

HOOVER, R. "Starch Retrogradation." **Food Reviews International**, vol. 36, n. 3, p. 419-431, 2020.

HUI, R.; QI-HE, C.; MING-LIANG, F.; QIONG, X.; GUO-QING, H. Preparação e propriedades do amido de batata modificado com anidrido octenil succínico. **Food Chemistry**, v. 114(1), p. 81–86, 2009.

IFOAM - International Federation of Organic Agriculture Movements. **Training manuals for organic agriculture**, 2009.

ISLAM, F.; SHARIFUL, I.; MIAH, M.A.S.; BHUIYAN, M.N.I.; ABEDIN, N.; MONDOL, S.M.H.; SULTANA, S. Quality assessment and sensory evaluation of green banana starch enriched instant noodles. **Applied Food Research**, v. 4, p. 100431, 2024.

ITAL (Instituto de Tecnologia de Alimentos). Banana: cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos. 2º ed. rev. e ampl. Campinas: ITAL, p. 302, 1985.

JAEGER, S. R.; CHHEANG, S. L.; YIN, J.; BAVA, C. M.; GIMENEZ, A.; VIDAL, L.; ARES, G. Check-all-that-apply (CATA) responses elicited by consumers: Within-assessor reproducibility and stability of sensory product characterizations. **Food Quality and Preference**, v. 30, n. 1, p. 56-67, 2013.

JAEGER, S. R.; HUNTER, D. C.; KAM, K.; BERESFORD, M. K.; JIN, D.; PAISLEY, A. G.; ARES, G. The concurrent use of JAR and CATA questions in hedonic scaling is unlikely to cause hedonic bias, but may increase product discrimination. **Food Quality and Preference**, v. 44, p. 70-74, 2015.

JANE, J. "Structural Features of Starch Granules II." **Journal of Starch Science and Technology**, vol. 3, n. 4, p. 193-236, 2020.

JANE, J.; AO, Z.; DUVICK, S. A.; WIKLUND, M.; YOO, S.-H.; WONG, K.-S.; GARDNER, C. Structures of amylopectin and starch granules: How are they synthesized. **Journal of Applied Glycoscience**, v. 50, n. 2, p. 167-172, 2003.

JEON, Y.-S.; LOWELL, A. V.; GROSS, R. A. Estudos de esterificação de amido: Reações com alquênilsuccinatos em sistemas aquosos de polpa. **Amido - Stärke**, v. 51, n. 2-3, p. 90-93, 1999.

JENKINS, P. J.; DONALD, A. M. Gelatinisation of starch: A combined SAXS/WAXS/DSC and SANS study. **Carbohydrate Research**, v. 308, n. 1, p. 133-147, 1998.

JIANG, H.; ZHANG, Y.; HONG, Y.; BI, Y.; GU, Z.; CHENG, L.; Li, C. Digestibility and changes to structural characteristics of green banana starch during in vitro digestion. **Food Hydrocolloids**, 49, 192-199, 2015.

KEENAN, R. J.; REAMS, G. A.; ACHARD, F.; DE FREITAS, J. V.; GRAINGER, A.; LINDQUIST, E. Dinâmica da área florestal global: Resultados da Avaliação Global de Recursos Florestais da FAO 2015. **Forest Ecology and Management**, v. 352, p. 9-20, 2015.

KIM, H.-Y.; LEE, J.H.; KIM, J.-Y.; LIM, W.-J.; LIM, S.-T. Caracterização de nanopartículas preparadas por hidrólise ácida de vários amidos. **Amido - Stärke**, v. 64(5), p. 367-373, 2012.

KIM, H. N.; SANDHU, K. S.; LEE, J. H.; LIM, H. S.; LIM, S. T. Characterization of 2-octen-1-ylsuccinylated waxy rice amyloextrins prepared by dry-heating. **Journal of Food Chemistry**, v. 119, p. 1189-1194, 2010.

KUBIAKI, F. T.; FIGUERO, A. A. M.; OLIVEIRA, C. S.; DEMIATE, I. M.; SCHNITZLER, E.; LACERDA, L. G. Effect of acid-alcoholic treatment on the thermal, structural and pasting characteristics of European chestnut (*Castanea sativa*, Mill) starch. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 131, p. 587–594, 2018.

KUMAR, M.; VERMA, D.; ROY, D.; PATIL, S.; KUMAR, V.; SINGH, S. Caracterização da farinha de banana verde obtida de banana de sobremesa e banana-da-terra (*Musa* espécies). **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 2, p. 684-695, 2019.

LESZCZYNSKI, R. Chemical modification of starch and its application. **Journal of Food Science**, v. 69, n. 5, p. 167-173, 2004.

LEHMANN, U.; ROBIN, F. Slowly digestible starch - its structure and health implications: a review. **Food Science and Technology**, v. 18, n. 7, p. 346–355, 2007.

LEON, T. M. de. Elaboração e aceitabilidade de receitas com biomassa de banana verde. **Universidade do Extremo Sul Catarinense**, Unesc, Criciúma, 2010.

LESSA, L. S.; OLIVEIRA, T. K.; AMORIM, E. P.; ASSIS, G. M. L.; SILVA, S. O. Características vegetativas e seus efeitos sobre a produção de bananeira em três ciclos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.34, n.4, p.1098-1104, 2012.

LI, W.; YU, Y.; PENG, J. L.; DAI, Z.; WU, J.; WANG, Z. W. Effects of the degree of substitution of OSA on the properties of starch microparticles-stabilized emulsions. **Carbohydrate polymers** v. 255, 2021.

LIANG, Y.; ZHENG, L.; YANG, Y.; ZHENG, X.; XIAO, D.; AI, B.; SHENG, Z. Dielectric barrier discharge cold plasma modifies the multiscale structure and functional properties of banana starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 264, p. 130462, 2024.

LIDA, H.; ALI, A. Características físico-químicas de misturas de óleo de palma para a produção de pastas com teor reduzido de gordura. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v.75(11), p.1625–1631, 1998.

LIMA, M.L.; PACHECO, G. A.; CUNHA, D. A.; PINHEIRO, L. A. M. G.; TEIXEIRA, I. R. Propriedades físicas de cultivares de feijão-comum em funções de diferentes teores de água. **Anais do VII Seminário de Iniciação e V jornada de pesquisa e Pós-graduação, Universidade Estadual de Goiás**, 2010.

LIMA, K. O.; BIDUSKI, B.; SILVA, W. M. F. DA; FERREIRA, S. M.; MONTENEGRO, L. M. P.; DIAS, A. R. G.; BIANCHINI, D. Incorporation of tetraethylorthosilicate (TEOS) in biodegradable films based on bean starch (*Phaseolus vulgaris*). **European Polymer Journal**, v. 89, p.162–173, 2017.

LIMBARDO, RP.; SANTOS, H.; WITONO, JR. O efeito do óleo de coco e do óleo de palma como óleos substituídos à manteiga de cacau na textura e no ponto de fusão da barra de chocolate. **Seminário Internacional De Fundamentos e Aplicações da Engenharia Química**, ISFACHÉ, 2017.

LIU, Z. et al. Influência da extração enzimática nas propriedades do amido de milho. **Biosci**

Alimentar, [S.l.], v. 58,, 2024.

LIU, Q.; SONG, H.; GUO, Z. Influence of chemical modifications on the thermal properties of corn starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 255, 2021.

LIU, G.; GU, Z.; HONG, Y.; CHENG, L.; LI, C. Structure, functionality and applications of debranched starch: A review. **Food Science and Technology**, v. 63, p.70–79, 2017.

LIU, Z. Q.; LI, Y.; CUI, F. J.; PING, L. F.; SONG, J. M.; RAVEE, Y.; ZHENG, Y. G. Production of octenyl succinic anhydride-modified waxy corn starch and its characterization. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 23, p. 11499-11506, 2008.

LIU, Q.; DONNER, E.; YIN, Y.; HUANG, R. L.; FAN, M. Z. The physicochemical properties and in vitro digestibility of selected cereals, tubers and legumes grown in China. **Food Chemistry**, v. 99, p. 470-477, 2006.

LOPEZ-SILVA, M.; BELLO-PEREZ, L. A.; AGAMA-ACEVADO, E.; ALVAREZ-RAMIREZ, J. Effect of amylose content in morphological functional and emulsification properties of OSA modified corn starch. **Food hydrocolloids**, v. 97, 2019.

LOS, F. G. B. Estudo do amido, proteína e compostos fenólicos do feijão carioca. **Universidade Estadual de Ponta Grossa**, Ponta Grossa, 2019.

MA, M.; WANG, Y.; WANG, M.; JANE, J.; DU, S. Physicochemical properties and in vitro digestibility of legume starches. **Food Hydrocolloids**, v. 63, p. 249–255, 2017.

MA, Z., AND FLOROS, J. D. Starch-Based Ingredients in Food: Current Trends and Applications. **Food Reviews International**, v. 25, n. 4, p. 423-446, 2021.

McGAULEY, S. E.; MARANGONI, A. G. Static Crystallization behavior of cocoa butter and its relationship to network microstructure. In: MARANGONI A.G.; NARINE, S.S., eds. **Physical properties of lipids**. New York: Marcel Dekker, cap.4, p.85-123, 2002.

MARCON, M. J. A.; KURTZ, D. J.; RAGUZZONI, J. C.; DELGADILLO, I.; MARASCHIN, M.; SOLDI, V.; REGINATTO, V.; AMANTE, E. R. Expansion Properties of Sour Cassava Starch (Polvilho Azedo): Variables Related to its Practical Application in Bakery. **Starch/Stärke**, v. 61, p. 716-726, 2009.

MARTA, H.; CAHYANA, Y.; DJALI, M.; ARCOT, J.; TENSISKA, T. A comparative study on the physicochemical and pasting properties of starch and flour from different banana (*Musa spp.*) cultivars grown in Indonesia. **International Journal of Food Properties**, v. 22, p. 1562-1575, 2019.

MARTÍNEZ, M.M., et al. Structural and Physicochemical Properties of Starch. **Journal of Food Science**, v. 85, n. 1, p. 40-50, 2020.

MATSUURA, F. C. A. U., COSTA, J. I. P., FOLEGATTI, M. I. S. Marketing de banana: preferências do consumidor quanto aos atributos de qualidade dos frutos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, p. 48-52, 2004.

MEYNERS, M.; CASTURA, J. C. Check-all-that-apply questions. In: VARELA, P.; ARES, G. Novel techniques in sensory characterization and consumer profiling. Boca Raton: CRC Press, Cap. 11, p. 271-306, 2014.

MIAO, M.; LIA, R.; CUI, S. W.; ZHANG, T.; JIN, Z. Structure and physicochemical properties of octenyl succinic esters of sugary maize soluble starch and waxy maize starch. **Food Chemistry**, v.151, p. 154-160, 2014.

MONTOYA-LÓPEZ, J., QUINTERO-CASTAÑO, V. D., LUCAS-AGUIRRE, J. C. **Acta Agron.**, v.64, p.11, 2015

MOTA, N.A.; SHAKYA, D.; ALI, M.S. Applications of Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) in the Pharmaceutical Industry. **Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v. 66, n. 6, p. 847-859, 2014.

MUHAMMAD, A.; KHAN, B.; ALI, C.; ZAFAR, D. Analysis of the physicochemical properties of modified starches from various botanical sources. **Journal of Food Science**, v. 84, n. 5, p. 1234-1245, 2018.

NARA, S.; KOMIYA, T. Studies on the Relationship Between Water-saturated State and Crystallinity by the Diffraction Method for Moistened Potato Starch. **Starch - Stärke**, v. 35, n. 12, p. 407-410, 1983.

NOOR, N., GANI, A., JHAN, F., JENNO, J.L.H., ARIF, D. M. Resistant starch type 2 from lotus stem: ultrasonic effect on physical and nutraceutical properties. **Ultrason Sonochem.**, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 105655, 2021.

OLAWOYE, B., FAGBOHUN, O. F., POPOOLA, O., GBADAMOSI, S. O; AKANBI, C. T. Understanding how different modification processes affect the physiochemical, functional, thermal, morphological structures and digestibility of cardaba banana starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 201, p. 158-172, 2022.

ORMENESE, R. C. S. C. Obtenção de farinha de banana verde por diferentes processos de secagem e aplicação em produtos alimentícios. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - **Faculdade de Engenharia de Alimentos**, Universidade Estadual de Campinas, 2010.

OH, I. K.; BAE, I. Y.; LEE, H. G. Effect of dry heat treatment on physical property and in vitro starch digestibility of high amylose rice starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 108, p. 568- 575, 2018.

ORO, T., LIMBERGER, V. M., DE MIRANDA, M. Z., RICHARDS, N. S. P. S., GUTKOSKI, L. C., FRANCISCO, A. Propriedades de pasta de mesclas de farinha integral com farinha refinada usadas na produção de pães. **Ciência Rural**, v. 43, n. 2, p. 214-229, 2013.

PARADA, J.; AGUILERA, J. M. A digestibilidade in vitro e a resposta glicêmica do amido de batata estão relacionadas ao tamanho dos grânulos e ao grau de gelatinização. **Jornal de Ciência Alimentar**, v. 74, n. 1, p. E34–E38, 2009.

PARAMASIVAM, S. K.; SARAVANAN, A.; NARAYANAN, S.; SHIVA, K. N.; RAVI, I.;

MAYILVAGANAN, M.; PUSHPA, R.; UMA, S. Exploring differences in the physicochemical, functional, structural, and pasting properties of banana starches from dessert, cooking, and plantain cultivars (*Musa* spp.). **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 191, p. 1056-1067, 2021.

PARK, E. Y.; KIM, H.; KIM, J.; LIM, S. Pasting properties of potato starch and waxy maize starch mixtures. **Starch/Stärke**, v. 61, p. 352-7, 2009.

PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A. Conceitos de processos e equipamento de secagem. Campinas: **CT&EF**, 2007.

PERERA, A.; MEDA, V.; TYLER, R. T. Resistant starch: a review of analytical protocols for determining resistant starch and of factors affecting the resistant starch content of foods. **Food Research International**, v.43, p.1959-1974, 2010.

PÉREZ, S.; BERTOFT, E. The molecular structures of starch components and their contribution to the architecture of starch granules: A comprehensive review. **Starch - Stärke**, v. 62, n. 8, p. 389-420, 2010.

PÉREZ, S., AND BERTOFT, E. "The Molecular Structures of Starch Components and Their Contribution to the Architecture of Starch Granules: A Comprehensive Review." **Starch - Stärke**, v. 72, n.8, p. 389-420, 2020.

POMERANZ Y. Research and development regarding enzyme-resistant starch (RS) in the USA: a review. **Eur J Clin Nutr** 1992; 46(2 Suppl):S63-S68.

RAGHUNATHAN, R., PANDISELVAM, R., KOTHAKOTA, A., MOUSAVI KHANEGHAH, A. The Application of Emerging Non-Thermal Technologies for the Modification of Cereal Starches. **LWT- Food Science and Technology**, p. 138, 2021.

RAIGOND, P., EZEKIEL, R., & RAIGOND, B. Resistant Starch in Food: A Review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 95(10), 1968-1978, 2015.

RAMOS, E. M.; GOMIDE, L. A. M. Avaliação da qualidade de carnes: fundamentos e metodologias. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007.

RATNAYAKE, W. S., AND JACKSON, D. S. "Gelatinization and Solubility of Corn Starch During Heating in Excess Water: New Insights." **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 10, p.3712-3716, 2021.

RAZAVIZADEH, BIBI MARZIEH; TABRIZI, PARVANEH. Characterization of fortified compound milk chocolate with microcapsulated chia seed oil. **LWT - Food Science and Technology**, v. 150, p. 111993, 2021.

REMYA, R.; JYOTHI, A. N.; SREEKUMAR, J. Propriedades morfológicas, estruturais e de digestibilidade de amidos de batata doce, banana e lentilha enriquecidos com octenil succinilado RS4. **Hidrocolóides Alimentares**, v. 82, p. 219-229, 2018.

ROBINSON, J. C. Distribution and importance; taxonomic classification, cultivars and breeding. In: J. C. ROBINSON (Ed.). *Banana and plantains*. SILVA JUNIOR, J. .; F, LEDÓ,

A. da S.; XAVIER, F. R. S.; FERRAZ, L. G. B.; LEDÓ, C. A. da S.; MUSSER, R. S. Avaliação agrônômica de genótipos de bananeira no Vale do Rio Siriji. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Pernambuco, V. 7, p. 620-625, 2012.

RODRÍGUEZ-MARÍN, M. L., NÚÑEZ-SANTIAGO, C., WANG, Y.-J., BELLO-PÉREZ, L. A. Physicochemical and structural characteristics of cross-linked banana starch using three cross-linking reagents. **Starch - Stärke**, v.62(10), p.530–537, 2010.

SALAZAR, D., ARANCIBIA, M., LALALEO, D., RODRÍGUEZ-MAECKER, R., LÓPEZ-CABALLERO, M. E., MONTERO, M. P. Physico-chemical properties and filmogenic aptitude for edible packaging of Ecuadorian discard green banana flours (*Musa acuminata* AAA). **Food Hydrocolloids**, p.122, 2022.

SÁNCHEZ-RIVERA, M. M., FLORES-RAMÍREZ, I., ZAMUDIO-FLORES, P. B., GONZÁLEZ-SOTO, R. A., RODRÍGUEZ-AMBRÍZ, S. L., BELLO-PÉREZ, L. A. Acetylation of banana (*Musa paradisiaca*L.) and maize (*Zea mays*L.) starches using a microwave heating procedure and iodine as catalyst: Partial characterization. **Starch - Stärke**, v.62, p.155–164, 2010.

SWEEDMAN, M. C.; TIZZOTTI, M. J.; SCHÄFER, C.; GILBERT, R. G. Structure and physicochemical properties of octenyl succinic anhydride modified starches: a review. **Carbohydrate Polymers**, v. 92, p. 905-920, 2013.

SIMSEK, S., OVANDO-MARTINEZ, M., MAREFATI, A., RAYNER, M. Chemical composition, digestibility and emulsification properties of octenyl succinic esters of various starches. **Food Research International**, v.75, p.41–49, 2015.

SINGH, S. ET AL. Relationship of polymeric proteins with pasting, gel dynamic- and dough empirical-rheology in different Indian wheat varieties. **Food Hydrocolloids**, v. 25, p. 19-24, 2011.

SINGH, B.; SINGH, J. P.; KAUR, A.; SINGH, N. Compostos bioativos na banana e seus benefícios para a saúde associados – Uma revisão. **Química Alimentar**, 206, 2016.

SINGH, J.; SINGH, N.; SINGH, H. Effect of Acetylation on Some Properties of Corn and Potato Starches. **Starch - Stärke**, vol. 72, nº 12, p. 586-601, 2019.

Skrabanja V, Kreft I. Resistant starch formation following autoclaving of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) groats an in vitro study. **J Agric Food Chem** 1998; 46:2020-23.

SONG, X., HE, G., RUAN, H., CHEN, Q. Preparação e propriedades do amido de arroz EarlyIndica modificado com anidrido octenil succínico. **Amido - Stärke**, 58(2), 109– 117, 2006.

SOUZA, M. E.; LEONEL, S.; FRAGOSO, A. M. Crescimento e produção de genótipos de bananeiras em clima subtropical. **Ciência Rural**, v. 41, nº 4, p. 581-591, 2011.

STOVER, R. H.; SIMMONDS, N. W. Classification of banana cultivars. In: R. H. Stover; N. W. Simmonds (Eds.). *Bananas*, 3rd ed. New York: Wiley, p. 97-103, 1987.

SWEEDMAN, M. C.; TIZZOTTI, M. J.; SCHÄFER, C.; GILBERT, R. G. Structure and physicochemical properties of octenyl succinic anhydride modified starches: a review. **Carbohydrate Polymers**, v. 92, nº 1, p. 905-920, 2013.

TAGLIAPIETRA, B. L.; FELISBERTO, M. H. F.; SANCHES, E. A.; CAMPELO, P. H.; CLERICI, M. T. P. S. Non-conventional starch sources. **Current Opinion in Food Science**, v. 39, p. 93-102, 2021.

TELES, G. C.; MIYOSHI, J. H.; CROZATTI, T. T. da S.; OLIVEIRA, P. R. S. de; LUCKESI, D.; BARROS, R. de A. Biomassa de banana verde: alimento funcional, uma revisão. **Investigação, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 11, n. 14, out. 2022.

TESTER, R. F.; KARKALAS, J.; QI, X. STARCH . Composition, Fine Structure and Architecture. **Journal of Cereal Science**, v. 39, n. 2, p. 151-165, 2004.

TOKER, OS; PALABIYIK, I.; KONAR, N. Qualidade do chocolate e conchagem. Tendências em Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 446–453, 2019.

TONG, F.; DENG, L. L.; SUN, R.; ZHONG, G. Effect of octenyl succinic anhydride starch ester by semi-dry method with vacuum-microwave assistant. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 141, p. 1128-1136, 2019

TRAN, T., GHOSH, S., ROUSSEAU, D. Spheroidal Fat Crystal Microstructures Formed with Confined Gap Shearing. **Crystal Growth and Design**, 14, 6383–6390, 2014.

TRIBESS, T. B.; HERNÁNDEZ-URIBE, J. P.; MÉNDEZ-MONTEALVO, M. G.; MENEZES, E. W.; BELLO-PÉREZ, L. A.; TADINI, C. C. Enthalpic properties and resistant-starch content of green banana flour (*Musa cavendishii*) produced at different drying conditions. **Food Science and Technology**, v. 42, n. 5, p. 1022-1025, 2009.

THIRATHUMTHAVORN, D., CHAROENREIN, S. Propriedades térmicas e de colagem de amidos nativos e tratados com ácido derivatizados por anidrido 1-octenil succínico. **Carbohydrate Polymers**, 66(2), 258–265, 2006.

TURCO, P. H. N.; MARTINS, A. N.; PINATTI, E. Novo panorama da bananicultura brasileira. São Paulo: FNP, p. 163-167, 2021.

VARELA, P.; ARES, G. Sensory profiling, the blurred line between sensory and consumer science. **Food Research International**, v. 48, n. 2, p. 893-908, 2012.

VARELA, P.; ARES, G. Introduction Novel techniques in sensory characterization and consumer profiling. **Boca Raton: CRC Press**, Cap.1. p. 1-8, 2014.

VARELA, M. S.; NAVARRO, A. S.; YAMUL, D. K. Effect of hydrocolloids on the properties of wheat/potato starch mixtures. **Starch/Staerke**, v. 68, n. 7–8, p. 753-761, 2016.

WANG, S.; WANG, S.; GUO, P.; LIU, L.; WANG, S. Multiscale structural changes of wheat and yam starches during cooking and their effect on in vitro enzymatic digestibility. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, n. 1, p. 156–166, 2017.

WANG, C., TANG, C. H., FU, X., HUANG, Q., ZHANG, B. Granular size of potato starch affects structural properties, octenylsuccinic anhydride modification and flowability. **Food Chemistry**, 212, 453–459, 2016.

WANG, Y.; LI, Y.; TIAN, J. Structural and thermal properties of corn starch modified by various chemical methods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 68, n. 34, p. 9123-9130, 2020.

WANG, W.; LIU, C.; ZHANG, H.; ZHU, X.; WANG, L.; ZHANG, N.; YU, D. Properties of OSA-modified starch and emulsion prepared with different materials: Glutinous rice starch, japonica rice starch, and indica rice starch. **Food Research International**, v. 161, 2022.

WHITNEY, K., REUHS, B. L., MARTINEZ, M. O., SIMSEK, S. Analysis of octenylsuccinate rice and tapioca starches: Distribution of octenylsuccinic anhydride groups in starch granules. **Food Chemistry**, 211, 608–615, 2016.

WONG, J. M.; JENKINS, D. J. Carbohydrate digestibility and metabolic effects. **Journal of Nutrition**, v. 137, n. 11, p. 2539-2546, 2007.

WURSBURG, O. B. Modified starches. In A. M. Stephen (Ed.), **Food Polysaccharides and Their Applications**, New York: Marcel Dekker, Inc. p. 67–97, 1995.

YANG, M.; CHANG, L.; JIANG, F.; ZHAO, N.; ZHENG, P.; SIMBO, J.; YU, X.; DU, S. Structural, physicochemical and rheological properties of starches isolated from banana varieties (*Musa spp.*). **Food Chemistry**, v. 16, 2022.

YASHINI, M.; KHUSHBU, S.; MADHURIMA, N.; SUNIL, C. K.; MAHENDRAN, R.; VENKATACHALAPATHY, N. Thermal properties of different types of starch: A review. **Food Science and Nutrition**, v. 2, p. 1-24, 2022.

YAZID, N.; ABDULLAH, S. M. N.; MUHAMMAD, N.; MATIAS-PERALTA, H. M. Application of starch and starch-based products in food industry. **Journal of Science and Technology**, v. 10, n. 2, p. 144-174, 2018.

ZHANG, Z.; NIU, Y.; ECKHOFF, S. R.; FENG, H. Separação de amido de milho aprimorada por sonicação. **Starch - Stärke**, v. 57, n. 6, p. 240-245, 2005.

ZHANG, B.; HUANG, Q.; FU, X. Effects of different chemical modifications on the thermal stability of corn starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 209, p. 524-532, 2022,

ZHENG, Y.; HU, L. L.; DING, N.; LIU, P.; YAO, C.; ZHANG, H. X. Physicochemical and structural characteristics of the octenyl succinic ester of ginkgo starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 94, p. 566-570, 2017.

ZHENG, J.; YU, J.; HU, X. Impact of chemical modifications on the gelatinization properties of starches: A comprehensive review. **Food Chemistry**, v. 330, 2020.

ZHONG, L., DING, Y., ZHANG, B., WANG, Z., LI, C., FU, X., HUANG, Q. Efeito da

octenilsuccinilação do amido de mandioca oxidado na resistência à gordura e impermeabilização do papel de embrulho de alimentos. **Starch - Stärke**, v. 71, p. 7-8, 2019.

ZHOU, Y.; CUI, L.; YOU, X.; JIANG, Z.; QU, W.; LIU, P.; MA, D.; CUI, Y. Effects of repeated and continuous dry heat treatments on the physicochemical and structural properties of quinoa starch. **Food Hydrocolloids**, v. 113, 2021.

ZHU, H.; XIE, Q. Modification, characterization and applications of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v. 269, p. 527-539, 2018.

ANEXO A - FORMULÁRIO UTILIZADO NA SENSORIAL

03/09/24, 11:45

Avaliação sensorial de Chocolate ao leite pela metodologia CATA (Check-all-that-apply) modificada.

Avaliação sensorial de Chocolate ao leite pela metodologia CATA (Check-all-that-apply) modificada.

Olá! Estamos desenvolvendo uma pesquisa sobre a Avaliação sensorial de chocolate ao leite pela metodologia CATA (Check-all-that-apply), e gostaríamos de sua colaboração para responder algumas perguntas.

Esta pesquisa fará parte de um projeto de pós-graduação do curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

* Indica uma pergunta obrigatória

Seção sem título

1. E-mail: *

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE) PARA QUESTIONÁRIO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE) PARA QUESTIONÁRIO

Caro entrevistado, você é convidado(a) a preencher este questionário que faz parte do projeto de pós-graduação do curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, - "Avaliação sensorial de chocolate ao leite pela metodologia CATA (Check-all-that-apply)" sob orientação da Prof.^a. Deise Simões e Prof.^o. Ivo Mottin Demiate da Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG (deise.rsimoies@gmail.com; demiate@yahoo.com). A partir da sua colaboração poderemos compreender sobre o consumo e a percepção dos consumidores sobre chocolate ao leite e seus atributos.

Caso concorde em participar da pesquisa:

I. Você é livre para, a qualquer momento, recusar-se a responder as questões que lhe causem constrangimento de qualquer natureza;

II. Você pode deixar de participar da pesquisa a qualquer momento e não precisa apresentar justificativas em caso de desistência;

III. Suas respostas serão mantidas em sigilo. Caso você tenha mais dúvidas ou necessite maiores esclarecimentos, pode nos contatar nos endereços abaixo ou procurar o Comitê de Ética em Pesquisa da UEPG, cujo endereço consta deste documento. Sua participação é voluntária, portanto, não receberá recompensa ou gratificação nem pagará para participar. Será garantido o livre acesso a todas as informações e retirada de dúvidas sobre o estudo. Enfim, tudo o que você queira saber antes, durante e depois da participação na pesquisa.

Obrigado por sua colaboração nesta pesquisa!

Qualquer dúvida entre em contato: (41) 991886606

]

03/09/24, 11:45

Avaliação sensorial de Chocolate ao leite pela metodologia CATA (Check-all-that-apply) modificada.

2. Aceito participar da pesquisa: *

Marcar apenas uma oval.☐ Sim

Responda atentamente as perguntas:

3. Qual a sua idade: *

Marcar apenas uma oval.☐ Entre 18 a 19 anos☐ Entre 20 a 24 anos☐ Entre 25 a 29 anos☐ Entre 30 a 39 anos☐ Entre 40 a 49 anos☐ Entre 50 a 59 anos☐ 60 ou mais anos

4. Gênero: *

Marcar apenas uma oval.☐ Feminino☐ Masculino☐ Prefiro não dizer

03/09/24, 11:45

Avaliação sensorial de Chocolate ao leite pela metodologia CATA (Check-all-that-apply) modificada.

5. Grau de escolaridade: *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Ensino fundamental incompleto
- ☐ Ensino fundamental completo
- ☐ Ensino médio incompleto
- ☐ Ensino médio completo
- ☐ Ensino superior incompleto
- ☐ Ensino superior completo
- ☐ Pós-graduação

6. Qual a renda mensal familiar: *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Até 1/2 salário mínimo
- ☐ Entre 1/2 a 1 salário mínimo
- ☐ 1 a 2 salários mínimos
- ☐ 2 a 3 salários mínimos
- ☐ 3 a 5 salários mínimos
- ☐ Entre 5 a 10 salários mínimos
- ☐ Entre 10 a 20 salários mínimos
- ☐ Mais de 20 salários mínimos.

Pesquisa sobre consumo:

7. Qual sua frequência de consumo de chocolate ao leite: *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Diariamente
- ☐ 2 a 3 vezes na semana
- ☐ 2 a 4 vezes ao mês
- ☐ Esporadicamente
- ☐ Nunca

03/09/24, 11:45

Avaliação sensorial de Chocolate ao leite pela metodologia CATA (Check-all-that-apply) modificada.

A seguir responda sobre as amostras e seus respectivos atributos

Você receberá 4 amostras de chocolate ao leite, as amostras serão avaliadas simultaneamente, ou seja, todas juntas.

ESCALA HEDÔNICA

Avalie a amostra as amostras a partir da Escala Hedônica de 9 pontos, considerando:
 9=Gostei Extremamente; 8=Gostei muito; 7= Gostei moderadamente; 6=Gostei ligeiramente;
 5=não gostei nem desgostei; 4=Desgostei ligeiramente; 3=Desgostei moderadamente;
 2=Desgostei muito; 1= Desgostei extremamente.

8. Sobre a impressão global das amostras: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	9	8	7	6	5	4	3	2	1
145	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
204	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
256	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
301	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

9. Sobre a odor das amostras: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	9	8	7	6	5	4	3	2	1
145	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
204	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
256	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
301	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

03/09/24, 11:45

Avaliação sensorial de Chocolate ao leite pela metodologia CATA (Check-all-that-apply) modificada.

10. Sobre a doçura das amostras: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	9	8	7	6	5	4	3	2	1
145	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
204	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
256	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
301	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

11. Sobre a textura das amostras: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	9	8	7	6	5	4	3	2	1
145	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
204	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
256	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
301	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Pular para a pergunta 12

Sobre a Escala do Ideal dos atributos para as amostras:

Nessa escala você avaliará o produto com relação ao quanto ele é ideal para você com relação aos atributos solicitados. Considere: 1=Abaixo do IDEAL; 2=Pouco abaixo do IDEAL; 3= IDEAL; 4=Pouco acima do IDEAL; 5= Acima do IDEAL

03/09/24, 11:45

Avaliação sensorial de Chocolate ao leite pela metodologia CATA (Check-all-that-apply) modificada.

10. Sobre a doçura das amostras: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	9	8	7	6	5	4	3	2	1
145	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
204	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
256	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
301	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

11. Sobre a textura das amostras: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	9	8	7	6	5	4	3	2	1
145	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
204	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
256	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
301	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Pular para a pergunta 12

Sobre a Escala do Ideal dos atributos para as amostras:

Nessa escala você avaliará o produto com relação ao quanto ele é ideal para você com relação aos atributos solicitados. Considere: 1=Abaixo do IDEAL; 2=Pouco abaixo do IDEAL; 3= IDEAL; 4=Pouco acima do IDEAL; 5= Acima do IDEAL

03/09/24, 11:45

Avaliação sensorial de Chocolate ao leite pela metodologia CATA (Check-all-that-apply) modificada.

12. Avalie o quanto considera ideal a odor de cada amostra: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	1	2	3	4	5
145	☐	☐	☐	☐	☐
204	☐	☐	☐	☐	☐
256	☐	☐	☐	☐	☐
301	☐	☐	☐	☐	☐

13. O quanto considera ideal a doçura das amostras: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	1	2	3	4	5
145	☐	☐	☐	☐	☐
204	☐	☐	☐	☐	☐
256	☐	☐	☐	☐	☐
301	☐	☐	☐	☐	☐

14. O quanto considera ideal a textura das amostras: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	1	2	3	4	5
145	☐	☐	☐	☐	☐
204	☐	☐	☐	☐	☐
256	☐	☐	☐	☐	☐
301	☐	☐	☐	☐	☐

Sobre o CATA (Check-all-that-apply)

Marque tudo o que se aplica, ou seja, todos os atributos que você considera presente em cada amostra. OBS: Podem ser vários.

03/09/24, 11:45

Avaliação sensorial de Chocolate ao leite pela metodologia CATA (Check-all-that-apply) modificada.

15. Marque todos os atributos que se aplicam em cada amostra *

Marque todas que se aplicam.

	Cor característica	Derrete na boca	Cremoso	Brilhoso	Gosto doce	Dificuldade para mastigar	Dificuldade para engolir
145	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
204	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
256	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
301	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários