



**INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA**

**DIVISÃO DE AGRICULTURA**

**CURSO DE ENGENHARIA DE PROCESSAMENTO DE ALIMENTOS**

**Avaliação da eficiência de ferramentas quimiométricas combinadas com imagens digitais para avaliação de adulteração do mel**

Monografia apresentada e defendida como requisito para a obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia de processamento de alimentos

**Autora:** Tânia Mónica Francisco Mucavele

**Tutor:** Dr. Raimundo Rafael Gamela

Lionde, Novembro de 2023



## **INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA**

Monografia sobre “Avaliação da eficiência de ferramentas quimiométricas combinadas com imagens digitais para avaliação de adulteração do mel”. Apresentado ao curso de Engenharia de Processamento de Alimentos na faculdade de agricultura do Instituto Superior Politécnico de Gaza, como requisito para a obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia de Processamento de Alimentos.

**Tutor:** Dr. Raimundo R. Gamela

Lionde, Novembro de 2023



## INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

Monografia sobre “Avaliação da eficiência de ferramentas quimiométricas combinadas com imagens digitais para avaliação de adulteração do mel”.  
Apresentado ao curso de Engenharia de Processamento de Alimentos na faculdade de agricultura do Instituto Superior Politécnico de Gaza, como requisito para a obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia de Processamento de Alimentos

Monografia científica defendida e aprovada no dia 08 de Novembro de 2023

### Júri

*Raimundo Rafael Gamela*

Tutor: \_\_\_\_\_

(Raimundo Rafael Gamela PHD)

Avaliador 1: *Angélica Agostinho Machalela*

(Angélica Agostinho Machalela MSc)

Avaliador 2: *Enoque Moiane*

(Enoque Moiane Eng)

# ÍNDICE

<b>Conteúdos</b>	<b>Páginas</b>
ÍNDICE DE TABELAS .....	vii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	vii
DECLARAÇÃO .....	vii
RESUMO .....	xi
ABSTRACT .....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. PROBLEMA E JUSTIFICATIVA.....	2
1.2. OBJECTIVOS .....	3
1.2.1. Geral: .....	3
1.2.2. Específicos:.....	3
1.3. Hipóteses .....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA .....	4
2.1. Mel .....	4
2.1.1. Historial do mel .....	4
2.1.2. Qualidade de mel .....	4
2.1.3. Composição química do Mel .....	5
2.1.3.1. Carboidratos .....	6
2.1.3.2. Glicose e frutose .....	7
2.1.3.3. Sacarose .....	8
2.1.3.4. Humidade .....	8
2.2. Adulteração do mel.....	9
2.2.1. Amido de batata doce .....	10
2.2.2. Xarope de açúcar .....	11
2.3. Técnicas usadas para identificação de adulteração no mel.....	12
2.3.1. Reacção de Fiehe .....	12
2.3.2. Reacção de Lund .....	12

2.3.3. A Prova de Lugol.....	12
2.4. Imagens digitais.....	13
2.4.1. Modelos de cores.....	14
2.4.1.1. Modelo de cor RGB.....	14
2.4.1.2. Modelo HLS.....	16
2.5. Quimiometria.....	17
2.5.1. Técnica para análise exploratória.....	17
2.5.1.1. Análise de componentes principais.....	18
2.5.1.2. Técnicas de reconhecimento de padrões supervisionadas.....	18
3. METODOLOGIA.....	20
3.1. Localização da área do estudo.....	20
3.2. Materiais e métodos.....	20
3.3. Colecta da matéria-prima.....	20
3.4. Processo de extracção do amido como adulterante.....	21
3.4.1. Fluxograma de extracção do amido da Batata-doce.....	21
3.4.2. Descrição do processo de extracção.....	21
3.5. Processo de produção do xarope de açúcar.....	24
3.5.1. Fluxograma do processo de produção do xarope de açúcar.....	24
2.5.2. Descrição de processamento de xarope.....	24
3.6. Procedimento para análise e avaliação de adulteração do mel.....	25
3.6.1. Preparo das amostras.....	25
3.6.2. Aquisição das imagens digitais.....	26
3.6.3. Tratamento de dados.....	26
4. RESULTADOS E DISCUSÃO.....	28
4.1. Discriminação com aplicação de imagens digitais.....	28
4.2. Deteção de Amostras Adulteradas por Modelagem Independente e Flexível por Analogia de Classes.....	29

4.3. Detecção de Amostras Adulteradas por Análise Discriminante por Mínimos Quadrados Parciais ..	31
5. CONCLUSÃO.....	34
6. RECOMENDAÇÕES.....	35
7. REFERÊNCIAS .....	36
APÊNDICES .....	39

## ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1: Estrutura química da molécula de D-glicose e de D-frutose .....	7
Figura 2: Estrutura química da sacarose.....	8
Figura 3: cores primárias e secundárias de luz.....	13
Figura 4: Esquema do cubo de cores RGB .....	14
Figura 5: Fluxograma de extracção do amido de batata-doce .....	21
Figura 6: Fluxograma do processo de produção do xarope de açúcar .....	22
Figura 7: Sistema de aquisição de imagens .....	24
Figura 8: Placas com amostras de mel.....	25
Figura 9: Escala de cores das amostras puras, adulteradas com xarope de açúcar e amido de batata-doce.....	26
Figura 10: Classificação de amostras de méis usando SIMCA.....	28
Figura 11: Classificação de amostras de méis usando PLS-DA:.....	30

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Composição básica do mel .....	6
Tabela 2: Matriz de confusão da classificação amostras de méis puras e adulteradas empregando SIMCA. ....	30
Tabela 3: Matriz de contingência para a classificação de amostras de méis puras e adulteradas empregando PLS-DA. ....	32

## LISTA DE ABREVIATURAS

CIE - Comissão Internacional de Iluminação;

Ha - Hipótese alternativa;

Ho - Hipótese nula;

HCA - Análise de Agrupamentos Hierárquicos;

HLS - Hue Lightness Saturation;

ISPG - Instituto Superior Politécnico de Gaza;

LDA - Análise Discriminante Linear;

mg/kg - miligrama por kilograma;

pH - Potencial de Hidrogénio;

PCA - Análise de Componentes principais;

PDI - Processamento Digital de Imagens;

PLS-DA - Análise Discriminante pelos Mínimos Quadrados Parciais;

PIXEL – Elemento pictórico;

RGB – Red, Green e Blue;

SIMCA - Modelagem Independente e Flexível por Analogia de Classes.



## DECLARAÇÃO

Declaro por minha honra que este Trabalho de culminação do curso é resultado da minha investigação pessoal e das orientações do meu tutor, o seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia final. Declaro ainda que este trabalho não foi apresentado em nenhuma outra instituição para propósito semelhante ou obtenção de qualquer grau académico.

Lionde 7 de Dezembro de 2023

Tânia Mónica F. Mucavele

Tânia Mónica Francisco Mucavele

## DEDICATÓRIA

*Este trabalho, primeiramente eu dedico a Deus, por ele ser o autor do meu destino, meu guia, socorro presente na hora da angústia, a minha amada mãe Gilda Mário Maiave pelo apoio incondicional.*

*“A fé, é a certeza daquilo que esperamos e*

*A prova das coisas que não vemos”*

(Hebreus 11:1)

**Dedico**

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus pelo dom da vida, por me conceder esse sonho, por ter sido minha fortaleza ao longo da minha trajetória, pois sem o seu amor, suas orientações e sua divina proteção, não teria de alguma forma concluído essa fase. Agradeço genuinamente.

A minha querida e amada Mãe (Gilda Mário Maiave), pela educação, pelo amor concedido, por me apoiar em todas as fases da minha vida.

Aos meus pais Francisco Ernesto Mucavele, Julieta Masepula Macuácuá (madrasta) e aos meus irmãos, Danifo, Celeste, Ivanildo, Ângela, Juju, Mainha, etc, agradeço bastante, pois me incentivaram nos momentos difíceis, que sempre estiveram do meu lado, agradecer também pelo apoio e pela confiança em mim depositada.

Aos docentes do departamento da Engenharia de processamento de alimentos, Eng.<sup>a</sup>. Angélica Machalela, Prof. Dr. Elísio José, Eng.<sup>o</sup> Enoque Moiane, Msc. Rafael Nanelo, Eng.<sup>o</sup> Beito Buló, Msc. Heitor Guedes.

Ao meu tutor Dr. Raimundo Rafael Gamela, pela sabedoria, incentivo e orientação ao longo deste trabalho.

Aos meus amigos e colegas Édio, Azélia, Anacleto, Teresa, Hermenegildo, Delton, Sharon, Adelina, Zulmira, Vanda que sempre estiveram do meu lado, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo do percurso

A minha melhor amiga Ângela Patrício, agradeço-a pelo apoio, por todos os conselhos úteis, por compartilhar os inúmeros momentos de ansiedade e estresse, aquelas palavras motivacionais e puxões de orelha. As risadas que compartilhei durante esse momento difícil na faculdade.

A todos que direta e indiretamente estiveram sempre ao meu lado nesta etapa muito importante na minha vida.

## RESUMO

O mel é um produto utilizado como fonte alimentar ou terapêutica para a população. O tem sofrido adulterações por motivos de ordem económica, que causa alterações das características do mel, para os consumidores que procuram adquirir produtos de alta qualidade e que estejam puras, acabam por ficar prejudicados. Este trabalho teve como objectivo o uso de celular smartphone combinada com ferramentas quimiométricas para a classificação de mel puro e adulterado. As amostras empregadas neste estudo foram obtidas comercialmente junto dos apicultores, e todo o processo de preparo de amostras (adulteração) foi efectuado no Instituto Superior Politécnico de Gaza (ISPG). As amostras foram fotografadas através de um celular androide (smartphone) de marca Samsung A32, e após a aquisição das imagens, foram convertidos em uma escala de cores RGB e posterior tratamento de dados usando Modelagem Independente e Flexível por Analogia de Classes (*Soft Independent Modelling of Class Analogs-SIMCA*) e análise discriminante por mínimos quadrados parciais (*Partial Least Squares-Discriminant Analysis-PLS-DA*). Todos os modelos foram construídos empregando Matlab R2010a, e os dados foram analisados em uma planilha de Excel. Os dois modelos construídos, apenas 1 empregando PLS-DA apresentou melhores resultados do que o SIMCA, tendo sido obtido uma variância explicada de 48%, uma taxa de erro próxima do zero, e taxa de erro de teste de 7%. Em adição, a sensibilidade, especificidade e precisão estão próximos dos 100%, o que demonstra a robustez e importância dessas ferramentas na avaliação e controle de qualidade de alimentos.

**Palavra-chave:** Imagens digitais, Ferramentas quimiométricas; Adulteração de mel; Controle de qualidade.

## **ABSTRACT**

Honey is a consumed and adulterated food product in the world. It is used as a food or therapeutic source and is easily accessible to the population; However, this product suffers adulteration, mainly for economic reasons, which is extremely important to establish the quality of this product that is very well acquired by consumers. Adulteration is an example of how changes in the characteristics of honey can be affected, harming consumers who want to buy pure and high-quality products. This work aimed to use a smartphone combined with chemometric tools for the classification of pure and adulterated honey. The samples used in this study were commercially obtained from beekeepers, and the entire sample preparation process (adulteration) was carried out at the Instituto Superior Politécnico de Gaza (ISPG). The samples were photographed using a Samsung A32 android cell phone (smartphone), and after acquiring the images, they were converted into an RGB color scale and subsequent data processing using Independent and Flexible Modeling by Class Analogy (Soft Independent Modelling of Class Analogs- SIMCA) and partial least squares discriminant analysis (Partial Least Squares-Discriminant Analysis-PLS-DA). All models were built using Matlab R2010a, and data were analyzed in an Excel spreadsheet. Of the two models built, only 1 using PLS-DA showed better results than SIMCA, having obtained an explained variance of 48%, an error rate close to zero, and a test error rate of 7%. In addition, the sensitivity, specificity and precision are close to 100%, which demonstrates the robustness and importance of these tools in the evaluation and control of food quality.

**Keywords:** Digital images; Chemometrics tools; Honey adulteration; Quality control.

## 1. INTRODUÇÃO

O mel é considerado um alimento formado por uma complexa mistura, contendo alta concentração de açúcares redutores, além da presença de outros sacarídeos, proteínas, enzimas, aminoácidos, ácidos orgânicos, polifenóis, carotenoides, vitaminas e minerais (FILHO, 2013).

O mel apresenta características adaptáveis, como propriedade adoçante, é fonte natural de energia, aumenta a resistência imunológica, tem propriedades antibacterianas, antiinflamatória, analgésica, sedativa, expetorante e Hipo sensibilizadora (MARTINS, 2014). O mel além de fortalecer o organismo contra os efeitos do estresse permite a resistência contra o cansaço físico e intelectual, como em ocasiões de intensas atividades.

Segundo Silva *et al* (2008), na composição do mel encontram-se os carboidratos e a água em maiores quantidades, principalmente glicose e frutose, além de minerais (cálcio, cobre, ferro, magnésio, fósforo, potássio e outros), proteínas, aminoácidos, vitaminas, flavonóides, pigmentos e um grande número de ácidos orgânicos. Uma das principais enzimas que podem ser encontradas no mel são a amílase, a invertase e a glicose oxidase, essas enzimas são produzidas pelas abelhas por glândulas hipofaríngeas e são adicionadas ao néctar na vesícula melífera, enquanto a abelha o transporta para a colmeia antes de depositá-lo no favo (MEIRELES, 2013).

O mel também é usado para o combate de várias doenças, como a anemia, anorexia, atraso de crescimento, bronquites, conjuntivites, desnutrição infantil, emagrecimento, hipoglicemia, insônia, má dentição, nefrites, prisão de ventre, queimaduras (aplicação externa), tosse, úlceras externas e úlceras gastrointestinais (MEIRELES, 2013). Para que o mel seja considerado puro, não poderá conter substâncias estranhas à sua composição normal nem ser adicionado de correctivos de acidez. Poderá se apresentar parcialmente cristalizado e não apresentar caramelização e nem espuma superficial (FILHO, 2013).

Através das pesquisas recentes, o mel de abelha é considerado como sendo o terceiro produto alimentício mais adulterado no mundo, por possuir um alto valor nutricional, medicinal e comercial, fornecendo um preço elevado e limitado, (ANDREEVA, 2017). Para a adulteração este produto, na maioria das vezes ocorre a adição de açúcares ou xaropes, tinturas de iodo e ou mercúrio cromo, aditivos químicos, e entre outros, uma coloração desejada. As substâncias

adicionadas são tóxicas para o organismo, e as adulterações levadas a cabo têm como propósito o crescimento dos lucros com a venda do produto adulterado (FRANÇA, 2020).

O mel por ser um produto natural consumido em todo mundo torna-se importante o controle de qualidade devido à possibilidade de adulterações (JÚNIOR, 2019). Alterações naturais podem ocorrer no mel de abelha devido a factores ambientais como oscilações da humidade, variação do calor ao longo do dia ou envelhecimento natural, levando à degradação de seus componentes (BULIGON, 2015).

Frente ao exposto, este trabalho tem como objectivo de demonstrar a avaliação da adulteração do mel puro, mel adulterado com o xarope de açúcar e o mel adulterado com o amido de bata doce usando imagens digitais (smartphone) combinado com ferramentas quimiométricas.

### **1.1.PROBLEMA E JUSTIFICATIVA**

O mel é considerado como um dos importantes recursos para a alimentação, e nos últimos anos tem aumentado o seu consumo devido as características adoçantes desejáveis que o produto apresenta. No entanto, este produto passa por adulterações com produtos mais baratos, por mais resistente que seja, esse é um factor que preocupa e coloca em risco a saúde do consumidor. O mel por ser um produto muito requisitado e de alto valor no mercado, é alvo de adulteração, sendo introduzido na sua composição açúcares e xaropes, entre outras substâncias, e estas adulterações fazem com que o produto perca seus principais nutrientes e também a sua qualidade (SOUZA, 2019).

Actualmente, os métodos utilizados para a avaliação do mel adulterado envolvem processos complexos como os excessivos gastos de reagentes, várias amostras, trabalho manual, e a destruição das amostras. Nessa situação, há necessidade de desenvolvimento de novas metodologias para avaliar a qualidade do mel, com o intuito de se averiguar a sua autenticidade de uma forma mais simples, rápida e de baixo custo. Dentre essas técnicas, encontram-se as baseadas em imagens digitais que tendem a ser uma ótima alternativa para as análises de controle de qualidade (FRANÇA, 2020). Dessa forma, este trabalho propõe avaliar o desempenho de ferramentas quimiométricas quando aplicadas na distinção de mel adulterado.

## **1.2.OBJECTIVOS**

### **1.2.1. Geral:**

- Avaliar a eficiência de ferramentas quimiométricas combinadas com imagens digitais para avaliação de adulteração do mel”

### **1.2.2. Específicos:**

- Empregar imagens digitais para avaliar a adulteração do mel;
- Aplicar ferramentas quimiométricas para avaliar a adulteração do mel.
- Descrever o processo de extracção do amido e de produção do xarope de açúcar
- Comparar os resultados obtidos através da aplicação de diferentes ferramentas quimiométricas.

## **1.3.Hipóteses**

**H<sub>0</sub>**- É possível avaliar a adulteração do mel empregando imagens digitais combinadas com ferramentas quimiométricas;

**H<sub>a</sub>**- Não é possível avaliar a adulteração do mel empregando imagens digitais combinadas com ferramentas quimiométricas.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA**

### **2.1. Mel**

Considera-se o mel um produto alimentício, produzido pelas abelhas melíferas obtidos através do néctar das flores ou das secreções que procedem de partes vivas de plantas ou de excreções de insetos que sugam as plantas recolhidas pelas abelhas, transformados, combinados com substâncias específicas próprias e são armazenados para o processo de maturação em favos de colmeia (FILHO, 2015).

O mel é categorizado quanto a sua origem (unifloral e multifloral), quanto ao seu processo de obtenção (prensado, escorrido ou centrifugado), e quanto a sua apresentação (mel em favos, com pedaços de favo, cristalizado ou granulado, cremoso e filtrado). E a normativa estabelece algumas identidades e requisitos mínimos de qualidades que devem ser cumpridas na obtenção do mel que é destinado ao consumo humano directo (MENDES *et al.*, 2012).

#### **2.1.1. Historial do mel**

A apicultura é uma arte que visa no crescimento das abelhas, por ter sido descoberto na idade media pelos Egípcios, tornou se popular, é por este, motivo que os Egípcios são considerados como os pais da apicultura. Essa actividade representa a exploração racional e económica da abelha do género *Apis* e espécie *Mellifera*, sendo responsável pela produção excessiva do mel (FRANÇA, 2020).

No antigo Egito, o mel era usado como um medicamento muito popular, participando de 500 dos 900 remédios da época, com registos decifrados. O mel, contem uma fonte de açúcar usada pelo homem, como um símbolo de fartura. O mel é composto por diferentes açúcares, predominando os monossacarídeos glicose e frutose. Apresenta também teores de proteínas, aminoácidos, enzimas, ácidos orgânicos, substâncias minerais, pólen e outras substâncias, sacarose, maltose, malesitose e outros oligossacáridos (incluindo dextrinas). Além de possuir algumas concentrações de fungos, algas, leveduras e outras partículas sólidas resultantes do processo de obtenção do mel (MENDES, *et al.*, 2015).

#### **2.1.2. Qualidade de mel**

De acordo com Queiroz (2007), variações na composição físico-química e nas características sensoriais do mel são muito comuns. Pois existem vários factores que intervêm na qualidade do mel, entre eles destacam-se a origem floral, a espécie da abelha, o estágio de maturação, as

condições climáticas, o manejo utilizado pelo apicultor antes e após a colheita além do processamento e armazenamento (BARBOSA, 2013).

Quanto a composição físico-química do mel, encontra-se uma solução super saturada de açúcares, como a glicose e a frutose que são responsáveis por 80% da quantidade total (SILVA *et al*, 2006). Ainda no mel encontram-se alguns constituintes, em pequenas concentrações que fazem deste um produto fonte de minerais (cálcio, ferro, magnésio, cobre, fósforo entre outros), vitaminas, proteínas, enzimas, compostos fenólicos, pigmentos e ácidos orgânicos (CAMARGO *et al*, 2006). Esses constituintes contribuem com as características de cor, odor e sabor (ALVES *et al* 2005; SILVA *et al*, 2008).

O mel, por ser um produto muito apreciado, é considerado como um alimento de alto valor nutricional, por conta da sua alta quantidade de carboidratos. Porém, tem sofrido adulterações com ingredientes de baixo valor comercial (BERA; MURADIAN, 2007). Segundo CAPUCI e HONORATO (2012) que resulta do facto de mel ser um produto natural, com o abastecimento limitado e constantemente de alto custo. Na maior parte dos casos a adulteração é executada com adição de açúcares comerciais, como glicose, soluções de xarope de sacarose melado e solução de sacarose invertida (KRULISKI *et al*, 2010).

Ainda que seja um produto com características físico-químicas, expresse alto nível de resistência e ante a proliferação de micro-organismos, a ação de factores externos, como condições de manipulação, estacagem, factores ambientais e outros., pode interferir de modo negativo em sua qualidade final. Diversos tipos de micro-organismos podem ser agrupados ao mel pela própria abelha ou pela falta de higiene do manipulador no momento da extração e beneficiamento. Assim sendo, o controle de qualidade é um período crucial para que o mel seja comercializado com as suas características naturais conservadas (BARROS, 2011; LIEVEN *et al*, 2009).

### **2.1.3. Composição química do Mel**

Sobretudo o mel é composto pelos carboidratos, que se obtêm em maiores quantidades, existem também outros componentes químicos como no caso dos diferentes minerais, das vitaminas, enzimas (CAMARGO, *et al.*, 2006; STAGOS *et al.*; 2018; ALFARSI *et al.*, 2018; ROLIM *et al.*, 2018). Os componentes que podem ser encontrados na composição do mel encontram-se descritos na Tabela 1.

**Tabela 1:** Composição básica do mel

<b>Composição básica do mel</b>			
<b>Componentes</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Variação</b>
<b>Água (%)</b>	17,2	1,46	13,4-22,9
<b>Frutose (%)</b>	38,19	2,07	27,25-44,26
<b>Glicose (%)</b>	31,28	3,03	22,03-40,75
<b>Sacarose</b>	1,31	0,95	0,25-7,57
<b>Maltose (%)</b>	7,31	2,09	2,74-15,98
<b>Açúcares totais (%)</b>	1,50	1,03	0,13-8,49
<b>Outros (%)</b>	3,1	1,97	0,0-13,2
<b>Acidez livre (meq/Kg)</b>	22,03	8,22	6,75-47,19
<b>Lactose total (meq/Kg)</b>	7,11	3,52	0,00-18,76
<b>Acidez total (meq/Kg)</b>	29,12	10,33	8,68-59,49
<b>Lactose/acidez livre</b>	0,335	0,135	0,00-0,950
<b>Cinzas (%)</b>	0,169	0,15	0,020-1,028
<b>Nitrogénio (%)</b>	0,041	0,026	0,00-0,133
<b>Diástase</b>	20,8	9,76	2,1-61,2

**Fonte:** (PEREIRA, *et al.*, 2003).

### 2.1.3.1. Carboidratos

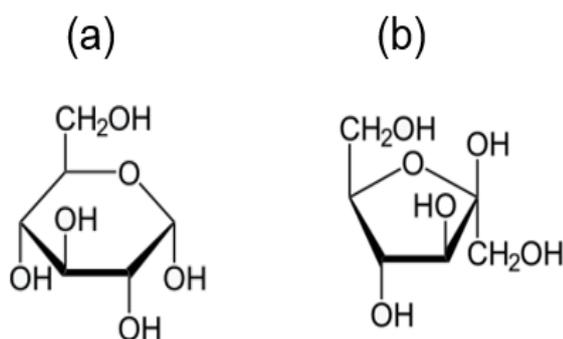
Os carboidratos, são considerados como glicídicos ou açúcares, com a capacidade de fornecer energia abundante e económico ao organismo humano, esses carboidratos podem ser determinados como “os polihidroxiáldeídos, as polihidroxicetonas, os polihidroxiálcoois, os polihidroxiácidos, seus derivados e, polímeros desses compostos unidos por ligações

hemiacetálicas”. O processo da fotossíntese nas plantas ocorre com o intuito de produzir os carboidratos, com a capacidade de receber energia necessária da luz solar e pela pigmentação da clorofila catalisa a biossíntese dos açúcares através do dióxido de carbono e água, (JUNIOR, 2019).

Os componentes com maior concentração no mel dentro dos carboidratos são a glicose e frutose, esses carboidratos representam uma vasta gama da massa total equivalente a 60%. A glicose e a frutose são responsáveis pelo sabor doce do mel, (ROLIM *et al.* 2018).

### 2.1.3.2. Glicose e frutose

Esses monossacarídeos, nos carboidratos encontram-se em menores unidades estruturais, quando são hidrolisados a compostos com menor peso molecular, já não são considerados como carboidratos Ribeiro e Seravalli, (2007). A D-glicose e a D-frutose, são considerados como os principais monossacarídeos do mel e possuem a mesma fórmula molecular,  $C_6H_{12}O_6$ , elas têm estruturas moleculares diferentes. Isso ocorre devido à isomeria, um fenômeno em que diferentes compostos químicos têm a mesma fórmula molecular, mas arranjos diferentes de átomos em suas moléculas. Existe uma relação entre os monossacarídeos que se localizam perto de uma unidade no mel, com a D-frutose que é considerado um açúcar predominante, (JUNIOR, 2019).



**Figura 1:** Estrutura química da molécula de D-glicose ( $C_6H_{12}O_6$ ) e de D-frutose ( $C_6H_{12}O_6$ ).

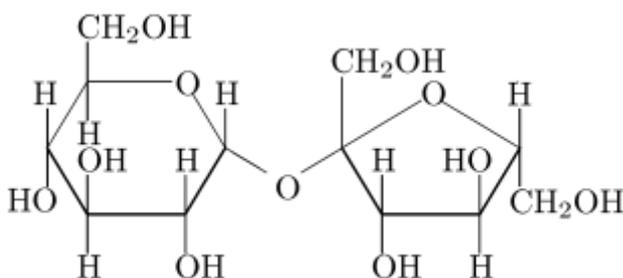
**Fonte:** (RIBEIRO & SERAVALLI, 2007)

Os açúcares redutores são considerados monossacarídeos, onde encontram-se os grupos carbonílico e cetônico livres, que na presença dos agentes oxidantes em soluções alcalinas pode ocorrer aquilo é oxidação. A viscosidade, a higroscopicidade, a cristalização do mel e os valores

calóricos, para que haja uma variação desses fenômenos vai depender do teor dos açúcares redutores. A importância biológica dessas substâncias está relacionada com a integridade da célula e dos processos metabólicos e fisiológicos dos organismos vivos, sendo a glicose o principal carboidrato utilizado nas células como fonte de energia (JÚNIOR, 2019).

### 2.1.3.3. Sacarose

A sacarose já vem contrariar o açúcar redutor, pois o dissacarídeo sacarose ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ), não é considerado como um açúcar redutor, não há hidrólise através da ligação glicosídica. O percentual desse dissacarídeo se torna um significativo critério de qualidade do mel porque sinaliza a imaturidade do produto: teor elevado geralmente remete a uma colheita prematura, antes de uma maior acção da invertase sobre a sacarose (ROLIM *et al.*, 2018). A produção da frutose e glicose é através da hidrólise enzimática. A Figura abaixo apresenta a estrutura química da sacarose:



**Figura 2:** Estrutura química da sacarose.

**Fonte:** (ROLIM *et al.*, 2018).

### 2.1.3.4. Humidade

A humidade é um dos mais importantes critérios de qualidade do mel e está directamente relacionada com diferentes condições climáticas, geográficas, origem botânica e práticas de manejo e beneficiamento. O seu conteúdo pode influenciar o grau de maturação, conservação e estabilidade (vida de prateleira), propriedades físicas (viscosidade e cristalização) e sensoriais (sabor e textura do mel). Além disso, elevados conteúdos de humidade podem favorecer a proliferação de leveduras osmofílicas (tolerantes aos açúcares) responsáveis pela fermentação do mel, (ABNT, 2009).

A humidade por ser um dos atributos mais importantes, influencia na viscosidade, maturidade, conservação, sabor e cristalização do produto. Pode ser alterada posteriormente a retirada do

mel da colmeia, em razão das condições de armazenamento após extração (BERA; MURADIAN, 2007)

## 2.2. Adulteração do mel

O mel é considerado como um produto muito importante na a dieta humana, para as indústrias alimentares, farmacêuticas e cosméticas, é por este motivo que o seu consumo atualmente está em grande escala no mundo. A qualidade do produto é fundamental, especialmente quando se trata de produtos naturais, como apícolas e especificamente o mel. Para as autoridades, consumidores, comerciantes e produtores, estão mais focados em preocuparem-se mais na garantia da autenticidade do mel ou que todos os requisitos estabelecidos pela lei estejam cumpridos e que não passe por nenhum tipo de adulteração (NASCIMENTO, 2012).

Devido aos fatores ambientais podem ocorrer algumas alterações naturais, como no caso de oscilações da humidade, variações do calor ao longo do dia ou envelhecimento natural, que acabam por degradar os seus componentes (EVANGELISTA-RODRIGUES et al., 2005).

Uma alteração natural relatada por MOREIRA (2000) refere-se aos teores de frutose e glicose, que são extremamente importantes para o estabelecimento de uma série de características do mel. A glicose, por exemplo, é o monossacarídeo responsável pela granulação do mel e, com a precipitação de açúcar, há o aumento do teor de humidade na fase líquida, o que estimula o desenvolvimento de leveduras osmofílicas (microrganismos que se desenvolvem em alta concentração de glicídios) que provocam a fermentação natural e não desejada para o produto.

A adulteração proposital tem como principal finalidade o aumento dos lucros com a venda do mel fraudado. Podem-se destacar como fraudes predominantes as alterações provocadas pela adição de água, amidos e glicoses, a fim de fazer render o mel e aumentar seu constituinte sólido e, por conseguinte angariar lucro com a venda do mel adulterado (EVANGELISTA-RODRIGUES et al., 2005).

Os xaropes e os amidos são geralmente substâncias relativamente económicas em comparação com os ingredientes autênticos ou de elevada qualidade, o que os torna atrativos para pessoas ou empresas que procuram reduzir os custos de produção (SANTOS, 2011).

Para Baçar, (2018), Estes materiais podem ser usados para simular a aparência e a textura de ingredientes autênticos, tornando a adulteração menos detetável aos olhos ou ao paladar. São

substâncias de fácil mistura com outros ingredientes, que auxiliam na incorporação de adulterantes nos produtos finais. Ao adicionar xaropes e amidos, os produtores podem aumentar o volume do produto final, o que pode ser vantajoso em termos de lucro.

Importa salientar que a adulteração de produtos é geralmente ilegal e prejudicial para os consumidores, pois pode comprometer a qualidade, a segurança e a autenticidade dos produtos. Os governos e as agências reguladoras em todo o mundo implementam regulamentações rigorosas e realizam fiscalizações para combater a adulteração de produtos e proteger os interesses dos consumidores. As empresas que são apanhadas a adulterar produtos podem enfrentar sérias consequências legais e financeiras. Portanto, é importante evitar a adulteração e promover práticas comerciais éticas (MENDES et. al., 2009).

### **2.2.1. Amido de batata-doce**

O amido é polissacarídeo não estrutural armazenado em grânulos nos cereais, leguminosas e tubérculos. É construído por dois polímeros, amilose e amilopectina. A amilose é constituída de cadeias simples de glicose com ligações glicosídica  $\alpha$ -1,4, enquanto a amilopectina, parte mais digestível, compõe a maior parte do amido. Que é composta por cadeias longas e ramificadas de  $\alpha$ -glicose unidas por uma ligação  $\alpha$ -1,4-glicosídica e  $\alpha$ -1,6 (TAKAHASHI, 2020).

O amido é um dos carboidratos com maior abundância em plantas superiores, que se encontra nos tecidos em forma de grânulos intracelulares. Os derivados do amido têm sido comumente utilizados na composição de sopas, massas e molhos com o intuito de conferir ao alimento, textura, viscosidade, aderência, e maior homogeneidade aos produtos, além de possibilitar a confecção de filmes (VELOSO, 2019).

A importância do uso directo do amido e suas propriedades físico-químicas, tem chamado a atenção de diversos sectores como a indústria farmacêutica, têxtil, cosmética e indústrias voltadas para a produção de papéis e plásticos, mostrando a gama de utilidades do biopolímero em aplicações industriais (CUNHA, 2016).

Encontra-se o amido nas células de sementes, e raízes, onde ficam armazenados, apresentando formas e extensões diversificadas. O grão do amido tem sua fórmula estrutural devido ter uma ligação íntima no processo de desenvolvimento na célula viva, está presente amplamente em

diversas espécies de cereais e vegetais, conhecidos basicamente como um carboidrato que é apresentado em quase 90% presente na alimentação humana, e tem participação importante em produtos processados (RODRIGUES, 2017).

### 2.2.2. Xarope de açúcar

Considera-se o xarope de açúcar como uma mistura aquosa de água tratada com açúcar, que por sua vez é enriquecida com ácidos orgânicos. A obtenção do xarope de açúcar ocorre através da adição do açúcar em água quente, seguido de cozimento em uma temperatura 82-100 °c com a finalidade de eliminar algumas impurezas que possam gerar problemas de odor e sabor estranho no produto final (COELHO, 2013).

De acordo com Chou, (2005) a produção do xarope simples pode ser obtida de acordo com os seguintes métodos:

a) **Processo à frio:** consiste na dissolução do açúcar em água à temperatura ambiente, o seu processo tem como vantagens, o baixo consumo de energia de aquecimento, uso de equipamentos mais simples, não necessita de resfriamento subsequente. Porém esses xaropes são viscosos e de fácil contaminação microbiana;

b) **Processo a frio acidificado:** o produto é adicionado o ácido cítrico ao xarope simples frio que é sujeito ao ataque mínimo de microrganismos;

c) **Processo à quente:** (60° Brix) a água e o açúcar são aquecidos para facilitar a dissolução e eliminar os microrganismos, dá-se preferência a este processo quando é necessária a estocagem do produto por longo período. Dentro deste processo existem dois métodos usados, onde tem se o método de ebulição (fervura por 1-2 minutos) e o método de pasteurização (85°C/5minutos);

d) **Processo ao quente acidificado:** é adicionado ácido ao xarope antes ou durante o aquecimento, obtendo-se inversão total ou parcial do açúcar (sacarose) tornando o xarope menos susceptível ao ataque microbiano.

e) **Xarope de alta densidade:** são xaropes com concentrações de no mínimo 67% de açúcar.

### **2.3. Técnicas usadas para identificação de adulteração no mel**

Existem três tipos de análises usadas para a identificação da adulteração do mel, que são elas, a reacção de Lund, reacção de Fiehe e a reacção de Lugol. Que quando uma das análises apresenta um resultado fora do esperado o mel de abelha é considerado como adulterado. (SANTOS, 2011).

#### **2.3.1. Reacção de Fiehe**

A reacção de fiehe tem a função de identificar a presença do açúcar comercial no mel ou se o aquecimento esta acima de 40% do produto, isso pode implicar nas suas propriedades. A coloração vermelha quando aparece é para indicar a presença de HMF (reacção do HMF com a resorcina), quando se encontra em quantidade maior que 200 mg/kg. O vermelho cereja identifica o mel com qualidade pessima e a intensidade do vermelho indica a quantidade de HMF que se encontra presente no mel. Com tudo, esta reacção qualitativa funciona como uma reacção colorimétrica cujo seu resultado positivo exhibe uma coloração vermelha (ALMEIDA-MURADIAN, 2007).

#### **2.3.2. Reacção de Lund**

Essa reacção tem a capacidade de determinar as substâncias albuminoides precipitáveis como o ácido tânico. Também quando ocorre a adição de água ou outro diluidor no mel. A reacção de Lund é aplicada em amostra de mel e indica a presença de albuminoides, sendo que sua ausência indica fraude (SOUSA, 2012).

Quando o mel é considerado como puro, o precipitado oscila entre 0,6 a 3 ml. Se for um mel artificial ou diluído, não se produz precipitado ou aparece apenas vestígios. Se o mel é submetido a altas temperaturas, a pesquisa pode ser considerada inválida (SOUSA, 2012).

#### **2.3.3. A Prova de Lugol**

Esta prova pesquisa a presença de amido e dextrinas no mel. Esta reacção colorimétrica é qualitativa, a qual, após a adição da solução de Lugol, se houver presença de glicose comercial ou xaropes de açúcar, a solução ficará colorida de castanho avermelhada a azul. A intensidade da cor depende da qualidade e da quantidade das dextrinas ou amido, presentes na amostra fraudada (PERICO, 2011).

## 2.4. Imagens digitais

Bem antes de se falar das imagens digitais, primeiramente é necessário que se saiba o que é a uma imagem. Uma imagem é a representação visual das pinturas, desenhos e fotografias. Essa representação visual pode ser de forma bidimensional ou também por um objecto tridimensional que actua sobre uma superfície plana (FRANÇA, 2020).

Segundo Solomon e Breckon (2016), a palavra imagem, do latim *imago*, é a representação visual de um objecto sobre uma superfície bidimensional, isto é, uma representação plana e essa definição pode ser ampliada para uma representação discreta de dados que processam informação espacial ou de intensidade.

E já a imagem digital, de acordo com Gonzalez; Woods (2014), eles definem-na como sendo um matiz bidimensional, onde cada ponto da imagem indica o valor discreto e as variáveis  $x$  e  $y$  que são as coordenadas espaciais que indicam as localizações nas imagens. A cor que brilha no ponto  $x$  e  $y$  representa o valor de  $f$  (FRANÇA, 2020).

Os métodos analíticos mais usados para a quantificação de espécies químicas em amostras coloridas, como o colorimétrico, fotométrico ou espectrofotométrico são onerosos se comparados com a metodologia baseada em imagens digitais. Portanto, o uso de dispositivos comerciais simples, como câmeras digitais, *webcams*, *scanners* e *smartphones* desempenham um papel importante como detectores genéricos visando obter o máximo de informações relevantes de maneira rápida e eficiente. A grande parte dos dispositivos citados usam o sistema de cores RGB, composto pelas cores vermelho (R, *Red*), verde (G, *Green*) e azul (B, *Blue*). Além do baixo custo, o uso de imagens digitais a partir de celulares se destaca pela versatilidade, simplicidade, rapidez e pela possibilidade de medidas *in situ*. (RIOS *et al* 2022).

A matiz de números é representada pelo número específico de linhas e colunas que constituem a matiz bidimensional da imagem digital. Por tanto, cada célula da matriz tem um endereço específico que descreve a sua localização na imagem. O endereço é definido com um sistema de coordenadas cartesianas que formando duas linhas perpendiculares que se intersectam na origem (JUNIOR, 2019).

Quando uma imagem analógica é digitalizada (quantização e amostragem) para seja processada no computador, na verdade, ela é convertida em uma matriz do tipo  $M \times N$  pontos, no qual cada

ponto denomina-se de *pixel*, que é uma aglutinação das palavras inglesas *picture element* representa a menor unidade de uma imagem digital (SOLOMON, BRECKON, 2016).

A resolução da imagem digital será definida pelo tamanho da matriz, quanto maior for esse melhor será a resolução. O aumento do tamanho da matriz irá diminuir o tamanho de cada *pixel*. O menor objecto representado na imagem digital ocupa o espaço de 1 *pixel* e, por conseguinte, a capacidade de resolver esses pequenos objectos depende do tamanho da matriz da imagem digital. Cada localização do *pixel* na imagem contém apenas um único valor numérico que representa o nível de sinal naquele ponto, podendo ter 256 níveis de cores que variam de 0 a 255 apenas para profundidades de cor (*color depth*) de 8 bits por pixel. (FRANÇA, 2020).

Para se resolver problemas analíticos utilizando imagens digitais é preciso que o valor de intensidade do *pixel* seja relacionado com algum modelo de cor, sendo esse modelo uma especificação de um sistema de coordenadas tridimensionais e um subespaço dentro desse sistema no qual cada cor é representada por um único ponto (GOZALEZ e WOODS, 2014).

Existem diferentes modelos ou espaços de cores, sendo assim, uma imagem colorida pode ter mais do que um canal e, quando estes canais são combinados, eles são capazes de fornecer uma grande variedade de cores, isto é, de variáveis. Através de métodos estatísticos multivariados, no Processamento Digital de Imagens (PDI), informações analíticas complementares podem ser extraídas dessas variáveis, que não são possíveis de se obter de forma univariada. E um dos objetivos do uso da análise multivariada é de reduzir a representação dimensional dos dados, organizando-os em uma estrutura que facilita a visualização de todo o conjunto de dados (PANERO *et al.*, 2009).

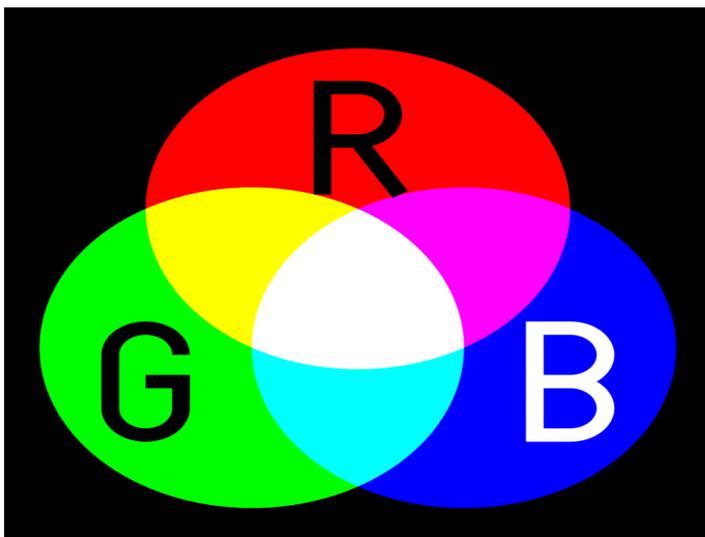
#### **2.4.1. Modelos de cores**

Os principais modelos ou sistemas de cores mais usados são: RGB (*red, green, blue*- vermelho, verde, azul) e HLS (*hue, lightness, saturation*- matiz, luminescência, saturação).

##### **2.4.1.1. Modelo de cor RGB**

O modelo de cor RGB tem como princípio a percepção de cores realizada pelo olho humano. A técnica de interpretação da cor utilizada pelos dispositivos é embasada na resposta do olho humano aos estímulos das luzes vermelha, verde e azul, sendo que cada uma dessa é considerada como um componente espectral primário (LEITE, 2016).

A Comissão Internacional de Iluminação (CIE) determinou valores específicos de comprimento de onda para as três cores primárias: azul = 435,8 nm, verde = 546,1 nm e vermelho = 700 nm (CIE, 1978). As cores secundárias resultam da combinação de duas dessas cores, em intensidades iguais: ciano (azul + verde), magenta (azul + vermelho) ou amarelo (verde + vermelho), conforme ilustra a Figura 3 (GONZALEZ; WOODS, 2014; SOLOMON, BRECKON, 2016).



**Figura 3:** Cores primárias e secundárias de luz

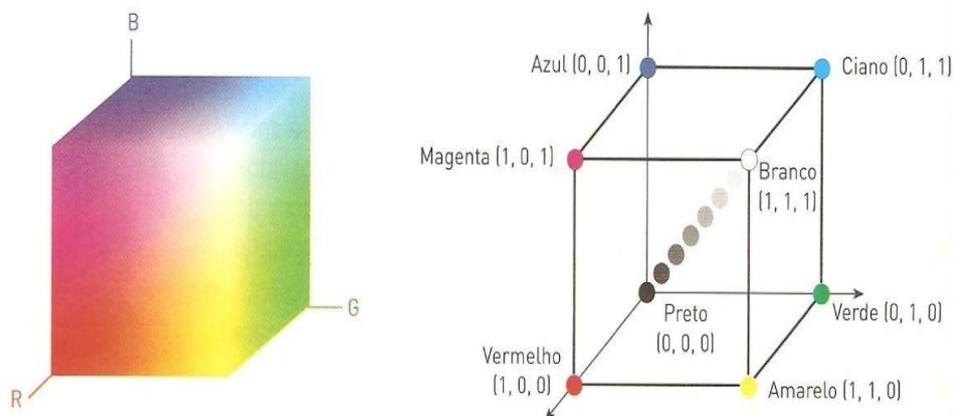
**Fonte:** Adaptado de <https://trickdroid.org/wp-content/uploads/>

A combinação das cores é indicada pela cor branca, em proporções iguais, das cores primárias. A cor preta indica que não há contribuição dessas cores. Para a percepção humana, a cor que é observada nos objetos resulta da interação com a luz branca. Quando há reflexão total, a cor branca é visualizada, enquanto o preto, teoricamente, representa a ausência de cor, (GONZALEZ; WOODS, 2014).

As características de uma imagem RGB em escala de cinza, podem ser convertidas matematicamente, somando as cores primárias (vermelho, azul e verde) (SOLOMON; BRECKON, 2011).

Segundo Gonzalez e Woods (2014), na subestação de cores de interesse é o cubo, no qual os valores de RGB primários encontram-se em três vértices; as cores secundárias ciano, magenta e amarelo estão em outros vértices; o preto está na origem; e o branco está no vértice mais

distante da origem. Nesse modelo, a escala de cinza (pontos de valores RGB iguais) estende-se do preto até o branco ao longo do segmento de recta que une esses dois pontos.



**Figura 4:** Esquema do cubo de cores RGB

**Fonte:** Adaptado de <https://sites.google.com/site/aimcjbv/modelo-rgb>

Geralmente esse sistema emprega-se mais em computadores, televisores, e aparelhos electrónicos, também em aplicações de reconhecimento de acção humana (ARIVAZHAGAN *et al.*, 2019). Uma das desvantagens do cubo de cores RGB, é que ela não fornece informações do brilho de uma imagem, assim sendo, como forma de superar essa desvantagem criou-se um sistema designado modelo HLS (matiz, luminescência e saturação) (TSAI; TSENG, 2012).

#### 2.4.1.2. Modelo HLS

O modelo H (matiz), L (luminescência) e S (saturação) está associado ao comprimento de onda dominante da cor, ao seu grau de pureza relativa (adição de branco) e ao brilho ou luminescência (SILVA JÚNIOR, 2019).

Neste modelo os componentes mais importantes do espaço são o eixo de intensidade, o comprimento do vector até um ponto de cor e o ângulo desse vector.” (GONZALEZ; WOODS, 2014). A matiz (H) define a cor predominante em uma região escalada de 0 a 360°; a saturação (S) determinará o quanto a cor é pura, em valores que variam de 0 a 100%. Quanto maior o valor de S mais pura é a cor, isto é, quanto mais branco houver em uma cor, menos saturada é ela. As cores espectrais puras são completamente saturadas. O L determina a luminescência, que varia de 0 a 100% (BATISTA, 2007).

A utilização de técnicas baseadas em imagens digitais é mais acessível a laboratórios de uso cotidiano e abrangem equipamentos mais usuais. A formação dessas imagens ocorre por meio de um dispositivo eletrônico, no qual acontece a conversão de uma cena real em uma imagem analógica (VILAR, 2014).

## **2.5. Quimiometria**

A quimiometria é definida como um conjunto de métodos estatísticos, matemáticos e computacionais que servem para extrair, interpretar e prever os dados de interesse químico de uma forma rápida e eficiente. A quimiometria pode se destacar pelo planejamento de experimentos, o reconhecimento de padrões e calibração multivariada. A química nova, já vem publicando uma sequência de tutoriais, desde o início da década de 2010, com o intuito de contribuir em capacitação dos profissionais de vários ramos da cadeia produtiva, com a inclusão dos estudantes de graduação e pós-graduação, (RIOS *et al.*, 2022).

O uso de técnicas quimiométricas voltadas a análise de dados de natureza multivariada foi impulsionado pelo desenvolvimento de ferramentas analíticas contemporâneas com a capacidade de analisar mais de um parâmetro por amostra e, dessa forma, fornecer quantidades aceitáveis de informação, em mínimos intervalos de tempo (CHAU *et al.*, 2004). Dessa maneira, integra-se a disposição de computadores e programas computacionais que permitem a obtenção, manipulação e interpretação dos dados (FRANCA, 2020).

Os estudos de CHAU *et al.*, (2004) indicam que a quimiometria é inserida em áreas distintas da química, sendo mais empregada na área da química analítica. Diversos sectores, dos acadêmicos aos industriais, têm sido beneficiados com o seu uso. As ferramentas quimiométricas para o tratamento de dados são desenvolvidas conforme o interesse de estudo, seja para a análise quantitativa ou qualitativa.

As técnicas de análise multivariada são retratadas na quimiometria, as quais envolvem planeamento e optimização de experimentos, calibração multivariada e técnicas de reconhecimento de padrões. Eles podem ser divididos em não-supervisionados e supervisionados (FRANCA, 2020).

### **2.5.1. Técnica para análise exploratória (padrões não supervisionados)**

As técnicas de reconhecimento de padrões não supervisionadas são utilizadas com o propósito de encontrar diferenças e semelhanças em conjuntos de amostras com varias características. Uma das técnicas de reconhecimento de padrões não supervisionados que vêm se destaca mais no contexto da Química Analítica é a Análise de Componentes Principais (PCA) e a Análise de Agrupamentos Hierárquicos (HCA). Nas técnicas de reconhecimento de padrões não supervisionado, avalia-se a presença de agrupamentos naturais existentes entre os grupos de amostras (JUNIOR, 2019).

#### **2.5.1.1. Análise de componentes principais (PCA)**

De acordo com Ferreira (2016), o cientista britânico Karl Pearson, introduziu a Análise de Componentes Principais (PCA) no início do século XX. Essa é uma ferramenta quimiométrica com inúmeras aplicações, que se baseia na projecção dos dados multivariados no espaço com menor dimensão. Essa dimensão reduzida leva em conta que a maior variância possível está nas primeiras componentes principais (PCs), (FERREIRA, 2016).

A PCA é uma ferramenta quimiométrica utilizada na análise exploratória para observar agrupamentos naturais entre as amostras, e ela baseia-se na diminuição da dimensionalidade do espaço dos dados originais, facilitando a visualização de informações consideráveis associadas ao conjunto dos dados. Para este propósito, uma manipulação matemática é realizada na matriz dos dados de forma que uma grande quantidade de variáveis seja reduzida, porém uma maior quantidade de informação seja alcançada com a finalidade de representar as variações presentes em um número menor de factores (FRANCA, 2020).

#### **2.5.1.2. Técnicas de reconhecimento de padrões supervisionadas**

Diferentemente das técnicas de reconhecimento de padrões não supervisionadas, as supervisionadas utilizam informações prévias das amostras. Nas técnicas de reconhecimento de padrões supervisionadas, uma informação adicional sobre os membros da classe é requerida. Esses métodos são construídos, com a intenção de prever amostras desconhecidas. Os métodos como o SIMCA (Modelagem Independente e Flexível por Analogia de Classes), PLS-DA (Análise Discriminante pelos Mínimos Quadrados Parciais) e LDA (Análise Discriminante Linear) com prévia seleção de variáveis têm sido aplicados com frequência em diferentes técnicas e matrizes (JUNIOR, 2019)

Para um determinado grupo, a associação de classe das amostras, baseia-se na existência de padrões de características que estejam numa classe já definida, com o intuito de poder projectar um modelo que possa ser generalizado para uma nova amostra, (SOLOMON, BRECKON, 2016)

No espaço multidimensional gerado por variáveis, quando ocorre a suposição de que quanto mais se assemelham as amostras entre si em relação as variáveis medidas, elas ficam muito próximas, (FERREIRA, 2016). Podem ser encontradas algumas aplicações do método SIMCA na literatura para a actividade biológica (FREITAS, 2017) e classificação de alimentos (MILANEZ, 2013).

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1. Localização da área do estudo**

O estudo foi conduzido no laboratório de processamento de alimentos do Instituto Superior Politécnico de Gaza localizado no distrito de Chókwè, na província de Gaza no posto administrativo de Lionde.

#### **3.2 Materiais e métodos**

Para a realização deste trabalho foram utilizadas as seguintes matérias-primas para a preparação dos adulterantes:

- Mel,
- Batata-doce (polpa alaranjada),
- Açúcar branco e
- Água.

Para além da matéria-prima, foram utilizados neste estudo equipamentos de uso laboratorial como: triturador de vegetais, placas de petri, balança analítica, estufa, celular android, bacias plásticas, panelas, faca e caixa de madeira,

#### **3.3. Colecta da matéria-prima**

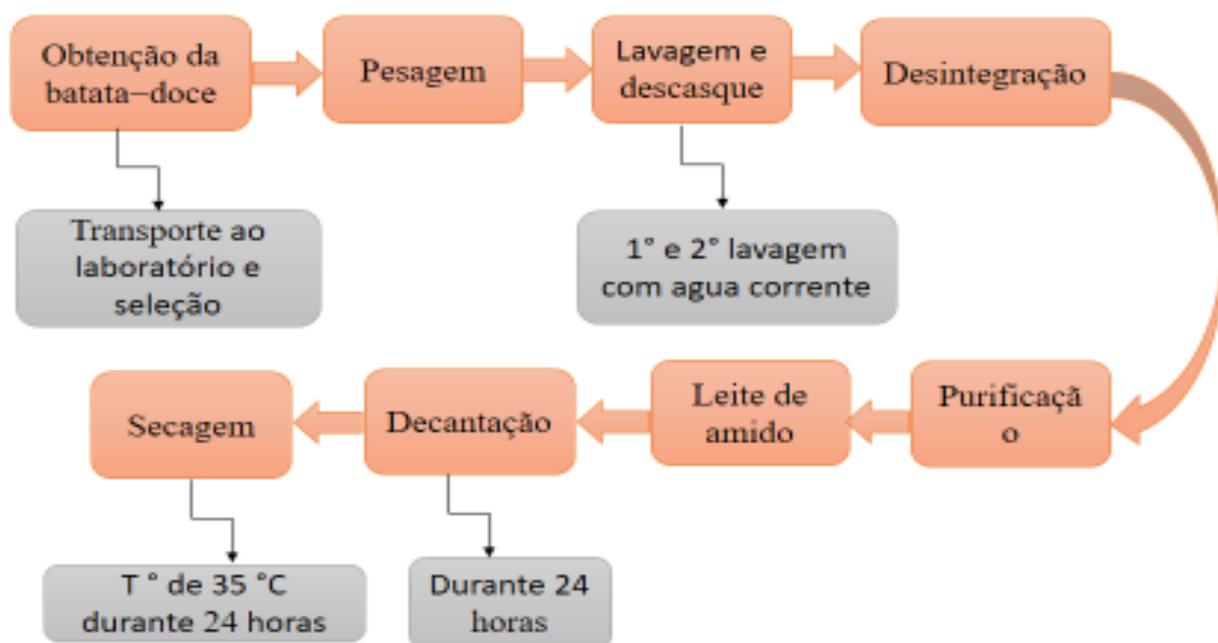
Nesta pesquisa, a matéria-prima principal é o mel, que foi adquirido cerca de 5 Litros directamente com os apicultores da província de Inhambane. Inicialmente, foi realizada a inspecção visual para avaliar as características organolépticas, como a aparência e consistência. Após a aquisição, o mel foi transportado numa embalagem de polietileno e armazenado a uma temperatura ambiente num local protegido do sol no laboratório do Instituto Superior Politécnico de Gaza.

Por sua vez, o amido usado como adulterante, foi obtido a partir da batata-doce adquirida comercialmente num nos mercados da cidade de Chókwè. Portanto, antes da extracção do amido, a batata-doce foram realizados testes rápidos de qualidade, como a verificação da textura firme, com uma aparência agradável. O açúcar foi adquirido no supermercado Limpopo, e de igual modo, foram realizados alguns testes rápidos de qualidade, como a vida de prateleira, de seguida foram transportados usando sacos plásticos.

### 3.4. Processo de extracção do amido como adulterante

#### 3.4.1. Fluxograma de extracção do amido da Batata-doce

O processo de extracção do amido na batata-doce, está descrito na Figura 5.



**Figura 5:** Fluxograma de extracção do amido de batata-doce

**Fonte:** (Autora).

#### 3.4.2. Descrição do processo de extracção

Seguem a descrição de todas as etapas de processo de extração de amido de batata- doce

##### a) Obtenção da matéria-prima

A etapa inicial do processo envolveu a aquisição da matéria-prima, que no caso foi a batata-doce, obtida no mercado de Chókwe. Foi realizado um exame minucioso da batata-doce para garantir sua qualidade, avaliando aspectos como cor, textura, aparência, presença de danos físicos, grau de maturação, integridade da casca e tamanho das batatas-doces.

#### **b) Pesagem**

Fase de pesagem foi uma parte crucial do processo, pois permitiu determinar com precisão a quantidade exata de matéria-prima (batata-doce) que seria utilizada no processo de produção. Essa etapa foi conduzida com o uso de uma balança eletrônica, garantindo uma medição precisa do peso da matéria-prima.

#### **c) Lavagem da matéria-prima**

Essa etapa tinha como objetivo principal a limpeza da matéria-prima, visando remover as macromoléculas e reduzir a presença de micromoléculas que poderiam estar aderidas ao produto. Essas impurezas poderiam ter sido acumuladas durante o processo de colheita ou mesmo durante a produção, como no caso de solo ou outras fontes de contaminação. A lavagem foi realizada através da aspersão de água ou pelo uso de água corrente.

#### **d) Descasque**

A etapa de descasque foi um processo fundamental que implicou a eliminação das camadas externas da batata, incluindo a casca, a fim de preparar a matéria-prima para o próximo estágio de produção. Esse procedimento foi realizado com grande atenção e cuidado, utilizando uma faca para remover a casca de cada batata individualmente.

#### **e) Desintegração**

A etapa de desintegração envolveu a redução do tamanho da batata-doce para pedaços menores, especificamente em cubos com um diâmetro de 2,5 centímetros. Isso foi feito com o propósito de facilitar o processo subsequente de trituração.

#### **f) Trituração**

Após a etapa anterior, procedeu-se à trituração utilizando um triturador de vegetais. Nesse processo, adicionou-se 1kg de batata-doce para cada 2 litros de água no triturador. A água foi incluída com o propósito de facilitar o processo de trituração, melhorando a fluidez e a mistura dos ingredientes. Além disso, a água foi adicionada continuamente até que as quantidades desejadas fossem completamente processadas.

#### **g) Purificação**

A etapa de filtração envolveu a separação do bagaço da batata-doce e do líquido (leite de batata-doce) utilizando um crivo de 60 mesh. Nesse processo, o material sólido, que é o bagaço da

batata-doce, foi retido pelo crivo, enquanto o líquido passou pelos pequenos orifícios do crivo, resultando na separação eficaz dos componentes.

#### **h) Decantação**

A decantação foi uma etapa crucial que teve como objetivo separar o leite de batata-doce do amido e outras substâncias, conhecidas como resíduos, ao longo de um período de 24 horas. Este processo foi realizado em um recipiente metálico com o propósito de otimizar a decantação, aproveitando as propriedades do recipiente. No final do processo, o amido aderiu ao interior do recipiente, e então foi removido.

#### **i) Secagem**

A etapa de secagem foi realizada após a remoção do amido aderido no interior do recipiente. Nesse processo, o amido foi colocado em uma estufa a uma temperatura de 35°C e mantido lá por 24 horas com o objetivo de reduzir a umidade.

### 3.5. Processo de produção do xarope de açúcar

#### 3.5.1. Fluxograma do processo de produção do xarope de açúcar

O processo de produção de xarope de açúcar encontra-se descrito na Figura 6.



**Figura 6:** Fluxograma do processo de produção do xarope de açúcar

**Fonte:** (Autora).

#### 2.5.2. Descrição de processamento de xarope

##### a) Aquisição da matéria-prima

O açúcar usado para a produção de xarope, foi adquirido no mercado de Chókwè onde

realizou-se o controle da qualidade do açúcar como a verificação da data de validade, a confirmação das quantidades e a verificação das condições higiénicas do mesmo.

**b) Pesagem**

Esta etapa consistiu na pesagem das quantidades em função das formulações do açúcar, com o auxílio de uma balança eletrónica.

**c) Dissolução e aquecimento**

Essa etapa irá consistir em submeter o açúcar, a água numa panela em aquecimento, onde a dissolução ocorrerá numa temperatura de 75°C e o aquecimento numa temperatura de 85°C durante 5 minutos.

**d) Resfriamento**

Essa etapa consistiu em deixar esfriar o xarope de açúcar para facilitar o processo de envase, de seguida será feita o arrefecimento em temperatura ambiente.

**e) Envase**

O envase foi feito através da reutilização de algumas embalagens de vidro, com uma tampa de rosca metálica que tem a capacidade de preencher quase todo o volume para evitar a cristalização do açúcar na superfície. Esse tipo de embalagem teve que passar por um processo de esterilização antes do uso

**f) Armazenamento**

Apos a etapa de envase o xarope foi armazenado em um lugar fresco e seco.

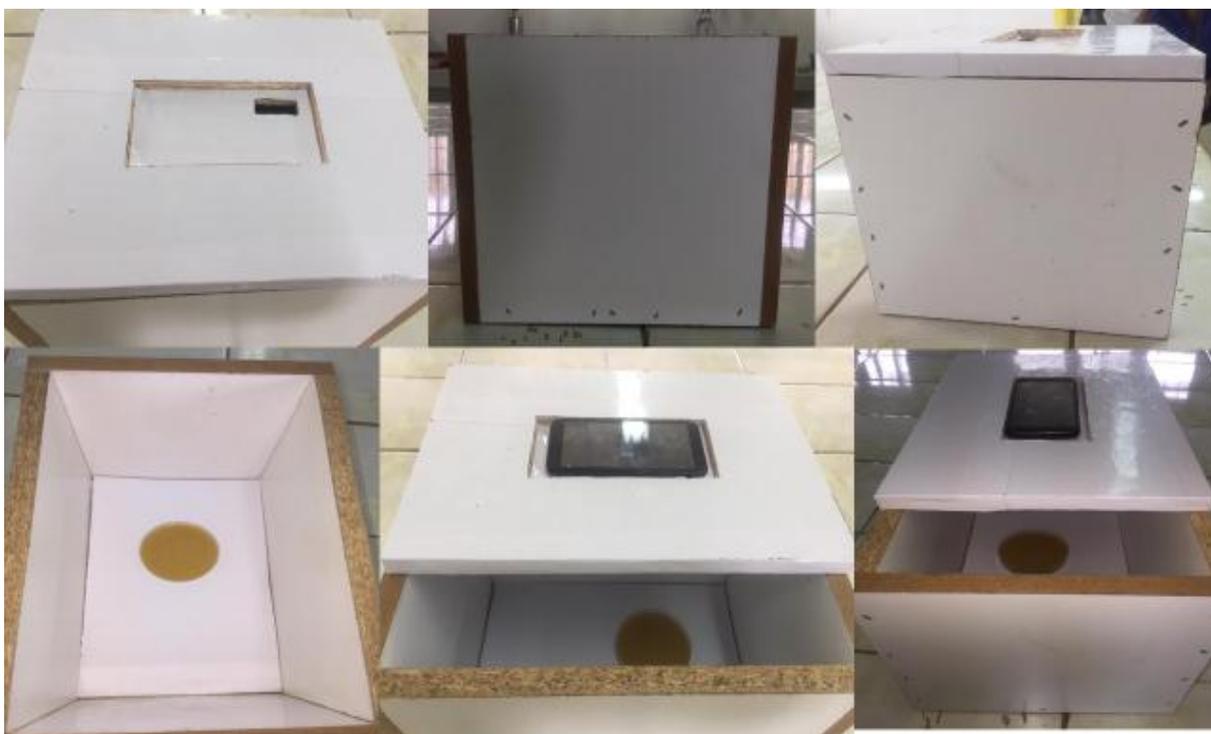
**3.6. Procedimento para análise e avaliação de adulteração do mel**

**3.6.1. Preparo das amostras**

Neste trabalho o mel foi dividido em 90 amostras, sendo 30 de mel puro, 30 de mel adulterado com amido de batata-doce, e 30 de mel adulterado com xarope de açúcar. As amostras foram adulteradas manualmente utilizando uma proporção de 28g/2g (mel puro/adulterante de amido de batata-doce) e a segunda foi de 28g/2g (mel puro/adulterante de xarope de açúcar). Todo processo de adulteração do mel foi efetuado no laboratório do ISPG.

### 3.6.2. Captura de imagens digitais

Para identificação da adulteração das amostras, foi necessária a utilização das imagens. Portanto, a captura das imagens digitais foi relativamente simples, que exigiu um número reduzido dos seguintes componentes: placas de Petri de poliestireno (49x13mm) lisa estéril, um celular android (*Smartphone*), uma caixa de madeira com fundo branco para permitir uma melhor qualidade das imagens. A caixa foi fabricada colocando na parte superior uma abertura com tampa recortada na parte central para que fosse capaz de encaixar o celular, como é mostrado na Figura 7.



**Figura 7:** Sistema de aquisição de imagens

**Fonte:** (Autora)

### 3.6.3. Tratamento de dados

O tratamento de dados foi efectuado utilizando o Matlab R2010a, onde foram avaliadas as seguintes ferramentas quimiométricas: a Modelagem Independente e Flexível por Analogia de

Classes (*Soft Independent Modelling of Class Analogs* – SIMCA) e Análise Discriminante de Mínimos Quadrados Parciais (Partial Least Squares-Discriminant Analysis – PLS-DA).

Feita a captura das imagens, foram exportadas para o sistema computacional Matlab R2010a para a geração de histogramas e de seguida foram importadas para *The Unscrambler* para análise de reconhecimento de padrões.

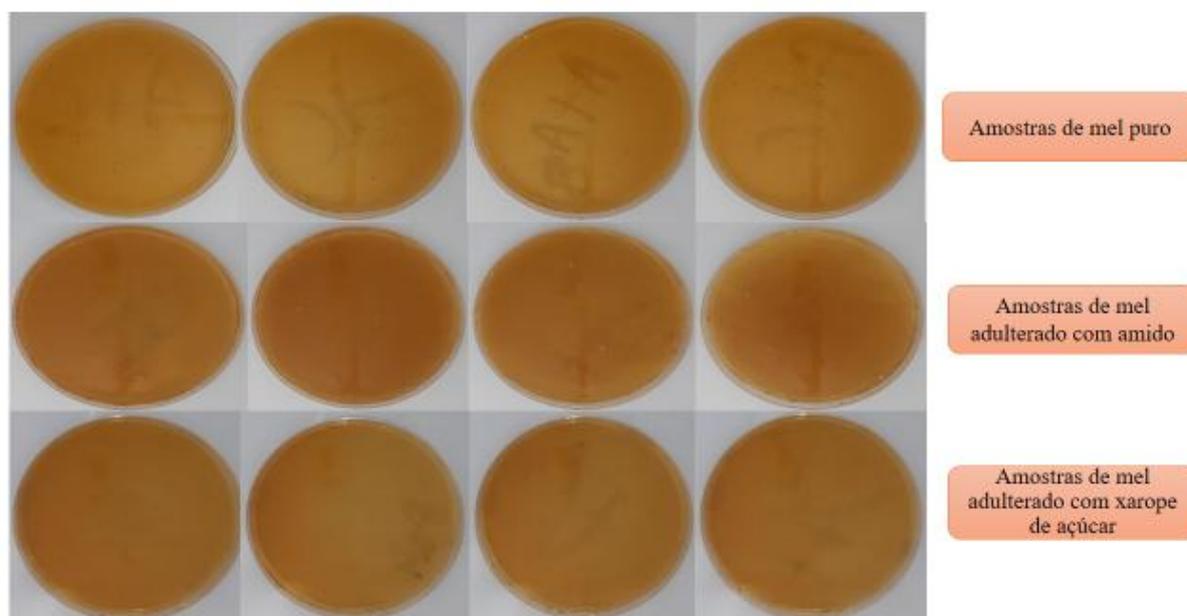
Ao se submeter as imagens para serem analisadas no sistema computacional, uma região homogénea da imagem foi seleccionada para que as coordenadas sejam armazenadas e posteriores serem usadas. São verificados todos os *pixels*, coluna por coluna, para a decomposição da imagem nos modelos RGB e HLS, de uma forma automática os dados gerados foram salvos e armazenados no Matlab R2010a.

## 4. RESULTADOS E DISCUSÃO

### 4.1. Discriminação com aplicação de imagens digitais

No presente trabalho foi feita a avaliação da adulteração empregando a Modelagem Independente e Flexível por Analogia de Classes (*Soft Independent Modelling of Class Analogs* – SIMCA), e Análise Discriminante de Mínimos Quadrados Parcial (Partial Least Square Discriminant Analysis – PLS-DA).

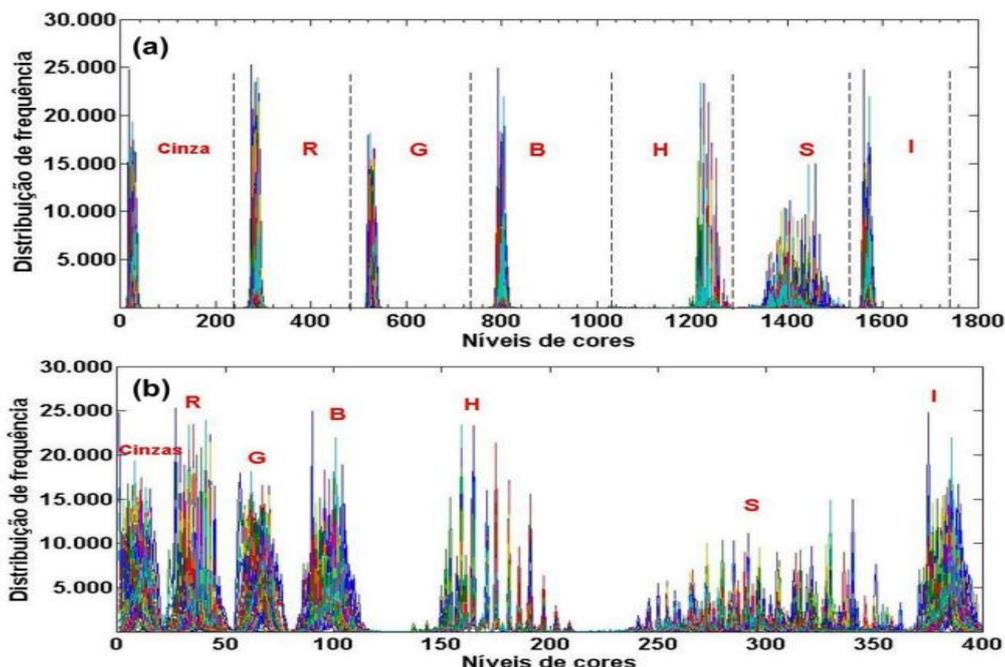
Assim, as imagens foram obtidas através de um celular de marca Samsung A30S, com 12 MP de qualidade da câmara traseira, o qual permitiu captar as imagens no formato JPG com dimensões de 864 x 1152 *pixels* (32 KB), conforme observado na Figura 8. Após esta etapa, as imagens captadas foram convertidas em sistemas de cores RGB (vermelho, azul e verde) e posteriormente em espectros que foram empregados na avaliação de adulteração do mel.



**Figura 8:** Imagens de placas com amostras de mel puro, mel adulterado com amido de batata- doce e mel adulterado com xarope de açúcar

**Fonte:** (Autora).

Como se pode observar na Figura 8, não é possível notar a diferença visual entre as amostras de mel puro com as adulteradas, o que sugere que todas as amostras apresentam a mesma constituição. Antes da aplicação de qualquer ferramenta quimiométrica, as imagens foram convertidas em uma escala de cores, conforme esta demonstrado na Figura 9.



**Figura 9:** Escala de cores das amostras puras, adulteradas com xarope de açúcar e amido de batata-doce.

**Fonte:** Autora

#### 4.2. Detecção de Amostras Adulteradas por Modelagem Independente e Flexível por Analogia de Classes (SIMCA)

A Modelagem Independente e Flexível por Analogia de Classes (SIMCA) é construída a partir de modelos baseados em componentes principais, no qual cada classe corresponde a um conjunto de treinamento. Um número ótimo de componentes principais é determinado independentemente para cada classe e o modelo final é obtido através da definição da fronteira entre cada PCA modelado. Portanto, o SIMCA é baseado na discriminação da não existência de sobreposições entre duas classes, assim como na maior distância interclasses possível.

Neste sentido, para a utilização desta ferramenta quimiométrica, as amostras foram divididas em dois (2) conjuntos de dados, nomeadamente: (i) conjunto de treino (63 amostras), e (ii) conjunto de teste (27 amostras), empregando o algoritmo Kernned Stone.

Após esta etapa, foi utilizado algoritmo de classificação Toolbox versão 6.0 para calcular o SIMCA. Para isto, os dados foram centrados na média e o SIMCA foi calculado utilizando duas (2) componentes principais que melhor explicam a separação das amostras.

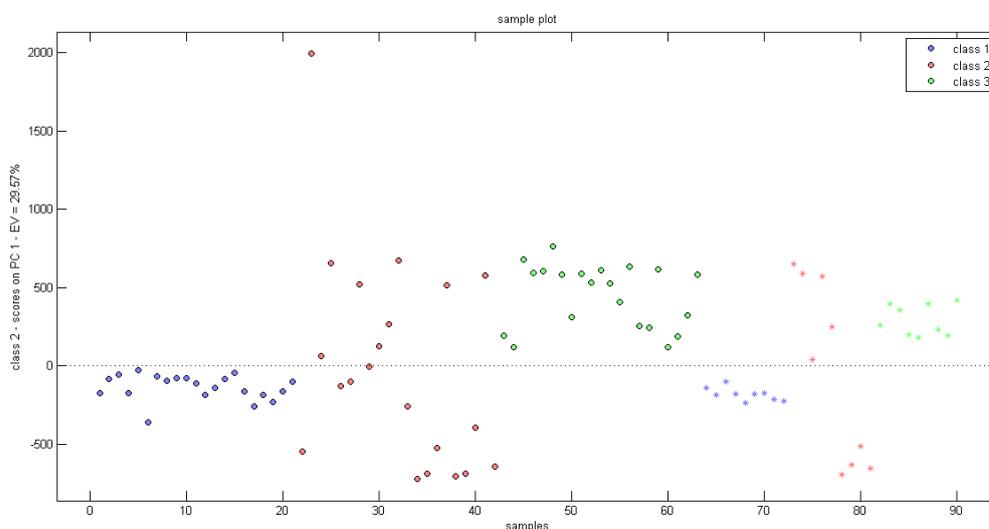
A partir do modelo SIMCA, foram obtidas uma taxa de erro de 0,2 % e uma taxa de erro de amostras testes de 0,25%, o que mostra que o modelo construído é adequado para prever as amostras. Com isso, foi obtido a matriz de confusão ou taxa de acerto de classificação para amostras de testes que está descrita na Tabela 2.

**Tabela 2:** Matriz de confusão da classificação amostras de méis puros e adulteradas empregando SIMCA.

Real/Previsto	Mel puro (alvo)	Amostras adulteradas com amido de batata-doce	Amostras adulteradas com xarope de açúcar	Não classificadas
Mel puro	5	0	4	
Amostras adulteradas com amido de batata-doce	0	9	0	
Amostras adulteradas com xarope de açúcar	0	0	9	
Classe	Sensibilidade	Especificidade		Precisão
Mel puro	1.00	0.50		0.50

O SIMCA, a sua particularidade cinge-se apenas em identificar amostras puras e/ou adulteradas. Desta forma, a sensibilidade do método neste estudo pode ser considerada aceitável, uma vez que apresenta 100% (taxa de acerto de amostras puras). No entanto, o método apresenta especificidade e precisão de 0.50, o que demonstra a dificuldade de separar as amostras adulteradas das puras, o que pode ser observado na Figura 10.

Como se pode notar a partir da Tabela 2, das 27 amostras utilizadas como teste, 9 amostras foram classificadas corretamente como puras, 9 amostras como adulteradas. No entanto, 9 amostras adulteradas foram classificadas como puras, e isto pode estar relacionado com a homogeneização não eficiente durante o processo de amostras.



**Figura 10:** Classificação de amostras de méis usando SIMCA

Círculo azul corresponde as amostras mel adulteradas com amido de batata-doce, círculo vermelho amostras puras, e círculo verde correspondem amostras adulteradas com xarope de açúcar no conjunto de treinamento. Asterisco azul corresponde as amostras de mel adulteradas com amido de batata-doce, asterisco vermelho corresponde amostras puras, e asterisco verde para as amostras adulteradas com xarope de açúcar.

#### **4.3. Detecção de Amostras Adulteradas por Análise Discriminante por Mínimos Quadrados Parciais (PLS-DA)**

Foram utilizadas as mesmas amostras divididas em conjunto de treinamento (63 amostras) e conjunto de teste (27 amostras). Neste sentido, foi aplicada a ferramenta quimiométrica PLS-DA com cinco (5) componentes principais para construir o modelo, e foi obtido uma variância explicada de 48%, uma taxa de erro próxima do zero, e taxa de erro de teste de 7%.

A principal característica da ferramenta PLS-DA, é de, para além classificar em grupos, ela consegue identificar onde cada amostra pertence, diferente do SIMCA que apenas separa, por exemplo as amostras puras e adulteradas, sem identificar necessariamente o tipo de adulterante.

Tabela 3 mostra a matriz de contingência, na qual 9 amostras foram classificadas como sendo adulteradas com amido, 9 amostras classificadas como adulteradas com xarope de açúcar, e

apenas 7 como amostras puras. No entanto, 2 amostras puras foram classificadas como sendo amostras adulteradas com xarope de açúcar.

O modelo apresentou uma boa capacidade preditiva, tendo sido obtido a sensibilidade, especificidade e precisão de 1.00 (100%) para amostras adulteradas com amido de batata-doce, uma sensibilidade aceitável em torno de 78% para o mel puro, e uma especificidade de 0.89 e precisão de 0.82 para o mel adulterado com xarope de açúcar, respetivamente.

**Tabela 3:** Matriz de contingência para a classificação de amostras de méis puras e adulteradas empregando PLS-DA.

Real/Previsto	Mel adulterada com amido de batata-doce	Mel puro	Mel adulterado com xarope de açúcar	Não classificadas
Mel adulterada com amido de batata-doce	9	0	0	0
Mel puro	0	7	2	0
Mel adulterado com xarope de açúcar	0	0	9	0
Classe	Sensibilidade	Especificidade	Precisão	
Mel adulterada com amido de batata-doce	1.00	1.00	1.00	
Mel puro	0.78	1.00	1.00	

---

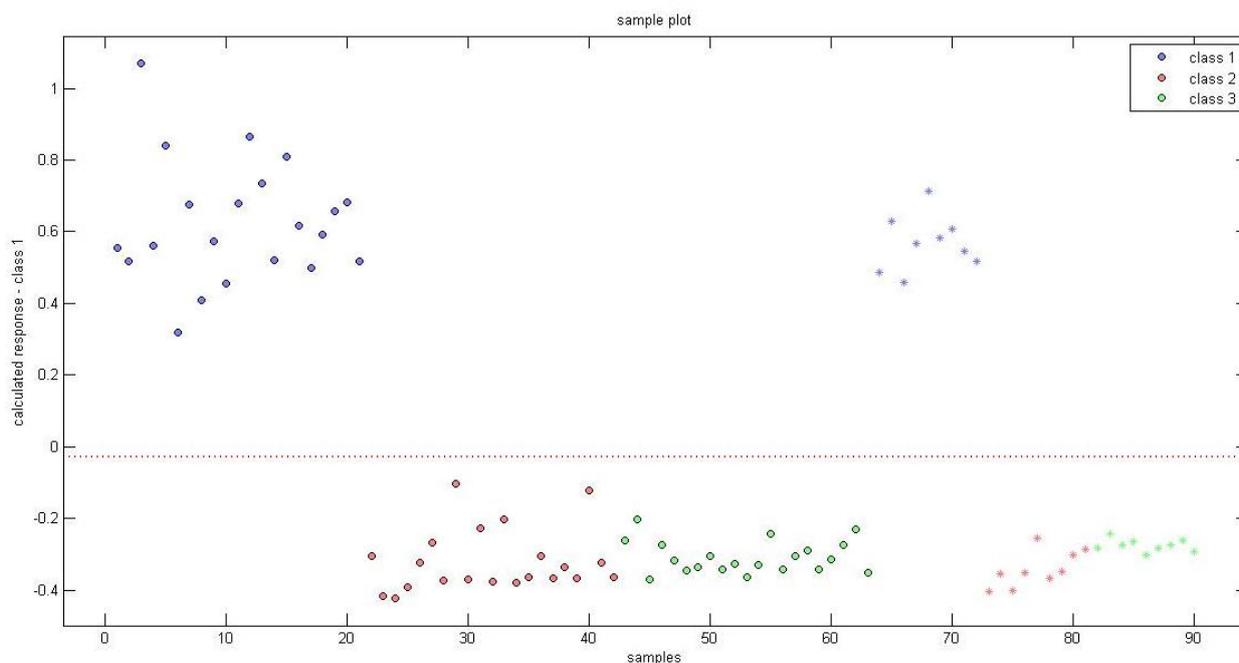
Mel	adulterado	1.00	0.89	0.82
com	xarope de			
	açúcar			

---

Para maior compreensão, a Figura 11 ilustra a projeção das amostras previstas (amostras testes), o qual nota-se a discriminação das amostras adulteradas com amido da batata-doce, amostras puras e das adulteradas com xarope de açúcar. Assim, o modelo construído com o PLS-DA apresenta melhores resultados comparativamente ao SIMCA na classificação de amostras méis.

**Figura 11:** Classificação de amostras de méis usando PLS-DA

Círculo azul corresponde as amostras mel adulteradas com amido de batata-doce, círculo



vermelho amostras puras, e círculo verde correspondem amostras adulteradas com xarope de açúcar no conjunto de treinamento. Asterisco azul corresponde as amostras de mel adulteradas com amido de batata-doce, asterisco vermelho corresponde amostras puras, e asterisco verde para as amostras adulteradas com xarope de açúcar.

## 5. CONCLUSÃO

Neste trabalho foram desenvolvidas novas metodologias com a finalidade de averiguar a conformidade do mel comercializado sujeito a adulterações particularmente utilizando-se xarope de açúcar e amido. Foi possível demonstrar a aplicação de duas ferramentas quimiométricas (SIMCA e PLS-DA) combinadas com imagens digitais para classificação de mel puro, mel adulterado com xarope de açúcar e mel adulterado com amido de batata-doce. A utilização das imagens digitais para fins analíticos apresenta vantagens comparativamente as técnicas instrumentais, uma vez que não há necessidade de preparo de amostras e nem de equipamentos sofisticados, o que torna o procedimento simples e barato. A ferramenta PLS-DA apresentou melhores resultados, isto é, melhor capacidade preditiva, tendo sido obtido sensibilidade, especificidade e precisão em torno de 100%. Desta forma, as ferramentas quimiométricas empregadas neste trabalho combinadas com imagens digitais, são uma excelente alternativa para controlo de qualidade de alimentos, bastando apenas um celular (smartphone) para aquisição das imagens.

## 6. RECOMENDAÇÕES

- ✓ De acordo com os resultados obtidos na pesquisa, recomenda-se aos pesquisadores a realizarem uma pesquisa profunda a cerca da ferramenta Modelagem Independente e Flexível por Analogia de Classes (SIMCA), visto que ela não apresentou melhores resultados.
- ✓ Recomenda-se também aos pesquisadores investirem mais nessas metodologias, uma vez que não necessitam de preparação de amostras e nem de equipamentos sofisticados, o que torna o procedimento simples e barato.
- ✓ A investigar na possibilidade de avaliação da qualidade de outros produtos que passam pelo processo de adulteração com a aplicação de ferramentas quimiométricas como o PLS-DA e o SIMCA.

## 7. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA-MURADIAN, L. B., *Propriedades físico-químicas de amostras comerciais. Ciências e Tecnologias Alimentares*, pp. 49-52,2007.
- ALVIM, N. C., *O mel e suas características. revista científica eletrônica de medicina veterinária*, Issue 3, pp. 1679-7353, 2004.
- ANON., *Codigos-de-cores-Qual-e-a-diferenca-entre-Hex-RGB.png*. [Online] [Acesso em 7 novembro 2022]2020.
- BARBOSA, J. D. S.,. *Avalicao fisico-quimica de Meis comercializados nas feiras de Imperatriz-Ma*. Imperatriz-Maranhao: s.n.2013.
- BATISTA, L. V. *Introdução ao Processamento Digital de Imagens*, 2007.
- BULIGON, C. *et al. Avaliação de Fraudes em Méis Consumidos na Região Noroeste do Rio Grande do Sul*. *DisciplinarumScientia*, Série: Ciências da Saúde, Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 213-220, 2015.
- CARLOS ALBERTO RIOS, A. M. D. S. R. J. P. M. C. B., *experimento didático de quimiometria empregando imagens digitais obtidas por celular para determinar adulteração de azeite de oliva com óleo de soja : um tutorial parte VI*. *Química Nova*,13 Setembro, Volume XY, pp. 1-2,2022.
- CAMARGO, R.C.R de.; PEREIRA, F. de M.; LOPES, M.T do R.; WOLFF, L.F. *Mel: características e propriedades*. Volume único: 28p. 2006.
- COELHO, P., *Producao de refrigerantes*. 8 julho, 2013.
- CATIELE BULIGON, N. P. P. B. R. F. D. S. S. L. N. S., *Avaliação de fraudes em méis consumidos na região noroeste do rio grande do sul*. *Ciências da Saúde*, pp. 213-220.2015.
- FILHO, N. C., *avaliação do mel comercializado no mercado municipal em campo grande – mato grosso do sul*. *Acta Veterinaria Brasilica*,, pp. 294-301,2013.
- FRANCA, V. F.,. *Aplicação de imagens digitais e técnicas quimiométricas para detecção de adulteração em mel, areia : s.n.2020*.

GONZALEZ, R. C. & WOODS, R., *Processamento digital de imagens*, São Paulo: 3ª edição, 2014.

INSA, *Estudo da cinética de secagem da batata-doce (impomoeabatatas)*. pp. 323-328, 2019.

JUNIOR, C. A. D. S., *Aplicação de Imagens Digitais para a Discriminação de Mel de Abelha.*, Brasil: s.n. 2019.

KRULISKI, C. R. S., *Estudo de adulteracao em meis Brasileiros atraves de razao esotopica do carbono*. Ciencia e agrotecnologia,, pp. 434-439p. 25,2010.

LIEVEN,M.; CORREIA, K.R.; FLOR, T.L.; FORTUNA, J.L. *Avaliação da qualidade microbiológica do mel comercializado no extremo sul da Bahia*. Revista Baiana de Saúde Pública.v.33, n.4: p.544-552, 2009.

LORRANE RIBEIRO DE SOUZA, T. S. F., *Qualidade do mel. Ciência e Tecnologia de Alimentos*, pp. 469-478, 2019.

MARILI RODRIGUES, \*. R. A. F. R. G. E. S. S. R. A. T. T. F., *Produção de xarope de açúcar invertido obtido por hidrólise heterogênea, através de planejamento experimental*. C.P. 6171, SP, CPQBA/UNICAMP,2016.

MARTINS, V. D. C., *Avaliação da qualidade de méis comercializados no município de são joão de meriti, rj*. Perspectivas da Ciência e Tecnologia, pp. 1-8, 2014.

MEIRELES, S. & CANÇADO, I. A. C., *Parametros de qualidade e suas implicacoes para a saude*. SynTheis Revista Digital FAPAM,, abril.pp. 207-219, 2013.

MENDES, C. D. G., ALVES DA SILVA, J. B., MESQUITA, L. X. D. & BORGES, *As análises de mel: revisão*. Revista Caatinga, pp. 7-14, 2015.

PEREIRA, F. M., LOPES, M. T. R., CAMARGO, R. C. R. & VILELA, S. L. O., *Producao de mel*, s.l.: s.n.2003.

RIBEIRO, E. P. & SERAVALLI, E. A. G., *Química de Alimentos*. 2ª ed. São Paulo: Blucher: s.n. 2007.

RODRIGUES, C. P., *Estudo comparativo das propriedades físico- química do amido da batata doce (ipomoea batatas) nativo e modificado por acetilação, Ariquemes - RO: s.n, 2017.*

ROLIM, M. B. Q., *Generalidades sobre o mel e parâmetros de qualidade no Brasil. Medicina Veterinária (UFRPE), 12(1), pp. 73-81.2018.*

SAMUEL MEIRELES, I. A. C. C., *Mel: parâmetros de qualidade e suas implicações para a saúde. SynThesis Revista Digital FAPAM, pp. 207-219, 2013..*

SILVA JÚNIOR, C. A., *Aplicação de Imagens Digitais para a Discriminação de Mel de Abelha. Universidade Federal da Paraíba,, s.n, 2019.*

SOUSA, F. G., *Análise do mel de pequenos produtores do vale do médio araguaia-tocantins. Enciclopédia biosfera, pp. 1-8.2012.*

SOUTO. U. T. C. P., *Metodologia baseada em imagem digital, espectros UV - Vis e quimiometria para screening de adulteração de café por cascas e paus. Univesidade Federal da Paraíba., 67. 2017.*

SOLOMON, C.; BRECKON, T. *Fundamentals of Digital ImageProcessing - A Practical Approach with Examples in Matlab. 1st Edition. United States of America: John Wiley & Sons Ltd, 2011.*

TAKAHASHI, A. V., *batata doce (ipomoea batatas) como fonte de amido em alimentos extrusados para cães, Jaboticabal: s.n.2020.*

VELOSO, R., *Extração de amido de mandioca, batata doce e mangarito, rendimento e uso na confecção de plástico biodegradável, Brasília: s.n.2019.*

VILAR, W. T. S., *Classificação Individual de Sementes de Mamona usando. Universidade Federal da Paraíba, s.n, 2014.*

WEISE, H., *Apicultura Novos Tempos. p. 378, 2005.*

## APÊNDICES

### Apêndice 1: Processo de extração de amido



### Apêndice 2: Processo de produção de xarope de açúcar



### Apêndice 3: Amido de batata-doce



**Apêndice 4:** Xarope de açúcar

