



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS**  
**GRADUAÇÃO G011 – ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**NATHÁLIA CRISTINA SILVA BRITO**

**DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE PERÓXIDO EM ÓLEOS  
VEGETAIS USANDO IMAGENS DIGITAIS**

**PROF. DR. CLEITON ANTÔNIO NUNES**

**ORIENTADOR**

**AMANDA CAROLINA SOUZA ANDRADA ANCONI**

**COORIENTADORA**

**LAVRAS-MG**

**2021**

**NATHÁLIA CRISTINA SILVA BRITO**

**DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE PERÓXIDO EM ÓLEOS VEGETAIS USANDO  
IMAGENS DIGITAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de  
Engenharia de Alimentos da  
Universidade Federal de Lavras,  
como requisito parcial para  
obtenção do título de bacharel em  
Engenharia de Alimentos.

**Prof. Dr. Cleiton Antônio Nunes**

**Orientador**

**Amanda Carolina Souza Andrada Anconi**

**Coorientadora**

**LAVRAS-MG**

**2021**

**NATHÁLIA CRISTINA SILVA BRITO**

**DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE PERÓXIDO EM ÓLEOS VEGETAIS USANDO  
IMAGENS DIGITAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de  
Engenharia de Alimentos da  
Universidade Federal de Lavras,  
como requisito parcial para  
obtenção do título de bacharel em  
Engenharia de Alimentos.

APROVADO em 26 de novembro de 2021.

---

Professora Dra. Ana Carla Marques Pinheiro UFLA

---

Thais Cristina Lima de Carvalho UFLA

Prof. Dr. Cleiton Antônio Nunes

Orientador

Amanda Carolina Souza Andrada Anconi

Coorientadora

**LAVRAS-MG  
2021**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, gostaria de agradecer ao meu orientador, o Professor Dr. Cleiton Antônio Nunes, por me conceder a oportunidade de participar de sua equipe no laboratório. Tive o privilégio de receber ensinamentos deste excelente profissional e que foram cruciais para me ajudar a crescer profissionalmente. À minha coorientadora Amanda Carolina Souza Andrada Anconi, por toda paciência em me ajudar durante todo o meu projeto. Aos programas FAPEMIG e PIBIC/UFLA, na qual eu fui bolsista e pude me desenvolver na área da pesquisa. Ao CNPq e CAPES, pelas estruturas nos laboratórios utilizados.

Ao núcleo de estudos(QICafé) e todos os membros, este foi o núcleo que me despertou todo o interesse pelo ramo do Café, tive a oportunidade de crescer o meu lado pessoal e profissional. À Consea Júnior e todas as pessoas que eu tive a oportunidade de trabalhar. Foi uma Empresa Júnior na qual eu desenvolvi o amor por pertencer, a empatia e o profissionalismo, e me despertou cada vez mais o sentimento de ser uma Engenheira de Alimentos.

À Plena Alimentos, empresa na qual tive a chance de realizar meu estágio. À minha equipe, em especial minha coordenadora Aline, profissional espetacular, que me auxiliou, e me transferiu todo conhecimento que tenho em Pesquisa e Desenvolvimento.

Por fim, agradeço a minha família e amigos, pessoas nas quais eu me inspiro todos os dias, e a Deus, por me proteger em todos os momentos. Aos meus pais, Marlene e Aramis, que sempre acreditaram e apostaram na minha escolha profissional, não mediram esforços financeiros e sentimentais para que eu pudesse alcançar todos os meus objetivos, vocês são a minha motivação para continuar trilhando o meu caminho. Aos meus irmãos Douglas e Gustavo, por contribuírem e me apoiarem com meu desafio de sempre estar longe de todos. À minha avó Noêmia, por me abençoar em toda trajetória da faculdade e me ajudar como pôde sempre. Ao meu tio Márcio, que vem me ajudando em toda a trajetória educacional, todos os auxílios, me ajudaram a chegar onde estou. Às minhas amigas Isabele, Layne e Maria Clara por permanecerem comigo e torcerem por minhas conquistas

Ao meu namorado Pedro Henrique, que viveu de perto comigo todas as angústias e conquistas dentro da faculdade, e sempre esteve ao meu lado, me motivando.

“As batalhas determinam as conquistas.”  
Mark Manson

## RESUMO

Os óleos vegetais possuem triacilgliceróis como parte principal de sua composição. Estes são susceptíveis à oxidação, que pode ser desencadeada pela presença de oxigênio, calor ou luz, levando o alimento a desenvolver odores e sabores indesejáveis, o que é conhecido como ranço. Os hidroperóxidos são compostos formados na fase inicial da oxidação, que por meio de reações secundárias, pode levar à deterioração do óleo. O método oficial para a determinação do índice de peróxidos é baseado na titulação iodométrica que, além de demandar consideráveis volumes de reagentes nocivos à saúde e ao meio ambiente, necessita-se de um profissional treinado para identificar o ponto de viragem da titulação. Devido a isso, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um método analítico prático usando uma câmera de smartphone para a determinação de índice de peróxidos em óleos vegetais baseado em sistemas colorimétricos. Para o método proposto, realizou-se a substituição da etapa de titulação por uma foto da mistura com os reagentes. Três sistemas colorimétricos (RGB, Lab e XYZ) foram utilizados para a construção dos modelos de calibração para fins de comparação. Tratamentos matemáticos visando a correção da iluminação também foram considerados. Os índices de peróxidos variaram de 1,99 a 78,61 meqO<sub>2</sub>/kg em amostras testadas. O melhor modelo foi obtido a partir do sistema XYZ com correção de iluminação que considera o somatório das componentes RGB, apresentando R<sup>2</sup> de 0,99 e RMSE de 1,39 meqO<sub>2</sub>/kg. Portanto, o índice de peróxidos em óleos vegetais pode ser determinado por meio de imagens digitais obtidas por câmeras de smartphone acoplado a regressão linear múltipla, sendo a correção da iluminação baseado na padronização das medidas de cor da imagem, um fator imprescindível para a construção precisa do método analítico proposto.

Palavras Chave: Quimiometria, lipídios, oxidação.

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 Justificativa.....	2
1.2 Objetivo Geral .....	2
1.3 Objetivos Específicos .....	3
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>3</b>
2.1 Óleos Vegetais.....	3
2.2 Oxidação Lipídica .....	4
2.3 Métodos para medir a oxidação lipídica .....	5
2.4 Dispositivos móveis e imagens digitais em análise de alimentos .....	6
2.5 Sistemas colorimétricos.....	7
2.5.1 Sistema RGB .....	8
2.5.2 Sistema XYZ.....	9
2.5.3 Sistema Lab .....	9
2.6 Quimiometria .....	10
2.6.1 Calibração Multivariada.....	11
2.6.2 Regressão Linear Múltipla (RLM).....	11
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>12</b>
3.1 Obtenção das amostras .....	12
3.2 Análise do índice de peróxido pelo método oficial .....	12
3.3 Análise do índice de peróxido pelo método proposto .....	13
3.4 Análise estatística.....	14
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>5.CONCLUSÃO .....</b>	<b>22</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>.....</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A qualidade dos alimentos está diretamente relacionada à sua composição. Os lipídios, em especial, desempenham um importante papel quanto às propriedades organolépticas, como sabor, cor e textura. Além disso, os lipídeos são a principal fonte metabólica de ácidos graxos essenciais e vitaminas lipossolúveis, conferindo valor nutritivo aos alimentos que os contêm (BRASIL, 2016).

Os lipídios são moléculas orgânicas formadas por cadeias carbônicas longas, insolúveis em água e solúveis em solventes apolares. Uma das principais fontes de lipídios, os óleos vegetais são constituídos majoritariamente por triacilgliceróis e os ácidos, oleico (C18: 1) linoleico (C18: 2), palmítico (C16: 0) e esteárico (C18: 0) (GIOIELLI, 1996; FONSECA; GUTIERREZ, 1974).

Os óleos vegetais estão sujeitos a um processo degradativo conhecido como oxidação lipídica. Tal processo ocorre devido à presença de oxigênio atmosférico dissolvido no óleo, que reage com os ácidos graxos insaturados presentes em sua composição, ocasionando a perda de estabilidade do produto e, conseqüentemente, redução da vida de prateleira (RAMALHO; JORGE, 2006).

O processo de degradação oxidativa ocorre em vários estágios. Os primeiros compostos formados a partir da oxidação dos ácidos graxos são os hidroperóxidos. Estes, por sua vez, podem sofrer reações secundárias gerando como subprodutos álcoois, cetonas e aldeídos, compostos voláteis responsáveis pelo surgimento de características sensoriais inaceitáveis, com alterações de cor, aroma e sabor. Este processo também é conhecido como rancificação. (JORGE, 2009; NUNES; RESENDE; MAGALHÃES; TAVARES, 2018).

A formação dos hidroperóxidos e a sequência de reações que leva à rancificação do óleo pode ser acelerada por exposição ao oxigênio, temperaturas elevadas, incidência de luz, e pela presença de enzimas ou traços de metais (MELO FILHO; VASCONCELOS, 2016).

A oxidação ocorre principalmente durante o armazenamento dos óleos vegetais, e, dependendo de seu grau, resulta em alterações dos principais parâmetros de qualidade destes alimentos como o índice de acidez e o índice de peróxidos. (NOGALA-KALUCKA *et al.*, 2005; DEGÁSPARI & WASZCZYNSKYJ, 2004).

O índice de peróxido exprime o grau de oxidação inicial do óleo vegetal, caracterizado pela presença de hidroperóxidos. O método oficial para determinação do índice de peróxido consiste

em uma titulação iodométrica, baseada na liberação de iodo pela oxidação do iodeto de potássio pelos peróxidos presentes na amostra. Este método é sensível apenas aos produtos primários da oxidação. O resultado é expresso em miliequivalentes de oxigênio por kg de óleo (AOCS, 2003; CARVALHO, 2017). Este método apresenta limitações quanto à subjetividade das análises e uso excessivo de reagentes potencialmente tóxicos. Diante disso, a análise de determinação do índice de peróxido em óleos vegetais é de extrema importância para verificação da qualidade do produto (LUTZ, 2008).

Atualmente, o uso de imagens digitais em análises de alimentos está se tornando cada vez mais frequente devido ao baixo custo, rapidez e possibilidade da realização de análises não invasivas. Para avaliar a qualidade dos alimentos, a imagem digital substitui o sistema visual humano, muito utilizado neste tipo de análise. Portanto, o uso de imagens digitais, elimina o caráter subjetivo de análises, que existe no sistema visual humano, e que pode ser influenciado por condições ambientais (MILANEZ & PONTES, 2013).

### 1.1 Justificativa

O método titulométrico usado em laboratórios para medir o índice de peróxido em óleos vegetais requer o consumo de elevadas quantidades de reagentes nocivos à saúde e ao meio ambiente, tais como ácido acético e clorofórmio. Além disso, por necessitar de um profissional treinado em relação ao ponto de equivalência da titulação, este método pode levar a erros analíticos. Portanto, para solucionar tais desafios, faz-se necessário o desenvolvimento de alternativas analíticas rápidas, de baixo custo, que possibilitem a redução dos resíduos gerados no processo e elimine sua subjetividade, viabilizando a padronização das análises. Este trabalho contribui com tal proposta, uma vez que emprega imagens digitais associadas a um método quimiométrico de calibração multivariada em substituição à titulação empregada no método oficial. As imagens são obtidas por uma câmera de smartphone, o que torna a análise rápida e acessível. Além disso, a eliminação da etapa de titulação reduz a quantidade de resíduos e torna o método rápido e prático.

### 1.2 Objetivo Geral

Desenvolver e validar um método para determinação do índice de peróxido em óleos vegetais, substituindo-se a etapa de titulação do método oficial por imagens digitais obtidas pela câmera de um smartphone.

### 1.3 Objetivos Específicos

- a) Substituir a etapa de titulação do método oficial para a determinação do índice de peróxido por imagens digitais das soluções;
- b) Extrair informações colorimétricas das imagens a fim de gerar modelos de calibração multivariada;
- c) Usar os modelos de calibração para prever o índice de peróxido de amostras de óleos vegetais;
- d) Validar o método proposto por meio da determinação dos índices de peróxido de amostras externas ao grupo de calibração.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Óleos Vegetais

Os óleos vegetais são produtos compostos principalmente por triacilgliceróis, lipídios formados por três moléculas de ácidos graxos e uma molécula de glicerol, apresentando-se no estado líquido à temperatura ambiente. Estes produtos podem, ainda, conter baixas quantidades de outros lipídeos, como fosfolipídeos, ácidos graxos livres e constituintes insaponificáveis (BRASIL, 2005).

Os óleos vegetais comestíveis são oriundos de óleos brutos, extraídos de grãos de soja, milho, canola, algodão, girassol e arroz, entre outros. A extração é feita por meio do processo de percolação do solvente na massa do produto, e a mistura obtida do processo é submetida à destilação. O óleo destilado passa ainda por um processo de degomagem ou limpeza, que consiste na separação dos triacilgliceróis dos demais elementos indesejáveis (LIMA, 1994).

A cada ano, observa-se o crescimento mundial da produção de óleos vegetais. No período 2020/2021, atingiu-se uma produção de 200 milhões de toneladas globalmente, sendo o Brasil responsável por 5% deste valor, segundo o *United States Department of Agriculture* (USDA).

Estes dados se referem à produção dos óleos de soja, girassol, coco, algodão, palma, palmiste, amendoim e colza (USDA, 2021).

De acordo com Teixeira, Albereci e Pontes (2007), as preocupações com a saúde e a qualidade da alimentação tem feito os consumidores avaliarem melhor a qualidade dos óleos que levam para casa. Além disso, existe um consenso de que lipídios provenientes de óleos vegetais são benéficos à saúde e necessários à manutenção das funções corporais. Em geral, todos os óleos comestíveis possuem em sua composição nutrientes essenciais. O de canola, em especial, é aclamado como um dos óleos mais nobres, por apresentar grandes quantidades de ômega 3, cuja ação protetora dos vasos sanguíneos agrega valor ao produto que a contém. O óleo de soja apresenta um bom percentual de ômega 6, que favorece a regulação dos níveis de colesterol. O óleo de milho contém níveis bons de ômega 6 e o óleo de girassol fornece boas quantidades de ácidos graxos monoinsaturados, que contribuem para a saúde arterial (JUSTINO, 2011).

Apesar dos inúmeros benefícios à saúde, os óleos vegetais podem ter sua qualidade comprometida por processos químicos que levam à sua deterioração, o que gera produtos nocivos à saúde, resultando em prejuízos para consumidores e produtores. A forma mais comum de deterioração destes produtos consiste na oxidação dos lipídios presentes em sua composição.

## 2.2 Oxidação Lipídica

A qualidade dos alimentos está diretamente relacionada às reações de oxidação dos lipídeos, o que constitui um fator limitador da vida de prateleira (MARIUTTI e BRAGAGNOLO, 2009).

No processo de oxidação lipídica, os ácidos graxos insaturados reagem com o oxigênio. Devido a isso, a proporção de ácidos graxos saturados e insaturados é um dos pontos que determinam a estabilidade do alimento frente à reação de oxidação (TIRITAN e BEUX, 2006).

Na Tabela 1, estão indicadas as proporções de ácidos graxos saturados e insaturados presentes nos óleos de canola, girassol, milho e soja (MORETTO & FETT, 1998).

Tabela 1- Teor de ácidos graxos saturados e insaturados em óleos vegetais.

Óleos	Ácido graxo saturado	Ácido graxo monoinsaturado	Ácido graxo poliinsaturado	
			Ácido linoleico	Ácido linolênico
Canola	6%	58%	26%	10%
Girassol	11%	2%	69%	-
Milho	13%	25%	61%	1%
Soja	15%	24%	54%	7%

Fonte: Adaptada de Reda & Carneiro (2007).

Quando o alimento começa o processo de oxidação lipídica, não é possível paralisá-la, uma vez que ocorre em alta velocidade. Devido a isso, determinadas condições são necessárias para que se minimize a possível ocorrência da reação durante o processamento, armazenamento e comercialização do produto. Dentre os fatores que devem ser controlados estão a temperatura, a exposição à luz e o contato com oxigênio (MASUCHI *et al.*, 2008; RAMALHO e JORGE, 2009).

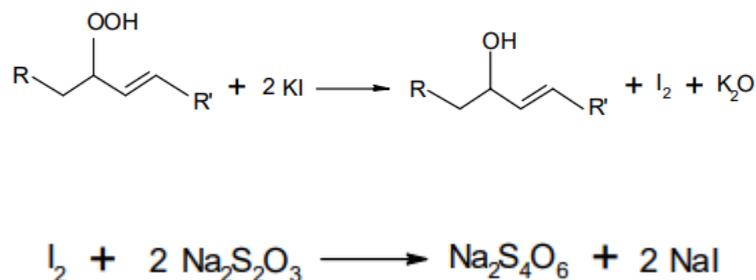
A oxidação lipídica pode ser prevenida pela ação de antioxidantes naturais, existentes nos óleos vegetais ou adicionados. Estas substâncias inibem a reação, ajudando na prevenção da deterioração que ocorre devido à reação de oxidação (NESPOLO, 2015).

### 2.3 Métodos para medir a oxidação lipídica

Dentre os parâmetros empregados para atestar qualidade dos óleos destaca-se a determinação do índice de peróxido. Este é caracterizado pela quantificação dos hidroperóxidos presentes nas amostras de óleo, que desencadeiam reações que resultam na rancidez do mesmo (BARTHUS, 1999).

O método oficial para a determinação do índice de peróxido, descrito pela *International Olive Council* (COI / T.20 / Doc.No35), consiste em uma titulação iodométrica, baseada na liberação de iodo ( $I_2$ ) resultante da oxidação do iodeto de potássio (KI) pelos hidroperóxidos. A determinação é possível pela titulação do iodo ( $I_2$ ) com tiosulfato, usando amido como indicador. As reações químicas envolvidas no processo são expressas na Figura 1.

Figura 1- Mecanismo de reação obtido no método oficial de índice de determinação de peróxido.



Fonte : Silva (2007).

## 2.4 Dispositivos móveis e imagens digitais em análise de alimentos

Para a determinação da qualidade de alimentos, são empregadas técnicas clássicas que, em sua maioria, são metodologias que exigem um alto tempo de análise, necessitam de preparo de amostra, grande quantidade de reagentes e profissionais treinados para realização dos procedimentos (MASINO *et al.*, 2005; GALUSZKA *et al.*, 2013).

Devido a isso, existe atualmente uma alta demanda para desenvolvimento de alternativas que permitam o emprego de tecnologias amigáveis ao meio ambiente, visando a redução do impacto ambiental, a utilização de processos mais rápidos, de fácil aplicabilidade e a redução da subjetividade de algumas análises. Ademais, que permitam análises em laboratório ou diretamente no local de amostragem (ANASTAS & EGHBALI, 2010).

No âmbito de controle de qualidade, nota-se que o uso de equipamentos portáteis para captura de imagens digitais, como os smartphones, vêm sendo explorados. Existem pontos positivos ressaltados para o uso destes dispositivos, como o fato de possuírem câmera embutida com boa resolução. Além disso, por serem dispositivos de fácil movimentação, possibilitam a adaptação da análise ao local onde se encontra amostra, não se limitando aos laboratórios (HELTER *et al.*, 2018).

A partir das informações dos parâmetros de cor associados a sistemas colorimétricas das imagens, e por meio de modelos matemáticos, os dados das imagens digitais podem ser convertidos, por exemplo, em concentração do analito (PERINO *et al.*, 2013).

Pesquisas recentes foram realizadas, empregando-se dispositivos móveis em substituição a análise instrumental oficial. O trabalho desenvolvido por Mohamed e Shalaby (2019), teve como objetivo, por meio de um scanner, uma câmera digital e um smartphone, avaliar a concentração de ferro nas águas do rio Nilo, em solos, amostras vegetais e carnes. Neste trabalho, obtiveram-se

imagens das soluções, e as intensidades das cores do sistema RGB foram convertidas em atributos de acordo com a sensibilidade e limite de detecção. Os autores concluíram que o dispositivo se tornou simples, satisfatório e de fácil aplicabilidade se comparado aos espectrofotômetros disponíveis.

Em estudo conduzido por Helfer *et al* (2018), no qual foi empregado um dispositivo móvel como instrumento de medida quantitativa, avaliou-se a estabilidade térmica do leite cru por meio do teste de alizarol, sendo que a análise foi realizada através da correlação entre o pH e as variações de cores. Os autores constataram que os resultados obtidos foram comparáveis aos obtidos pelo método convencional, apresentando concordância entre 95 e 100,0%. O método foi considerado uma alternativa confiável e prática para o teste do alizarol.

Alguns estudos exemplificam o uso de imagens digitais na análise de óleos vegetais. No trabalho de Burkhardt (2015) foram utilizadas imagens digitais para quantificar misturas de óleos usados como matéria prima para a produção de poliuretanas. Além disso, tem-se também o trabalho de classificação de óleos vegetais comestíveis com relação ao tipo (soja, canola, girassol e milho) e ao estado de conservação (prazo de validade expirado e não expirado) usando imagens digitais e técnicas de reconhecimento de padrões (MILANEZ, 2013). As abordagens apresentaram resultados satisfatórios e semelhantes aos métodos oficiais. Portanto pode-se inferir que o uso de imagens digitais tende a ser uma técnica promissora para monitorar a qualidade de óleos comestíveis.

De um modo geral, para que informações químicas sejam relacionados a dados de cor das imagens digitais, são adotados sistemas colorimétricos convencionais a fim de se obter os parâmetros de distribuição das cores do objeto ou da solução de interesse capturados nas imagens.

## 2.5 Sistemas colorimétricos

A Comissão Internacional de Iluminação (CIE) é uma entidade internacional independente, que define o sistema CIE como a sensação da cor baseado em três elementos: luminosidade ou claridade, tonalidade ou matiz e saturação ou cromaticidade. Dentro do sistema, parte-se do princípio que o ser humano percebe três tipos de cores receptoras, vermelho, verde e azul, e suas combinações. Os padrões para o uso em colorimetria e fotometria são provenientes da CIE para todos os países (CIE, 2021).

### 2.5.1 Sistema RGB

O sistema RGB foi definido em 1931 pela CIE, como modelo básico de cores, no qual as siglas em português correspondem ao vermelho, verde e azul. O sistema ocular humano possui células capazes de detectar estas cores, em faixas altas, médias e baixas no espectro (CIE, 2021)8. Na Figura 2 é possível observar em qual comprimento de onda cada cor pode ser vista.

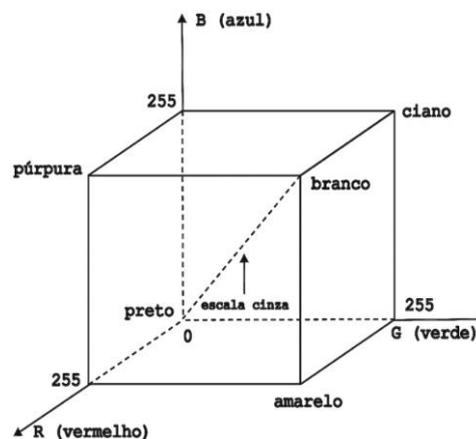
Figura 2 - Comprimento de onda visível para o sistema RGB.

Comprimento de onda $\lambda$	Cor
700 nm	Vermelho
546 nm	Verde
435.8 nm	Azul

Fonte: Adaptada de Alves (2010).

O sistema de cor RGB pode ser representado por um cubo (Figura 3). Para obtenção de uma cor específica, usa-se um intervalo pré-determinado de 0 a 255, para R, G e B. A cor preta é obtida pela combinação (0,0,0), a cor branca (255,255,255), o vermelho (255,0,0), verde (0,255,0) e a cor azul (0,0,255). Ademais, os outros vértices representam a combinação das cores primárias (aqui considerando vermelho, verde e azul como cores primárias) para gerar as demais. Portanto, cada ponto no interior do cubo corresponde a uma cor que pode ser representado pelo sistema RGB (ALVES, 2010).

Figura 3 - Representação do sistema RGB por um cubo de cores.

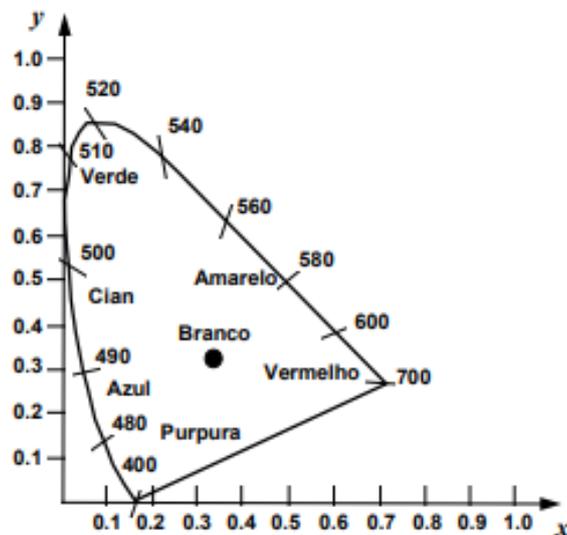


Fonte: Damasceno (2015).

### 2.5.2 Sistema XYZ

Para este sistema, usa-se o X, Y e Z para descrever o espaço entre as cores, obtendo-se um gráfico de representação para que as grandezas sejam facilmente encontradas, entretanto, definindo cores que não estão dentro do espectro visível. A Figura 4 mostra a representação desse sistema, inserido dentro do triângulo das cores primárias de RGB. Ao longo de X para Z no sistema, existem espaços onde existem cores sem luminosidade. A luminosidade é expressa em Y, o ponto de energia branco (W) tem coordenadas de cromaticidade (0.33, 0.33), sendo a soma de cromaticidade igual a 1. Por fim, o parâmetro Z, pode ser calculado por meio das coordenadas X e Y (DENIS; WANDERSON, 2007).

Figura 4 - Diagrama de cromaticidade XYZ.



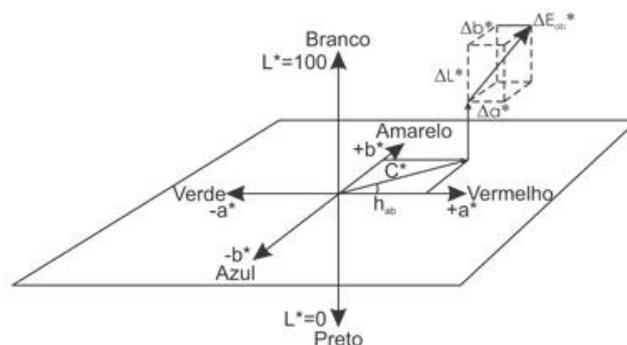
Fonte: Vianna (2001).

### 2.5.3 Sistema Lab

O sistema Lab é baseado em três elementos: a luminosidade ou claridade, a tonalidade ou matiz e a saturação ou cromaticidade. Estes elementos são obtidos por meio dos parâmetros

colorimétricos  $L^*$ ,  $+a^*$ ,  $-a^*$ ,  $+b^*$ ,  $-b^*$  e  $C$ , de acordo com a Figura 5 (BARROS, 2014).

Figura 5 - Representação do sistema colorimétrico Lab.



Fonte: Minolta (1998).

A variável  $L^*$  (luminosidade) é definida pela escala cinza, entre o branco e o preto, na qual o valor 0 é atribuído ao preto absoluto e 100 ao branco total. A tonalidade é expressa pelas cores primárias nas coordenadas do eixo horizontal vermelho-verde ( $+a^*$ ,  $-a^*$ ) e coordenada do eixo vertical amarelo-azul ( $+b^*$ ,  $-b^*$ ) que variam de 0 a 60. A variável  $C$  (saturação ou cromaticidade) consiste no desvio a partir do ponto correspondente ao cinza no eixo  $L^*$  (luminosidade). O ângulo de tinta ( $h^*$ ) é o ângulo do círculo derivado dos valores de  $a^*$  e  $b^*$ . (CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001; GONÇALEZ *et al.*, 2001).

Para que as imagens digitais, monocromáticas ou coloridas, capturadas por dispositivos eletrônicos, possam ser processadas por softwares e aplicativos, é necessário gerar matrizes numéricas,  $m$  por  $n$  pontos, que descrevem a distribuição de diferentes tons nos pixels da região de interesse (REZAZADEH *et al.*, 2019). Com as informações recebidas, utilizadas como sinal analítico, é possível construir modelos de regressão multivariadas. Neste tratamento, os dados de várias amostras, são organizados em matriz  $X$ , obtendo a calibração contra uma coluna  $y$ , no qual contém os valores da propriedade química que se obteve no método de referência (DINIZ, 2020).

## 2.6 Quimiometria

A quimiometria é uma área da química que utiliza métodos matemáticos e estatísticos para extrair a quantidade máxima de informações fornecidas pelos dados. Ademais, dentro da

quimiometria é possível medir muitas variáveis simultaneamente em sistemas multivariados. Para conversão da resposta instrumental na resposta de interesse, é necessário o uso de técnicas de estatística multivariada, álgebra linear e análise numérica (BRUNS, 1985).

A partir dos dados de intensidade dos componentes de cor de cada sistema colorimétrico, e por análise multivariada, é realizada a extração de informações de elementos presentes na foto, denominados como pixels, que serão utilizados na análise quimiométrica (GELADI *et al.*, 1992).

### 2.6.1 Calibração Multivariada

A calibração multivariada consiste em um processo no qual o sinal analítico é relacionado a uma determinada propriedade da amostra em questão, sendo um modelo de calibração uma equação matemática que descreve essa relação (NUNES, 2008).

Os métodos de calibração multivariada podem relacionar duas ou mais respostas instrumentais com as respectivas propriedades de interesse. Esses métodos possibilitam determinações de modo simultâneo e sem resolução do sinal analítico. Devido a isso, modelos de calibração multivariada são uma alternativa quando métodos univariados não podem ser aplicados (OLIVIERI *et al.*, 2006).

Existem diversos métodos para gerar modelos de calibração multivariada, como Regressão por Componentes Principais (PCR), Regressão por Mínimos Quadrados Parciais (PLS) e Regressão Linear Múltipla (RLM) (BRAGA, 2004).

### 2.6.2 Regressão Linear Múltipla (RLM)

Por meio do método dos mínimos quadrados, a RLM tende a estabelecer uma relação linear entre o sinal analítico e a propriedade analisada (SENA, 2004).

Na construção de um modelo RLM cada variável dependente, ou seja, cada vetor  $y$  que contém o valor da propriedade de interesse, é expressa como uma combinação linear das variáveis independentes contidas na matriz  $X$ . O vetor  $b$ , que contém os coeficientes de regressão, é dado pela Equação 1 (SENA, 2004).

$$y = Xb + e \text{ ou } y = b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \quad (1)$$

A solução por mínimos quadrados para se determinar os coeficientes do vetor  $b$  é dada pela Equação 2.

$$b = (X^T X^{-1}) X^T y \quad (2)$$

Amostras de previsão ou de concentração desconhecida podem ser estimadas por meio da Equação 3.

$$\hat{y} = Xb + e \quad (3)$$

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Obtenção das amostras

Foram obtidas no comércio local, amostras de óleos vegetais de girassol, milho, soja e canola, refinados e rancificados. Misturas (1:1) destes óleos também foram consideradas, totalizando dez amostras.

#### 3.2 Análise do índice de peróxido pelo método oficial

O índice de peróxido foi determinado para as dez amostras com base no método descrito pela *International Olive Council* (COIT.20/Doc.No35). Os procedimentos foram realizados em duplicata.

Em um frasco Erlenmeyer, pesou-se 1 g de amostra de óleo vegetal. Em seguida, foram adicionados 4 ml de ácido acético, 6 ml de clorofórmio e 0,5ml de uma solução saturada de iodeto de potássio. A solução resultante foi mantida ao abrigo de luz por 1 minuto e, posteriormente, 10 ml de água destilada foram adicionados à mistura. Para a titulação com tiosulfato de sódio 0,005 M, 0,5 ml de uma solução de amido 1% foi utilizada como indicador. O resultado foi expresso em miliequivalente de peróxido (ou oxigênio ativo) por quilograma de óleo (meq/kg). A análise do branco foi realizada nas mesmas condições.

O cálculo do índice de peróxido foi feito por meio da Equação 4:

$$IP (meq kg) = M x \frac{(V-Vb)}{Ma} x 1000 \quad (4)$$

M: molaridade do tiosulfato (mol/L)

V: volume de tiosulfato gasto na titulação (ml)

Vb : volume de tiosulfato gasto na titulação do branco (ml)

Ma: massa da amostra (g)

### 3.3 Análise do índice de peróxido pelo método proposto

Para o método proposto, realizaram-se as etapas do método oficial anteriores à titulação. Em substituição à titulação, foi obtida uma foto da mistura com o auxílio de um smartphone Moto G5s utilizando o aplicativo Color Picker, logo após a amostra ter permanecido no escuro por um minuto. Este aplicativo também foi usado para obtenção dos valores das componentes de cor. A fim de avaliar o efeito dos sistemas colorimétricos na qualidade dos modelos gerados, os dados das imagens foram expressos em RGB, XYZ e Lab.

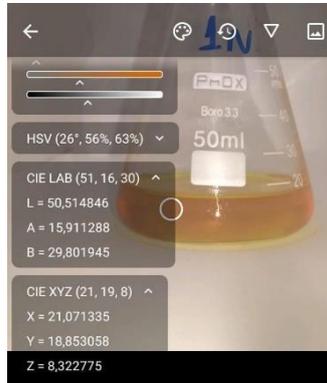
Condições como luz, característica do smartphone utilizado e a distância do telefone em relação à amostra, são pontos que devem se manter constantes para que as respostas sejam confiáveis (REZAZADEH *et al.*, 2019). Deste modo, a fim de criar um ambiente de luz controlado para obtenção das imagens, usou-se uma caixa fechada de dimensões 0,33 m x 0,19 m x 0,12 m (largura x comprimento x altura), com apenas um orifício para o encaixe da câmera do celular e com o interior branco, conforme ilustrado na Figura 6. O Erlenmeyer contendo a mistura reacional foi posicionado no interior da caixa a uma distância de 0,15 m do smartphone, e obtiveram-se as imagens digitais para análise de acordo com os parâmetros dos sistemas colorimétricos utilizados. A Figura 7 ilustra a obtenção de uma imagem da solução pelo aplicativo, bem como os parâmetros de cor gerados para a região de interesse.

Figura 6 - Caixa confeccionada para análise.



Fonte: Do autor (2021).

Figura 7 - Valores obtidos para os sistemas colorimétricos por meio do aplicativo Color Picker.



Fonte: Do autor (2021).

### 3.4 Análise estatística

Os valores das componentes dos sistemas colorimétricos RGB, XYZ e Lab, obtidos a partir das imagens digitais foram calibrados por Regressão Linear Múltipla contra os respectivos índices de peróxidos obtidos pelo método padrão, sendo 25% das amostras separadas para grupo teste e usado para validar o modelo desenvolvido. A construção dos modelos de regressão foi realizada com o auxílio do software Chemoface (NUNES, 2012). Para a separação das amostras em grupo teste e grupo de calibração, usou-se o algoritmo Kennard-Stone (KENNARD & STONE, 1969).

A fim de melhorar a capacidade preditiva dos modelos gerados, foram realizados tratamentos matemáticos para correção da iluminação, aqui descritos como soma, média e divisão. Os cálculos realizados em cada caso são descritos nas Equações 5, 6 e 7:

$$\begin{array}{l} \text{Soma} \\ \text{Média} \end{array} \quad \frac{R}{\sum RGB} \quad \frac{G}{\sum RGB} \quad \frac{B}{\sum RGB} \quad \frac{X}{\sum XYZ} \quad \frac{Y}{\sum XYZ} \quad \frac{Z}{\sum XYZ} \quad \frac{L}{\sum Lab} \quad \frac{a}{\sum Lab} \quad \frac{b}{\sum Lab} \quad (5)$$

$$\text{Divisão} \quad \frac{R}{\underline{RGB}} \quad \frac{G}{\underline{RGB}} \quad \frac{B}{\underline{RGB}} \quad \frac{X}{\underline{XYZ}} \quad \frac{Y}{\underline{XYZ}} \quad \frac{Z}{\underline{XYZ}} \quad \frac{L}{\underline{Lab}} \quad \frac{a}{\underline{Lab}} \quad \frac{b}{\underline{Lab}} \quad (6)$$

$$\frac{R}{G} \quad \frac{R}{B} \quad \frac{G}{R} \quad \frac{G}{B} \quad \frac{B}{R} \quad \frac{B}{G} \quad \frac{X}{Y} \quad \frac{X}{Z} \quad \frac{Y}{X} \quad \frac{Y}{Z} \quad \frac{Z}{X} \quad \frac{Z}{Y} \quad \frac{L}{a} \quad \frac{L}{b} \quad \frac{a}{L} \quad \frac{a}{b} \quad \frac{b}{L} \quad \frac{b}{a} \quad (7)$$

Anteriormente a cada etapa de calibração foi realizada a detecção e eliminação de amostras anômalas (*outliers*) com base na *leverage* e no resíduo de *Student*.

Realizou-se a validação por randomização de  $y$ , este teste é útil para avaliar indícios de sobreajuste ou casualidade de ajuste do modelo. Como nesse teste a matriz  $X$  é mantida fixa e o vetor  $y$  é embaralhado, os modelos obtidos devem ser de baixa qualidade (ROY *et al.*, 2009).

Para realização do teste de validação cruzada, utilizou-se o método por unidade (*leave-one-out cross-validation*), no qual uma ou mais amostras são retiradas do conjunto de calibração, e, então, é desenvolvido um modelo com as amostras remanescentes, realizando a precisão, ou erro de precisão, para estas amostras. Posteriormente, são introduzidas novamente no conjunto de dados e outras amostras são retiradas. Portanto, isto é repetido  $n$  vezes, até que todas amostras sejam examinadas. (SILVA *et al.*, 2010; FERREIRA, 1999 ).

Para medir a eficiência dos modelos de calibração multivariada, avaliou-se o cálculo dos valores da raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE – do inglês, root mean square error), que podem ser observados na equação 8. Estes valores expressam a exatidão do modelo, ou seja, o quão próximo é o valor calculado pelo modelo predito ( $y_{pred}$ ) e o valor verdadeiro ou obtido por um método de referência ( $y_{real}$ ) (DE CASTRO, 2009).

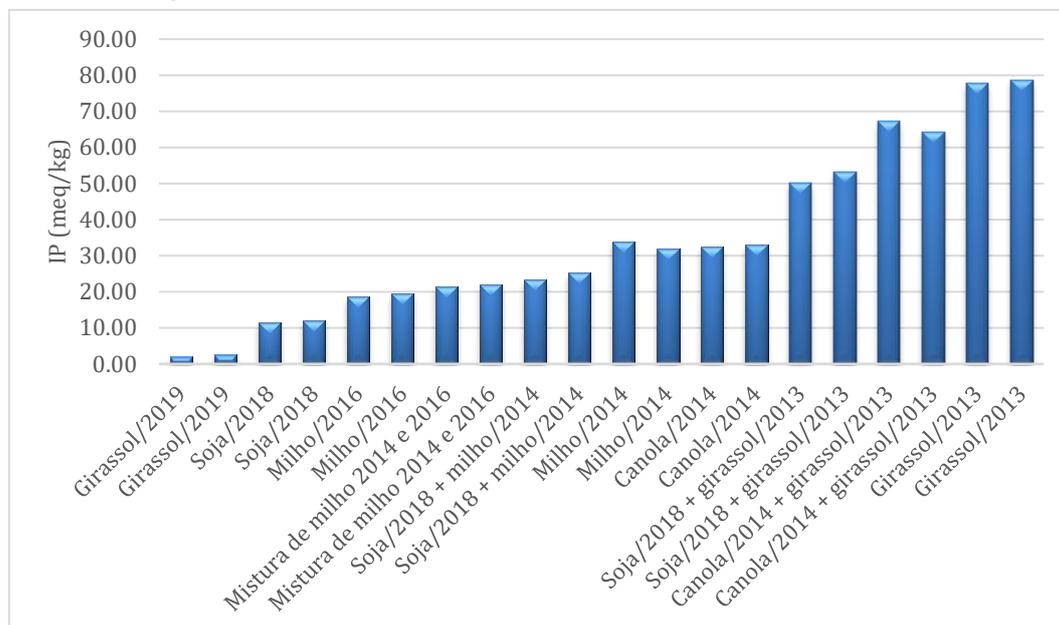
$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_{pred} - y_{real})^2} \quad (8)$$

Ademais, o  $R^2$ , o coeficiente de correlação, também foi avaliado, sendo representado de 0 a 1. Este, indica a inclinação da reta do gráfico dos valores reais e previstos pelo modelo (DE CASTRO, 2009). O parâmetro  $R^2_m$  é usado para atestar se os valores reais e preditos são congruentes, sendo considerado aceitável um valor  $>0,5$ . (MITRA *et al.*, 2010).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a descrição da metodologia, o trabalho foi desenvolvido considerando como referência e como parâmetro de calibração o método padrão para determinação do índice de peróxido. Os índices de peróxido obtidos para as amostras analisadas são apresentados na Figura 8.

Figura 8 - Gráfico com resultado do Índice de peróxido nas amostras, separadas por tipo de óleo e seu ano de fabricação.



Fonte: Do autor (2021).

Observou-se que o índice de peróxido variou de 1,99 a 78,61 meq/kg, sendo os maiores valores encontrados para as amostras mais antigas, as quais ficaram expostas a ambientes com incidência de luz e oxigênio, o que provavelmente influenciou a formação dos hidroperóxidos. É necessário ressaltar que as amostras foram escolhidas propositalmente para que o estudo fosse desenvolvido para uma ampla faixa de índice de peróxido.

Após a obtenção das imagens usando o aplicativo Color Picker, os valores das componentes de cor dos sistemas colorimétricos estudados foram calibrados por RLM contra os índices de peróxido obtidos pelo método oficial. A fim de melhorar a capacidade preditiva dos modelos construídos a partir dos sistemas RGB, XYZ e Lab, 3 tipos de correção de iluminação foram empregados, conforme descrito nas Equações 5, 6 e 7.

Os resultados foram avaliados em termos do erro quadrático médio (RMSE) e do coeficiente de correlação ( $R^2$ ) e são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros de desempenho para os modelos preditivos de índice de peróxido em óleos vegetais.

	RGB				XYZ				Lab			
	s/correção	soma	média	divisão	s/correção	soma	média	divisão	s/correção	soma	média	divisão
RMSEv	11,28	9,58	9,93	5,10	5,38	6,11	9,06	9,49	10,76	9,61	5,40	8,04
R <sup>2</sup> v	0,77	0,84	0,83	0,96	0,90	0,88	0,85	0,84	0,79	0,85	0,91	0,89
RMSEc	8,15	6,98	7,12	2,46	3,71	4,34	6,59	3,06	7,54	6,80	3,47	2,69
R <sup>2</sup> c	0,88	0,92	0,91	0,99	0,95	0,94	0,92	0,98	0,90	0,92	0,96	0,99
RMSE y rand	21,48	20,45	20,55	16,96	15,35	16,02	20,66	16,71	19,59	21,46	15,45	17,75
R <sup>2</sup> y rand	0,16	0,26	0,26	0,49	0,20	0,18	0,20	0,46	0,30	0,20	0,23	0,41
R <sup>2</sup> p (y-rand)	0,80	0,77	0,77	0,71	0,85	0,86	0,81	0,72	0,73	0,82	0,84	0,75
RMSEp	6,44	5,92	6,18	4,06	5,57	1,39	4,85	5,14	7,50	3,83	3,54	2,69
R <sup>2</sup> p	0,90	0,92	0,91	0,98	0,91	0,99	0,85	0,88	0,90	0,96	0,98	0,95
R <sup>2</sup> m	0,83	0,87	0,91	0,86	0,56	0,97	0,81	0,88	0,82	0,88	0,80	0,84
n	20	20	20	20	17	17	19	19	19	19	17	18

Fonte: Do autor (2021).

Legenda: RMSE: Erro quadrático médio de validação cruzada (RMSEv); de calibração (RMSEc); e de predição (RMSEp). R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação de validação cruzada (R<sup>2</sup>v); de calibração (R<sup>2</sup>c); e de predição (R<sup>2</sup>p). n: número de amostras utilizadas.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 2, os modelos construídos a partir das componentes dos sistemas RGB, XYZ e Lab apresentaram capacidades preditivas semelhantes, com RMSEp de 6,44, 5,57 e 7,50 e  $R^2p$  de 0,90, 0,91 e 0,90, respectivamente.

Para os três sistemas colorimétricos estudados, observou-se que os tratamentos matemáticos para correção de iluminação melhoraram a qualidade de predição dos modelos, considerando que menores valores de RMSEp e maiores valores de  $R^2p$  foram obtidos.

Para o sistema RGB, o tratamento no qual foi aplicada a correção por divisão apresentou o melhor resultado, promovendo uma redução no valor RMSEp de 6,44 para 4,06, e um aumento de 0,90 para 0,98 em relação ao  $R^2p$ . A mesma tendência foi observada para o RMSE e  $R^2$  de calibração e validação cruzada. A representação gráfica desse resultado pode ser observado na Figura 9 (d).

Para os modelos construídos a partir do sistema XYZ, a melhor correção foi aquela que considerou o somatório das componentes, para o qual se obteve uma diminuição do RMSEp de 5,57 para 1,39. Para o valor de  $R^2p$  houve um aumento de 0,91 para 0,99. Este resultado não foi observado para RMSE e  $R^2$  de calibração e validação cruzada. Na Figura 10 (b), é representado este comportamento por meio do gráfico de valores preditos versus medidos.

Para o sistema Lab, a melhor correção foi considerando-se a divisão das componentes, na qual RMSEp diminuiu de 7,50 para 2,69, e  $R^2p$  aumentou de 0,90 para 0,95. RMSE e  $R^2$  de calibração e validação cruzada também foram influenciados por essa correção, tendo seus valores diminuído e aumentado, respectivamente, como representado graficamente na Figura 11 (d).

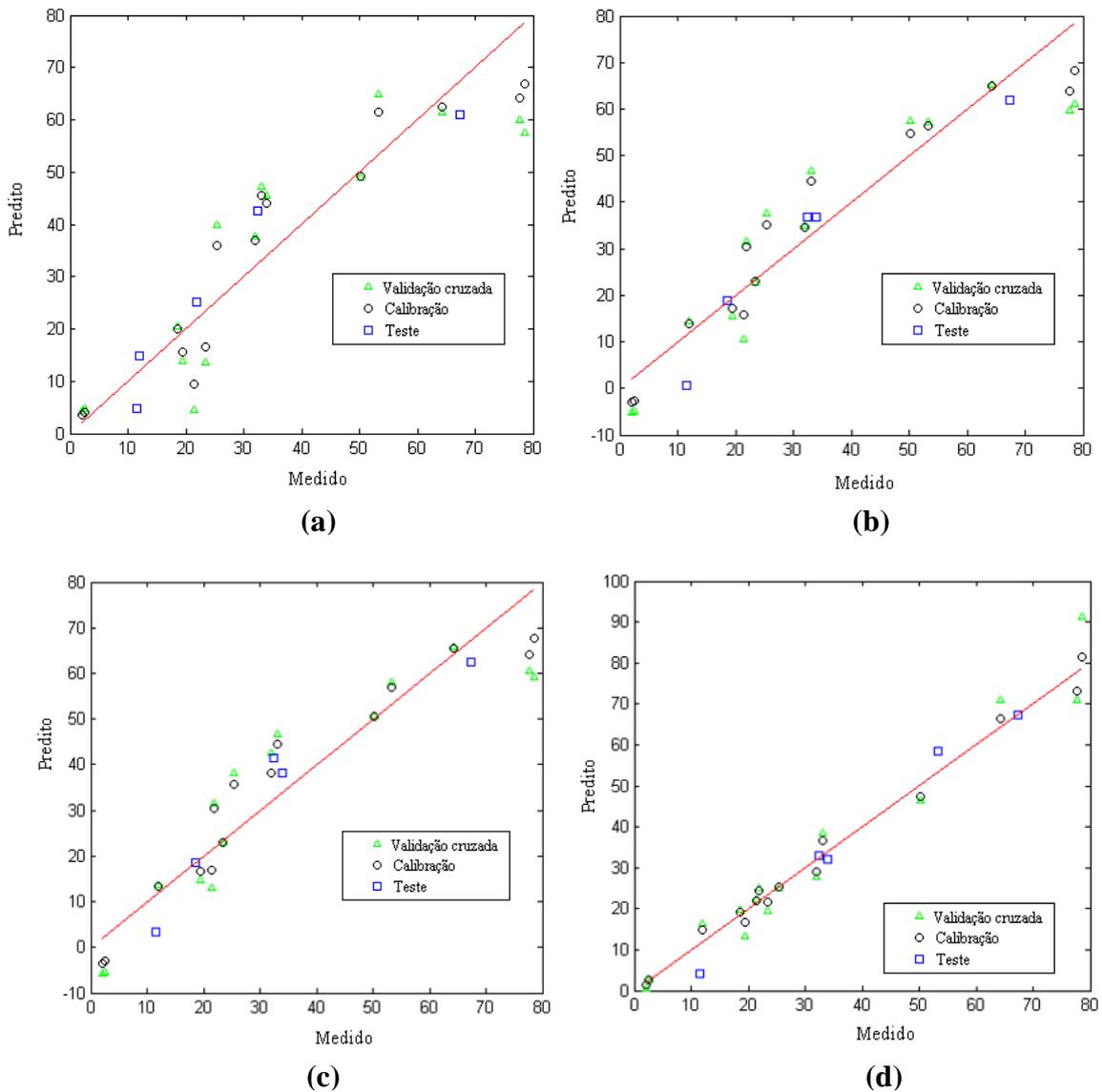
Para o teste de validação por randomização de y, espera-se que o modelo seja de baixa qualidade. Isso pôde ser observado para todos os modelos, corrigidos ou não, que tiveram seus valores de RMSEyrand variando entre 15,35 e 21,48 e  $R^2$  entre 0,16 e 0,49, atestando a má qualidade dos modelos obtidos para a randomização de y e, portanto, a ausência de sobreajustes ou casualidade nos ajustes.

Foi observado que para todos os modelos construídos, o parâmetro  $R^2m$  foi maior que 0,5, variando de 0,56 a 0,97, atestando a congruência entre os valores medidos e preditos.

Diante dos resultados apresentados, evidencia-se que o modelo com melhor qualidade preditiva foi aquele obtido pelo sistema colorimétrico XYZ, com correção por somatório. Neste modelo, o valor alto de  $R^2p$  (0,99) aponta um bom ajuste do modelo em relação aos dados obtidos. O menor valor de RMSEp (1,39), em paralelo aos demais, indica melhor predição e, portanto, melhor exatidão do modelo em relação ao índice de peróxido encontrado pelo método padrão.

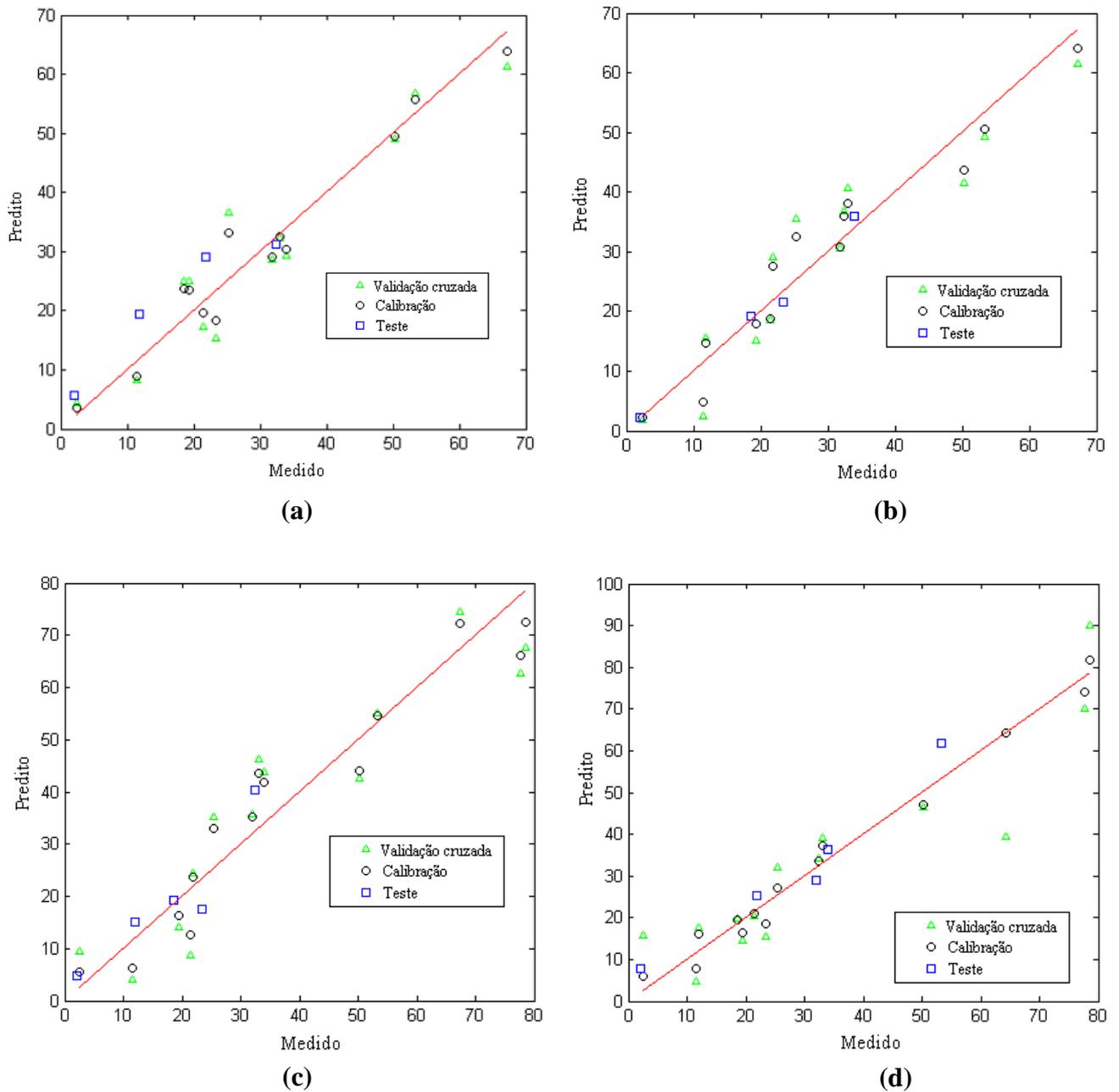
Nas Figuras 9, 10 e 11, são apresentadas as comparações gráficas entre os valores determinados pelo método padrão (medido) e pelo método proposto (predito) para os modelos RGB, XYZ e Lab sem correções e com correções de iluminação, respectivamente.

Figura 9 - Comparações gráficas entre os valores determinados pelo método oficial (medido) e pelo e método proposto (predito) para o modelo RGB. a) sem correção, (b) com correção pelo somatório, (c) com correção pela média, (d) com correção pela divisão.



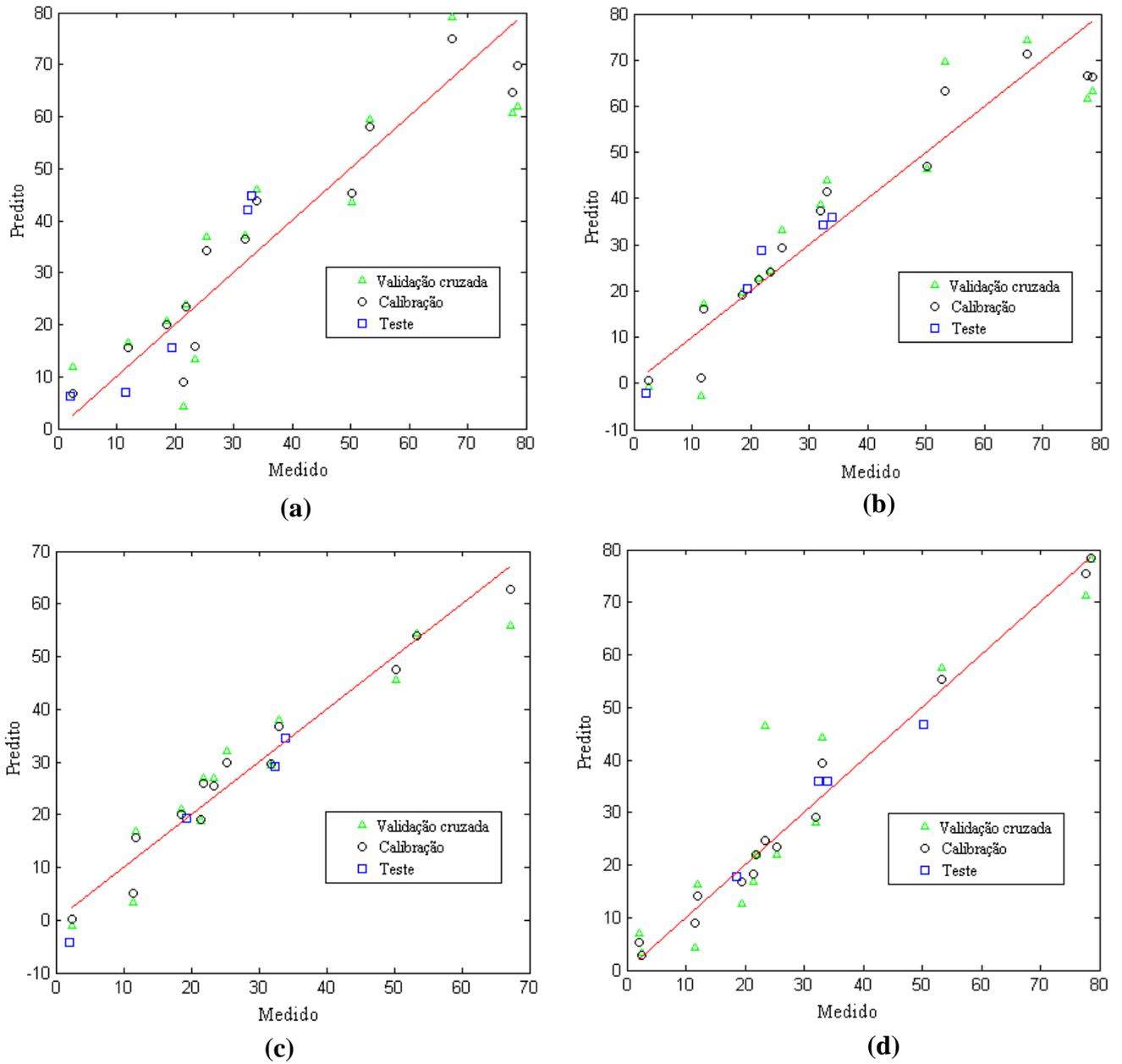
Fonte: Do autor (2021).

Figura 10. Comparações gráficas entre os valores determinados pelo método oficial (medido) e pelo método proposto (predito) para o modelo XYZ. a) sem correção, (b) com correção pelo somatório, (c) com correção pela média, (d) com correção pela divisão.



Fonte: Do autor (2021).

Figura 11. Comparações gráficas entre os valores determinados pelo método oficial (medido) e pelo método proposto (predito) para o modelo Lab. a) sem correção, (b) com correção pelo somatório, (c) com correção pela média, (d) com correção pela divisão.



Fonte: Do autor (2021).

## 5.CONCLUSÃO

No presente trabalho, observou-se que é possível determinar o índice de peróxido em óleos vegetais por meio de imagens digitais capturadas por câmeras de smartphone e modelos de calibração multivariada. A correção de iluminação promoveu uma melhora na capacidade preditiva, sendo imprescindível para construção de modelos mais precisos. O melhor desempenho foi obtido pelo modelo gerado a partir do sistema XYZ, com correção baseada na soma das componentes de cor. Portanto, infere-se que o método desenvolvido torna a determinação do índice de peróxido em óleos vegetais uma análise simples, rápida e não subjetiva.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, D.R. **Avaliação dos Modelos de Cores RGB e HSV na segmentação de Curvas de Nível em Cartas Topográficas Coloridas**[dissertação]. Belo Horizonte: Universidade Católica de Minas Gerais, 2010.

ANASTAS, P.; EGHBALI, N. Green chemistry: principles and practice. **Chemical Society Reviews**, v. 39, n. 1, p. 301-312, 2010.

ARANHA, OLIVEIRA, J. M. D., BELLIO, L. O., & BONVENTI, W.A lei de Hooke e as molas não-lineares, um estudo de caso. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 38, 2016.

BARROS, S. V. dos S.; MUNIZ, G. I. B. de; MATOS, J. L. M. Caracterização colorimétrica das madeiras de três espécies florestais da Amazônia. **Cerne**, v. 20, n. 3, p. 337-342, 2014.

BARTHUS, R. C; Dissertação de Mestrado – **Aplicação de Métodos Quimiométricos para Análises de Controle de Qualidade de Óleos Vegetais Utilizando Espectroscopias no Infravermelho e Raman**. UNICAMP, Campinas – S.P,1999.

BRAGA, Jez Willian B.; POPPI, Ronei Jesus. Validação de modelos de calibração multivariada: uma aplicação na determinação de pureza polimórfica de carbamazepina por espectroscopia no infravermelho próximo. **Química Nova**, v. 27, p. 1004-1011, 2004.

BRASIL, FOOD INGREDIENTS. Os lipídios e suas principais funções. **Revista Fi**, n. 37, p. 55-61, 2016.

BRASIL. BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução **RDC nº 270**, de 22 de setembro de 2005. Aprova o “Regulamento Técnico para Óleos Vegetais, Gorduras Vegetais e Creme Vegetal”.

BRUNS, R.E.; FAIGLE, J.F.G.; “Quimiometria”, **Quím. Nova**, 8:84 (1985).

BURKHARDT, G. M. Dissertação de Mestrado - **Uso da imagem digital para quantificação de misturas de óleos vegetais usados como matéria-prima para produção de poliuretanas**.2015.

CAMARGOS, J. A. A.; GONÇALEZ, J. C. A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. **Brasil Florestal**, Rio de Janeiro, ano 20, n. 71, p. 30-41, 2001.

CARVALHO, A.C.O. **Características físico-químicas de óleos vegetais comestíveis puros e adulterados**. Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2017.

CIE - COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE. Disponível em: <https://cie.co.at/about-cie/cie-s-objectives> . Acesso em: 24 de outubro, 2021.

DAMASCENO, D. ,TOLEDO, T. G., GODINHO, M. S., SILVA, C. P. D., OLIVEIRA, S. B. D., & OLIVEIRA, A. E. D. . Análise multivariada de imagens na química: um experimento para determinação do pH de águas potáveis. **Química Nova**, v. 38, p. 836-841, 2015.

DE CASTRO, Ribeiro. **Emprego de espectrometria no infravermelho e métodos quimiométricos para a identificação e quantificação de petróleos a partir de misturas de frações de diesel**. 2009. Tese de doutorado. Universidade federal do espírito santo.

DEGÁSPARI, C.H.; WASZCZYNSKYJ, N. (2004) Propriedades antioxidantes de compostos fenólicos. **Visão Acadêmica**, (5) 1, 33-40.

DENIS, C.; ASSIS, W. O. Seleção de Tomates para Processamento Industrial por Meio de Redes Neurais Aplicadas em Sistema de Visão Computacional. In: Anais do VIII Congresso Brasileiro de Redes Neurais. 2007.

DINIZ, P. H. G. D. Chemometrics-assisted color histogram-based analytical systems. **Journal of Chemometrics**, v. 34 n. 12, p. 1–27, 2020.

FONSECA, H.; GUTIERREZ, L. E. Composição em ácidos graxos de óleos vegetais e gorduras animais. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v. 31, p. 485-490, 1974.

FERREIRA, M. M. C., ANTUNES, A. M., MELGO, M. S., & VOLPE, P. L. Chemometrics I: multivariate calibration, a tutorial. **Química Nova**, v. 22, p. 724–731, 1999.

GALUSZKA, A.; MIGASZEWSKI, Z.; NAMIEŚNIK, J. The 12 principles of green analytical chemistry and the SIGNIFICANCE mnemonic of green analytical practices. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 50, p. 78-84, 2013.

GELADI, P. Some special topics in multivariate image analysis. **Chemometrics and intelligent laboratory systems**, v. 14, n. 1-3, p. 375-390, 1992.

GIOIELLI, L. A. Óleos e gorduras vegetais: composição e tecnologia. **Revista brasileira de farmacognosia**, v. 5, p. 211-232, 1996.

GONÇALEZ, J. C.; JANIN, G.; SANTORO, A. C. S.; COSTA, A. F.; VALLE, A. T. Colorimetria quantitativa: uma técnica objetiva de determinar a cor da madeira. **Brasil Florestal**, Rio de Janeiro, ano 20, n. 72, p. 47-58, 2001.

HELFER, G. A.; TISCHER, B.; FILODA, P. F.; PARCKERT, A. B.; DOS SANTOS, R. B.; VINCIGUERRA, L. L., ... & DA COSTA, A. BA new tool for interpretation of thermal stability of raw milk by means of the alizarol test using a PLS model on a mobile device. **Food Analytical Methods**, v. 11, n. 7, p. 2022-2028, 2018.

JORGE, N. Química e tecnologia de óleos vegetais. **São Paulo: Cultura Acadêmica**, 2009. 165p.

JUSTINO, A. L.; LAGE, M. M. R.; PEREIRA, T. G. G.; RODRIGUES, M. F.; CABRAL, M., SILVA, M. A., ... & EPIFANIO, Y. A engenharia de produzir sabonetes com óleo vegetal uma produção sustentável. **e-xacta**, v. 4, n. 2, 2011.

KENNARD, R. W.; STONE, L. A. Computer aided design of experiments. **Technometrics**, v. 11, n. 1, p. 137-148, 1969.

LIMA, J. R.; GONÇALVES, A. G; Parâmetros de avaliação da qualidade de óleo de soja utilizado para fritura; **Química Nova**, 17 (5), 392-396, 1994.

LIMA, J.R.; GONÇALVES, L.A.G. Avaliação analítica de óleos utilizados em processo de fritura. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 2, p. 186-192, 1995.

LUTZ–OAL, Instituto Adolfo. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 2008.

MARIUTTI, L. R. B.; BRAGAGNOLO, N. A oxidação lipídica em carne de frango e o impacto da adição de sálvia (*Salvia officinalis*, L.) e de alho (*Allium sativum*, L.) como antioxidantes naturais. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 68, n. 1, p. 1-11, 2009.

MARMESAT, S.; RODRIGUES, E.; VELASCO, J., & DOBARGANES, C. Quality of used frying fats and oils: comparison of rapid tests based on chemical and physical oil properties. **International journal of food science & technology**, v. 42, n. 5, p. 601-608, 2007.

MASINO, F.; CHINNICI, F.; FRANCHINI, G. C.; ULRICI, A.; ANTONELLI, A. A study of the relationships among acidity, sugar and furanic compound concentrations in set of casks for Aceto Balsamico Tradizionale of Reggio Emilia by multivariate techniques. **Food chemistry**, v. 92, n. 4, p. 673-679, 2005.

MASUCHI, M. H.; CELEGHINI, R. M. D. S.; GONÇALVES, L. A. G.; GRIMALDI, R. Quantificação de TBHQ (terc butil hidroquinona) e avaliação da estabilidade oxidativa em óleos de girassol comerciais. **Química nova**, v. 31, p. 1053-1057, 2008.

MELO FILHO, A. B.; VASCONCELOS, M. A. S. **Química dos alimentos**, 2016.

MILANEZ, M. T. D. K.; PONTES, C. J. M. Dissertação de Mestrado- **Classificação de óleos vegetais comestíveis usando imagens digitais e técnicas de reconhecimento de padrões**, v.113, p.10- 16, 2013.

MINOLTA. Precise color communication: color control from perception to instrumentation. Tokyo, 1998. p. 59.

MOHAMED, A. A.; SHALABY, A. A. Digital imaging devices as sensors for iron determination. **Food chemistry**, v. 274, p. 360-367, 2019.

MORETTO, E. F. **Óleos e Gorduras Vegetais: Processamento e Análises. 2a. ed. Editora da UFSC**, 1998.

NESPOLO, C. R; DE OLIVEIRA, F. A.; PINTO, F. S. T.; OLIVERA, F. C. Práticas em tecnologia de alimentos. **Artmed Editora**, 2015.

NOGALA-KALUCKA, M.; KORCZAK, J.; DRATWIA, M.; LAMPSRT-SZCZAPA, E.; SIGER, A.; BUCHOWSKI, M. (2005) Alterações na atividade antioxidante e no potencial de eliminação

de radicais livres do extrato de alecrim e tocoferóis em triacilgliceróis de óleo de colza isolados durante testes acelerados. **Food Chemistry**, (93), 227-235.

NUNES, C.A; RESENDE, L.M.B; MAGALHÃES, K.T; TAVARES, T.S. Índices químicos para determinação da qualidade do azeite de abacate. **EPAMIG Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.39, n.303, 2018.

NUNES, Cleiton A. *et al.* Chemoface: a novel free user-friendly interface for chemometrics. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 23, n. 11, p. 2003-2010, 2012.

NUNES, P. G. A. **Uma nova técnica para seleção de variáveis em calibração multivariada aplicada às espectroscopias UV-VIS e NIR**. 2008. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado)—Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

OLIVIERI, A. C. *et al.* Uncertainty estimation and figures of merit for multivariate calibration (IUPAC Technical Report). **Pure and Applied Chemistry**, v. 78, n. 3, p. 47 633–661, 2006.

PERINO, S. *et al.* Portable microwave assisted extraction: Na original concept for green analytical chemistry. **Journal of Chromatography A**. v. 1315, p. 200-203, 2013.

RAMALHO, V. C.; JORGE, N. Antioxidantes utilizados em óleos, gorduras e alimentos gordurosos. **Química nova**, p. 755-760, 2006.

REDA, S.Y; CARNEIRO, P.I.B. Óleos e gorduras: Aplicações e implicações, **Revista Analytica**, 2007.

REZAZADEH, M.; SEIDI, S.; LID, M.; PEDERSEN-BJERGAARD, S.; YAMINI, Y. The modern role of smartphones in analytical chemistry. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 118, p. 548–555, 2019.

ROY, Chanchal K.; CORDY, James R.; KOSCHKE, Rainer. Comparison and evaluation of code clone detection techniques and tools: A qualitative approach. **Science of computer programming**, v. 74, n. 7, p. 470-495, 2009.

SENA, M. M. de *et al.* Aplicação de métodos quimiométricos de primeira e segunda ordem na determinação direta de fármacos por espectroscopia molecular. 2004.

SILVA, T. O. **Estudo Da Emissão De Aldeídos E Outros Cov Por Óleos De Dendê E Soja Em Diferentes Condições, Sob Aquecimento A Temperatura De Processos De Fritura.** 2007. Dissertação - Instituto de Química, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.

SILVA, I. N. da; SPATTI, D. H; FLAUZINO, R. A. **Redes Neurais Artificiais para engenharia e ciências aplicadas: curso prático.** 399 p Ed Artliber - SP, Universidade de São Paulo. 2010.

TEIXEIRA, E.; ALBERECI, R. M.; PONTES, S. **Trabalhando no reaproveitamento de óleo de cozinha usado.** Rio de Janeiro: Departamento de Economia Doméstica. Instituto de Ciências Humanas e Sociais, UFRJ, 2007.

TIRITAN, M. G.; BEUX, S. Controle da qualidade do óleo de soja degomado. **Synerg Scyent**, v. 1, n. 1-4, p. 306-316, 2006.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, (USDA) F. Oilseeds: World Markets and Trade. p. 1-42, 2020. Disponível em: <https://www.ers.usda.gov/data-products/oilcrops-yearbook/>. Acesso em 24 outubro. 2021.

VIANNA, A. C. **Computação Gráfica.** 2001.