

GLEISSON ANTONIO DE ALMEIDA

**METODOLOGIA DE BAIXO CUSTO COM USO DO SMARTPHONE NO
MONITORAMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE NITRITO EM EMBUTIDOS
CÁRNEOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Química em Rede Nacional, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Marcelo Henrique dos Santos

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da Universidade Federal de Viçosa**

T

Almeida, Gleisson Antonio de, 1985-

A447m Metodologia de baixo custo com o uso do smartphone no
2021 monitoramento da concentração de nitrito em embutidos cárneos
/ Gleisson Antonio de Almeida. – Viçosa, MG, 2021.
62 f.: il. (algumas color.); 29 cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Marcelo Henrique dos Santos.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa. Inclui bibliografia.

1. Nitritos - Toxicologia. 2. Photometrix (Software).
3. Aplicativos móveis. 4. Embutidos (Alimentos).
5. Smartphones. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Química. Programa de Pós-Graduação
em Química em Rede Nacional. II. Título. Metodologia de
baixo custo com uso do smartphone no monitoramento da
concentração de nitrito em embutidos cárneos.

CDD 22. ed. 541.041

Bibliotecário(a) responsável: Bruna Silva CRB6/2552

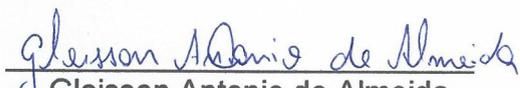
GLEISSON ANTONIO DE ALMEIDA

**METODOLOGIA DE BAIXO CUSTO COM USO DO SMARTPHONE NO
MONITORAMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE NITRITO EM EMBUTIDOS
CÁRNEOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Química em Rede Nacional, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 29 de abril de 2021.

Assentimento:


Gleisson Antonio de Almeida

Autor


Marcelo Henrique dos Santos
Orientador

Aos meus pais e irmãos.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, por ter me proporcionado esse momento e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos durante a realização deste trabalho.

Ao professor Marcelo Henrique dos santos, meu orientador, que teve toda paciência e empenho em compartilhar parte de seus saberes e não me deixar desistir dessa conquista.

Ao professor Antônio Jacinto Demuner, que sempre esteve disposto a ajudar com sua experiência e seus conhecimentos.

Aos meus pais, minhas irmãs e a minha esposa, que sempre estiveram ao meu lado, dando-me apoio e nunca ter me deixado desistir.

À Daiane Einhardt Blank, pela dedicação, pelo tempo dedicado a esse projeto e por não ter me deixado fraquejar em momentos difíceis.

Aos mestres e amigos do Profqui, que contribuíram e apoiaram para realização deste sonho.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste projeto.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

(Marthin Luther King)

RESUMO

ALMEIDA, Gleisson Antonio, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2021. **Metodologia de baixo custo com uso do smartphone no monitoramento da concentração de nitrito em embutidos cárneos.** Orientador: Marcelo Henrique dos Santos.

A ingestão frequente de embutidos cárneos contendo concentração de nitrito acima do limite estabelecido pela legislação brasileira pode causar diversas doenças. Atualmente, o monitoramento do nível de nitrito nas matrizes alimentares para consumo humano é realizado utilizando métodos analíticos, que são relativamente caros e utilizam equipamentos de difícil acesso para análises fora do laboratório. Portanto, surge a necessidade de desenvolver métodos alternativos, visando rapidez, praticidade, mobilidade e redução do custo das análises. O aplicativo para smartphone PhotoMetrix® é um software livre de análise de imagens digitais que utiliza modelos matemáticos univariados e multivariados. A captura de imagens pode ser feita através do próprio smartphone ou com uma câmera USB externa. Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar o uso do PhotoMetrix® no monitoramento da concentração de nitrito em embutidos cárneos. O método espectrofotométrico de referência foi utilizado para comparação dos resultados. Os resultados indicaram concordância entre os métodos, mostrando um coeficiente de correlação (R^2) de 0,9940 para o canal Red. Desta forma, a utilização do PhotoMetrix® e smartphone se mostrou um método satisfatório para a determinação de nitrito, podendo se tornar uma alternativa viável para o monitoramento da qualidade dos embutidos cárneos.

Palavras-chave: PhotoMetrix. Nitrito. Embutidos cárneos. Smartphone.

ABSTRACT

ALMEIDA, Gleisson Antonio, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, April, 2021. **Low cost methodology with smartphone use in monitoring nitrite concentration in meat sausages.** Adviser: Marcelo Henrique dos Santos.

Frequent ingestion of meat sausages containing nitrite concentration above the limit established by Brazilian legislation causes several diseases. Currently, the monitoring of the nitrite level in food matrices for human consumption is performed using analytical methods, which are relatively expensive and use difficult-to-displace equipment for analysis outside the laboratory. Therefore, there is a need to develop alternative methods, aiming at speed, practicality, mobility and cost reduction of analyses. The PhotoMetrix smartphone app® is a free digital image analysis software using univariate and multivariate mathematical models. Image capture can be done through the smartphone itself or with an external USB camera. In this sense, the aim of this study was to evaluate the use of PhotoMetrix® in monitoring nitrite concentration in meat sausages. The reference spectrophotometric method was used to compare the results. The results indicated agreement between the methods, showing a coefficient of determination (R^2) of 0.0940 for the Red channel. Thus, the use of PhotoMetrix® and smartphone proves to be a satisfactory method for the determination of nitrite, and can become a viable alternative for monitoring the quality of meat sausages.

Keywords: PhotoMetrix. Nitrite. Inlaid meats. Smartphone.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Esquema 1: Etapas da metodologia para determinação de nitrito	23
Figura 1. Preparo dos extratos com amostras de embutidos cárneos	24
Figura 2. Procedimento de trituração das amostras	24
Figura 3. Filtração dos extratos das amostras	25
Figura 4. Variação de cor para o padrão utilizado na construção da curva analítica	26
Figura 5. Construção da curva analítica	26
Figura 6. Placa de porcelana para verificação de variação de cores	26
Figura 7. Solução de Reagente 1, 2 e nitrito de sódio	27
Figura 8. Menu inicial do aplicativo PhotoMetrix	29
Figura 9. Modo de operação no aplicativo PhotoMetrix	29
Figura 10. Construindo a curva de calibração	29
Figura 11. Capturando imagens	30
Figura 12. Curvas analíticas obtidas nos canais RGB para o padrão nitrito	30
Figura 13. Curva analítica obtida no canal red (R) para o padrão nitrito	32
Figura 14. Curva analítica com padrão nitrito obtida no UV-Vis	33
Figura 15. Curvas analíticas obtidas nos canais RGB para o padrão nitrito	38
Figura 16. Curva analítica obtida no canal red (R) para o padrão nitrito	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Concentração de nitrito (ppm) e valores dos canais RGB	31
Tabela 2. Intensidade de cores obtidas na leitura na amostra A	33
Tabela 3. Intensidade de cores obtidas na leitura na amostra B	33
Tabela 4. Intensidade de cores obtidas na leitura na amostra C	34
Tabela 5. Intensidade de cores obtidas na leitura na amostra D	34
Tabela 6. Intensidade de cores obtidas na leitura na amostra E	34
Tabela 7. Intensidade de cores obtidas na leitura na amostra F	34
Tabela 8. Teor de nitrito nas amostras analisadas por UV-Vis	35
Tabela 9. Concentração de nitrito nas matrizes alimentares obtidas usando o App e o UV-Vis	35
Tabela 10. Concentração de nitrito (ppm) e valores dos canais RGB	39
Tabela 11. Intensidade de cores obtidas na leitura na amostra A	40
Tabela 12. Intensidade de cores obtidas na leitura na amostra B	40
Tabela 13. Intensidade de cores obtidas na leitura na amostra C	40
Tabela 14. Intensidade de cores obtidas na leitura na amostra D	40
Tabela 15. Intensidade de cores obtidas na leitura na amostra E	40
Tabela 16. Intensidade de cores obtidas na leitura na amostra F	40
Tabela 17. Teor de nitrito nas amostras analisadas por PhotoMetrix	41

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	14
2.1. Objetivo Geral	14
2.2. Objetivos específicos	14
3. REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1. Embutidos cárneos	15
3.2. Nitrito	16
3.3. Consequências da presença de nitrito em matrizes alimentares	17
3.4. Métodos analíticos para determinação de nitrito e nitrato	18
3.5. Modelo RGB	18
3.6. Determinação química usando imagem digital	19
3.7. Tema Gerador no ensino de química	21
3.8 Química verde	21
4. MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1. Matrizes alimentares	23
4.2. Processamento da amostra	23
4.2.1. Extração	23
4.3. Determinação de nitrito	25
4.4. Reagentes	27
4.5. Aplicativo PhotoMetrix	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1. Determinação de nitrito em matrizes alimentares	33
5.2. Determinação de nitrito reduzindo volume do reagente	37
5.3. Produto educacional	42
6. CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
APÊNDICE: PRODUTO EDUCACIONAL	53

1 INTRODUÇÃO

A legislação brasileira através da Instrução Normativa nº 51 de 29 de dezembro de 2006 (IN 51/2006) estabeleceu que os níveis residuais máximos de nitrito expressos em nitrito de sódio não devem ultrapassar 150 mg/kg do produto final (BRASIL, 2006). Nesse sentido, o monitoramento do teor de nitrito é fundamental, devido aos problemas causados da ingestão excessiva desses aditivos químicos (CARTAXO, 2015).

Vários relatos na literatura mostram métodos para determinação de nitrito em diversas matrizes, envolvendo técnicas cromatográficas (HELALEH e KORENAGA, 2000; KODAMATANI, 2011), eletroquímicas (MANEA, 2010), eletroforese capilar (ERDOGAN e ONAR, 2011), espectrofotométricas (AYALA, 2012), quimiluminescência (ATTIQ-UR-REHMAN, 2011) e fluorimetria (HUANG, 2006).

No entanto, estas metodologias apresentam baixa mobilidade, utilizam grandes quantidades de reagentes químicos e necessitam de equipamentos caros. Evidenciando maior rapidez, mobilidade e economia nas análises, softwares de análise colorimétrica e várias análises químicas vem sendo desenvolvidos utilizando imagem digital (BÖCK *et al.*, 2020). Dentre algumas aplicações tem sido descrito a classificação do tipo de solo (HAN *et al.*, 2016), determinação do teor de biodiesel em diesel (SOARES *et al.*, 2020), de fósforo em solo (MOONRUNGSEE *et al.*, 2015), de cromo e de ferro em amostras de água (FIRDAUS *et al.*, 2014), de antibióticos de tetraciclina em leite bovino (URAPEN E MASAWAT, 2015), interpretação da estabilidade térmica do leite cru através do teste de Alizarol (HELFER *et al.*, 2018), determinação de iodo em biodiesel (SOARES *et al.*, 2017), classificação de cédulas brasileiras (VITTORAZZI *et al.*, 2020), determinação de flúor e de fósforo em água (PAPPIS *et al.*, 2019), verificação de cromo em amostras de couro (COSTA *et al.*, 2019), investigação do teor de clorofila em plantas (MOHAN *et al.*, 2019), medição do ozônio troposférico (CERRATO-ALVAREZ *et al.*, 2019), monitoramento do crescimento de plantas na agricultura (LI *et al.*, 2020), determinação de titânio em plástico (LOPEZ-MOLINERO *et al.*, 2010), determinação de diclofenaco de sódio, dipirona de sódio e gluconato de cálcio drogas injetáveis (LYRA *et al.*, 2011); demonstração do princípio da absorção usando a análise de imagem de cores digitais (KOHL *et al.*, 2006), demonstração da espectrometria de emissão de chama

baseada em imagem digital (LYRA *et al.*, 2009), monitoramento de flúor em água (LEVIN, 2016).

Os avanços tecnológicos na aquisição e no processamento de imagens vêm despertando o interesse dos pesquisadores, principalmente devido à comprovação da eficácia dos seus resultados frente a equipamentos e métodos colorimétricos tradicionais. Nas determinações químicas onde acontece a modificação de cor mediante uma reação química, é possível capturar e processar essas imagens, resultando em uma análise mais rápida, com menor custo, sendo uma alternativa a utilização de equipamentos robustos e sofisticados, como espectrofotômetros e colorímetros (HELFER *et al.*, 2017; BAZANI *et al.*, 2021).

Dentre os modelos de cores, o RGB tem sido o mais conhecido e utilizado. Para geração de uma cor, o modelo usa três canais: vermelho (R), verde (G) e azul (B). Cada canal possui um valor que varia de 0 a 255. Assim, cada cor possuirá valor de R, valor de G e valor de B (ABDOLMALEKY *et al.*, 2017).

Nesse sentido, aplicativos para smartphone vem sendo desenvolvidos, dentre eles o PhotoMetrix vem destacando-se pela sua funcionalidade (HELFER *et al.*, 2017) que captura e analisa imagens digitais através de modelos matemáticos univariados e multivariados, como análise de componentes principais (PCA, do inglês, *Principal Component Analysis*), análise de agrupamento hierárquico (HCA, do inglês, *Hierarchical Cluster Analysis*) e regressão pelo método dos quadrados mínimos parciais (PLS, do inglês, *Partial Least Squares*).

As imagens podem ser capturadas através da câmera do próprio dispositivo (PhotoMetrix PRO), ou através de uma câmera USB conectada ao smartphone (PhotoMetrix UVC), resultando em uma análise versátil, acessível e rápida. O aplicativo está disponível gratuitamente na Google Play (Android) ou App Store (IOS). Assim, o presente estudo objetivou verificar a viabilidade da utilização do aplicativo PhotoMetrix na análise de nitrito em embutidos cárneos adquiridos comercialmente nos mercados de Viçosa-MG.

A vídeo-aula utilizando o aplicativo do celular (app) PhotoMetrix como tema gerador de ensino pode ser utilizada nas aulas de química do ensino médio das escolas proporcionando aos professores uma ferramenta alternativa para abordar conceitos teóricos de química. A realização de métodos inovadores de análise química de diferentes amostras possibilita o aumento da interação do aluno com o

conteúdo abordado, estimulando a curiosidade e aumentando a capacidade de assimilação do conteúdo, contribuindo para uma aprendizagem significativa e contextualizada. Desta forma, espera-se que, na aplicação dos resultados, os alunos de escolas de ensino médio possam ter, no futuro, uma maior consciência acerca dos riscos causados pelos aditivos nitrito e nitrato nos alimentos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Determinar o teor de nitrito em embutidos cárneos utilizando imagens digitais obtidas por smartphone com aplicativo PhotoMetrix.

2.2 Objetivos específicos

- Utilizar métodos analíticos para determinar o teor de nitrito em amostras de embutidos cárneos;
- Comparar os resultados da concentração de nitrito obtidos pelo PhotoMetrix com os do método espectrofotométrico tradicional;
- Relacionar o teor de nitritos com parâmetros exigidos pela legislação brasileira;
- Verificar a concentração de nitrito nas amostras utilizando menor quantidade de reagente;
- Desenvolver um kit de baixo custo para aplicação de análise de nitrito na sala de aula de química do ensino médio;
- Trabalhar com os alunos do segundo e do terceiro ano do ensino médio os conteúdos de química analítica e de química orgânica relacionados à presença de nitrito em alimentos cárneos naturais e industrializados;
- Conscientizar os alunos sobre os problemas causados ao sistema digestório pelo excesso de sais de nitrito.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Embutidos cárneos

Os embutidos cárneos são capazes de corresponder às expectativas da população em relação aos novos hábitos alimentares adotados. A praticidade no preparo desses produtos faz com que esta seja sua principal conveniência (TRENTINI & MACEDO, 2019). Os produtos cárneos como salsichas, mortadelas e linguiças têm se tornado cada vez mais presentes na dieta alimentar da população brasileira. Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE] (2020), a aquisição domiciliar *per capita* anual dos brasileiros para os embutidos foi de 0,81 kg (salsicha), 0,58 kg (mortadela) e 2,15 kg (linguiça). Os embutidos são os produtos cárneos elaborados com carne ou com órgãos comestíveis, curados ou não, condimentados, cozidos ou não, defumados e dessecados ou não, tendo como envoltório a tripa, a bexiga ou outra membrana animal (BRASIL, 2017). Segundo a Secretaria de Vigilância Sanitária (BRASIL, 1997), aditivo alimentar é qualquer ingrediente adicionado intencionalmente aos alimentos, sem propósito de nutrir, com o objetivo de modificar as características físicas, químicas, biológicas ou sensoriais, durante a fabricação, processamento, preparação, tratamento, embalagem, acondicionamento, armazenagem, transporte ou manipulação de um alimento. Sais de cura como nitrato e nitrito promovem o sabor e o desenvolvimento da coloração rósea, característica de carnes curadas. Estes produtos são amplamente utilizados na indústria de alimentos, especialmente em produtos cárneos como aditivos alimentares. Além disso, são empregados a fim de retardar o processo de oxidação dos lipídios, evitar a rancificação e inibir o crescimento de micro-organismos patogênicos, principalmente o *Clostridium botulinum* e seus esporos, o qual produz a toxina botulínica potencialmente fatal (CASSENS, 1997; SILVA, 1999; DUARTE, 2010).

Apesar dos seus benefícios, esses sais quando utilizados em excesso podem acarretar sérios riscos à saúde humana, representados pela metamioglobina tóxica e pela formação de nitrosaminas, as quais originam compostos nitrosos de ação carcinogênica (FRATUCCI, SILVA & GUEDES, 2017). Para a World Health Organization [WHO] (2015), existem evidências suficientes para classificar as carnes processadas no Grupo 1 (contém agentes cancerígenos para humanos) devido a sua relação com câncer colorretal. A segurança das carnes curadas e sua qualidade

nutricional estão entre as principais preocupações dos serviços de fiscalização de alimentos, visto que tais produtos são de consumo popular no Brasil entre todas as faixas etárias e níveis sociais (CASSENS, 1997; SILVA, 1999). Visando controlar os níveis desses aditivos em produtos cárneos, a legislação brasileira através da Instrução Normativa nº 51 de 29 de dezembro de 2006 (IN 51/2006) estabeleceu que os níveis residuais máximos de nitrato e nitrito expressos em nitrito de sódio não devem ultrapassar 150 mg kg^{-1} do produto final (BRASIL, 2006). Dessa forma, o monitoramento do teor de nitrato e de nitrito é de fundamental importância, uma vez que a população desconhece os problemas decorrentes da ingestão excessiva desses componentes e também pelo fato de não ser possível avaliar se determinado produto contém mais nitrito que o permitido apenas pelo aspecto visual, o que torna necessária a sua análise laboratorial (CARTAXO, 2015).

3.2 Nitrito

O nitrito é a partícula conjugada do ácido nitroso e não deve ser confundido com o nitrato. Quando se apresentam como nitritos inorgânicos na forma MNO_2 , sendo M um metal, são insolúveis, com exceção dos nitritos alcalinos. Entretanto, como nitritos orgânicos eles podem ser isoméricos, mas não idênticos aos correspondentes compostos nitro, que são grupos funcionais com a mesma fórmula e estrutura do nitrato, porém com substituição do átomo de O_2 por um grupo R. O nitrito tem massa molecular de $46,005 \text{ g/mol}$ e pode se apresentar como uma solução incolor ou sólidos cristalinos. Seu contato com a pele e olhos pode causar irritações, além de ser tóxico se ingerido, assim como o nitrato. Este pode causar a toxicose através do metabolismo entero-hepático de nitrato em amoníaco (NH_3), tendo o nitrito como intermediário. Também pode oxidar os átomos de ferro na hemoglobina, transformando o ferro (II) para ferro (III), incapacitando-a de transportar oxigênio – condição denominada como metemoglobinemia. Os nitritos em alimentos podem ser intencionalmente adicionados ou de ocorrência/formação não intencional. Quando intencionalmente adicionados, visam três importantes papéis nos alimentos, exercendo ação antibacteriana dose-dependente especialmente em produtos cárneos não estéreis (BELITZ, 1997), inibindo principalmente o *Clostridium botulinum* (SHIBAMOTO, 1996) e microrganismos formadores de esporos como *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens*, entre outros, além de impedir a oxidação lipídica

(rancidez) e conseqüentemente a putrefação dos alimentos e distúrbios de saúde relacionados à sua ingestão (NAS, 1981). Além disso, fixa e/ou intensifica a coloração avermelhada nos produtos cárneos devido aos pigmentos nitrosilmioglobina e nitrosilhemoglobina que são formados pela redução do nitrito a óxido nítrico o qual se combina com a metamioglobina originando a nitrosometamioglobina, que pode reduzir-se a nitrosomioglobina (SHIBAMOTO, 1996; REYES, 2009b; ROÇA, 2000). Outro papel dos nitritos é fornecer o que pode ser descrito como um sabor “curado”, perceptível, por exemplo, no bacon, em quantidade que gira em torno de 50 mg kg^{-1} (BELITZ, 1997). Mesmo sendo menos usado que o nitrito, o nitrato é a sua principal fonte, responsável por seu surgimento e pela manutenção de níveis eficazes para a conservação dos alimentos (NAS, 1981).

3.3 Conseqüências da presença de nitrito e de nitrato em matrizes alimentares

Como mencionado anteriormente, os produtos cárneos passam por uma adição de sais de cura para melhorar suas propriedades sensoriais. Este procedimento inclui a adição de cloreto de sódio e sais de nitrito e/ou nitrato. A ação de fixação de cor nas carnes através do nitrato foi descoberta ocasionalmente por ser impureza presente no sal de cloreto de sódio. Além de agir como intensificador de cor nas carnes, o nitrito também é utilizado na conservação de peixes e na produção de queijo com o objetivo de retardar a oxidação de lipídios, reduzir odores na oxidação da gordura, propiciar melhor textura dos alimentos e atuar com efeito antimicrobiano. Naturalmente, o nitrato pode estar presente em carnes frescas, leite e produtos lácteos, cereais, frutas, bebidas alcoólicas e vegetais. Na maioria desses alimentos a concentração de nitrato é inferior a 10 mg kg^{-1} e dificilmente ultrapassa 100 mg kg^{-1} . No entanto, em vegetais e salsichas os teores podem se apresentar entre 200 e 2500 mg kg^{-1} . Caso a aplicação dos sais de cura ultrapassem os limites recomendados pela legislação vigente, podem existir graves riscos à saúde humana como a toxicidade aguda e crônica. Como visto, o excesso de nitrito ingerido pode ocasionar a metemoglobinemia, que impede que as hemoglobinas transportem o oxigênio. Além disso, sua reação com aminas e amidas, como as nitrosaminas e nitrosamidas, podem originar substâncias com comportamento carcinogênico, mutagênico e teratogênico. O nitrato não é tão tóxico como o nitrito, porém é possível que NO_3^- seja reduzido a NO_2^- através de enzimas

oriundas de microrganismos presentes ao manusear e processar inadequadamente os alimentos, além do ambiente ácido no estômago que também favorece a redução. Entretanto, é possível tratar a toxicologia do nitrito quanto a metemoglobinemia, com o azul de metileno, capaz de atuar como redutor no lugar do NO_2^- através da recepção de um íon H^+ oriundo do NADPH chegando a azul de leucotoleno que possibilita a captação do H^+ pela metemoglobinemia, que volta a ser uma hemoglobina funcional. O esquema de desintoxicação transforma o Fe^{3+} em Fe^{2+} .

3.4 Métodos analíticos para determinação de nitrito e de nitrato

Na literatura têm sido publicados muitos métodos para determinação de nitrito e de nitrato em diversas matrizes, envolvendo técnicas cromatográficas (HELALEH e KORENAGA, 2000; KODAMATANI, 2011), eletroquímicas (MANEA, 2010), eletroforese capilar (ERDOGAN e ONAR, 2011) e espectrofotométricas (AYALA, 2012). Algumas metodologias também utilizam as técnicas de quimiluminescência (ATTIQ-UR-REHMAN, 2011) e fluorimetria (HUANG, 2006).

Os métodos sequenciais geralmente são baseados na determinação espectrofotométrica do íon nitrito via reação de Griess. Para a determinação de nitrato, este passa por uma etapa de redução a nitrito, antes da reação colorimétrica e da detecção. Há uma variedade de agentes redutores de nitrato a nitrito, se diferenciado essencialmente quanto à eficiência na redução. Dentre estes reagentes redutores destacam-se a liga de cádmio cobreado (AYALA, 2012). Os métodos espectrofotométricos são os mais amplamente utilizados na determinação dos íons nitritos e nitratos, devido aos baixos limites de detecção e simplicidade. Sendo mais utilizada a reação de Griess, na qual o íon nitrito reage com a sulfanilamida em meio ácido formando um sal de diazônio que reage por acoplamento com cloridrato de *N*-(1-naftil) etilenodiamina (NED) formando um diazo composto, de coloração vermelha que apresenta um máximo de absorção em torno de 540 nm (RAMOS, 2006).

3.5 Modelo RGB

Em 1931 a comissão internacional de iluminação (CIE-Commission 38 internationale de l'Éclairage) criou um modelo matemático chamado CIE-RGB que

utiliza as cores primárias vermelha (R-red), verde (G-green) e azul (B-blue), no qual a partir das diferentes possibilidades de combinações aditivas dessas cores são representadas todas as outras cores do espectro visível (POYNTON, 2003). Com esse modelo foi possível medir quantitativamente as cores e representá-las numericamente, dando os alicerces para os estudos de colorimetria (GILCHRIST e NOBBS, 1999).

O modelo RGB é representado por um cubo em coordenadas cartesianas, onde cada cor primária representa um dos eixos e assume valores finitos que variam de zero (0) a um (1). Onde, o valor um (1) corresponde à intensidade máxima com que a cor primária pode ser representada no gráfico e o valor zero (0) à intensidade mínima. Nesse sistema, para carregar as informações digitais dos componentes vermelho, verde e azul são usados 8 bits (1 byte) para cada, isso significa que, os componentes do sistema RGB só podem assumir 256 níveis discretos de intensidade. Ou seja, o valor de cada componente primária só pode ser medida de 0 a 255, onde 0 é ausência de cor e 255 é a intensidade máxima. Como imagem digital é formada pelo conjunto de pequenos quadrados (pixel), quanto mais pixel por área da imagem maior a resolução. Porém, quanto mais pixel maior será o tamanho do arquivo (em bytes) de imagem e maior será o espaço ocupado na memória do computador. No sistema RGB, em cada pixel é registrado uma cor que corresponde à combinação dos valores das componentes vermelha, verde e azul. Assim, para cada pixel são utilizados 3 bytes e pode ter 16,7 milhões ($256 \times 256 \times 256$) de possibilidade de cores do visível diferentes. O pixel com valores de $R=0$, $G=0$, $B=0$ possui cor preta e com $R=255$, $G=255$, $B=255$ cor branca. Vale ressaltar que a quantidade de possibilidades de cores que o pixel no sistema RGB pode assumir é muito maior que a quantidade de cores que o olho humano tem sensibilidade para distinguir.

3.6 Determinação química usando imagem digital

Métodos de análises químicas baseadas na formação de produtos coloridos a partir da reação de um analito de interesse com um reagente específico tem sido vastamente utilizados, sendo estes denominados de métodos colorimétricos. Sem dúvidas, a espectrofotometria na região do visível é a técnica mais aplicada nas análises colorimétricas quantitativas. A espectrofotometria tem se mostrado bastante

robusta no que diz respeito às 40 variedades de espécies químicas que podem ser analisadas (ROCHA e TEIXEIRA, 2004). No contexto da analítica quantitativa, os trabalhos com a espectrofotometria têm visado o emprego de estratégias para aumentar a sensibilidade e conseqüentemente a obtenção de limites de detecção cada vez menor (ROCHA e TEIXEIRA, 2004). Atualmente tem se buscado a diminuição do tamanho dos sistemas de análises espectrofotométricas a ponto da portabilidade, o que possibilita análises *in situ* e aquisição de dados em tempo real (STEIMLE, 2002). Entretanto, sistemas espectrofotométricos com dimensão reduzida e com boa precisão ainda possuem um custo relativamente elevado. Uma saída satisfatória nas análises colorimétricas seria a utilização de sistemas com detecção por dispositivos de capturas de imagens digitais (KOMPANY-ZAREH, 2002; WONGWILAI, 2010).

Na maioria dos métodos analíticos baseados em imagens digitais, as respostas analíticas são obtidas extraído através de softwares as informações que as imagens carregam, como por exemplo, os valores das cores primárias no sistema de cor RGB, e aplicando-as em modelos matemáticos (MALEKI, 2004; GAIAO, 2006; LOPEZ-MOLINERO, 2010). A possibilidade do desenvolvimento de procedimentos quantitativos em microescala para determinação simultânea de várias espécies de interesse, tem tornado os métodos por imagens digitais muito atraentes do ponto de vista analítico (SOLDAT, 2009). Martinez e colaboradores (2008) desenvolveram um método colorimétrico para determinação simultânea de glicose e proteína em urina. Outra aplicação interessante e recente de imagens digital é na utilização de webcam como detector em sistemas de análises em fluxo. Andrade e colaboradores (2012) propuseram um sistema de análise em fluxo-batelada baseado em imagem digital para determinação de Al (III) e Cr (VI) em água. Com a metodologia conseguiram precisão para o Al (III) de 1,5% na faixa linear de trabalho de 10 a 600 $\mu\text{g L}^{-1}$ e para o Cr (VI) precisão de 1,7% na faixa de 10 a 300 $\mu\text{g L}^{-1}$.

A combinação de imagem digital e colorimetria tem oferecido uma rota de alto potencial analítico em processamentos qualitativos e em medidas quantitativas. Isso só foi possível porque, nos últimos anos ocorreram avanços nas tecnologias de fotografia digital, tanto em termos de hardware quanto no desempenho dos softwares, proporcionando o desenvolvimento de equipamentos de baixo custo e melhorias na

precisão e no desempenho dos dispositivos de obtenções das imagens (BYRNE, 2000; GAIAO, 2006).

3.7 Tema gerador no ensino de química

O uso de temas geradores no ensino de Química, pode ser de diferentes modos, como na introdução de conceitos ou compreensão do cotidiano a partir de conceitos teóricos abordados na sala de aula. Assim o tema gerador deve proporcionar conhecimento aos estudantes, vinculando conceitos científicos à realidade (MARCONDES *et al.*, 2007). No ensino de Química, o uso de tema gerador desperta o interesse nos estudantes (CAVALCANTI *et. al.*, 2010) além de ser evidenciado como um facilitador no processo de aprendizagem (DELIZOICOV *et al.*, 2009).

O tema gerador de ensino de química envolve outras disciplinas desencadeando outros temas e conteúdos não só da Química, mas de outras disciplinas como a biologia, a física, entre outras, além da problematização daquele assunto, sendo assim uma utilização interdisciplinar. Os temas mais comuns são os da temática ambiental e de saúde. Durante as pesquisas podem ser encontrados trabalhos, artigos científicos livros didáticos como base para desenvolver um tema gerador de ensino. Para a elaboração e introdução de temas geradores é possível trabalhar com assuntos que estejam em evidência nas redes sociais, nos noticiários televisivos, entre outros (SANTOS e SCHNETZLER, 2003).

3.8 Química Verde

Cada vez mais vem aumentando as recomendações para adequar o método de determinações químicas à realidade de “química verde”, buscando sustentabilidade, substituindo ou diminuindo a quantidade de reagentes utilizada, ou ainda, modificando procedimentos analíticos no laboratório (SIMEONE, 2005).

Química Verde ou Química para o Desenvolvimento Sustentável vem sendo desenvolvida com objetivo de reduzir o uso de substâncias que prejudicam a saúde humana e o meio ambiente (LENARDÃO *et al.* (2003).

Como a Química está no cotidiano da população, conforme Atkins e Jones (2012), entendemos que ela desempenhou e continua a desempenhar um papel fundamental

em nossa vida, por isso, estão sendo pesquisadas formas que promovam e melhorem a qualidade de vida e a acessibilidade para todos.

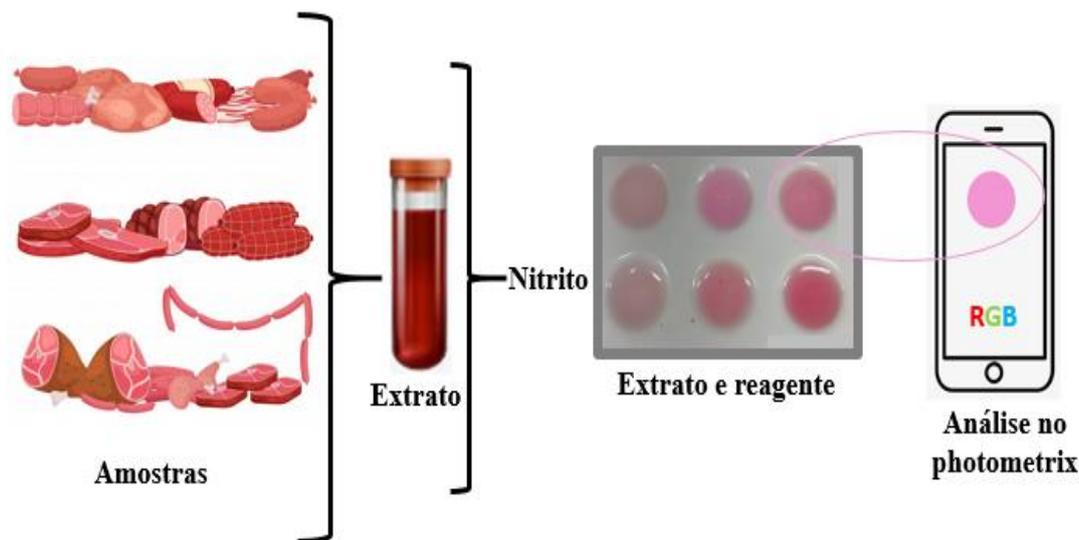
Com relação a história, o livro “Primavera Silenciosa” (Silent Spring), lançado em 1962 e escrito pela bióloga americana Rachel Carson, tem sido considerado uma publicação com foco em questões ambientais e a obra fundadora do movimento ambientalista moderno (BONZI, 2013). Nessa importante obra a autora afirma que “o problema central de nossa era se tornou a contaminação de todo o meio ambiente com substâncias de incrível potencial danoso” (CARSON, 2015).

Na década de 70, a Conferência de Estocolmo ficou conhecida como a primeira conferência da Organização das Nações Unidas (ONU) com foco em questões ambientais. Nesse evento, centenas de nações participaram e elaboraram dois documentos chamados a “Declaração Sobre Meio Ambiente Humano” e o “Plano de Ação Mundial”, surgindo assim a Educação Ambiental. Em 1999, o Brasil criou a “Política Nacional de Educação Ambiental” e deu outras providências com a Lei no 9.795, que no seu art. 1 define a “Educação Ambiental” como sendo: o processo por meio do qual o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade (BRASIL, 1999b).

Nessa época surgiram nacionalmente as primeiras disciplinas em Educação Ambiental nos cursos de graduação (MOZETO; JARDIM, 2002). Com isso, percebe-se que a história do surgimento do tema em questão é relativamente recente, embora, atualmente, sua repercussão e relevância tenham tomado uma proporção mundial com o grande crescimento global. Nesse contexto, a Química vem exercendo uma importante função, por exemplo, no que diz respeito à inserção de produtos com um desenvolvimento sustentável para o consumo humano.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia seguiu a sequência apresentada no Esquema 1: preparo da amostra, preparo do extrato, determinação de nitrito no extrato das referidas amostras por PhotoMetrix e por espectrofotometria no UV-Vis de acordo com OLIVEIRA *et al.* (2017) e com Bazani *et al.* (2021).



Esquema 1. Etapas da metodologia para determinação de nitrito

4.1 Matrizes alimentares

As amostras foram adquiridas de estabelecimentos comerciais da cidade de Viçosa-MG e região. Foram analisadas 3 amostras de salsichas, 1 amostra de linguiça defumada, 1 amostra de mortadela e 1 amostra de salami. Totalizando, assim, uma quantidade de 6 amostras de diferentes marcas de produtos cárneos identificadas por (A, B, C, D, E e F).

4.2 Processamento da Amostra

4.2.1 Extração

Aproximadamente 1 g de cada amostra (Figura 1) foi submetida à trituração com auxílio de gral e pistilo (Figura 2) e colocada em um béquer de 200 mL ao qual foram adicionados 5 mL de solução aquosa de tetraborato de sódio a 5% e 50 mL de

água destilada. A seguir a solução foi homogeneizada e submetida à aquecimento em banho-maria a 80 °C por 20 minutos sob agitação constante, com auxílio de bastão de vidro. Procedeu-se da mesma forma com um branco (sem a adição de amostra). A seguir, com o auxílio de um funil e bastão de vidro, a solução foi transferida para um balão volumétrico de 200 mL, onde foram adicionados 5 mL de ferrocianeto de potássio 15% e 5 mL de solução acetato de zinco 30%, tendo o sistema sido submetido a agitação após adição cada de reagente, e o volume foi completado com água destilada para 200 mL. Após 15 minutos, a solução foi filtrada em papel filtro (Figura 3). O procedimento foi realizado em triplicata.



Figura 1. Preparo dos extratos com amostras de embutidos cárneos



Figura 2. Procedimento de trituração das amostras



Figura 3. Filtração dos extratos das amostras

4.3 Determinação de nitrito

Um volume de 10 mL da amostra preparada e filtrada foi transferido para um balão volumétrico de 50 mL ao qual foram adicionadas 2 gotas do reagente de 1 (especificado no item 4.4). O sistema foi deixado em repouso e, após 5 minutos, foram adicionadas 2 gotas do reagente 2 (especificado no item 4.4). Foi observada uma variação de cor conforme a Figura 4. O volume do balão foi completado com água destilada e a solução foi homogeneizada (Figura 5). Após 15 minutos, foi feita a leitura em espectrofotômetro a 540 nm e no smartphone utilizando o aplicativo PhotoMetrix acoplado a uma caixa-escura contendo lâmpada LED. A curva analítica foi construída com concentrações de nitrito variando de 0 a 10 ppm ($n = 7$ pontos). Também foi utilizada a placa de porcelana para verificação de variação de cores (Figura 6).

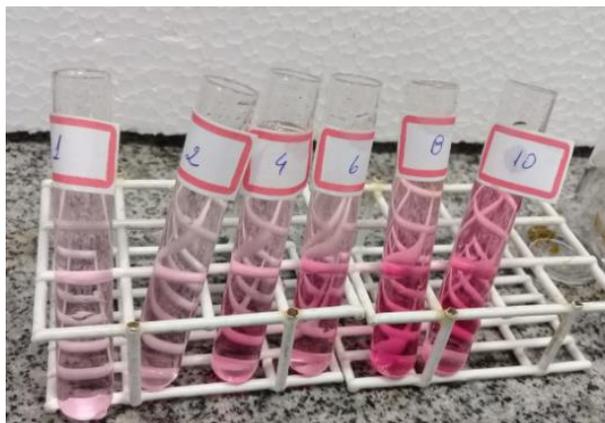


Figura 4. Variação de cor para o padrão de nitrito utilizado na construção da curva analítica com concentrações 0 a 10 ppm, respectivamente

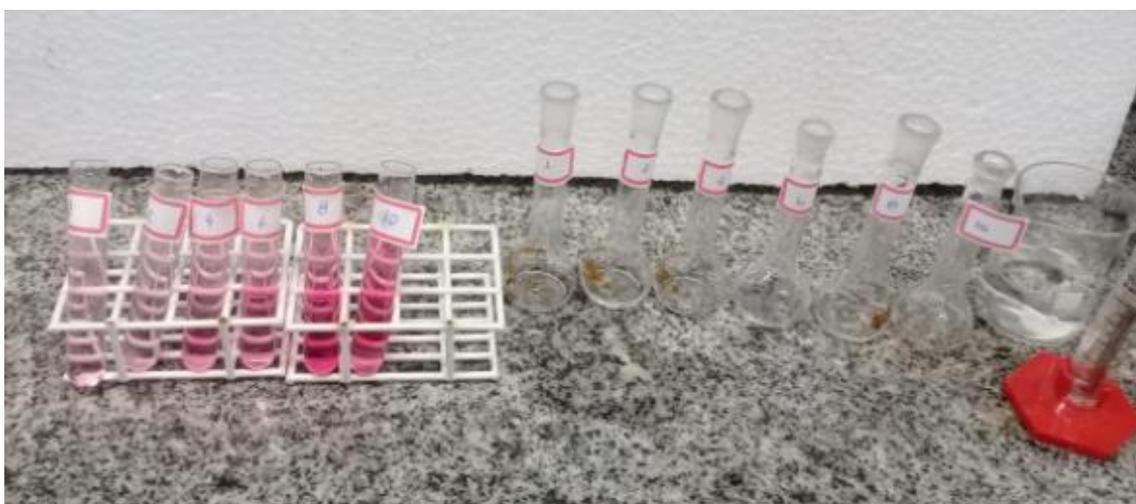


Figura 5. Construção da curva analítica.

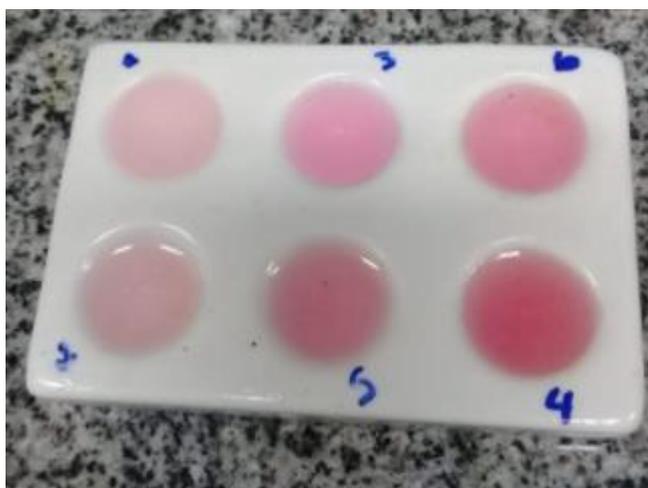


Figura 6. Placa de porcelana para verificação de variação de cores.

4.4 Reagentes

Nitrito de sódio P.A. foi adquirido da Vetec (Rio de Janeiro, Brasil), kit de testes para nitrito da Labcon Test contendo solução Reagente 1 (ácido sulfanílico, ácido acético e água destilada) e solução Reagente 2 (alfa-naftilamina e álcool etílico) foi adquirido da Alcon (Camboriú, Brasil) (Figura 7).



Figura 7. Soluções de Reagente 1, 2 do kit de testes para nitrito da Labcon Test e nitrito de sódio.

Para realizar a determinação de nitrito foram preparadas as soluções:

- Solução tetraborato de sódio decaidratado a 5% m/v: foram dissolvidas 50 g de tetraborato de sódio em água destilada. A seguir, o conteúdo foi transferido para um balão volumétrico de 1000 mL e o volume completando com água destilada.
- Solução de ferrocianeto de potássio triidratado a 15% m/v: 150 g de ferrocianeto de potássio foram dissolvidas em água destilada, transferidas para um balão volumétrico de 1000 mL e o volume completado com água destilada.
- Solução acetato de zinco diidratado a 30% m/v: 300 g de acetato de zinco foram dissolvidas em 30 mL de ácido acético glacial e 500 mL de água destilada. A seguir, o volume foi completando para 1000 mL com água destilada.

Redução dos reagentes: Para redução da concentração dos reagentes, o volume final das amostras foi reduzido para 1 mL e a solução Reagente 1 (ácido sulfanílico, ácido acético e água destilada) e solução Reagente 2 (alfa-naftilamina e álcool etílico) foi diluído 10 vezes.

4.5 Aplicativo PhotoMetrix

O aplicativo PhotoMetrix® para smartphones foi adquirido gratuitamente no Play Store. No menu inicial (Figura 8), foi utilizado o recurso “análise univariada”. Na sequência, surge a segunda tela (Figura 9) com opções para a coleta de dados Multiple Channels (vários canais) e Vector RGB (vetor RGB). Executando Multiple Channels, abre-se automaticamente a terceira tela (Figura 10) com as opções Calibration (calibração) e Sampling (amostragem). Na opção Calibration, foi adicionado o número de amostras usadas para a construção da curva analítica. Executando a opção Capture Images (captura de imagens) (Figura 11), foi informada a concentração das soluções preparadas para construção da curva analítica. Então, foi realizada a medida colorimétrica dessas soluções que foram colocadas uma a uma na cabine coletora de dados. Em seguida, foi executada a opção save (salvar) e o programa gerou a curva analítica. A seguir, foi executada a opção sampling (amostragem) e realizadas as medições dos analitos de interesse nas matrizes alimentares avaliadas, de forma semelhante às realizadas com as soluções padrões em diferentes concentrações. Para finalizar, a curva analítica foi selecionada, permitindo a conversão do sinal obtido na análise em concentração do analito de interesse.

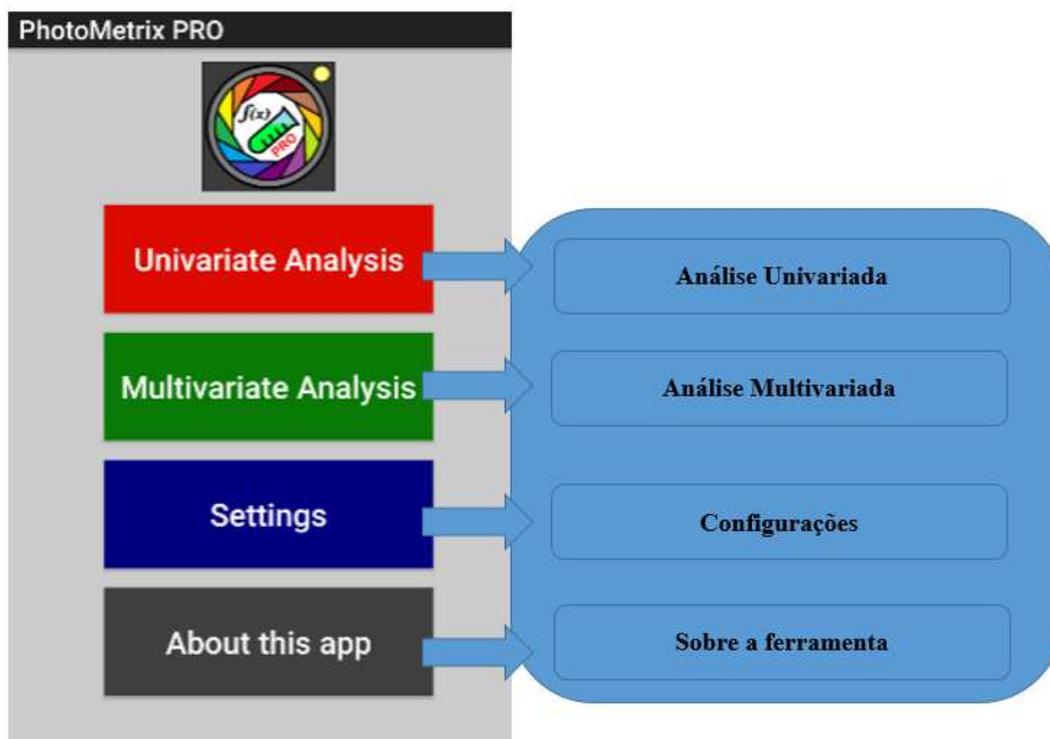


Figura 8. Menu inicial do aplicativo PhotoMetrix

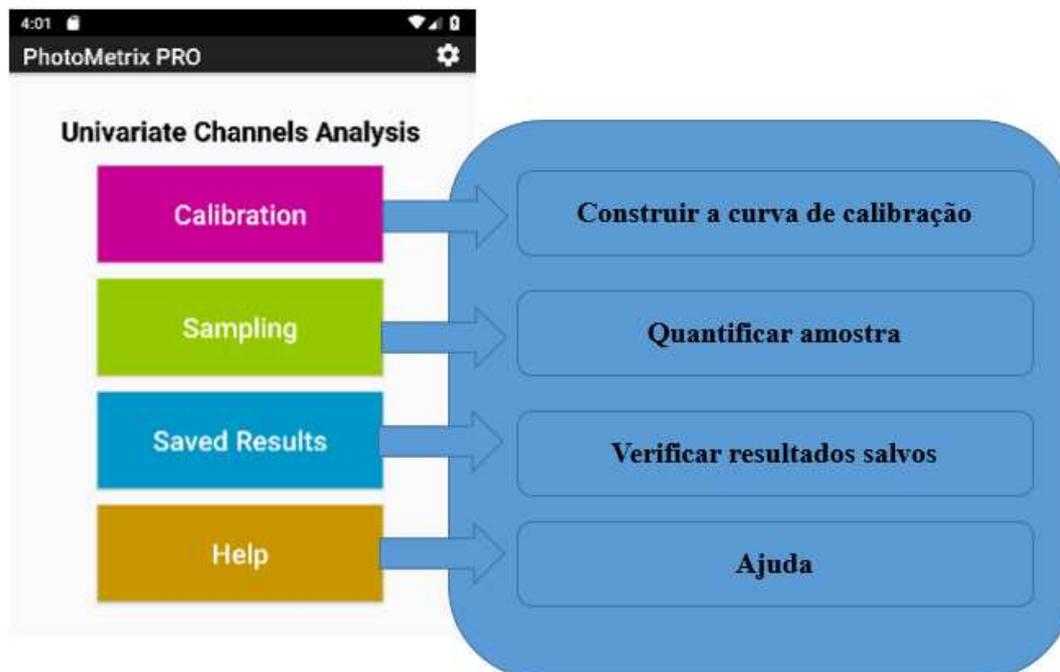


Figura 9. Modo de operação no aplicativo PhotoMetrix

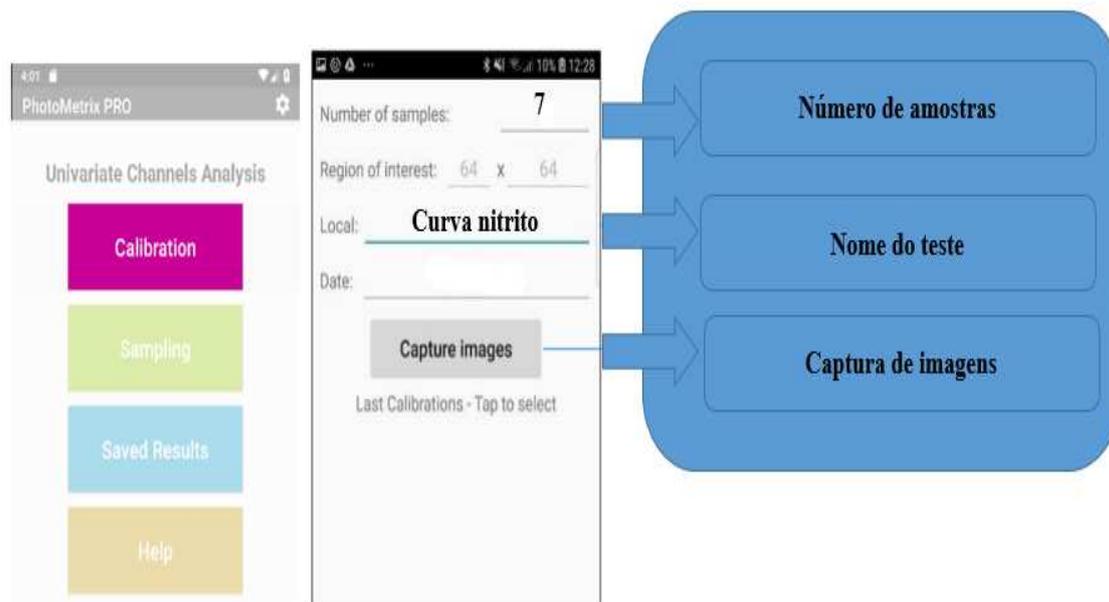


Figura 10. Construindo a curva de calibração

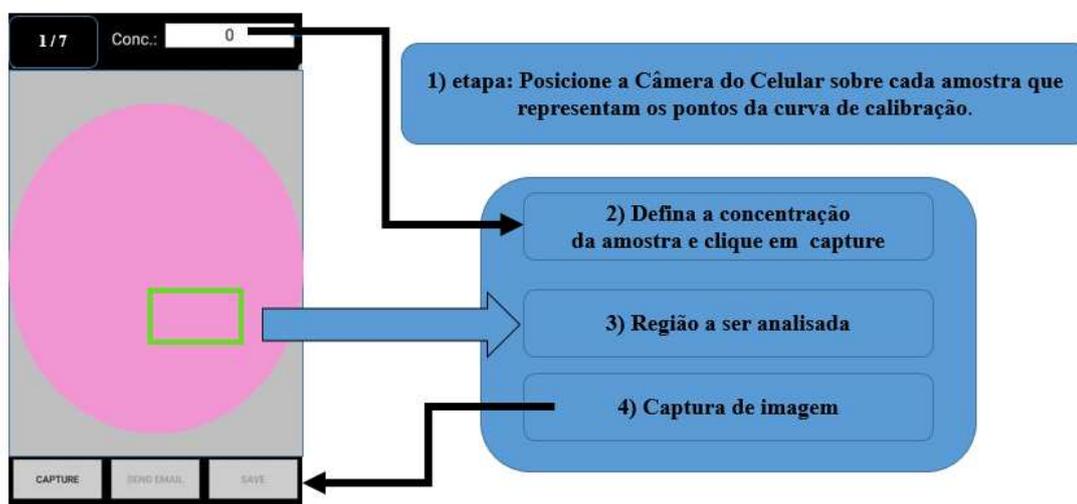


Figura 11. Capturando imagens

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste trabalho, um método simples e de baixo custo, que utiliza o programa PhotoMetrix e imagem digital, foi desenvolvido para determinação de nitrito em embutidos cárneos adquiridos no comércio local de Viçosa-MG.

Primeiramente foram preparadas soluções de nitrito com concentrações variando de 0 a 10 ppm (Tabela 1) que após adição dos reagentes (conforme item 4.3) foram lidas nos canais RGB do aplicativo PhotoMetrix, usando um Smartphone, e as intensidades de cores foram registradas (Tabela 2) e usadas para construir as curvas analíticas obtidas nos referidos canais.

Tabela 1. Concentração de nitrito (ppm) e intensidades de cores obtidas nos canais RGB.

NITRITO (ppm)	RED	GREEN	BLUE
0	201	202	203
1	196	192	190
2	188	185	181
4	171	166	165
6	159	157	153
8	147	142	138
10	126	121	116

Na coluna Red (R), foram obtidos os valores de 201 para 0 ppm e de 126 para 10 ppm, ou seja, quanto mais concentrada a solução de nitrito, menor a intensidade de cor obtida no canal "Red". O mesmo foi observado para os canais Green e Blue. Esses valores de intensidade de cores são importantes e no momento da análise são verificados e anotados. A curva analítica para cada canal RGB (Figura 12) foi obtida plotando no eixo x a concentração de nitrito (ppm) e no eixo y o sinal (S), onde S é obtido subtraindo a intensidade de cor registrada nos canais R, G ou B do nível máximo de intensidade de cor permitido para cada um dos canais RGB (255).

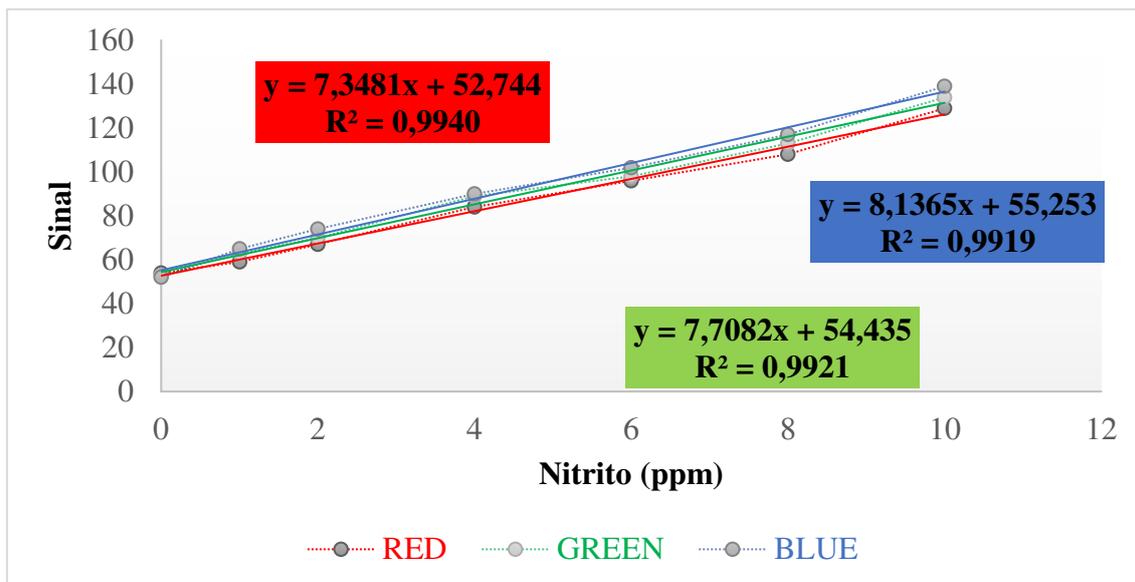


Figura 12. Curvas analíticas obtidas nos canais red (R), green (G) e blue (B) para o padrão nitrito.

Na Figura 12 pode-se observar o coeficiente de correlação para cada canal nos valores de (R, $r^2 = 0,9940$; G, $r^2 = 0,9921$ e B, $r^2 = 0,9919$). Com relação a esses valores, o canal R (Figura 13) apresentou melhor linearidade e a segunda melhor sensibilidade e, por isso, foi utilizada para determinação de nitrito nas referidas amostras.

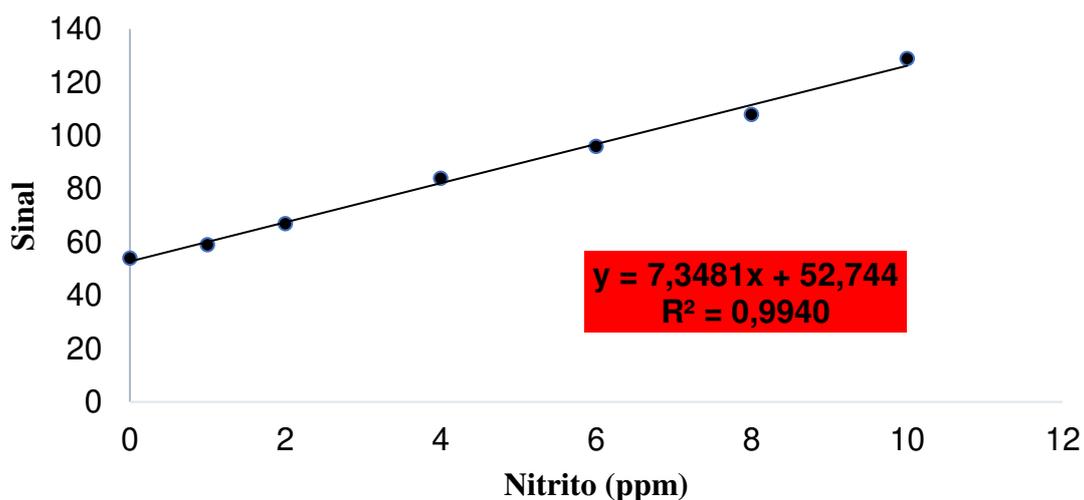


Figura 13. Curva analítica obtida no canal red (R) para o padrão nitrito.

Também foi obtida uma curva analítica para determinação de nitrito usando o tradicional método de espectrofotometria no UV-Vis. Para isso, foi plotado um gráfico utilizando no eixo x a concentração de nitrito (ppm) e no eixo y as absorbâncias obtidas no UV-Vis em $\lambda = 540 \text{ nm}$ (Figura 14).

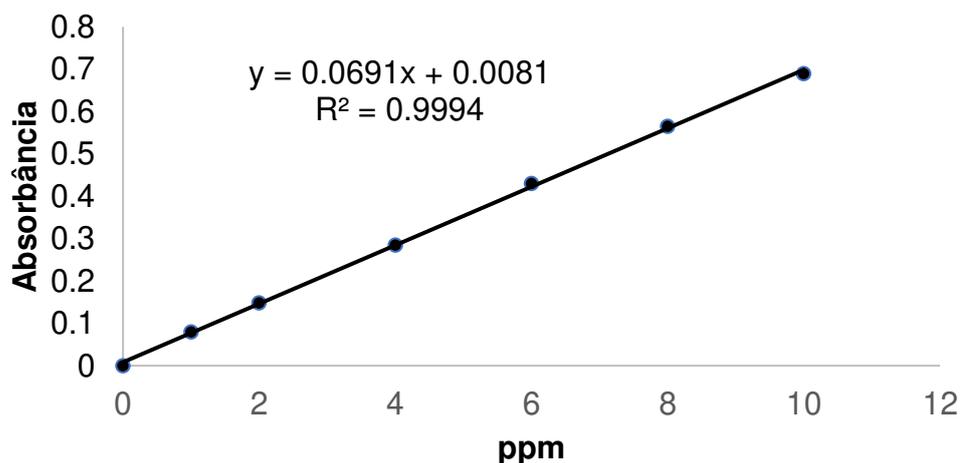


Figura 14. Curva analítica com padrão nitrito obtida no UV-Vis.

5.1. Determinação de nitrito em matrizes alimentares

Na captura de imagens digitais, foram registrados valores de intensidade de cores nos canais RGB para cada amostra avaliada. Esses valores (Tabelas 2 a 7) foram utilizados para determinar o sinal referente ao teor de nitrito nas amostras.

Tabela 2. Intensidade de cores obtidas na leitura na amostra A

Amostra	Intensidade de cor		
	Red (R)	Green (G)	Blue (B)
A (linguiça defumada)			
1	194	191	187
2	193	190	186
3	194	191	187

Tabela 3. Intensidade de cores obtidas na leitura na amostra B

Amostra	Intensidade de cor		
	Red (R)	Green (G)	Blue (B)
B (salsicha)			
1	192	188	186
2	192	187	184
3	191	186	185

Tabela 4. Intensidade de cores obtidas na leitura na amostra C

Amostra		Intensidade de cor		
C (mortadela)	Red (R)	Green (G)	Blue (B)	
1	189	186	182	
2	189	186	182	
3	189	186	182	

Tabela 5. Intensidade de cores obtidas na leitura na amostra D

Amostra		Intensidade de cor		
D (salsicha)	Red (R)	Green (G)	Blue (B)	
1	184	180	178	
2	184	180	178	
3	184	180	178	

Tabela 6. Intensidade de cores obtidas na leitura na amostra E

Amostra		Intensidade de cor		
E (salamito)	Red (R)	Green (G)	Blue (B)	
1	183	179	176	
2	183	179	176	
3	183	179	176	

Tabela 7. Intensidade de cores obtidas na leitura na amostra F

Amostra		Intensidade de cor		
F (salsicha)	Red (R)	Green (G)	Blue (B)	
1	186	183	179	
2	186	183	179	
3	186	183	179	

Outros estudos utilizaram imagens digitais com smartphones para determinações colorimétricas. Com o advento das tecnologias para a aquisição e processamento de imagens em telefones celulares de última geração, chamados smartphones, tem sido possível realizar determinações colorimétricas/espectrofotométricas e fluorimétricas sem a necessidade de instrumentos analíticos, com a possibilidade adicional da realização de medidas *in situ*. Na literatura há relato de um método rápido, simples e de baixo custo para a classificação de águas minerais, a partir de imagens digitais de um smartphone, baseada na reação dos íon metálicos constituintes com reagente colorimétricos. As medidas são realizadas diretamente sobre a amostra complexada com o sistema RGB (NETO *et al.*, 2016). Além disso, o uso de imagens digitais obtidas com uma simples webcam pode servir de uma nova estratégia de titulação ácido-base para a

determinação da acidez total em vinhos tintos sem a utilização de um indicador externo por ser de instrumentação barata e simples (TORRES *et al.*, 2011). BAZANI e colaboradores (2021) determinaram fenólicos totais e antioxidantes em tomate, morango e café, em diferentes estádios de maturação usando smartphone e o programa PhotoMetrix.

Na Tabela 8 podemos ser observados os valores das absorvâncias e a quantidade de nitrito determinada em cada amostra avaliada utilizando o convencional método de espectrofotometria no ultravioleta visível (UV-Vis).

Tabela 8. Teor de nitrito nas amostras analisadas por UV-Vis.

Amostra	Peso (g)	ABS 1	ABS 2	ABS 3	Média	Nitrito (mg/kg)
D	1,029	0,177	0,178	0,178	0,178	119,34 ± 0,05
C	1,034	0,133	0,134	0,134	0,134	87,00 ± 0,05
E	1,055	0,189	0,189	0,19	0,189	124,00 ± 0,07
F	1,079	0,165	0,165	0,166	0,165	105,00 ± 0,02
B	1,099	0,106	0,105	0,106	0,106	64,00 ± 0,01
A	1,064	0,092	0,091	0,091	0,091	56,00 ± 0,02

*ABS significa absorvância. Valores expressos em mg Kg⁻¹ de amostra (média ± desvio padrão).

Na Tabela 9 estão representados os teores de íon nitrito (mg/kg) em mortadela, salami, salsicha e linguiça das diferentes marcas (A, B, C, D e F) comercializadas na cidade de Viçosa-MG. A presença de nitrito estava em todas as amostras dos produtos cárneos analisados, cujas concentrações médias variaram de 56 ppm a 124 ppm nas análises por UV-Vis e 57 ppm a 126 ppm nas análises por PhotoMetrix. Os valores de nitrito apresentaram diferenças nas diferentes marcas de mortadela, salami, salsicha e linguiça defumada.

Tabela 9. Concentração de nitrito nas matrizes alimentares obtidas usando o App e o UV-Vis.

Amostras	Espectrofotômetro mg kg ⁻¹	Aplicativo mg kg ⁻¹
A (linguiça defumada)	56,00 ± 0,02	56,87 ± 0,03
B (salsicha)	64,00 ± 0,01	64,46 ± 0,07
C (mortadela)	87,00 ± 0,05	88,00 ± 0,05
D (salsicha)	119,34 ± 0,05	119,80 ± 0,06
E (salami)	124,00 ± 0,07	125,88 ± 0,06
F (salsicha)	105,00 ± 0,02	106,00 ± 0,08

Valores expressos em mg Kg⁻¹ de amostra (média ± desvio padrão).

Todas as amostras analisadas apresentaram teores de nitrito dentro do limite estabelecido pela legislação brasileira (150 mg Kg^{-1}), sendo que os teores mais elevados foram encontrados no salami ($125,88 \text{ mg Kg}^{-1}$) e os menores na linguiça defumada ($56,00 \text{ mg Kg}^{-1}$). É interessante destacar que o teor de nitrito encontrado no salami ($125,88 \text{ mg Kg}^{-1}$) é 1,4 vezes superior ao contido na mortadela ($88,00 \text{ mg Kg}^{-1}$). Além disso, o teor de nitrito nas salsichas variou muito entre as três marcas avaliadas ($64,46$; $119,80$ e $106,00 \text{ mg Kg}^{-1}$ nas marcas B, D e F, respectivamente) sendo que a salsicha da marca D apresentou o dobro da quantidade de nitrito contida na da marca B.

A quantidade máxima de nitrito estabelecida pela legislação brasileira em alimentos embutidos (150 mg Kg^{-1}) é considerado elevada, uma vez que em outros países, a legislação estabelece valores inferiores (TORRE & RODRIGUES, 1998). O Códex Alimentarius Commission (Comissão de Código Alimentar) regulamenta o uso de aditivos no mundo. No Brasil, quem determina esses limites é a ANVISA (Agência Nacional da Vigilância Sanitária) com base no produto determinado seguindo a legislação vigente (CUNHA *et al.*, 2003; Brasil, 2006).

OLIVEIRA *et al.* (2005) observaram que muitos embutidos cárneos industrializados apresentam variações significativas em suas composições, o que, além de comprometer a qualidade e a padronização dos produtos, indica que muitas indústrias ainda não possuem um controle eficiente da quantidade de nitrito empregada na totalidade de seus produtos.

Diversos estudos relatam que os sais de nitrito e nitrato podem causar inúmeros malefícios à saúde humana como por exemplo o câncer (KESZEI *et al.*, 2013; DELLAVALLE *et al.*, 2014; CATSBURG *et al.*, 2014). Na literatura existem relatos da associação de ingestão de nitrito ao carcinoma de células renais, especialmente adenocarcinomas de células claras (DELLAVALLE *et al.*, 2013) e da ingestão de nitrato de carnes curadas com aumento significativo do risco de câncer de bexiga (CATSBURG *et al.*, 2014). Outra pesquisa relacionou a ingestão de nitrito com carcinoma de esôfago (KESZEI *et al.*, 2013).

Dentro do organismo, o nitrito se combina com a hemoglobina e através de reação de oxidação a transforma em metemoglobina, o que reduz sua eficiência no transporte de oxigênio. Quando a exposição ao nitrito ocorre de forma moderada, a formação de metemoglobina é reversível, porém, quando os níveis de nitrito se elevam

pode ocorrer uma grande dificuldade no processo de oxigenação o que pode levar o indivíduo a desenvolver sintomas como cianose, náusea, vômitos, dores abdominais e colapso. Tanto nos alimentos como de forma endógena, os nitritos podem reagir com aminas secundárias e terciárias formando *N*-nitrosaminas. Esses compostos possuem características carcinogênicas, mutagênicas, teratogênicas e embriopáticas.

Dessa forma, a substituição de nitrito por outro aditivo alimentar é uma questão que vem sendo muito discutida, porém, ainda não existe outro agente de cura que promova todas as características fornecidas por ele. Sendo assim, devem-se estabelecer medidas preventivas com o objetivo de diminuir os efeitos tóxicos causados por esses aditivos. Com relação aos métodos de análise utilizados pode-se observar valores próximos nos resultados, onde o PhotoMetrix pode ser uma alternativa viável para determinar nitrito em matrizes alimentares, útil em laboratórios com limitações de recursos financeiros, analíticos e que utilizam técnicas que corroboram com a Química Verde.

5.2. Determinação de nitrito reduzindo volume do reagente

Foi possível reduzir a quantidade de gotas do reagente para determinação de nitrito nas amostras do presente trabalho. Os valores das concentrações de nitrito (0 a 10 ppm) utilizadas na construção da curva analítica e suas respectivas intensidades de cores obtidas nos canais RGB usando o programa PhotoMetrix® estão representados na Tabela 10 e a curva padrão do íon nitrito está representada na Figura 15.

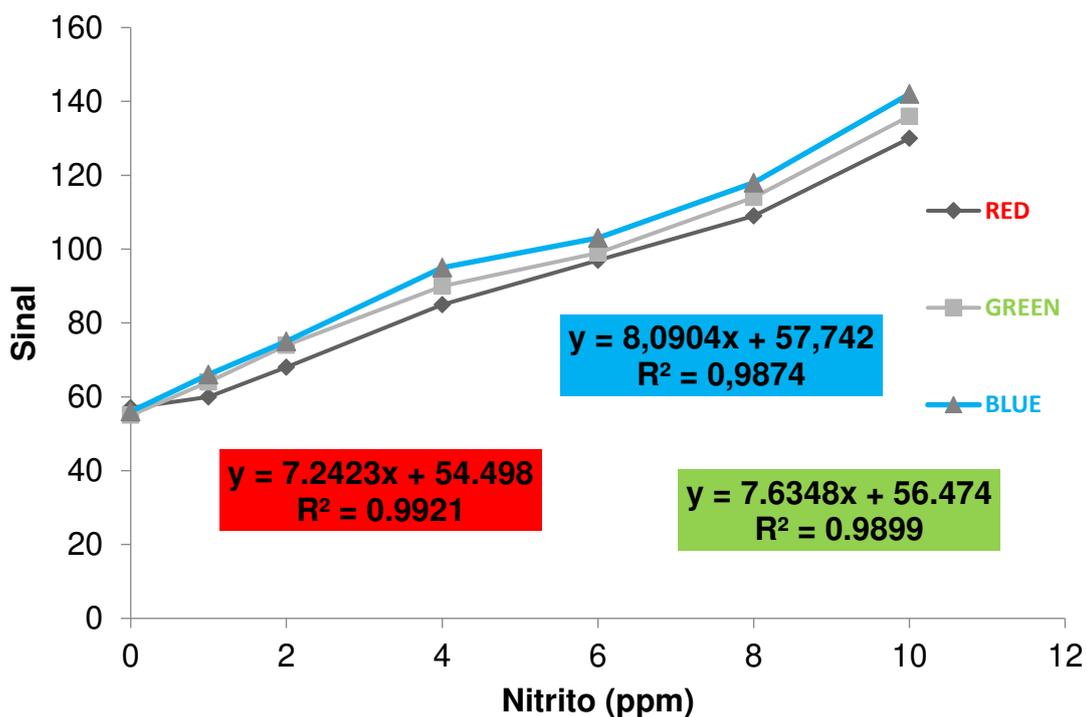


Figura 15. Curvas analíticas obtidas nos canais red (R), green (G) e blue (B) para o padrão nitrito.

Na Figura 15 podemos observar o coeficiente de correlação para cada canal nos valores de (R, $r^2 = 0,9921$; G, $r^2 = 0,9899$ e B, $r^2 = 0,9874$). Com relação a esses valores, o canal Red (Figura 16) apresentou melhor linearidade e a terceira melhor sensibilidade e, por isso, foi utilizada para determinação de nitrito nas referidas amostras.

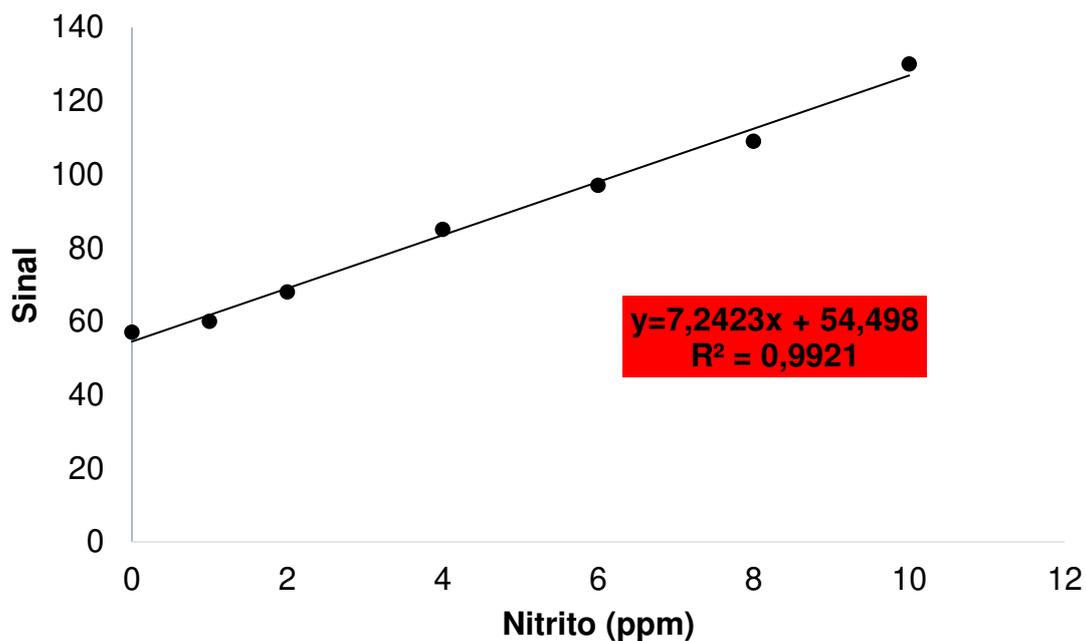


Figura 16. Curva analítica obtida no canal red (R) para o padrão nitrito.

Tabela 10. Concentração de nitrito (ppm) e intensidade de cores obtidas nos canais RGB usados para construção da curva analítica.

NITRITO (ppm)	RED	GREEN	BLUE
0	198	200	199
1	195	191	189
2	187	181	180
4	170	165	160
6	158	156	152
8	146	141	137
10	125	119	113

Na coluna green (G), foram obtidos os valores de 200 para 0 ppm e de 119 para 10 ppm, ou seja, quanto mais concentrada a solução de nitrito, menor a intensidade de cor obtida no canal “green”. O mesmo foi observado para o canal red e blue. Na captura de imagens digitais, foram registrados valores de intensidade de cores nos canais RGB para cada amostra avaliada. Esses valores (Tabelas 11 a 16) foram utilizados para determinar o sinal referente ao teor de nitrito nas amostras.

Tabela 11. Intensidade de cores obtidas na leitura na amostra A

Amostra	Intensidade de cor		
A (linguiça defumada)	Red (R)	Green (G)	Blue (B)
1	193	190	186
2	193	190	186
3	193	190	186

Tabela 12. Intensidade de cores obtidas na leitura na amostra B

Amostra	Intensidade de cor		
B (salsicha)	Red (R)	Green (G)	Blue (B)
1	191	187	185
2	191	187	185
3	191	187	185

Tabela 13. Intensidade de cores obtidas na leitura na amostra C

Amostra	Intensidade de cor		
C (mortadela)	Red (R)	Green (G)	Blue (B)
1	188	185	181
2	188	185	181
3	188	185	181

Tabela 14. Intensidade de cores obtidas na leitura na amostra D

Amostra	Intensidade de cor		
D (salsicha)	Red (R)	Green (G)	Blue (B)
1	183	179	177
2	183	179	177
3	183	179	177

Tabela 15. Intensidade de cores obtidas na leitura na amostra E

Amostra	Intensidade de cor		
E (salamito)	Red (R)	Green (G)	Blue (B)
1	182	178	175
2	182	178	175
3	182	178	175

Tabela 16. Intensidade de cores obtidas na leitura na amostra F

Amostra	Intensidade de cor		
F (salsicha)	Red (R)	Green (G)	Blue (B)
1	185	182	178
2	185	182	178
3	185	182	178

Os resultados das concentrações de nitrito nas amostras de embutidos cárneos avaliadas reduzindo o volume de reagente pode ser observado na Tabela 17.

Tabela 17. Teor de nitrito nas amostras analisadas por PhotoMetrix

Amostra	Peso (g)	Red	Green	Blue	Nitrito (mg/kg)
D	1,02	183	179	177	118,14 ± 0,05
C	0,99	188	185	181	86,87 ± 0,07
E	1,05	182	178	175	121,43 ± 0,18
F	1,04	185	182	178	102,88 ± 0,36
B	1,01	191	187	185	64,85 ± 0,04
A	0,98	193	190	186	52,55 ± 0,31

Valores expressos em mg Kg⁻¹ de amostra (média ± desvio padrão).

Convém destacar que os resultados apresentados na Tabela 17 foram semelhantes aos obtidos anteriormente na determinação de nitrito utilizando maior quantidade de reagente. No entanto, reduzindo o volume dos reagentes utilizados na análise, tem-se uma diminuição de custos com produtos químicos e uma consequente economia financeira nas análises para determinação de nitrito em embutidos cárneos. Esse experimento foi utilizado como exemplo para demonstração de simples procedimentos adotados e que resultaram numa melhoria significativa no aprendizado dos alunos, na redução de gastos de reagentes e materiais e no cuidado com o meio ambiente.

Com relação ao ensino da Química, em qualquer aula de química só pode ser efetivo quando permitir ao aluno a oportunidade de executar aulas práticas, pois a química é uma ciência baseada em observações experimentais. Entende-se, portanto, que o trabalho experimental desenvolvido no laboratório constitui parte essencial nas aulas de química do ensino fundamental e médio. Nesse sentido, quando os alunos ao se depararam com uma aula bem planejada e organizada, acabaram passando de meros expectadores a protagonistas do experimento, com um maior senso de responsabilidade e preocupados com o sucesso do procedimento. Segundo Simeone (2005), ações de gestão de resíduos de laboratórios devem minimizar e/ou evitar a geração de resíduos na fonte de origem. Para tentar contribuir com a sustentabilidade do planeta, além de modificar procedimentos analíticos, é necessário utilizar reagentes em quantidades estequiométricas, evitando descarte em excesso no meio ambiente. Portanto, otimizar o consumo de reagentes no método de determinação de

nitrito traz benefícios tanto para empresas e instituições de ensino quanto para o meio ambiente.

5.3. Produto educacional

Ao término da pesquisa, a partir das atividades desenvolvidas no laboratório com aplicativo PhotoMetrix, foi elaborado um produto educacional (APÊNDICE) constituído de um manual didático contendo o procedimento experimental da determinação de nitrito que pode ser aplicado com o uso do celular, como incentivo aos professores de química e áreas afins, aceitarem o desafio de futuras pesquisas. Esse manual, em forma de cartilha, foi constituído de textos, roteiros de atividades, links de vídeo que os professores usarão para se orientar nas aplicações das sequências de atividades durante o trabalho com os estudantes. Acreditamos que, a partir daí, será possível desenvolver métodos alternativos, visando rapidez, praticidade, mobilidade e redução do custo nas determinações de nitrito, que as tornam atraentes para o ensino da Química. O produto desenvolvido está disponibilizado no apêndice desse trabalho.

6 CONCLUSÃO

O uso do aplicativo PhotoMetrix como detector nas análises de espécies químicas por métodos colorimétricos é uma alternativa ao uso do espectrofotômetro e, além disso, por ser um método de custo relativamente baixo, do ponto de vista econômico, metodologias com esse tipo de sistema de detecção podem ser muito atraentes quando aplicadas em análises de rotina. O método proposto usando PhotoMetrix com detecção por imagens digitais é uma estratégia viável na quantificação de nitrito e de nitrato em embutidos cárneos visto que diferentes fontes desses alimentos foram analisadas com sucesso, além de ser um método simples, rápido e preciso. Quando empregado minimizando o consumo de reagentes e a geração de resíduos, o método desenvolvido torna-se ainda mais interessante. Os resultados encontrados para os teores de nitrito em amostras de embutidos cárneos pelo método proposto foram abaixo dos limites máximos permitidos pela legislação brasileira e compatíveis com os resultados encontrados pelas metodologias de referência (UV-Vis).

Além disso, o método pode ser utilizado em sala de aula, no ensino de conteúdos de Química, aumentando a interação aluno-professor, possibilitando que o aluno relacione teoria, prática e os conhecimentos inerentes a suas vivências.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, S. I. E.; LIMA, M. B.; BARRETO, I. S.; LYRA, W. S.; ALMEIDA, L. F.; ARAÚJO, M. C. U.; SILVA, E. C. A digital image-based flow-batch analyzer for determining Al(III) and Cr(VI) in water. **Microchemical Journal**, v. 109, p. 106-111, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2012.03.029>

AYALA, A.; LEAL, L. O.; FERRER, L.; CERDA, V. Multiparametric automated system for sulfate, nitrite and nitrate monitoring in drinking water and wastewater based on sequential injection analysis. **Microchemical Journal**, v. 100, p. 55-60, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2011.09.004>

ATKINS, P.; JONES, L. Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 5ª ed. Tradução: Ricardo Bicca de Alecastro. São Paulo: Bookman, 2012.

BAZANI, E. J. O.; BARRETO, M. S.; DEMUNER, A. J.; SANTOS, M. H.; CERCEAU, C. I.; BLANK, D. E.; FIRMINO, M. J. M.; SOUZA, G. S. F.; FRANCO, M. O. K.; SUAREZ, W. T.; STRINGHETA, P. C. Smartphone application for total phenols content and antioxidant determination in tomato, strawberry, and coffee employing digital imaging. **Food Analytical Methods** v. 14, p. 631-640, 2021. <https://doi.org/10.1007/s12161-020-01907-z>

BELITZ, H. D.; GROSCH, W. Química de los alimentos. 2ª. ed..Acribia. Zaragoza: 1997.

BETTA, D. F.; VITALI, L.; FETT, R.; COSTA, A.C.O. Development and validation of a subminute capillary zone electrophoresis method for determination of nitrate and nitrite in baby foods. **Talanta**, v. 122, p. 23-29, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2014.01.006>

BÖCK, F. C.; HELFER, G. A.; DA COSTA, A. B.; DESSUY, M. B.; FERRAO, M. F. PhotoMetrix and colorimetric image analysis using smartphones. **Journal of Chemometrics**. 2020; e3251. <https://doi.org/10.1002/cem.3251>

BONZI, R. S. Meio século de Primavera silenciosa: um livro que mudou o mundo, *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, vol. 28, pp. 207-215, 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Ofício circular nº15/2009/GAB/DIPOA. Uso de conservantes/aditivos em produtos cárneos procedimentos de registro e fiscalização. Brasília: **Diário Oficial da União**, 08 de maio de 2009.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. (2017). Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA). Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017, regulamenta a Lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. Brasília, DF: **Diário Oficial da União**.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. SECRETARIA DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. (1997). Portaria nº 540, de 27 de outubro de 1997. Aprova o regulamento técnico: aditivos alimentares-definições, classificação e emprego. Brasília, DF: **Diário Oficial da União**.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. (2006). Instrução Normativa nº 51, de 29 de dezembro de 2006. Regulamento técnico de atribuição de aditivos e seus limites das seguintes categorias de alimentos: categoria 8: carne e produtos cárneos. Brasília, DF: **Diário Oficial da União**.

BRASIL. Lei Nº 9.795. Brasília, 27 abr. 1999b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9795.htm> Acesso: 13 de março de 2021.

BYRNE, L.; BARKER, J.; PENNARUN-THOMAS, G.; DIAMOND, D.; EDWARDS, S. Digital imaging as a detector for generic analytical measurements. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 19, n. 8, p. 517-522, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0165-9936\(00\)00019-4](https://doi.org/10.1016/S0165-9936(00)00019-4)

CARSON, R.; Primavera Silenciosa. 1ª ed. São Paulo: Editora Gaia, 2015.

CARTAXO, J. L. S. (2015). Riscos associados aos níveis de nitritos em alimentos: uma revisão (30f). Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, Brasil.

CASSENS, R.G. Residual nitrite in cured meat. **Food Technology**, v. 51, n. 2, p. 53-55, 1997.

CAVALCANTI, J. A.; FREITAS, J. C. R.; MELO, A. C. N.; FREITAS FILHO, J. R. Agrotóxicos: uma temática para o ensino de Química. **Química Nova na Escola**, v. 32, n. 1, 2010.

CERRATO-ALVAREZ, M.; FRUTOS-PUERTO, S.; MIRO-RODRÍGUEZ, C.; PINILLA-GIL, E. Measurement of tropospheric ozone by digital image analysis of indigotrisulfonate-impregnated passive sampling pads using a smartphone camera. **Microchem Journal** 154:104535, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.104535>.

COSTA, V.; NEIVA, A.; PEREIRA-FILHO, E. Chromium speciation in leather samples: an experiment using digital images, mobile phones and environmental concepts. **Eclética Química J.** v. 44, n. 1, p.62-74, 2019. <https://doi.org/10.26850/1678-4618eqj.v44.1>

CUNHA, F. A.; CARVALHO, T. M. J. P.; MENEZES, E. A.; OLIVEIRA, M. S. C.; SOUZA, P. A. S.; PEREIRA, A. F.; OLIVEIRA, A. B. Determinação de nitritos em alimentos cárneos. **Revista Brasileira de Análises Clínicas**, v. 35, n. 1, p. 3-4, 2003.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de Ciências: Fundamentos e métodos**. 3. Ed. São Paulo: Editora Cortez, 2009.

DUARTE, M.T. (2010). Avaliação do teor de nitrito de sódio em linguças do tipo frescal e cozida comercializadas no estado do Rio de Janeiro, Brasil (86f). **Tese de Doutorado, Universidade Federal Fluminense**, Niterói, RJ, Brasil.

ERDOGAN, B. Y.; ONAR, A. N. Determination of nitrates, nitrites and oxalates in kale and sultana pea by capillary electrophoresis. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, v. 10, n. 15, p. 2051-2057, 2011. [10.3923/javaa.2011.2051.2057](https://doi.org/10.3923/javaa.2011.2051.2057)

FRATUCCI, A.; SILVA, L.; GUEDES, M.C.S. Nitratos, nitritos e N-nitrosaminas: efeitos no organismo. **Revista Eletrônica FACP**, v. 12, n. 6, p. 41- 55, 2017.

GIAIO, E. N.; MARTINS, V. L.; LYRA, W. S.; ALMEIDA, L. F.; SILVA, E. C.; ARAÚJO, M. C. U. Digital image-based titrations. **Analytica Chimica Acta**, v. 570, n. 2, p. 283-290, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2006.04.048>

GUERREIRO, R. S.; SÁ, M. S.; RODRIGUES, L. A. P. Avaliação do teor de nitrito e nitrato em alimentos cárneos comercializados em Salvador. **Revista RevInter Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade**, v. 5, n. 1, p. 77-91, 2012. [10.22280/revintervol5ed1.111](https://doi.org/10.22280/revintervol5ed1.111)

HARDISSON, A.; GONZÁLEZ PADRÓN, A.; FRÍAS, I.; REGUERA, J. I. The Evaluation of the Content of Nitrates and Nitrites in Food Products for Infants. **Journal of food composition and analysis**, v. 9, p.13-17, 1996. <https://doi.org/10.1006/jfca.1996.0003>

HELALAH, M. I. H.; KORENAGA, T. Ion chromatographic method for simultaneous determination of nitrate and nitrite in human saliva. **Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications**, v. 744, n. 2, p. 433-437, 2000. [10.1016/s0378-4347\(00\)00264-4](https://doi.org/10.1016/s0378-4347(00)00264-4)

HUANG, K. J.; WANG, H.; GUO, Y. H.; FAN, R. L.; ZHANG, H. S. Spectrofluorimetric determination of trace nitrite in food products with a new fluorescent probe 1,3,5,7-tetramethyl-2,6-dicarbethoxy-8(3',4'-diaminophenyl)-difluoroboradiaza-s-indacene.

Talanta, v. 69, n. 1, p. 73-78, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2005.08.062>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2020). Coordenação de trabalho e rendimento. **Pesquisas de orçamentos familiares 2017-2018**. Rio de Janeiro: IBGE. Recuperado em 10 de setembro, 2020, de https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv_101742.pdf

KODAMATANI, H.; YAMAZAKI, S. SAITO, K.; KOMATSU, Y.; TOMIYASU, T. Rapid Method for Simultaneous Determination of Nitrite and Nitrate in Water Samples Using Short-Column Ion-Pair Chromatographic Separation, Photochemical Reaction, and Chemiluminescence Detection. **Analytical Sciences**, v. 27, n. 2, p. 187-192, 2011. DOI: 10.2116/analsci.27.187

KOHL, S. K.; LANDMARK, J. D.; STICKLE, D. F. Demonstration of absorbance using digital color image analysis and colored solutions, **Journal Chemical Education**, v. 83, n. 4, p. 644-646, 2006. <https://doi.org/10.1021/ed083p644>

KOMPANY-ZAREH, M.; MANSOURIAN, M.; RAVAEI, F. Simple method for colorimetric spot-test quantitative analysis of Fe(III) using a computer controlled hand-scanner. **Analytica Chimica Acta**, v. 471, n. 1, p. 97-104, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(02\)00871-1](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(02)00871-1)

LENARDÃO, E. J.; FREITAG, R. A.; DABDOUB, M. J.; BATISTA, A. C. F.; SILVEIRA, C. C. "Green chemistry": os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. *Química Nova*, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 123-129, 2003.

LI, C.; ADHIKARI, R.; YAO, Y. Measuring plant growth characteristics using smartphone based image analysis technique in controlled environment agriculture.

Computers and Electronics in Agriculture. v. 168, 105123. 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105123>

LOPEZ-MOLINERO, A.; LIÑAN, D.; SIPIERA, D.; FALCON, R.; Chemometric interpretation of digital image colorimetry. Application for titanium determination in plastics, **Microchemical Journal**, v. 96, p. 380-385, 2010.
<https://doi.org/10.1016/j.microc.2010.06.013>

LYRA, W. S.; SANTOS, V. B.; DIONÍZIO, A. G. G.; MARTINS, V. L.; ALMEIDA, L. F.; NÓBREGA-GAIÃO, E.; DINIZ, P. H.; SILVA, E. C.; ARAÚJO, M. C. Digital image based flame emission spectrometry, **Talanta**, v. 77, p. 1584-1589, 2009.
<https://doi.org/10.1016/j.talanta.2008.09.057>

LYRA, W. S.; SANCHES, F. A. C.; CUNHA, F. A. S.; DINIZ, P. H. G. D.; LEMOS, S. G.; SILVA, E. C.; ARAUJO, M. C. U. Indirect determination of sodium diclofenac, sodium dipyrone and calcium gluconate in injection drugs using digital image-based (webcam) flame emission spectrometric method, **Analytical Methods**, v. 3, p. 1975-1980, 2011. <https://doi.org/10.1039/C1AY05197K>

MALEKI, N.; SAFAVI, A.; SEDAGHATPOUR, F. Single-step calibration, prediction and real samples data acquisition for artificial neural network using a CCD camera. **Talanta**, v. 64, n. 4, p. 830-835, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2004.02.041>

MANEA, F.; REMES, A.; RADOVAN, C.; PODE, R.; PICKEN, S.; SCHOONMAN, J. Simultaneous electrochemical determination of nitrate and nitrite in aqueous solution using Ag-doped zeolite-expanded graphite-epoxy electrode. **Talanta**, v. 83, n. 1, p. 66-71, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2010.08.042>

MARCONDES, M. E. R. Proposições metodológicas para o Ensino de Química: Oficinas Temáticas para a Aprendizagem da Ciência e o Desenvolvimento da Cidadania. **Revista Em extensão**. Uberlândia, v. 7, 2008.

MARTINEZ, A. W.; PHILLIPS, S. T.; CARRILHO, E.; THOMAS, S. W.; SINDI, H.; WHITESIDES, G. M. Simple telemedicine for developing regions: camera phones and paper-based microfluidic devices for real-time, off-site diagnosis. **Analytical Chemistry**, v. 80, n. 10, p. 3699-707, 2008. <https://doi.org/10.1021/ac800112r>

MOHAN, P. J.; GUPTA, S.D. Intelligent image analysis for retrieval of leaf chlorophyll content of rice from digital images of smartphone under natural light. **Photosynthetica**. v. 57, n. 2, p. 388-398. <https://doi.org/10.32615/ps.2019.046>

MOZETO, A. A.; JARDIM, W. F.; A Química Ambiental no Brasil. **Química Nova**, v. 25, n.1, p. 7-11, 2002.

NAS - National Academy of Sciences. Committee on Nitrite and Alternative Curing Agents in Food. The Health Effects of Nitrate, Nitrite in N-nitrous Compounds. Assembly of Life Sciences. **National Academy Press Washington**, D.C.: 1981.

OLIVEIRA, J. F.; SILVA, U. R.; PASTORE, V. A. A.; AZEVEDO, E. C.; CAMPOS, G. M.; SILVA, F. C. G.; RAGHIANTE, F.; MARTINS, O. A. Determinação espectrofotométrica de nitrito em produtos cárneos embutidos. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v. 11, n. 1, p. 19-31, 2017. <http://dx.doi.org/10.5935/1981-2965.201703>

OZTEKIN, N.; NUTKU, M. S.; ERIM, F. B. Simultaneous determination of nitrite and nitrate in meat products and vegetables by capillary electrophoresis. **Food Chemistry**, v. 76, p. 103- 106, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00287-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00287-4)

PAPPIS, C.; LIBRELOTTO, M.; BAUMANN, L. Point-of-use determination of fluoride and phosphorus in water through a smartphone using the Photometrix ® App. **Brazilian Journal of Analytical Chemistry**. v. 6, n. 25, p. 1-9, 2019. <https://doi.org/10.30744/brjac.2179-3425.TN-25-2019>

PRINGUEZ, E.; SAUDE, I.; HULEN, C. Improvement of Standard Method IDF 95A:1984 for Determination of the Nitrate and Nitrite Contents of Dried Milk. **Journal**

of **Food Composition and Analysis**, v. 8, p. 344-350, 1995.
<https://doi.org/10.1006/jfca.1995.1029>

RAMOS, L. A.; CAVALHEIRO, C. C. S.; CAVALHEIRO, E. T. G. Determinação de nitrito em águas utilizando extrato de flores. **Química Nova**, v. 29, n. p. 1114-1120, 2006.

ROCHA, F. R. P.; TEIXEIRA, L. S. G. Estratégias para aumento de sensibilidade em espectrofotometria UV-VIS. **Química Nova**, v. 27, p. 807-812, 2004.

REYES, F. G. R.; CAMPOS, N.F.M. Nitrosaminas: formação, aspectos toxicológicos e análise. Acesso em: 01mar. 2021.

ROÇA, R. O. Cura de carnes. Disponível em: <
<http://dgta.fca.unesp.br/carnes/Artigos%20Tecnicos/Roca111.pdf>. >. Acesso em 27 abr.2020. Botucatu, SP: 2000.

SANTOS, W. L. P.; SCHNETZLER, R. P. **Educação em Química**. 3. ed. Ijuí: Unijuí, 2003.

SHIBAMOTO, T.; BJELDANES, L.F. **Introducción a la toxicología de los alimentos**. Acribia. Zaragoza: 1996.

SILVA, J. A. Ocorrência e controle de *clostridium botulinum* em produtos cárneos curados. **Revista Tecnológica e Ciências de Carnes**, v. 1, n. 1, p. 44-56, 1999.

SIMEONE, M. L. Implementação de um programa de gerenciamento de resíduos em laboratórios. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE METODOLOGIAS DE LABORATÓRIOS DA EMBRAPA, 10., São Carlos, 2005. Resumos... São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005.

SOARES, S.; NUNES, L. C.; MELCHERT, W. R.; ROCHA, F. R. P. Spot test exploiting smartphone-based digital images for determination of biodiesel in diesel blends.

Microchemical Journal, v. 152, 104273, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.104273>

SOLDAT, D. J.; BARAK, P.; LEPORE, B. J. Microscale Colorimetric Analysis Using a Desktop Scanner and Automated Digital Image Analysis. **Journal of Chemical Education**, v. 86, n. 5, p. 617, 2009. <https://doi.org/10.1021/ed086p617>

STEIMLE, E. T.; KALTENBACHER, E. A.; BYRNE, R. H. In situ nitrite measurements using a compact spectrophotometric analysis system. **Marine Chemistry**, v. 77, n. 4, p. 255-262, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0304-4203\(02\)00003-8](https://doi.org/10.1016/S0304-4203(02)00003-8)

TRENTINI, E. M.; MACEDO, R. E. F. Uso de nitrato e nitrito de sódio em produto cárneo fresco: uma abordagem científica. **Brazilian Journal of Technology**, v. 2, n.4, p. 1017-1041, 2019.

VITTORAZZI, B. V.; COSTA, R. A.; COELHO, L. M. Classifying brazilian banknotes (R\$) using smartphone image analysis. **Química Nova**, p. 1–8, 2020. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170508>.

WONGWILAI, W.; LAPANANTNOPPAKHUN, S.; GRUDPAN, S.; GRUDPAN, K. Webcam camera as a detector for a simple lab-on-chip time based approach. **Talanta**, v. 81, n. 3, p. 1137-1141, 2010. doi: 10.1016/j.talanta.2010.01.058

WORLD HEALTH ORGANIZATION. (2015). IARC Monographs evaluate consumption of red meat and processed meat. Recuperado em 25 de novembro, 2020, de https://www.iarc.fr/wpcontent/uploads/2018/07/pr240_E.pdf

YAQOOB, M.; BIOT, B. F.; NABI, A.; WORSFOLD, P. J. Determination of Nitrite and Nitrate in Freshwaters using Flow Injection Luminol Chemiluminescence Detection. **Acta Chimica Slovenica**, v. 58, n. 3, p. 569-575, 2011. doi: 10.1002/bio.1366

APÊNDICE

PRODUTO EDUCACIONAL

Cartilha a ser aplicada em sala de aula*.

Título: METODOLOGIA DE BAIXO CUSTO COM USODE SMARTPHONE NO MONITORAMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE NITRITO EM EMBUTIDOS CÁRNEOS

*Um vídeo complementar explicando o procedimento pode ser visto no endereço:

https://www.canva.com/design/DAEcOOXSDZA/jvTwcaa2ELTze3WGoX8anw/view?utm_content=DAEcOOXSDZA&utm_campaign=designshare&utm_medium=link&utm_source=publishsharelink



PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

METODOLOGIA DE BAIXO CUSTO COM USO DE SMARTPHONE NO MONITORAMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE NITRITO EM EMBUTIDOS CÁRNEOS

Gleisson Antônio de Almeida
Programa de Pós-Graduação em Química em Rede Nacional –
PROFQUI
Universidade Federal de Viçosa - UFV



**METODOLOGIA DE BAIXO CUSTO COM USO DE
SMARTPHONE NO MONITORAMENTO DA
CONCENTRAÇÃO DE NITRITO EM EMBUTIDOS
CÁRNEOS**

- 1) Preparo das soluções,
- 2) Preparo da amostra,
- 3) Preparo do extrato,
- 4) Determinação de nitrito no extrato das referidas amostras por Photometrix.

REAGENTES

- Nitrito de sódio P.A.
- kit de testes para nitrito da Labcon Test contendo solução Reagente 1 (ácido sulfanílico, ácido acético e água destilada) e solução Reagente 2 (alfa-naftilamina e álcool etílico)
- Tetraborato de sódio
- Ferrocianeto de potássio
- Acetato de zinco
- Ácido acético glacial
- Água destilada

PREPARO DE SOLUÇÕES

a) Solução tetraborato de sódio decahidratado a 5% m/v: dissolver 50 g de tetraborato de sódio em água destilada. Transferir para o balão volumétrico de 1000 mL e completar o volume com água destilada.

b) Solução de ferrocianeto de potássio tri-hidratado a 15% m/v: dissolver 150 g de ferrocianeto de potássio em água destilada, após transferir para um balão volumétrico de 1000 mL e completar o volume com água destilada.

c) Solução acetato de zinco dihidratado a 30% m/v: dissolver 300 g de acetato de zinco em 30 mL de ácido acético glacial e 500 mL de água destilada. A seguir, completar o volume para 1000 mL com água destilada.

Redução dos reagentes: Para redução da concentração dos reagentes, o volume final das amostras será reduzido para 1 mL e a solução Reagente 1 (ácido sulfanílico, ácido acético e água destilada) e solução Reagente 2 (alfa-naftilamina e álcool etílico) será diluído 10 vezes.

Preparo da amostra

Triturar a amostra com auxílio de gral e pistilo colocar amostra triturada no béquer de 200 mL e adicionar 5 mL de solução aquosa de tetraborato de sódio a 5% e 50 mL de água destilada.

Homogeneizar e submeter ao aquecimento em banho-maria a 80 °C por 20 minutos sob agitação.

Com o auxílio de um funil e bastão de vidro, a solução será transferida para um balão volumétrico de 200 mL, onde serão adicionados 5 mL de ferrocianeto de potássio 15% e 5 mL de solução acetato de zinco 30%.

Após adição cada de reagente, e o volume será completado com água destilada para 200 mL. Após 15 minutos, a solução será filtrada.

Determinação de nitrito

O volume de 10 mL da amostra preparada e filtrada será transferido para o balão volumétrico de 50 mL ao qual serão adicionadas 2 gotas do reagente de 1.

Deixar o sistema em repouso e, após 5 minutos, adicionar 2 gotas do reagente 2.

Completar o volume do balão com água destilada e homogeneizar.

Após 15 minutos, realizar a leitura em espectrofotômetro a 540 nm e no smartphone utilizando o aplicativo Photometrix acoplado a uma caixa-escura contendo lâmpada LED.

construir a curva analítica com concentrações de nitrito variando de 0 a 10 ppm (n = 7 pontos). Também utilizar a placa de porcelana para verificação de variação de cores.

Aplicativo Photometrix

Adquirir o aplicativo Photometrix® para smartphones gratuitamente no Play Store.

No menu inicial será utilizado o recurso "análise univariada".

Na sequência, surge a segunda tela com opções para a coleta de dados Multiple Channels (vários canais) e Vector RGB (vetor RGB).

Executando Multiple Channels, abre-se automaticamente a terceira tela com as opções Calibration (calibração) e Sampling (amostragem).

Aplicativo Photometrix

Na opção Calibration, serão adicionados números de amostras usadas para a construção da curva analítica. Executando a opção Capture Images (captura de imagens), informando a concentração das soluções preparadas para construção da curva analítica.

Então, será realizada a medida colorimétrica dessas soluções que serão colocadas uma a uma na cabine coletora de dados.

Em seguida, será executada a opção save (salvar) e o programa vai gerar a curva analítica. Logo será executada a opção sampling (amostragem) e realizadas as medições dos analitos de interesse nas matrizes alimentares avaliadas, de forma semelhante às realizadas com as soluções padrões em diferentes concentrações. Para finalizar, a curva analítica será selecionada, permitindo a conversão do sinal obtido na análise em concentração do analito de interesse.