

USO DO RGB COMO MÉTODO QUANTITATIVO APLICADO AO ENSINO DE QUÍMICA ANALÍTICA

USE OF RGB AS A QUANTITATIVE METHOD APPLIED TO THE TEACHING OF ANALYTICAL CHEMISTRY

VELOSO, Pedro Henrique Fonseca^{1*}, SACRAMENTO, Veronica de Melo², ROYO, Vanessa de Andrade^{1,2}

¹ Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes), Departamento de Biologia Geral, Montes Claros - Brasil.

² Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes), Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Montes Claros - Brasil.

* Autor correspondente
e-mail: pedrofonsecambc@gmail.com

Received 20 Augst 2022; received in revised form 20 September 2022; accepted 26 September 2022

RESUMO

Introdução: A utilização de alternativas para o ensino de química analítica na graduação tem sido um desafio para professores, uma vez que a maior parte dos métodos demandam de equipamentos de alto custo e habilidades analíticas funcionais. Este trabalho apresenta o uso do RGB, um sistema de cores aditivas presentes em mídias digitais como método de quantificação de um determinado analito em amostras. **Objetivo:** Analisar diferentes amostras contendo distintas concentrações de café, comparando-as por meio de duas técnicas: 1) espectrofotometria e 2) RGB, e posteriormente realizar os cálculos para a determinação de uma concentração desconhecida. **Métodos:** Oito amostras foram preparadas, seis com concentrações definidas de café, uma em branco e uma sem concentração definida. O método 1 utilizou o espectrofotômetro para leitura da absorvância no comprimento de onda 420 nm para a leitura das melanoidinas, no método 2 foi utilizado o RGB, posicionando cubetas em frente uma tela digital emitindo luz no comprimento de onda correspondente. O Microsoft Powerpoint foi utilizado para coleta dos dados RGB e o Microsoft Excel para o tratamento dos dados. **Resultados:** Os dados obtidos por meio do equipamento analítico, bem como os obtidos via RGB foram capazes de estimar a concentração desconhecida de café, ambas as técnicas estimaram uma concentração entre 3 e 4%, ambos com equação da reta e r^2 capazes de estimar valores correspondentes as concentrações das amostras. **Discussão:** A técnica RGB vem sendo estudada nas últimas décadas, principalmente para análises colorimétricas, uma vez possibilita de forma acessível o estudo ou experiências laboratoriais. Aproximando o discente da técnica espectrofotométrica, promovendo desenvolvimento científico e a elaboração de hipótese sobre o uso da tecnologia como ferramenta de análise. **Conclusões:** As práticas experimentais promovem o desenvolvimento de investigação, que orientam tanto o docente como o discente na utilização de novas tecnologias e no desenvolvimento de novas atividades voltadas para o ensino, este trabalho em questão abre um leque para a utilização de ferramentas e métodos de fácil acesso e baixo custo.

Palavras-chave: *Café, Melanoidinas, Métodos de quantificação, espectrofotometria, RGB.*

ABSTRACT

Background: The use of alternatives for teaching analytical chemistry in undergraduate studies has been a challenge for teachers since most methods require high-cost equipment and functional analytical skills. This work presents the use of RGB, an additive color system in digital media, as a method of quantifying of a given analyte in samples. **Aim:** To analyze different samples containing different concentrations of coffee, comparing them using two techniques: 1) spectrophotometry and 2) RGB, and then perform the calculations for the determination of an unknown concentration. **Methods:** Eight samples were prepared, six with defined concentrations of coffee, one in white, and one without a defined concentration. Method 1 used the spectrophotometer to read the absorbance at 420 nm wavelength for melanoidin reading, in method 2 the RGB was used, positioning buckets in front of a digital screen emitting light at the corresponding wavelength. Microsoft Powerpoint was used to collect RGB and Microsoft Excel data for data processing. **Results:** The data obtained through the analytical equipment, as well as those obtained via RGB, were able to estimate the unknown concentration of coffee, both techniques estimated a concentration between 3 and 4%, both with the equation of the line and r^2 capable of estimating

values corresponding to the concentrations of the samples. **Discussion:** The RGB technique has been studied in recent decades, mainly for colorimetric analyses, since it makes the study or laboratory experiments available in an accessible way. Bringing the student closer to the spectrophotometric technique, promoting scientific development, and elaborating the hypothesis about using technology as an analysis tool. **Conclusions:** Experimental practices promote the development of research, which guide both teachers and students in the use of new technologies and in the development of new activities aimed at teaching, this work in question opens a range for the use of tools and methods of easy access and low cost.

Keywords: *Coffee, Melanoidins, Quantification Methods, Spectrophotometry, RGB*

1. INTRODUÇÃO:

A química analítica pode ser definida como um processo autossuficiente, capaz de gerar dados qualitativos e quantitativos dentro de uma amostra ou material, no qual obtém-se informações sobre a composição química, estrutura presente, arranjo e volume de átomos de uma amostra (Cammann, 1992). É uma disciplina ofertada em diversas graduações, incluindo cursos das áreas das ciências exatas, biológicas, naturais, saúde e tecnologia. De forma generalista o ensino de química é frequentemente relatado como algo difícil, isso se dá principalmente pela utilização de termos técnicos complexos diretamente relacionados a linguagem científica (Mönch e Markic, 2022). Dentre as principais barreiras do ensino de químicas estão as dificuldades de realização de práticas experimentais, principalmente no que diz respeito da contextualização da teoria junto a prática (Moisés *et al.*, 2022).

Nessa perspectiva, gerar o conhecimento e desenvolvimento científico se faz necessário para o bom desempenho acadêmico do aluno na vida cotidiana bem como no profissional. O conhecimento científico exerce influência no cotidiano da sociedade e do meio ambiente. Na tentativa de conhecer os fenômenos e descrevê-los torna-se comum a realização de práticas experimentais que de forma extensa e controlada que impulsionam o desenvolvimento nos mais diversos setores tornando-os mais atraentes, acessíveis e promovendo o avanço tecnológico de materiais e processos como na indústria de medicamentos, na agricultura, na alimentação, na comunicação, entre outros (Coelho e Marques, 2007)

Os laboratórios exercem uma grande importância no contexto do ensino, através dele é possível fornecer treinamento e observação no qual estímulos e curiosidade podem ser treinados, uma vez que a utilização deste espaço configura uma importante abordagem para o

desenvolvimento intelectual do aluno, considerada uma experiência popular e valiosa tanto para professores quanto para alunos (Salta, Ntalakou e Tsiortos, 2022). Neste cenário, a contextualização das atividades experimentais auxilia e contempla a educação científica ao promover entre os discentes descobertas, interações e participações ativas de forma reflexiva e dialógica, e promovem o desenvolvimento de conhecimentos e habilidades, afastando a premissa de que práticas laboratoriais requerem equipamentos e materiais caros e inacessíveis (Diógenes *et al.*, 2020; Pucinelli *et al.*, 2021)

A espectrofotometria é uma técnica analítica quantitativa, que tem como objetivo a absorção de luz em espectros do ultravioleta ou luz visível por espécies químicas, tanto em solução quanto em fase gasosa (Worsfold, 2017), é uma técnica ensinada a alunos do ensino médio (Silva *et al.*, 2021) e graduação, sendo aplicada na caracterização de compostos químicos (Lietard *et al.*, 2021). Desta forma a técnica é definida como a quantificação de um determinado composto a partir da luz emitida ou absorvida pelos constituintes presentes em uma amostra. Concomitantemente, aplica-se a Lei de Lambert-Beer, que é usada na determinação da concentração (Paristiowati *et al.*, 2021). Trabalhos já publicados sobre a utilização da espectrofotometria de forma didática (Wang *et al.*, 2022; Destino e Cunningham, 2020; Angarita-Rivera *et al.*, 2019; Arrebola *et al.*, 2020; Dooling *et al.*, 2013) trazem método como peça-chave ou como uma ferramenta estratégica que busca aproximar o discente de situações que simulem o ambiente do laboratório. A utilização da Webcam (Silva *et al.*, 2021) e construção do próprio espectrofotômetro tem sido uma das maneiras de desmistificar a técnica analítica e aproximá-la dos discentes (Diawati *et al.*, 2018).

Segundo Paulo Freire (1996), é necessário que o processo de ensino-aprendizagem contemple a realidade histórico-social do aluno, como principal meio para a sua autonomia (Freire, 1996). Logo, buscar o uso de elementos do

cotidiano para facilitar a compreensão dos conceitos é essencial. Neste contexto, insere-se o café, bebida altamente apreciada no Brasil, que é o maior produtor e exportador destes grãos no mundo, ocupando a segunda posição em consumo no ocidente (Brasil, 2022). Os aspectos relativos às propriedades do café e sua composição química pode ser uma ferramenta utilizado no processo ensino-aprendizagem visto que há possibilidade da aproximação de uma situação conteudista a algo prático no cotidiano do discente.

A determinação da qualidade do café é realizada a partir das características organolépticas do produto, tal qual a aparência física e os constituintes químicos (Tolessa *et al.*, 2017) dentre os constituintes químicos de maior relevância estão o ácido clorogênico (figura 1), a cafeína (figura 2), a trigonelina (figura 3) e as melanoidinas (figura4)(Monteiro e Trugo, 2005), essas responsáveis pela cor e aroma, com o percentual de até 25% da matéria seca do produto (Tolessa *et al.*, 2017). O processo pirolítico é induzido pela torrefação dos polissacarídeos presentes na parede celular do café, como as arabinogalactanas que correspondem a 47% das melanoidinas formadas (Rufián-Henares e Pastoriza, 2015), aquecimento também provoca a redução dos teores de ácido clorogênico e trigonelina, que são compostos termolábeis, com consequente formação de melanoidinas por meio da Reação de Maillard (Marcucci *et al.*, 2013).

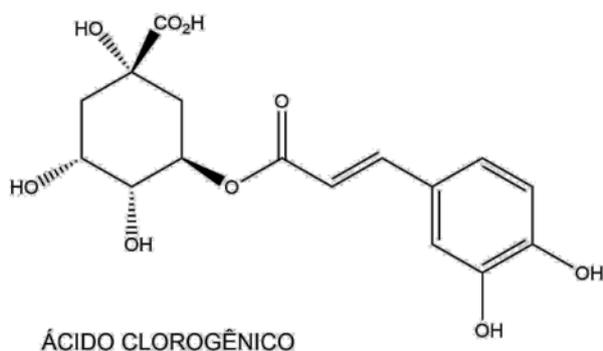
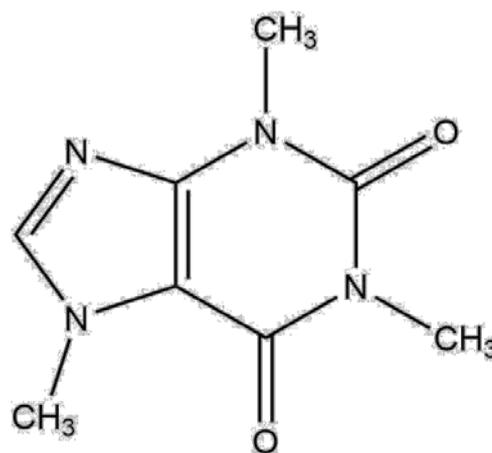
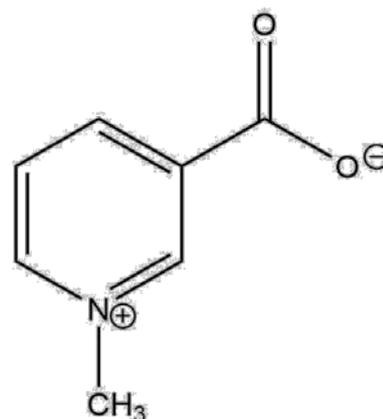


Figura 1. Estrutura do Ácido Clorogênico. Fonte: autores.



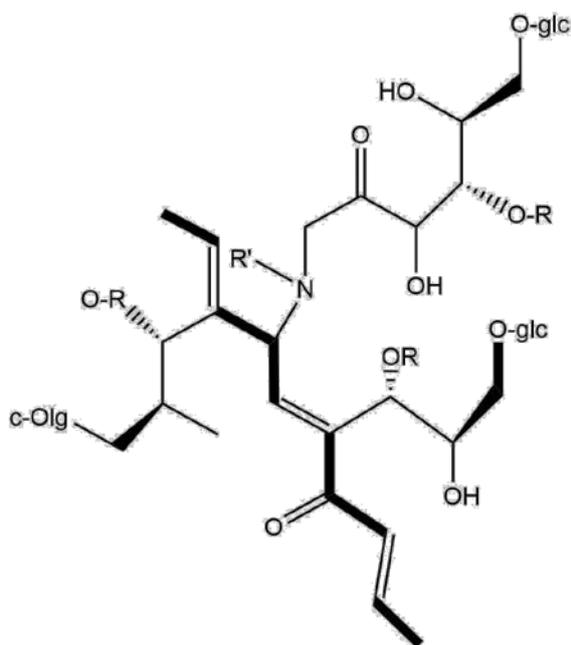
CAFEÍNA

Figura 2. Estrutura da Cafeína. Fonte: autores.



TRIGONELINA

Figura 3. Estrutura da Trigonelina. Fonte: autores.



R: H; glc; (glc)_n

Figura 4. Estrutura básica das melanoidinas.
 Fonte: autores, adaptado de Cämmerer, Jalyschkov e Kroh (2002)

A reação de Maillard, (RM) é definida como uma cascata de reações químicas que envolve aminoácidos ou proteínas em conjunto com açúcares redutores, não enzimáticas, ocorre em altas temperaturas (Su *et al.*, 2012), e como resultado há a formação de compostos que conferem cor, sabor e aroma aos alimentos (Starowicz e Zieliński, 2019). Dentre os produtos obtidos pela RM, destacam-se as melanoidinas, compostos de alto peso molecular formadas na última etapa da RM, são reconhecidas estruturalmente pela presença de nitrogênio entre o grupo carbonila dos açúcares redutores e o grupo amino dos aminoácidos ou proteínas e pela cor marrom e dourada que confere aos alimentos (Johnson *et al.*, 2019)

As cores e os corantes possuem papéis notáveis em nossa vida, seja pelo fascínio que a sociedade atribui a eles, ou pela sua utilização antes da era comum, pelas civilizações mais remotas, que os utilizavam para os tingimentos e pinturas (Goldani, 2005). As melanoidinas não são classificadas como corantes, mas especificamente as encontradas no café exercem funções próximas, uma vez que possui a capacidade de deixar manchas de tons marrom nos tecidos nos quais teve contato direto.

Visando uma abordagem simplificada e de fácil realização, o objetivo da experiência é

demonstrar a técnica espectrofotométrica de forma simples, a partir das cores expressas em diferentes concentrações das soluções de café. Utilizando como ferramenta de leitura o sistema de cores RGB (*red, green, blue*). O foco do experimento é observar as diferentes diluições das soluções, avaliando as utilizações de ferramentas digitais como estratégia didática.

2. PARTE EXPERIMENTAL:

O Café (*Coffea arabica* L.) torrado e moído, do tipo torra escura (extra forte), foi adquirido no comércio da cidade de Montes Claros em Minas Gerais - Brasil.

2.1. Obtenção da solução estoque

A preparação da solução estoque foi realizada adicionando 10 gramas do pó de café, em funil com filtro de papel, em seguida foram vertidos 100 mL de água mineral a aproximadamente 90 °C sobre o pó (Santos *et al.*, 2007; Yen *et al.*, 2005). O método utilização para a extração das melanoidinas foi a líquido-sólido, no qual por meio do processo de filtração o líquido foi coletado e armazenado para análise posterior. Diferente da líquido-líquido que utiliza-se dois líquidos, geralmente uma fase aquosa e uma orgânica, no qual há a transferência de solutos de uma solução para outra, que posteriormente são separadas por um funil de separação (Polli, Prochnow e Tamanini, 1998).

2.2. Análises experimentais

As análises experimentais se deram em cinco etapas:

1) Diluição da solução estoque em água nas concentrações de 1, 2, 3, 4, 5, 6% e uma amostra desconhecida, completadas com água filtrada até a alíquota de 2 mL de uma cubeta. Para o branco foi utilizado água filtrada.

2) Análise das amostras no espectrofotômetro Shimadzu UV-VIS (Spectrophotometer UV-VIS 2550, Tóquio, Japão) no comprimento de onda 420 nm.

3) Alocação das imagens sobre um fundo de tela colorido equivalente ao comprimento de onda desejado por meio de conversão on-line do comprimento de onda para RGB (Gee *et al.* 2017), para a análise foi utilizado o comprimento de 420 nm, comumente utilizado para avaliação de melanoidinas (figura 6).

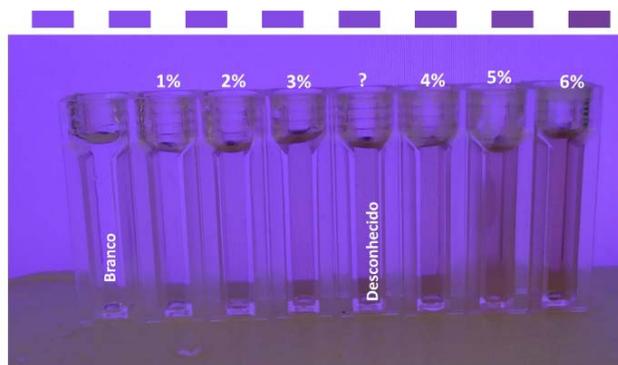


Figura 6. Amostras em frente a um fundo como RGB equivalente ao comprimento de onda de 420 nm. Fonte: autores

4) Aquisição das imagens utilizando smartphone Xiaomi Mi A2 provido de flash (12 megapixels com resolução de 4000 x 3000 pixels). A análise das imagens foi realizada por meio do software Microsoft Powerpoint 365 (versão 16.0.15028.20160), no qual inseriu-se o formato retângulo por meio do menu “inserir> ilustrações> formas> retângulo” e utilizou-se a ferramenta conta gotas “forma de formato>estilos de forma> preenchimento de formas> conta-gotas”. Foi selecionada a forma retângulo e posteriormente preenchida por meio do conta-gotas através do padrão sólido da cor de cada amostra (figura 7).

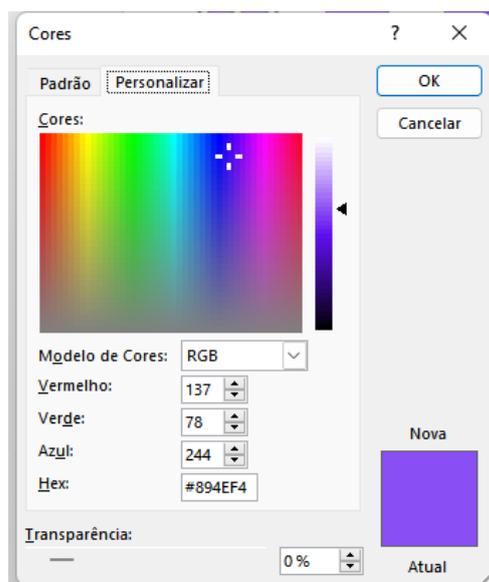


Figura 7. Janela do Powerpoint utilizada para coleta dos dados. R: 137, G: 78 e B: 244 referentes a amostra “branco”. Fonte: autores.

5) Comparação dos resultados obtidos por meio do sistema RGB utilizando o Microsoft Excel 365 (versão 16.0.15028.20160), e os dados

obtidos por meio da espectrofotometria. O cálculo das concentrações através da equação da reta e a estimativa da concentração desconhecida. No qual foi plotado os gráficos, com equação da reta, linha tendencia e R^2 (Gee *et al.*, 2017).

2.3 Análise de Dados

Os resultados da absorvância foram calculados utilizando a equação 1 (Gee *et al.*, 2017):

$$A = -\log (I_n/I_{\text{branco}}) \quad (\text{Eq. 1})$$

No qual, o I_n é correspondente aos valores de RGB, que são adaptados com os melhores resultados dentre os obtidos. I_{branco} é o valor RGB para água filtrada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

3.1. Resultados

As análises realizadas por meio do espectrofotômetro foram concisas com a atividade proposta, as leituras no comprimento de onda 420 nm foram eficientes, capazes de apresentar a equação da reta necessária para revelar a concentração desconhecida (figura 7). A medição da concentração desconhecida foi realizada após a análise das concentrações conhecidas, que apresentou a absorvância de 0,414. O branco foi realizado com água filtrada.

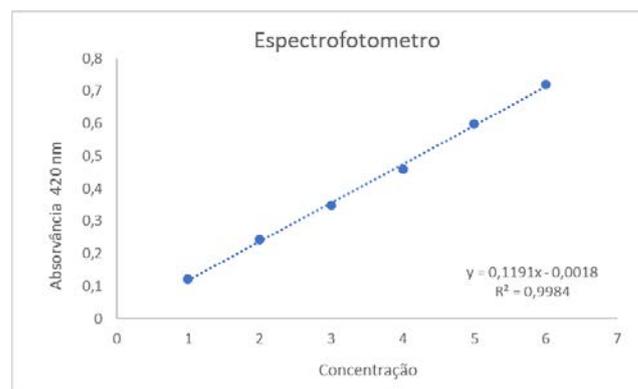


Figura 8. Gráfico com as medidas de absorvâncias no espectrofotômetro das concentrações conhecidas. Fonte: autores

Os resultados obtidos por meio da utilização de uma tela, com a cor equivalente ao comprimento de onda de 420 nm, apresentou eficiência na organização dos dados, originando a equação da reta necessária para o cálculo do ponto desconhecido (figura 8). O branco foi realizado com água filtrada (R: 137, G: 78, B:244).

A medição da concentração desconhecida foi realizada após a análise das concentrações conhecidas, que apresentou a absorvância de 0,065.

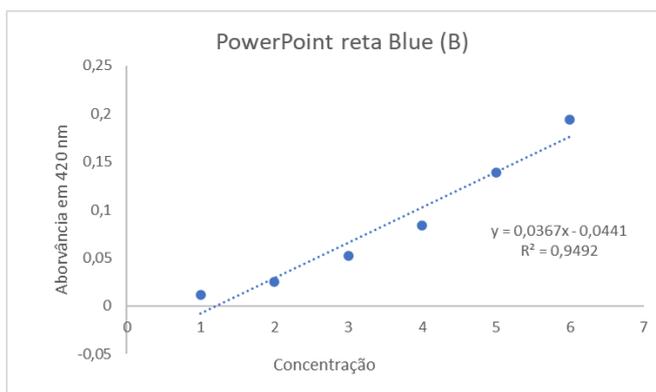


Figura 9. Gráfico com as medidas de absorvâncias RGB – B no Powerpoint das concentrações conhecidas. Fonte: autores

Os cálculos foram realizados por meio das equações da reta referentes a cada um dos métodos. Para o cálculo referente à espectrofotometria foi utilizada a equação 2:

$$y = 0,1191x - 0,0018 \quad R^2: 0,9984 \quad (\text{Eq. 2})$$

Para o cálculo referente ao RGB- B foi utilizada a equação 3:

$$Y = 0,0367x - 0,0441 \quad R^2: 0,9492 \quad (\text{Eq. 3})$$

Os resultados equivalentes as técnicas utilizadas foram expressas nas tabelas 1 e 2, respectivamente leitura no espectrofotômetro e leitura no RGB-B para a determinação da concentração desconhecida.

Tabela 1. Resultados da análise espectrofotométrica.

Equação da reta espectrofotômetro: $y = 0,1191x - 0,0018 \quad R^2 = 0,9984$

Concentração inicial	Absorvância	Concentração final
1%	0,121	1,0
2%	0,243	2,0
3%	0,349	2,9
4%	0,459	3,86
5%	0,599	5,0
6%	0,719	6,0
Concentração desconhecida	0,414	3,49

Fonte: autores

Tabela 2. Resultado da análise em RGB - B

Equação da reta RGB (B) Powerpoint: $y = 0,0367x - 0,0441 \quad R^2 = 0,9492$

Concentração inicial	Absorvância	Concentração estimada no RGB
1%	0,012	1,52
2%	0,025	1,88
3%	0,052	2,61
4%	0,084	3,49
5%	0,139	4,9
6%	0,194	6,4
Concentração desconhecida	0,065	2,97

Fonte: autores

3.2. Discussão

A atividade realizada proporcionou experiência importante sobre o uso de duas ferramentas para estimar a concentração de café, por meio das melanoidinas. Ambas as técnicas utilizadas apresentaram resultados significativos no que se diz respeito sobre a determinação de concentração de uma amostra desconhecida, por meio da equação da reta.

O conceito de cor luz pode ser traduzida como a cor que enxergamos refletidas em um determinado objeto, isto é, reflete a que se encontra do mesmo comprimento de onda e absorve aquelas fora do espectro, nesse conceito há denominação de três cores primárias, o azul, verde e vermelho (Zimmermann, 2005). Nos meios digitais é usado esses mesmos sistemas de cores aditivos, o RGB, R= vermelho, G: verde e B: azul.

Na análise realizada pelo método RGB demonstrou eficiência tanto para a leitura quanto para a estimativa de concentração, com ressalvas uma vez que a técnica não é tão precisa quanto um equipamento analítico, mas é capaz de gerar estimativas em concordância com diferentes concentrações, como pode ser observado na figura 7 e tabela 2. A linear adotada para a realização do estudo foi a B, que refere-se a cor azul, que apresentou melhores resultados, próximos aos encontrados das obtidas do espectrofotômetro. A definição de qual é o melhor canal de cor (R, G ou B) deve ser utilizada com base nos resultados que apresentam uma maior faixa dinâmica (Gee *et al.*, 2017).

A utilização de RGB já foi utilizada em inúmeros estudos colorimétricos, o uso tem sido implicado na realização de experimentos de baixo custo, quando comparado ao uso do espectrofotômetro. A técnica já foi aplicada na quantificação de curcuminóides em cúrcuma, no

qual os resultados obtidos foram muito próximos, não havendo diferenças significativas quando comparado com os resultados obtidos via espectrofotometria (Supannarach e Thanapatay, 2008). A mesma metodologia, aplicada a variação e intensidade de cor foi utilizada no monitoramento do crescimento da alga *Chlorella vulgaris* (Peter *et al.*, 2021).

Mais especificamente para a análise do café, foram realizadas análises em sala de aula onde o RGB foi aplicado para verificar diferentes intensidades, teores de fenólicos e o poder redutor, mostrando eficácia do método, além do baixo valor agregado as análises (Barreto, 2019). Em nossa pesquisa análise de diferentes concentrações de café por meio do RGB foi uma estratégia do ensino da espectrofotometria de forma simplificada, que pode ser realizada tanto em laboratório, sala de aula ou em casa, fazendo-se possível realizar as leituras, e confeccionar as curvas de regressão linear e estimar a absorvância de cada amostra.

Práticas experimentais promovem o desenvolvimento de posturas investigativas e a construção dos saberes científicos que podem ocorrer de forma contextualizada. Assim, a experimentação vai além do preconceito relativo a uma simples aplicação de “receita” que tem como resultado um relatório pré-determinado. Na óptica proposta, neste trabalho, o discente e o docente envolvem-se na experimentação de forma cooperativa, investigativa e dinâmica com a utilização de tecnologia que usam os padrões RGB que são funcionais como estratégia para o ensino da espectrofotometria, especialmente durante as aulas não presenciais. Na experimentação investigativa há a discussão por parte dos alunos no processo da elaboração de hipóteses, e o auxílio do professor responsável, mediando as ideias, para o exercício da capacidade de argumentação (Oliveira *et al.*, 2011)

4. CONCLUSÕES:

A diluição das amostras, a análise colorimétrica e o cálculo de absorção são exercícios importantes para o desenvolvimento crítico do aluno e aulas experimentais como esta trata-se de estratégias didáticas para o ensino de química, a partir destas surgem investigações que possibilitam a criação de hipóteses sobre as atividades a serem realizadas, aproximando-os do método científico na prática.

Concluimos que a utilização do RGB em sala de aula como um método alternativo ao

espectrofotômetro é eficiente, barato e de fácil realização. Unindo a teoria por traz da espectrofotometria de forma clara utilizando materiais presentes no cotidiano.

5. DECLARAÇÕES

5.1. Limitações do estudo

O estudo é limitado as amostras analisadas e aos ensaios realizados.

5.2. Agradecimentos

Laboratório de Produtos Naturais (LPN) - Universidade Estadual de Montes Claros.

5.3. Funding source

Esta pesquisa foi financiada pelos próprios autores.

5.4. Competing Interests

Os autores declaram que não há conflito de interesses.

5.5. Open Access

This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution, and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The images or other third-party material in this article are included in the article's Creative Commons license unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

6. REFERÊNCIAS:

1. Angarita-Rivera, P. A., Gabbard, D. B., Main, K. A., Timmermann, K. M., Kinkade, K. B., Wilson, K. J., & Doçi, C. L. (2019). Vitamin C as a Model for a Novel and Approachable Experimental Framework for Investigating Spectrophotometry. In *Journal of Chemical Education* (Vol. 96, Issue 11, pp. 2578–2583). American Chemical Society (ACS). <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00197>

2. Arrebola, J. C., Rodríguez-Fernández, N., & Caballero, Á. (2020). Decontamination of Wastewater Using Activated Biochar from Agricultural Waste: A Practical Experiment for Environmental Sciences Students. In *Journal of Chemical Education* (Vol. 97, Issue 11, pp. 4137–4144). American Chemical Society (ACS). <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00202>.
3. BARRETO, M. S. (2019). Método analítico inovador para determinação de compostos fenólicos e atividade antioxidante do café. 2019. 55 f. Dissertação (Mestrado em Química em Rede Nacional) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.
4. Brasil, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Café no Brasil, 2018. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politicaagricola/cafe/cafeicultura-brasileira>. Acesso em: 10 abr. 2022.
5. Cammann, K. (1992). Analytical Chemistry? today's definition and interpretation. In *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry* (Vol. 343, Issue 11, pp. 812–813). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1007/bf00328560>
6. Cämmerer, B., Jalyschkov, V., & Kroh, L. W. (2002). Carbohydrate structures as part of the melanoidin skeleton. In *International Congress Series* (Vol. 1245, pp. 269–273). Elsevier BV. [https://doi.org/10.1016/s0531-5131\(02\)00890-7](https://doi.org/10.1016/s0531-5131(02)00890-7)
7. Coelho, J. C., Marques, C. A. (2007). Contribuições freireanas para a contextualização no ensino de Química. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências* (Belo Horizonte), 9, 59-75. <https://doi.org/10.1590/1983-21172007090105>
8. Destino, J. F., & Cunningham, K. (2020). At-Home Colorimetric and Absorbance-Based Analyses: An Opportunity for Inquiry-Based, Laboratory-Style Learning. In *Journal of Chemical Education* (Vol. 97, Issue 9, pp. 2960–2966). American Chemical Society (ACS). <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00604>.
9. Diawati, C., Liliasari, Setiabudi, A., & Buchari. (2018). Using Project-Based Learning To Design, Build, and Test Student-Made Photometer by Measuring the Unknown Concentration of Colored Substances. In *Journal of Chemical Education* (Vol. 95, Issue 3, pp. 468–475). American Chemical Society (ACS). <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b0025>
10. Diógenes, L. M. M. B., Pinheiro, M. C. D., Rolim, K. M. C., Albuquerque, F. H. S., Firmes, M. da P. R., Castro, C. S. C., Sampaio, C. S. M., & Oliveira, B. K. F. (2020). Painel integrado: Recurso didático-pedagógico no processo ensino-aprendizagem. In *Brazilian Journal of Development* (Vol. 6, Issue 4, pp. 20426–20474). Brazilian Journal of Development. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n4-282>
11. Dooling, K., Bodenstedt, K., & Page, M. F. Z. (2013). A Caffeinated Boost on UV Spectrophotometry: A Lab for High School Chemistry or an Introductory University Chemistry Course. In *Journal of Chemical Education* (Vol. 90, Issue 7, pp. 914–917). American Chemical Society (ACS). <https://doi.org/10.1021/ed300654u>
12. Freire, P. *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa*. São Paulo, Paz e Terra, 1996.
13. Gee, C. T., Kehoe, E., Pomerantz, W. C. K., & Penn, R. L. (2017). Quantifying Protein Concentrations Using Smartphone Colorimetry: A New Method for an Established Test. In *Journal of Chemical Education* (Vol. 94, Issue 7, pp. 941–945). American Chemical Society (ACS). <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00676>
14. GOLDANI, E. (2005). DYES: COLORS AND THEIR FASCINATION IN SOCIETY.

- Em Periódico Tchê Química (Vol. 03, Issue 2, p. 61–66). Dr. D. Scientific Consulting. https://doi.org/10.52571/ptq.v2.n03.2005.janeiro/9_pgs_61_66.pdf
15. Johnson, I., Sithik Ali, M. A., & Kumar, M. (2019). Cyanobacteria/Microalgae for Distillery Wastewater Treatment- Past, Present and the Future. In *Microbial Wastewater Treatment* (pp. 195–236). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816809-7.00010-5>
 16. Lietard, A., Screen, M. A., Flindt, D. L., Jordan, C. J. C., Robson, J. M., & Verlet, J. R. R. (2021). A Combined Spectrophotometer and Fluorometer to Demonstrate the Principles of Absorption Spectroscopy. In *Journal of Chemical Education* (Vol. 98, Issue 12, pp. 3871–3877). American Chemical Society (ACS). <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00742>.
 17. Marcucci, C. T., Benassi, M. de T., Almeida, M. B., & Nixdorf, S. L. (2013). Teores de trigonelina, ácido 5-cafeoilquínico, cafeína e melanoidinas em cafés solúveis comerciais brasileiros. In *Química Nova* (Vol. 36, Issue 4, pp. 544–548). FapUNIFESP (SciELO). <https://doi.org/10.1590/s0100-40422013000400011>
 18. Moisés, L. J. A., Nunes, J. D. S., Souza, L. M. de, Lira, A. de L., & Simões, A. S. de M. (2022). Experimentação no ensino de ciências: possibilidades e desafios. In *Revista Brasileira da Educação Profissional e Tecnológica* (Vol. 1, Issue 22, p. e12562). Instituto Federal de Educacao, Ciencia e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). <https://doi.org/10.15628/rbept.2022.12562>
 19. Mönch, C., & Markic, S. (2022). Exploring Pre-Service Chemistry Teachers' Pedagogical Scientific Language Knowledge. In *Education Sciences* (Vol. 12, Issue 4, p. 244). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/educsci12040244>
 20. Monteiro, M. C., & Trugo, L. C. (2005). Determinação de compostos bioativos em amostras comerciais de café torrado. In *Química Nova* (Vol. 28, Issue 4, pp. 637–641). FapUNIFESP (SciELO). <https://doi.org/10.1590/s0100-4042200500040001>
 21. OLIVEIRA, N., BENEDETI, F. E., FIORUCCI, A. R., BENEDETTI, L. P. dos S., & BELOTO, M. R. M. de O. (2011). USE OF SIMULATORS FOR LABORATORY EQUIPMENT IN ACTIVITY OF INVESTIGATIVE PLAYFUL EXPERIMENTATION IN SECONDARY SCHOOLS. In *Periódico Tchê Química* (Vol. 08, Issue 16, pp. 32–41). Dr. D. Scientific Consulting. https://doi.org/10.52571/ptq.v8.n16.2011.32_periodico16_pgs_32_41.pdf
 22. Paristiwati, M., Moersilah, M., Nurjayadi, M., & Fitria, A. N. (2021). RGB-ColorMeter on smartphones as a simple spectrophotometer: An alternative method of teaching spectrophotometry at the vocational high school of chemical analysts. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1869, Issue 1, p. 012064). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1869/1/012064>.
 23. Peter, A. P., Chew, K. W., Koyande, A. K., Yuk-Heng, S., Ting, H. Y., Rajendran, S., Munawaroh, H. S. H., Yoo, C. K., & Show, P. L. (2021). Cultivation of *Chlorella vulgaris* on dairy waste using vision imaging for biomass growth monitoring. In *Bioresource Technology* (Vol. 341, p. 125892). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125892>
 24. Polli, V. R. G., Prochnow, A. R., & Tamanini, J. Z. (1998). EXTRACTION OF COLORED SUBSTANCES FROM MATE (*ILEX PARAGUARIENSIS*). In *Southern Brazilian Journal of Chemistry* (Vol. 6, Issue 6, p. 45–51). Southern Brazilian Journal of Chemistry. https://doi.org/10.48141/sbjchem.v6.n6.1998.47_1998.pdf
 25. Pucinelli, R. H., Kassab, Y., & Ramos, C. (2021). METODOLOGIAS ATIVAS NO ENSINO SUPERIOR: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA / ACTIVE

- METHODOLOGIES IN HIGHER EDUCATION: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS. In *Brazilian Journal of Development* (Vol. 7, Issue 2, pp. 12495–12509). Brazilian Journal of Development. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n2-051>
26. Rufián-Henares, J. A., & Pastoriza, S. (2015). Melanoidins in Coffee. In *Coffee in Health and Disease Prevention* (pp. 183–188). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409517-5.00020-6>
 27. Salta, K., Ntalakou, E., & Tsiortos, Z. (2022). Review of Hands-On Laboratory Experiments Employing Household Supplies. In *Journal of Chemical Education* (Vol. 99, Issue 7, pp. 2563–2571). American Chemical Society (ACS). <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00037>
 28. Santos, M. H. dos, Batista, B. L., Duarte, S. M. da S., Abreu, C. M. P. de, & Gouvêa, C. M. C. P. (2007). Influência do processamento e da torrefação sobre a atividade antioxidante do café (*Coffea arabica*). In *Química Nova* (Vol. 30, Issue 3, pp. 604–610). FapUNIFESP (SciELO). <https://doi.org/10.1590/s0100-40422007000300020>
 29. Silva, W. R. F., Suarez, W. T., Reis, C., dos Santos, V. B., Carvalho, F. A., Reis, E. L., & Vicentini, F. C. (2021). Multifunctional Webcam Spectrophotometer for Performing Analytical Determination and Measurements of Emission, Absorption, and Fluorescence Spectra. In *Journal of Chemical Education* (Vol. 98, Issue 4, pp. 1442–1447). American Chemical Society (ACS). <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c01085>
 30. Starowicz, M., & Zieliński, H. (2019). How Maillard Reaction Influences Sensorial Properties (Color, Flavor and Texture) of Food Products? In *Food Reviews International* (Vol. 35, Issue 8, pp. 707–725). Informa UK Limited. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1600538>
 31. Su, J.-F., Yuan, X.-Y., Huang, Z., Wang, X.-Y., Lu, X.-Z., Zhang, L.-D., & Wang, S.-B. (2012). Physicochemical properties of soy protein isolate/carboxymethyl cellulose blend films crosslinked by Maillard reactions: Color, transparency and heat-sealing ability. In *Materials Science and Engineering: C* (Vol. 32, Issue 1, pp. 40–46). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2011.09.009>
 32. Supannarach, S., & Thanapatay, D. (2008). The study of using RGB color sensor to measure the Curcuminoids amount in Turmeric (*Curcuma longa* Linn.) and Zedoary (*Curcuma Zedoarie* Rose.) by comparing colors with HSL system. In *2008 5th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology*. 2008 5th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ecticon.2008.4600487>
 33. Tolessa, K., D'heer, J., Duchateau, L., & Boeckx, P. (2016). Influence of growing altitude, shade and harvest period on quality and biochemical composition of Ethiopian specialty coffee. In *Journal of the Science of Food and Agriculture* (Vol. 97, Issue 9, pp. 2849–2857). Wiley. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8114>
 34. Wang, J., Zhou, W., Yu, M., Zhu, Z., & Li, Y. (2021). Adsorption of Additives in Cola Beverages: A Safe and Improved Experiment Exploring Beer's Law and Adsorption Process. In *Journal of Chemical Education* (Vol. 99, Issue 2, pp. 924–931). American Chemical Society (ACS). <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00471>
 35. Worsfold, Paul. J., & Zagatto, Elias. A. G. (2017). Spectrophotometry: Overview ☆. In *Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering*. Elsevier.

<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409547-2.14265-9>

36. Yen, W.-J., Wang, B.-S., Chang, L.-W., & Duh, P.-D. (2005). Antioxidant Properties of Roasted Coffee Residues. In Journal of Agricultural and Food Chemistry (Vol. 53, Issue 7, pp. 2658–2663). American Chemical Society (ACS). <https://doi.org/10.1021/jf0402429>

STUDY THE DIFFERENCE BETWEEN COLOR LIGHT AND COLOR PIGMENT IN THE CLASSROOM. In Periódico Tchê Química (Vol. 03, Issue 2, pp. 17–23). Dr. D. Scientific Consulting. https://doi.org/10.52571/ptq.v2.n03.2005.janeiro/3_pgs_17_23.pdf

37. ZIMMERMANN, L. (2005). HOW TO

Reação de Maillard e a coloração do Café

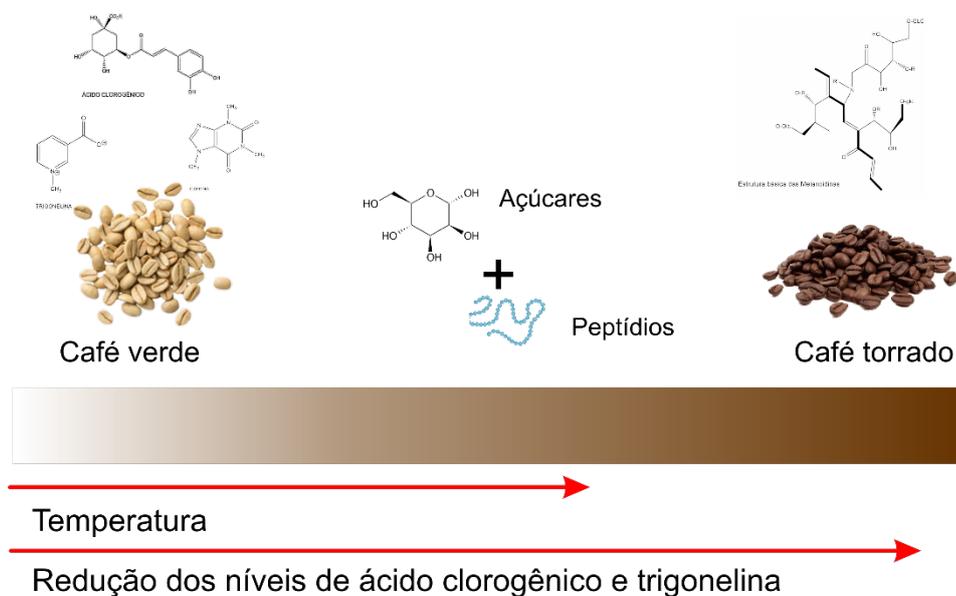


Figura 5. Reação de Maillard representada na torra do café, de forma simplificada. Fonte: autores