

EDMAR JUNIOR OLIVEIRA BAZANI

**DETERMINAÇÃO DO TEOR DE FENÓLICOS E DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE  
DE TOMATE E DE MORANGO UTILIZANDO MÉTODO ALTERNATIVO**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2019

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

T

B362d  
2019

Bazani, Edmar Junior Oliveira, 1971-  
Determinação do teor de fenólicos e da atividade  
antioxidante de tomate e de morango utilizando método  
alternativo / Edmar Junior Oliveira Bazani. – Viçosa, MG, 2019.  
74 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Antônio Jacinto Demuner.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 58-67.

1. Fenóis. 2. Smartphones. 3. Tomate. 4. Morango.  
5. Antioxidante. I. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Química. Programa de Pós-Graduação em  
Química em Rede Nacional. II. Título.

CDD 22. ed. 547.632

EDMAR JUNIOR OLIVEIRA BAZANI

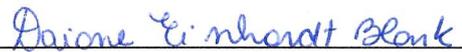
**DETERMINAÇÃO DO TEOR DE FENÓLICOS E DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE  
DE TOMATE E DE MORANGO UTILIZANDO MÉTODO ALTERNATIVO**

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

APROVADA: 08 de junho de 2019.



Cristiane Isaac Cerceau



Daiane Einhardt Blank



Marcelo Henrique dos Santos  
(Coorientador)



Antonio Jacinto Demuner  
(Orientador)

*A Deus e a minha família,  
por toda paciência e apoio  
nos momentos de  
dificuldades...*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Antônio Jacinto Demuner, meu orientador, pela credibilidade em minha experiência profissional e compartilhamento de seus saberes, auxiliando-me, principalmente na execução e interpretação da técnica para a determinação dos fenóis.

Ao professor Marcelo Henrique dos Santos, meu coorientador, pelo apoio e auxílio no acesso à informação, com total disponibilidade sempre que se fez necessária à sua presença junto a mim.

Ao professor Efraim Reis, por seu zelo para que o curso decorresse de forma eficiente e agradável aos alunos do PROFQUI, mostrando desempenho impecável no que tange à documentação a ser disponibilizada aos mestrandos e organização da mesma, sendo extremamente competente em suas atribuições como coordenador geral, demonstrando amizade e cuidado com os alunos.

Agradeço à minha família, minha mãe Delia e irmãs Alexandra e Adriana, minha esposa Thaís e filhos Lívia e Diogo, meu cunhado João Luiz. E, como não poderia esquecer, agradeço a meu saudoso pai, Edmar Bazani, meu amigo e mestre. A eles apenas posso agradecer por tudo que fizeram por mim, pois nunca conseguirei compensar devidamente a dedicação que sempre manifestaram todos os dias de minha vida, eternizando em mim um grande amor.

À Daiane Einhardt Blank e à Cristiane Isaac Cerceau, pelo apoio, dedicação e por partilharem comigo seus conhecimentos, o que contribuiu muito para a conclusão desse trabalho tão importante e desafiador.

Aos amigos, principalmente aqueles que estiveram disponíveis tanto quanto fora possível para me ajudar. Fui agraciado com o companheirismo e o apoio de todos, mesmo em momentos de pleno cansaço e dificuldades.

Agradeço à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa concedida que viabilizou meus estudos, custeando os gastos com deslocamento, alimentação e materiais usados no curso.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização do curso.

À Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Antonio Carneiro Ribeiro por ter permitido que o projeto fosse desenvolvido na escola, cedendo a sala que funciona como laboratório, os poucos materiais que dispunham e a turma de 3º ano vespertino que participou das aulas teóricas, culminando na prática.

Enfim, agradeço a todos os que, de uma ou de outra forma, contribuíram para que este mestrado se tornasse uma experiência extremamente enriquecedora e valiosa.

*“Cada pessoa deve trabalhar para o seu aperfeiçoamento e ao mesmo tempo, participar da responsabilidade coletiva por toda a humanidade”. (Marie Curie)*

## RESUMO

BAZANI, Edmar Junior Oliveira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2019. **Determinação do teor de fenólicos e da atividade antioxidante de tomate e de morango utilizando método alternativo.** Orientador: Antônio Jacinto Demuner. Coorientador: Marcelo Henrique dos Santos.

O tomate e o morango são algumas das espécies vegetais consumidas mundialmente. Em suas composições químicas estão presentes os compostos fenólicos que apresentam diversas atividades biológicas, como por exemplo, a capacidade antioxidante. Vários métodos vêm sendo descritos na literatura para determinação da atividade antioxidante e de compostos fenólicos. No entanto, esses métodos muitas vezes apresentam custo elevado, uso de equipamento sofisticado e consomem grandes quantidades de reagentes, impossibilitando sua aplicação nas disciplinas de química dos ensinos fundamental e médio das escolas municipais. Portanto, existe uma necessidade de buscar outros métodos alternativos para o ensino de química, bem como para determinar a composição química e atividade biológica de extratos vegetais. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi determinar o teor de compostos fenólicos e de antioxidantes em morango e em tomate utilizando o método alternativo por captura de imagens obtidas usando o aplicativo gratuito PhotoMetrix® para smartphone e a confecção de uma caixa provida de uma placa de LED e suporte para fixar o smartphone para captura de imagens das amostras. Com este método simples e de baixo custo, foi possível realizar um experimento em sala de aula durante o ensino de química, levando aos alunos maneiras alternativas de relacionar os conceitos químicos estudados. Os dados obtidos por esta metodologia foram semelhantes aos determinados por espectrofotometria realizando análise no Ultravioleta-Visível. Na aplicação em sala de aula, notou-se um estímulo maior na participação dos alunos, mesmo os mais quietos demonstraram conhecimento interdisciplinar. Os resultados do presente estudo respaldam a realização de análises em outras espécies vegetais utilizando esse método alternativo.

**Palavras chave:** Tomate, morango, fenólicos, poder redutor, smartphone, PhotoMetrix® e aplicativo.

## ABSTRACT

BAZANI, Edmar Junior Oliveira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2019. **Determination of phenolic content and antioxidant activity of tomato and strawberry using alternative method.** Adviser: Antônio Jacinto Demuner. Co-Adviser: Marcelo Henrique dos Santos.

Tomatoes and strawberries are some of the vegetable species consumed worldwide. In its chemical compositions are present the phenolic compounds that present diverse biological activities, as for example, the antioxidant capacity. Several methods have been described in the literature for the determination of antioxidant activity and phenolic compounds. However, these methods often present high cost, use of sophisticated equipment and consume large amounts of reagents, making it impossible to apply them in the chemical disciplines of elementary and secondary schools of municipal schools. Therefore, there is a need to find other alternative methods for teaching chemistry, as well as to determine the chemical composition and biological activity of plant extracts. In this sense, the objective of this work was to determine the content of phenolic compounds and antioxidants in strawberry and tomato using the alternative method by capturing images obtained using the free application PhotoMetrix® for smartphone and the making of a box provided with a plate LED and bracket to attach the smartphone to capture samples images. With this simple and inexpensive method, it was possible to conduct a classroom experiment during chemistry teaching, giving students alternative ways of relating the chemical concepts studied. The data obtained by this methodology were similar to those determined by spectrophotometry performing analysis in Ultraviolet-Visible. In the classroom application, there was a greater stimulus in student participation, even the quieter ones demonstrated interdisciplinary knowledge. The results of the present study support the analysis of other plant species using this alternative method.

**Keywords:** Tomato, strawberry, phenolic, reducing power, smartphone, PhotoMetrix® and application.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Frutos da <i>Solanum lycopersicum</i> L. ....	16
Figura 2. Frutos da <i>Fragaria</i> spp. ....	18
Figura 3. Estádios de maturação do morango.....	19
Figura 4. Estádios de maturação do tomate.....	20
Figura 5. Estrutura básica dos flavonoides.....	23
Figura 6. Estrutura da quercetina. ....	24
Figura 7. Cabine coletora de dados: visão geral e tampa móvel (7.1), visão interna (7.2), tampa com uso da LED (7.3) e suporte e janela do tubo de ensaio para foto (7.4 e 7.5).....	33
Figura 8. Lâmpada de LED (8.1), lâmpada desmontada (8.2) e placa integrada de LED (8.3).....	33
Figura 9. Tela inicial (9.1), tela de análise univariada (9.2), tela de análise de canais univariados (9.3), tela de captura de imagem para construção da curva analítica (9.4), tela de captura de imagem para determinação do analito nas amostras de alimentos (9.5) e tela de “setup” (9.6). ....	35
Figura 10. Placa de porcelana contendo soluções de quercetina, em diferentes concentrações, acrescidas de cloreto férrico 1% para obtenção da curva analítica usada na determinação de fenólicos totais. ....	36
Figura 11. Curvas analíticas obtidas nos canais red (R), green (G) e blue (B) para o padrão quercetina. ....	40
Figura 12. Curva analítica do canal green com padrão quercetina. ....	41
Figura 13. Curva analítica com padrão quercetina obtida no UV-Vis.....	42
Figura 14. Curvas analíticas obtidas nos canais red (R), green (G) e blue (B) para o padrão BHT.....	48
Figura 15. Curva analítica do canal Green com padrão BHT.....	48
Figura 16. Curva analítica obtida no UV-Vis.....	49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Concentração de quercetina ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e intensidade das cores obtidas nos canais RGB em base úmida.....	40
Tabela 2. Compostos fenólicos totais no tomate vermelho no App e UV-Vis em base úmida. ....	43
Tabela 3. Compostos fenólicos totais no tomate laranja no App e UV-Vis em base úmida. ....	43
Tabela 4. Compostos fenólicos totais no tomate amarelo no App e UV-Vis em base úmida. ....	43
Tabela 5. Compostos fenólicos totais no tomate verde no App e UV-Vis em base úmida. ....	44
Tabela 6. Compostos fenólicos totais no morango vermelho no App e UV-Vis em base úmida.....	44
Tabela 7. Compostos fenólicos totais no morango com 75% da coloração vermelha no App e UV-Vis em base úmida. ....	44
Tabela 8. Compostos fenólicos totais no morango verde no App e UV-Vis em base úmida. ....	44
Tabela 9. Cores obtidas na leitura da amostra de tomate vermelho em base úmida. ....	45
Tabela 10. Cores obtidas na leitura da amostra de tomate laranja em base úmida. ....	46
Tabela 11. Cores obtidas na leitura da amostra de tomate amarelo em base úmida. ....	46
Tabela 12. Cores obtidas na leitura da amostra de tomate verde em base úmida....	46
Tabela 13. Cores obtidas na leitura da amostra de morango vermelho em base úmida. ....	46
Tabela 14. Cores obtidas na leitura da amostra de morango 75 % coloração vermelho em base úmida. ....	46
Tabela 15. Cores obtidas na leitura da amostra de morango verde em base úmida. ....	46
Tabela 16. Concentração de BHT ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e intensidade das cores obtidas nos canais RGB em base úmida.....	47
Tabela 17. Avaliação do poder redutor do tomate vermelho no App e UV-Vis em base úmida.....	50
Tabela 18. Avaliação do poder redutor do tomate laranja no App e UV-Vis em base úmida. ....	50
Tabela 19. Avaliação do poder redutor do tomate amarelo no App e UV-Vis em base úmida. ....	50
Tabela 20. Avaliação do poder redutor do tomate verde no App e UV-Vis em base úmida. ....	51
Tabela 21. Avaliação do poder redutor do morango vermelho no App e UV-Vis em base úmida.....	51

Tabela 22. Avaliação do poder redutor do morango com 75% da coloração vermelha no App e UV-Vis em base úmida. ....	51
Tabela 23. Avaliação do poder redutor do morango verde no App e UV-Vis em base úmida. ....	52
Tabela 24. Valores de RGB para tomate vermelho em base úmida. ....	53
Tabela 25. Valores de RGB para tomate laranja em base úmida. ....	53
Tabela 26. Valores de RGB para tomate amarelo em base úmida. ....	53
Tabela 27. Valores de RGB para tomate verde em base úmida. ....	54
Tabela 28. Valores de RGB para morango vermelho em base úmida. ....	54
Tabela 29. Valores de RGB para morango com 75% da coloração vermelho em base úmida. ....	54
Tabela 30. Valores de RGB para morango verde em base úmida. ....	54
Tabela 31. Grupo, material vegetal e conceito de química apresentado.....	55

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	13
2. OBJETIVOS .....	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	16
3.1. Tomate .....	16
3.2. Morango .....	17
3.3. Maturação .....	18
3.4. Propriedades funcionais das espécies vegetais.....	20
3.5. Constituintes químicos das espécies vegetais .....	22
3.6. Identificação química dos extratos vegetais.....	24
3.7. Atividade antioxidante .....	25
3.8. Determinação de fenólicos totais e da atividade antioxidante usando o aplicativo PhotoMetrix® .....	27
3.9. Tema gerador no ensino de Química.....	29
4. METODOLOGIA.....	30
4.1. Material vegetal.....	30
4.2. Extração .....	31
4.3. Cabine coletora de dados .....	31
4.4. Guia de uso do app.....	33
4.5. Reagentes.....	35
4.6. Determinação de fenólicos totais .....	36
4.7. Determinação do teor de antioxidantes.....	37
4.8. Comparação entre os métodos de determinação de fenólicos totais e do poder redutor dos alimentos.....	38
4.9. Aula prática .....	38
5. Resultados e discussão.....	39
5.1. Construção da curva analítica para determinação de fenólicos totais .....	39
5.2. Determinação do teor de fenólicos totais em tomate e em morango .....	42
5.3. Construção da curva analítica para determinação de antioxidantes .....	47
5.5. Prática alternativa utilizando o aplicativo PhotoMetrix® em sala de aula.....	54
5.6 Problemas encontrados no ensino.....	56
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	57
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	58
8 APÊNDICES.....	68

## 1. INTRODUÇÃO

O tomate e o morango estão entre os alimentos mais consumidos mundialmente. O Brasil é grande produtor de tomate, com uma produção estimada em 4,5 milhões de toneladas por ano (IBGE, 2018), consistindo na segunda hortaliça mais cultivada no país e uma das que mais gera empregos na agricultura brasileira (ABCSEM, 2014).

Em 2018, a estimativa da produção de tomate foi de 4,5 milhões de toneladas, ou seja, um aumento de 3,1% em relação à de 2017. A área plantada de 64,6 mil hectares apresentou retração de 0,2%, enquanto o rendimento médio apresentou crescimento de 3,2%. São Paulo e Goiás foram os maiores produtores dessa hortaliça no referido período (CONAB, 2018).

O tomate pode ser consumido de diversas formas, *in natura*, em saladas, processado, em extratos, molhos, purês, ketchup, sucos e na forma desidratada (CARVALHO *et al.*, 2005).

No contexto do agronegócio, a produção do tomate representa a principal fonte de renda para um grande número de produtores e movimenta indústrias paralelas de insumos, embalagens, máquinas agrícolas e equipamentos de irrigação, contribuindo para o desenvolvimento econômico regional e do país (MELO; VILELA, 2005).

Já a cultura do morangueiro (*Fragaria* spp) ocorre em diferentes regiões do mundo, sendo a única hortaliça pertencente à família das rosáceas (FILGUEIRA, 2008). O cultivo do morango é praticado especialmente por pequenos agricultores, tendo assim, grande importância econômica e social para este setor, destacando-se como fonte de renda para a agricultura familiar (SANTOS *et al.*, 2007).

No ano de 2014, a produção mundial de morangos atingiu valores superiores a oito milhões de toneladas em aproximadamente 373 mil hectares (FAOSTAT, 2014), sendo que no Brasil a produção ficou em torno de 105 mil toneladas em uma área de 4000 ha (REISSER JUNIOR *et al.*, 2015).

A produção comercial do morango no Brasil estende-se por diversos estados, com cultivares diferentes, escolhidos de acordo com a adaptação dos mesmos ao clima da região de plantio, sendo cultivados cerca de 3,5 mil hectares, distribuídos em pequenas propriedades rurais familiares. Por essa razão, o cultivo do morango é

considerado uma atividade de relevância econômica e social no Brasil (EMBRAPA, 2011).

O elevado consumo tanto do tomate quanto do morango se justifica devido às suas propriedades nutricionais bem como à composição química de ambos, chamando a atenção da comunidade científica, tendo em vista suas propriedades antioxidantes que diminuem os radicais livres responsáveis por várias doenças.

Em muitos frutos pode-se encontrar compostos antioxidantes, tais como fenólicos, ácidos fenólicos e flavonoides (TAIZ e ZEIGER, 2004; SKERGET *et al.*, 2005), sendo que, para as determinações da composição química e da atividade antioxidante de extratos vegetais tem sido utilizado espectrofotômetro UV-Vis (MELECCHI, 2005), além de outros métodos analíticos que empregam vários reagentes e equipamentos de alto custo (CARVALHO, 2006).

Por isso, é evidente a necessidade de buscar um método analítico inovador, simples, rápido, acessível, de baixo custo, com pouca geração de resíduos, reproduzível para determinação de compostos fenólicos totais e da atividade antioxidante em extratos de diferentes espécies vegetais.

Kohl *et al.* (2006) analisaram imagens capturadas utilizando o software ImageJ disponível gratuitamente. Segundo os pesquisadores, as imagens foram processadas por um software que decompõe a imagem em uma matriz RGB, a partir de uma equação logarítmica simples empregada similarmente ao cálculo de transmitância usado para reações colorimétricas descritas pela lei de Lambert-Beer. De acordo com o estudo, a imagem capturada por uma câmera foi correlacionada a um fenômeno de refletância, no qual a radiação refletida é a radiação incidente subtraída da radiação absorvida. Por causa dessa correlação, a radiação refletida pôde ser usada para medir indiretamente a radiação absorvida e, portanto, correlacionada à concentração do analito. Como os sinais R, G e B das reações (I) foram menores que do fundo analítico ( $I_0$ ), a equação  $-\log(I / I_0)$  poderia ser utilizada, e esses valores foram utilizados para obtenção da curva analítica.

Os resultados obtidos usando o software ImageJ foram comparados aos obtidos utilizando o espectrofotômetro UV-Vis de feixe único (Shimadzu, UV Mini 1240) equipado com uma cubeta de vidro de 1 cm. As imagens digitais foram decompostas por uma abordagem RGB usando um software gratuito.

A prática experimental utilizando o aplicativo do celular (app) pode ser empregada nas aulas de química dos ensinamentos fundamental e médio das escolas

municipais, relacionando os conceitos teóricos aos experimentos realizados em sala de aula com diferentes amostras de alimentos. A realização de experimentos em sala de aula 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 benefícios fenólicos e do consumo destes frutos que se tornaram um alimento diário na mesa do consumidor.

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma metodologia para determinar compostos fenólicos e poder redutor em extratos de tomate e de morango a partir da utilização de aplicativo de celular, capturando imagens digitais.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Determinar o teor de fenólicos totais e atividade antioxidante do tomate (*Solanum lycopersicum* L) e do morango (*Fragaria* spp), utilizando o método alternativo por captura de imagem obtida no aplicativo PhotoMetrix®.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Obter extratos de *Solanum lycopersicum* L. (tomate) e *Fragaria* spp (morango);
- Comparar os resultados obtidos utilizando o aplicativo PhotoMetrix® aos obtidos usando o tradicional método de espectrofotometria no ultravioleta visível (UV-Vis);
- Utilizar o aplicativo PhotoMetrix® nas aulas de química do ensino médio durante a realização de reações de oxidação e redução, mostrando as transformações químicas envolvidas;
- Relacionar a teoria à prática, permitindo a contextualização de conceitos químicos como extração e determinação de compostos fenólicos, antioxidantes e

metabolismo secundário das plantas, abordando os conceitos de forma interdisciplinar;

- Discutir em sala de aula sobre a importância do consumo de tomate, de morango e das demais espécies vegetais para a saúde humana;
- Propor aos alunos um trabalho em grupo que os permita extrair e quantificar compostos fenólicos e antioxidantes presentes em tomates e em morangos, relacionando teoria e prática.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Tomate

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Figura 1), é uma espécie vegetal de importância mundial devido às suas propriedades nutricionais e também pelos aspectos socioeconômicos (ALVARENGA e COELHO, 2013). O tomate vem sendo consumido *in natura*, no cultivo envarado, também processado, através do cultivo rasteiro, destacando-se como a segunda hortaliça mais cultivada mundialmente (SOUZA, 2007; CARDOSO, 2007; SANTOS, 2009).

A planta pertence à família *Solanaceae*, nativa da América do Sul e desenvolve-se em climas tropical, subtropical e temperado, sendo cultivada em diversas regiões do mundo (GOULD, 1992; SILVA *et al.*, 1994).



**Figura 1.** Frutos da *Solanum lycopersicum* L.

Cultivado inicialmente no Peru, México, Bolívia, Equador e Chile (CURRENCE, 1963), atualmente, os maiores produtores de tomate são: China, Estados Unidos, Índia, Turquia, Egito, Itália, Irã, Espanha, Brasil e México (FAOSTAT, 2014).

O tomate é uma cultura exigente em tratos culturais, dentre os quais a irrigação exerce forte influência na produção e qualidade dos frutos, uma vez que é considerada sensível ao déficit hídrico (SANTANA, 2010).

Planta herbácea, de caule redondo, piloso e macio, quando jovem, tornando-se fibrosa com o passar do tempo. As folhas são alternadas, compostas de 11 a 32 cm de comprimento. Possui flor hermafrodita, sendo considerada uma planta autógama, embora possa ocorrer pequena taxa de polinização cruzada (GOULD, 1992).

As flores dão em cachos, são pequenas e amarelas, o cálice possui 5 espécies, as pétalas são lanceoladas e largas. Os cachos de flores podem ser simples (não ramificados) e composto (ramificado). O fruto é carnoso com 2 ou mais lóculos, as sementes são uniformes, pequenas, com pelos bem curtos (GOULD, 1992).

O tomateiro apresenta caule flexível e incapaz de suportar o peso dos frutos e manter a posição vertical (FIORI, 2006). A forma natural lembra uma moita, com abundante ramificação lateral, sendo profundamente modificada pela poda. Embora seja uma planta perene, a cultura comporta-se como anual (GOULD, 1992).

Da sementeira até a produção de novas sementes, o ciclo biológico varia de 4 a 7 meses, incluindo-se de 1 a 3 meses de colheita. Em casa de vegetação, o ciclo e a colheita podem prolongar-se ainda mais. A floração e a frutificação ocorrem juntamente com a vegetação. As folhas, pecioladas, são compostas por número ímpar de folíolos (FILGUEIRA, 2008).

### **3.2. Morango**

*Fragaria* spp é um pseudofruto (Figura 2), pertencente à família *Rosaceae*, conhecido popularmente como morango, consumido *in natura* ou na forma de produtos manufaturados (DARROW, 1966; OLIVEIRA *et al.*, 2005).

O morango vem sendo a espécie de maior expressão econômica do grupo das pequenas frutas, com uma produção mundial de 3,1 milhões de toneladas

(OLIVEIRA *et al.*, 2006). No Brasil a cultura teve grande expansão a partir da década de 60, com difusão em regiões de clima temperado e subtropical (SANTOS, 2003).



**Figura 2.** Frutos da *Fragaria* spp.

A produção brasileira fica em torno de 100.000 toneladas anuais, em uma área estimada de 3.500 ha (ANTUNES e REISSER JÚNIOR, 2008) com destaque para Minas Gerais (41,4%), Rio Grande do Sul (25,6%), São Paulo (15,4%) e Paraná (4,7%) (RIGON *et al.*, 2005; ANTUNES e REISSER JÚNIOR, 2008). A produção nestes Estados concentra-se em regiões específicas, principalmente com relação às características climáticas, exigidas pela planta para o seu desenvolvimento pleno (ASSIS, 2004; PAGOT e HOFMANN, 2003).

O morango é fonte de vitaminas e minerais. Além disso, possui elevado poder antioxidante associado aos componentes fenólicos (HEINONEN e MEYER; FRANKEL, 1998; VINSON *et al.*, 2001; SUN *et al.*, 2002; ZHANG *et al.*, 2008). A composição química de frutos vem sendo influenciada por diversos fatores, tais como genética, grau de maturação e as condições de cultivo (KOSAR *et al.*, 2004; SCALZO *et al.*, 2005; ATKINSON *et al.*, 2006; DA SILVA *et al.*, 2007).

### **3.3. Maturação**

O gás etileno, conhecido na química orgânica como eteno ( $C_2H_4$ ), é utilizado no amadurecimento das frutas pela reação de oxidação de lipídeos que ocorre desde a casca até o interior do fruto.

O etileno também provoca a quebra das moléculas de clorofila que apresentam coloração esverdeada. No entanto, à medida que o gás etileno vai sendo liberado e moléculas de clorofila vão sendo quebradas, o fruto muda de coloração chegando no estágio final da maturação com coloração avermelhada.

O processo metabólico de maturação proporciona uma série de alterações nas frutas. Tais transformações, que são físicas, químicas e bioquímicas, refletem nos atributos de qualidade dos produtos hortícolas (PINELI *et al.*, 2011).

Em se tratando do morangueiro, as frutas são delicadas e pouco resistentes, em virtude de sua epiderme delgada, alto teor de água e intenso metabolismo, sendo que o morango apresenta quatro estádios de maturação (verde, branco, rosa e vermelho) (Figura 3).

Devido ao seu metabolismo não climatérico, os frutos colhidos em estágio de maturação avançada apresentaram podridões. Entretanto, se forem colhidos pouco maduros, apresentarão alta acidez, adstringência e ausência de aroma (CANTILLANO, 2003).



**Figura 3.** Estádios de maturação do morango.

A cor é um dos mais importantes atributos de qualidade em frutas e exerce grande influência sobre o valor estético, servindo como base para a sua aceitação no mercado (MALTONI *et al.*, 2009). Além disso, é o principal parâmetro na determinação do ponto de colheita.

Morangos devem apresentar no mínimo 50% a 75% da superfície da fruta de cor vermelho-brilhante no momento da colheita (CANTILLANO, 2003). Esta cor intensa é devido à presença de antocianinas na fruta. A mudança da cor está associada ao amadurecimento e representa um atributo padrão, juntamente com a

firmeza, para a determinação da qualidade para o consumo, sendo ambos usados como indicadores de estágio de maturação, conforme Chitarra e Chitarra (2005).

Com relação ao tomate, trata-se de um fruto climatérico, caracterizado por um aumento na respiração e um aumento concomitante na biossíntese de etileno, que é necessário para o desencadeamento dos processos de amadurecimento, incluindo a acumulação de pigmento, degradação da parede celular, acúmulo de açúcares entre outros (TIEMAN *et al.*, 2000).

O amadurecimento inicia na porção distal do fruto, migrando para as regiões vizinhas pelo processo de difusão livre, até que o processo de amadurecimento atinja todo o fruto (REID, 1994; ALEXANDER e GRIERSON, 2002). Esse efeito é observado pela mudança de coloração no fruto (Figura 4), que se inicia no gel locular, ao redor das sementes, e depois migra para o pericarpo progressivamente (HOBSON e GRIERSON, 1993).

Podendo ser colhido quando está fisiologicamente maduro, o tomate, nesse ponto, apresenta coloração verde interna e externamente. Mediante mudança de cor externa, na prática, é possível reconhecer quando o fruto atinge esse estágio de maturação, o verde opaco passa para um verde mais brilhante e internamente o fruto se encontra com um aspecto gelatinoso.

Com o amadurecimento, muitas alterações fisiológicas, bioquímicas e visuais ocorrem, sendo que a mudança de cor dos tecidos e da polpa é a mais marcante (ALVARENGA, 2004).



**Figura 4.** Estádios de maturação do tomate.

### **3.4. Propriedades funcionais das espécies vegetais**

Os compostos fenólicos são constituintes que ocorrem em pequenas quantidades em alimentos de origem vegetal. Pesquisas relatam que algumas

classes desses compostos possuem atividades biológicas promotoras da saúde, tais como atividade antioxidante e anti-inflamatória (FREIRE *et al.*, 2013).

Os alimentos que apresentam estas propriedades são, atualmente, conhecidos como "funcionais", ou alimentos ricos em um ou mais compostos bioativos que apresentam efeitos positivos à saúde (PINTO, 2008; VIZZOTTO, 2012). Nos últimos anos, maior atenção tem sido dada a estes alimentos, uma vez que estudos epidemiológicos evidenciam que uma dieta rica em frutas e hortaliças exerce influência positiva no combate a processos oxidativos naturais do organismo, colaborando com a redução do risco de desenvolvimento de doenças crônicas não transmissíveis (DCNT), tais como cardiovasculares, neurodegenerativas, cânceres, distúrbios metabólicos e de doenças e enfermidades inflamatórias (CAPOCASA *et al.*, 2008; TULIPANI *et al.*, 2009; BATTINO *et al.*, 2009; AZZINI *et al.*, 2010; AABY *et al.*, 2012; VIZZOTTO, 2012). Esses processos ocorrem devido às formas de oxigênio extremamente reativas denominadas "substâncias reativas oxigenadas", que englobam os radicais livres (GIAMPIERI *et al.*, 2012).

A proteção que esses alimentos oferecem contra essas enfermidades está associada ao seu alto conteúdo de constituintes químicos com propriedades antioxidantes, dentre os quais se destacam o ácido ascórbico, carotenoides e compostos fenólicos (CRECENTE-CAMPO *et al.*, 2012). Por conseguinte, a identificação de fontes vegetais com alta capacidade antioxidante, seja esta derivada de compostos fenólicos e/ou vitaminas, é de extrema importância.

Os compostos antioxidantes inibem a oxidação através de dois mecanismos: o primeiro envolve a inibição da formação dos radicais e o segundo envolve a eliminação dos radicais formados através da doação de átomos de hidrogênio a estas moléculas, interrompendo a cadeia de reação (SOARES, 2002).

Em sua maioria, os compostos bioativos são metabólitos secundários produzidos pelas plantas e estão relacionados aos sistemas de defesa das mesmas contra a radiação ultravioleta e agressões de pragas ou patógenos. Assim, a interação do ambiente com os mecanismos fisiológicos das plantas resulta no estímulo da síntese dos metabólitos secundários (MANACH *et al.*, 2004).

Dentre os vegetais ricos em compostos bioativos, as frutas vermelhas estão entre as fontes mais importantes para a dieta humana, contribuindo principalmente com compostos fenólicos, como os ácidos fenólicos, taninos, flavonoides e antocianinas (JACQUES *et al.*, 2009; BORGES *et al.*, 2010).

Entre esses, o grupo de compostos fenólicos que historicamente tem recebido mais atenção são as antocianinas, responsáveis pela cor vermelha brilhante das frutas. No Brasil, a principal fruta vermelha produzida e consumida é o morango (PINELI *et al.*, 2011). Além da cor e sabor atrativos, o morango contém vitamina C e é rico em compostos fenólicos. Entre os compostos fenólicos presentes em sua composição destacam-se o ácido elágico e alguns flavonoides como as antocianinas e a quercetina.

O consumo de morango contribui para a atividade antioxidante, tem ação anti-inflamatória e anticarcinogênica e demonstra que as substâncias relacionadas a essas propriedades são o ácido ascórbico e os compostos fenólicos, dentre eles as antocianinas (TULIPANI *et al.*, 2009; JOSUTTIS *et al.*, 2012; GIAMPIERI *et al.*, 2012).

A capacidade antioxidante de frutos pode ser afetada por diversos fatores, tais como cultivar, condições agronômicas, manipulação pós-colheita e estágio de maturação (KEVERS *et al.*, 2007).

O tomate vem destacando-se pelas propriedades antioxidantes e biológicas relacionadas a sua composição química, tais como carotenoides, principalmente licopeno; além de vitamina C e de compostos fenólicos. Tais compostos bioativos são responsáveis pela redução do risco de certos tipos de câncer, como o de próstata, e de doenças cardiovasculares (GEORGE *et al.*, 2004; LAVELLI *et al.*, 2000; TAKEOTA *et al.*, 2001). A quantidade de antioxidantes em tomates frescos pode ser afetada por diversos fatores, tais como estágio de maturação, processamento, condições climáticas e época de colheita (RAFFO *et al.*, 2002).

### **3.5. Constituintes químicos das espécies vegetais**

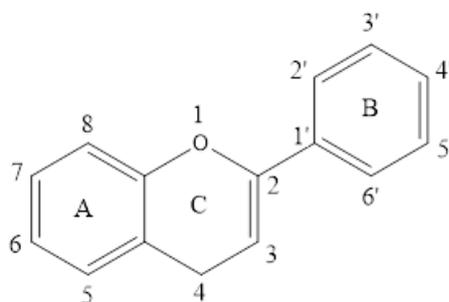
Algumas pesquisas têm sido realizadas com a finalidade de descrever a composição química de diferentes extratos de espécies vegetais. No morango e no tomate podem ser encontrados compostos fenólicos (TAKEOTA *et al.*, 2001; VIZZOTTO, 2012).

Os compostos fenólicos são uma classe de compostos, divididos em dois grupos: ácidos fenólicos (ácido cinâmico e derivados) e flavonoides e derivados, com diversidade de estruturas, que possuem pelo menos um anel aromático, no qual, ao menos um hidrogênio é substituído por uma hidroxila (OH). São solúveis em

água e em solventes orgânicos polares, são altamente reativos, de caráter ácido, e podem formar ligações de hidrogênio intra e intermoleculares. As rotas sintéticas para a obtenção dos compostos fenólicos são as vias ácido chiquímico e ácido malônico, ambas a partir de carboidratos. Uma parte da molécula do flavonoide é formada via acetato/malonato que inicia com acetil-CoA e malonil-CoA (SIMÕES *et al.*, 2003; TAIZ e ZEIGER, 2004; SKERGET *et al.*, 2005).

Os ácidos fenólicos são hidroxilados, derivados de ácido benzóico e, além disso, são comuns no estado livre, bem como combinados como ésteres ou glicosídeos como o ácido gálico, por exemplo. Os ácidos fenólicos derivados do ácido cinâmico (C6-C3), como cumárico, cafeico e ferúlico, estão largamente distribuídos e ocorrem raramente no estado livre, sendo muitas vezes esterificados (SKERGET *et al.*, 2005).

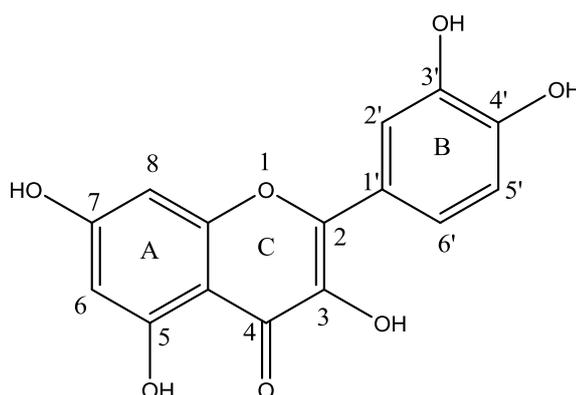
Os flavonoides (Figura 5) são amplamente distribuídos no reino vegetal, encontrados em frutas, legumes, grãos, cascas, raízes, caules, flores, chás e vinhos. São substâncias que possuem estruturas fenólicas variáveis com um ou mais núcleos aromáticos contendo substituintes hidroxilados ou seus derivados como ésteres, éteres, glicosídeos e outros (SIMÕES *et al.*, 2003; TAIZ; ZEIGER, 2004), sendo comumente encontrados nas plantas na forma de glicosídeos. Em sua estrutura química possuem 15 carbonos distribuídos por dois anéis aromáticos ligados através de um anel pirano (PEREIRA *et al.*, 2009; SANDHAR *et al.*, 2011). A biossíntese dos flavonoides ocorre por uma série de reações de condensação entre o ácido cinâmico e resíduos malonil, formando a estrutura do tipo C6-C3-C6 (TAIZ e ZEIGER, 2004; SANDHAR *et al.*, 2011).



**Figura 5.** Estrutura básica dos flavonoides.

A atividade dos antioxidantes, por sua vez, depende de sua estrutura química. Apresentam-se frequentemente oxigenados e podem ser encontrados tanto no estado livre (aglicona ou genina) como na forma de glicosídeos, também chamados

heterosídeos (ligados a açúcares) (ZUANAZZI; MONTANHA, 2003). O flavonoide quercetina (Figura 6) é amplamente encontrado nos vegetais (SANTOS *et al.*, 2016). A propriedade antioxidante da quercetina é reflexo de sua estrutura que apresenta ligação dupla entre os carbonos 2 e 3, substituintes hidroxilas nos carbonos 3, 5, 7, 3', 4' e o grupo catecol no anel B. A estrutura dos flavonoides e a capacidade antioxidante estão relacionadas ao número e à posição de grupos hidroxila (WOLFE, 2008).



**Figura 6.** Estrutura da quercetina.

No morango, vem sendo comprovada a presença de muitos compostos bioativos, como ácido elágico e alguns flavonoides, como as antocianinas, a catequina, a quercetina e o kaempferol (HANNUM, 2004; VIZZOTTO, 2012).

### 3.6. Identificação química dos extratos vegetais

A composição química das espécies vegetais é influenciada por fatores climáticos, altitude, condições e características de solo, parte da planta analisada, tipo de extrato, além das condições de cultivo, estocagem, estágio de maturação, entre outros fatores que serão determinantes na formação de compostos nas diferentes porções das plantas (SIMÕES *et al.*, 2003; BLANK *et al.*, 2018). Entretanto, alguns componentes mantêm-se na forma qualitativa, variando apenas em quantidade, sendo estes princípios ativos que identificam a planta (DANILA *et al.*, 2011).

Para a avaliação química ou da qualidade e rendimento dos extratos vegetais, diversos métodos podem ser aplicados. A identificação dos extratos pode ser realizada com ou sem reação química através de aplicação de reagentes específicos

para o grupo da substância pesquisada (CARVALHO, 2006). Os principais métodos utilizados são a cromatografia gasosa e líquida, além dos métodos espectroscópicos, como ultravioleta visível (UV-VIS), infravermelho (IV), ressonância magnética nuclear (RMN) e espectrometria de massas (EM) (MELECCHI, 2005).

A cromatografia é um método físico-químico de separação, no qual os constituintes da amostra, a serem identificados, são divididos entre duas fases, que estão em contato íntimo, onde uma das fases permanece estacionária, enquanto a outra se move. Durante a passagem da fase móvel sobre a fase estacionária, os componentes da mistura são distribuídos entre as fases, de tal forma que cada um dos componentes é seletivamente retido pela fase estacionária, resultando em migrações diferenciais destes componentes (HARRIS, 2008; VOGEL, 2008).

A cromatografia gasosa (CG) é uma técnica com poder de resolução excelente, empregada para compostos voláteis, possibilitando a análise de várias substâncias em uma mesma amostra. Dependendo do tipo de substância a ser analisada e do detector empregado, consegue-se detectar cerca de  $10^{-12}$  g. Essa sensibilidade permite que pequenas quantidades de amostra possam ser analisadas (PERES, 2002).

Outra técnica muito utilizada é a cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), na qual a amostra é solúvel na fase móvel. Esta técnica é utilizada para identificar amostras líquidas e sólidas e utiliza altas pressões de até 2500 psi. A capacidade analítica é excelente, com alta reprodutibilidade, elevada sensibilidade, com sistema automatizado e controle de vazão do eluente, com a vantagem de fazer a separação de amostras com até 50 componentes (TSIMOGIANNIS *et al.*, 2007; HARRIS, 2008; VOGEL, 2008).

### **3.7. Atividade antioxidante**

O estudo associado ao desenvolvimento de novas técnicas e metodologias de análise de compostos bioativos, como a capacidade antioxidante, é considerado importante para obtenção de resultados mais confiáveis e precisos. De modo geral, os antioxidantes podem ser definidos como moléculas capazes de diminuir ou prevenir a oxidação de outras moléculas, podendo atuar em alimentos ou em sistemas biológicos.

Em alimentos, ocorrem reações de auto oxidação em cadeia. Em organismos vivos, o estresse oxidativo é o responsável pelos danos celulares. Diversos compostos classificados em naturais e sintéticos, possuem reconhecida atividade antioxidante. Dentre os sintéticos mais utilizados pela indústria de alimentos, destaca-se o butil-hidroxitolueno (BHT), padrão utilizado no presente trabalho. A busca por compostos bioativos com potencial antioxidante torna-se cada vez mais crescente, devido a suas contribuições na manutenção da saúde humana (RAUDONEA *et al.*, 2017).

Dentre os antioxidantes naturais destacam-se os compostos fenólicos, antioxidantes mais abundantes na natureza. Os compostos fenólicos englobam uma vasta gama de substâncias, as quais possuem no mínimo um anel aromático com um ou mais substituintes hidroxílicos. A atuação desses compostos como antioxidantes ocorre por meio do mecanismo de doação de hidrogênio e/ou transferência de elétrons para o radical livre, sendo assim chamados de sequestradores de radicais livres.

O número de hidroxilas presentes nos compostos fenólicos, bem como sua localização, tem influência direta na sua atuação como antioxidante. As ações antioxidantes como a captura de radicais livres, entre outras, são favorecidas por reações de oxidação e de redução. Substâncias doadoras de elétrons podem reagir com espécies reativas de oxigênio e de nitrogênio, convertê-las em compostos mais estáveis e finalizar reações radicalares. Nesse sentido, é importante determinar o poder de redução de substâncias antioxidantes, ou seja, a capacidade que o composto químico tem de doar elétrons e ser oxidado, pois uma força redutora elevada pode indicar uma atividade antioxidante alta. O poder redutor está relacionado à capacidade de reduzir  $Fe^{3+}$  a  $Fe^{2+}$ , antioxidantes que atuam por transferência de hidrogênio. Particularmente, tióis e carotenoides não serão determinados.

O potencial antioxidante das espécies vegetais pode estar relacionado ao sinergismo de uma ampla variedade de compostos bioativos tais como vitamina C, ácidos fenólicos, flavonoides e carotenoides (PÉREZ-JIMÉNEZ *et al.*, 2008).

### 3.8. Determinação de fenólicos totais e da atividade antioxidante usando o aplicativo PhotoMetrix®

A determinação de compostos bioativos constitui uma análise de grande interesse visto que esses grupos fitoquímicos possuem reconhecida atividade antioxidante. A caracterização qualitativa e quantitativa dos compostos fenólicos geralmente é realizada utilizando cromatografia gasosa ou líquida, técnicas extremamente sensíveis que permitem a identificação dos diferentes compostos fenólicos de composição complexa presentes em extratos diversificados.

No entanto, esses métodos são trabalhosos, envolvem equipamentos caros, consomem grandes quantidades de reagentes e não podem ser usados para análises *in situ* devido a sua baixa portabilidade.

Para superar essas desvantagens, métodos simples, baratos e que utilizam quantidades mínimas de reagentes, empregando técnicas espectrofotométricas associadas à análise de imagens, têm sido recentemente utilizados na determinação de diferentes compostos em matrizes diversificadas. Geralmente são usados dispositivos simples como câmeras (PAQUET-DURAND *et al.*, 2012), scanners (SOROURADDIN *et al.*, 2015), webcams (LYRA *et al.*, 2011; SANTOS e PEREIRA-FILHO, 2013) e celulares (INTARAVANNE *et al.*, 2012), sendo que as imagens obtidas são correlacionadas a uma abordagem colorimétrica e/ou à refletância (BENEDETTI *et al.*, 2015b). BENEDETTI *et al.* (2015a) desenvolveram um procedimento analítico simples e de baixo custo para determinação de sulfito em bebidas baseado na captura de imagens, utilizando a decomposição das cores do sistema, registradas nas imagens, nas cores primárias (vermelho, verde e azul), modelo RGB. Lyra *et al.* (2009) propuseram um método de espectrometria de emissão digital de chama (DIB-FES) para determinação de diclofenaco de sódio em fármacos injetáveis, empregando uma webcam para capturar a imagem digital. A técnica de cromatografia em papel associada à colorimetria foi utilizada para determinação de compostos diversificados em alimentos usando uma câmera de smartphone. Os teores dos compostos avaliados foram obtidos por meio de análises das imagens adquiridas utilizando um software (MONOŠÍK *et al.*, 2015).

Câmeras com dispositivo de carga acoplado (CCD), sensor e semicondutor de óxido de metal complementar (CMOS), utilizados na química analítica, apresentam rápida aquisição de sinal, baixa estabilidade, boa linearidade, sendo

adequados ao desenvolvimento de novos métodos analíticos com alta sensibilidade, robustez, além de rápido e de baixo custo de implementação. Esses sensores convertem a intensidade da luz incidente em valores digitais armazenáveis, capazes de gerar respostas a partir de uma imagem baseada no modelo de cores RGB, no qual três matrizes são usadas para armazenar as informações (SENA *et al.*, 2011).

As imagens digitais podem ser decompostas em cores utilizando diferentes modelos, sendo o RGB o mais utilizado (LOPEZ-MOLINERO *et al.*, 2010). Neste modelo, vermelho (R), verde (G), e azul (B), as cores primárias, transmitem luz para exibir cor, e as outras cores são geradas por combinação linear destas três cores, devido à aditividade do modelo utilizado. As intensidades da cor gerada são armazenadas em 256 níveis em uma escala de 0 a 255 para cada cor primária (R, G ou B), onde 0 é preto puro (0 para cada uma das 3 cores primárias) e 255 é o branco puro (mistura de 255 para cada cor primária) (PACIORNIK *et al.*, 2006).

No modelo RGB, a intensidade da cor desenvolvida na reação química é medida em função das cores primárias que a compõem, sendo diretamente proporcional à concentração do analito. Além disso, a resposta nos canais RGB pode ser tomada como sinal analítico e relacionada à concentração do analito de interesse (RAVAZZI, 2019). O sinal (S) é obtido de forma diferenciada, dependendo do programa de imagem utilizado. No caso do PhotoMetrix®, S é obtido subtraindo o valor R, G ou B da cor desenvolvida na reação (I) do nível máximo de intensidade de cor obtida em cada cor primária R, G ou B (255), conforme Equação 1.

$$S = 255 - I \quad \text{Equação 1}$$

A combinação de imagens digitais e colorimétricas ou métodos cromogênicos que podem ser analisados a partir do modelo RGB é uma possibilidade atual de desenvolvimento direto e rápido de determinações quantitativas (LOPEZ-MOLINERO *et al.*, 2010; CARLOS DE SOUZA *et al.*, 2016; PETERS *et al.*, 2015; EVANS *et al.*, 2014). Neste trabalho, as imagens digitais foram adquiridas de forma colorimétrica, reação teste local entre FeCl<sub>3</sub> e quercetina, produzindo um complexo amarelo, e reação teste local entre FeCl<sub>3</sub>, ferricianeto de potássio K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>] e BHT, gerando um complexo verde-azulado, para determinação de fenólicos totais e de antioxidantes, respectivamente, usando o modelo RGB. O método proposto é rápido, simples, utiliza pequenas quantidades de reagentes e não requer mão de obra qualificada, sendo uma alternativa econômica para o controle de qualidade de alimentos em processos industriais e/ou artesanais.

As reações do teste foram realizadas em uma placa de porcelana contendo nove vasos de reação. Pipetas automáticas foram usadas para transferir volumes exatos de reagentes e/ou amostras para a placa de porcelana e desta para a cubeta de análise. As soluções contendo os complexos formados foram fotografadas com uma câmera de telefone celular Samsung Galaxy J2 prime com resolução de 8.0 MP. Para efeito de comparação, foram realizadas análises utilizando um espectrofotômetro de feixe único modelo UV Mini 1240, marca Shimadzu equipado com uma cubeta de vidro caminho de 1 cm.

Para garantir a reprodutibilidade das imagens digitais adquiridas, um aparelho semelhante ao descrito por BENEDETTI *et al.* (2015b) foi usado com alguns ajustes. O equipamento consistia em uma câmara de plástico preto com dimensões aproximadas de 20 × 17,5 × 12 cm e duas tiras de luz branca diodos (LEDs) com dimensões de 15 × 1,0 × 0,1 cm com um consumo atual variando de 20 a 100 mA, cujo controle foi realizado por potenciômetros.

As tiras de LED foram dispostas paralelamente uma ao lado da outra e acopladas no topo da câmara de plástico. Dentro do equipamento, uma camada de tinta preta fosca foi aplicada para evitar os efeitos provenientes de reflexos que possam afetar a qualidade das imagens capturadas. Uma segunda caixa com dimensões de 10,8 × 3,0 × 6,5 cm foi anexada para acomodar o celular no momento da fotografia capturada e, assim, minimizar os erros sistemáticos do método proposto.

### **3.9. Tema gerador no ensino de Química**

A disciplina de Química apresenta conteúdo com grande número de informações, fórmulas, números e conceitos. Para os professores, o ensino de Química é desafiador devido à complexidade da disciplina e também ao fato de que muitos educandos não possuem as habilidades necessárias, ou seja, não dominam os conteúdos de base para a realização das operações fundamentais e para o desenvolvimento de cálculos, como requer os Parâmetros Nacionais Curriculares (1999). Dessa forma, é necessário fazer com que os estudantes participem e reconheçam o que está sendo estudado nesta disciplina, relacionando a teoria ao seu meio de vida.

Não se devem colocar os conteúdos de Química no quadro, slide, ou utilizar recursos didáticos de forma distante dos alunos, pois o principal objetivo do ensino de Química é desenvolver a capacidade de fazer a diferença, tomar decisões, o que implica na necessidade de associar os conteúdos ensinados ao contexto social em que o aluno está inserido (SANTOS e SCHNETZLER, 1996).

O uso de temas para introduzir os conteúdos químicos tem se mostrado eficiente, sendo cada vez mais usado para relacionar os conceitos ao cotidiano. O tema gerador traz para a sala de aula diversos assuntos e problemas vivenciados pelos alunos e comunidades ao redor. Ou seja, abre as possibilidades de mudanças sociais, fazendo com que a escola atue de forma significativa para o processo de constituição e aprimorando das funções psíquicas superiores que herdamos de nossa natureza biológica (VIGOTSKI, 2003).

Os alunos envolvem-se mais por perceberem o problema e constroem o conhecimento por intermédio das relações com seu ambiente. Assim, por meio da condução das investigações, conversações ou atividades, um aluno está aprendendo a construir um conhecimento novo tendo como base seu conhecimento atual. Isso contribui para uma aprendizagem mais significativa (MARKHAM *et al.*, 2008).

O tema gerador reúne a teoria e a prática, resultando em uma aprendizagem significativa. É a certeza de colocar a ação e a educação como ato político para que ocorra a transformação-libertação (FREIRE, 1987).

Por esta razão, os temas geradores não só podem como devem ser usados para o ensino da Química, pois a percepção e a problematização do assunto levantado em discussão com outras disciplinas como a Biologia, a Física, entre outras, podem ser trabalhados em conjunto para uma melhor apreensão da realidade (RODRIGUES, 2003).

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. Material vegetal**

O tomate e o morango, em diferentes estádios de maturação, foram obtidos comercialmente e através de cultivos realizados em pomares no município de

Viçosa-MG. Após serem coletados, foram mantidos sob refrigeração até o momento das extrações e análises.

## **4.2. Extração**

Os tomates e os morangos foram lavados com água destilada e secos à temperatura ambiente. A seguir, amostras de aproximadamente 1g desses alimentos foram trituradas com auxílio de gral e pistilo e, aos poucos, foi adicionada a mistura etanol:água (1:1) até atingir o volume final de 50 mL. As extrações foram realizadas em triplicatas.

## **4.3. Cabine coletora de dados**

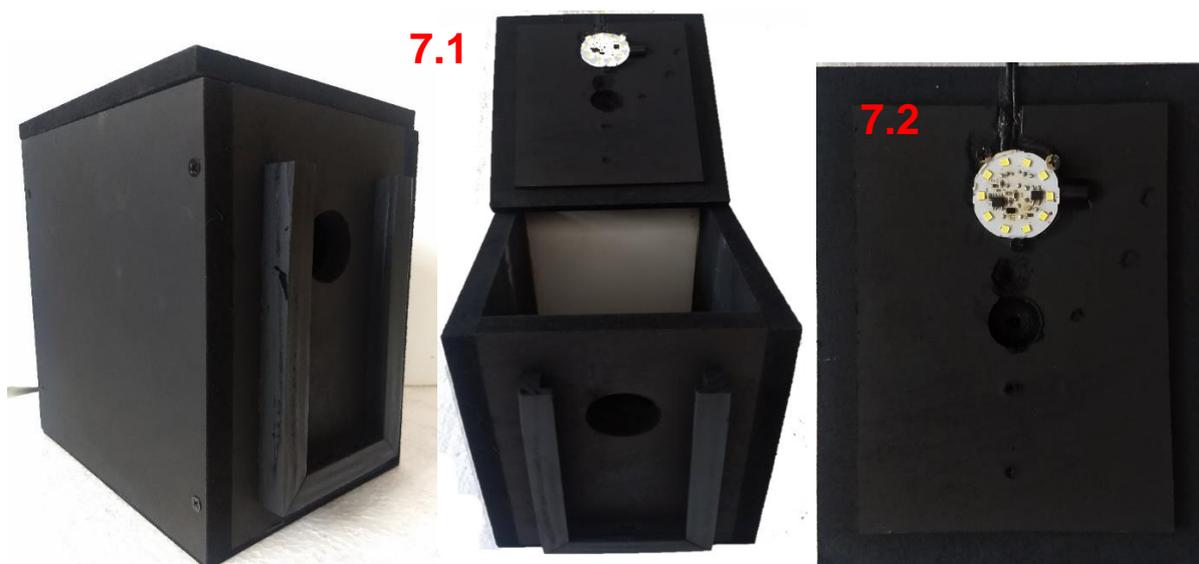
A cabine utilizada para obtenção de dados foi construída em uma oficina de caixas de som, utilizando madeira reaproveitada e fórmica, com dimensões de 22 cm de comprimento, 17 cm de largura e 24 cm de altura (Figura 7), com um suporte como estojo onde o smartphone Samsung Galaxy J2 prime 8.0-MP resolution é fixado, ficando em uma posição vertical (Figura 7.1). No centro da face da cabine, um orifício de 4 cm de diâmetro é posicionado a 12 cm da base do celular até o centro da circunferência (Figura 7.1) para posicionamento da câmera. Foram testados outros aparelhos celulares de diferentes modelos, havendo incompatibilidade com alguns devido a posição do orifício.

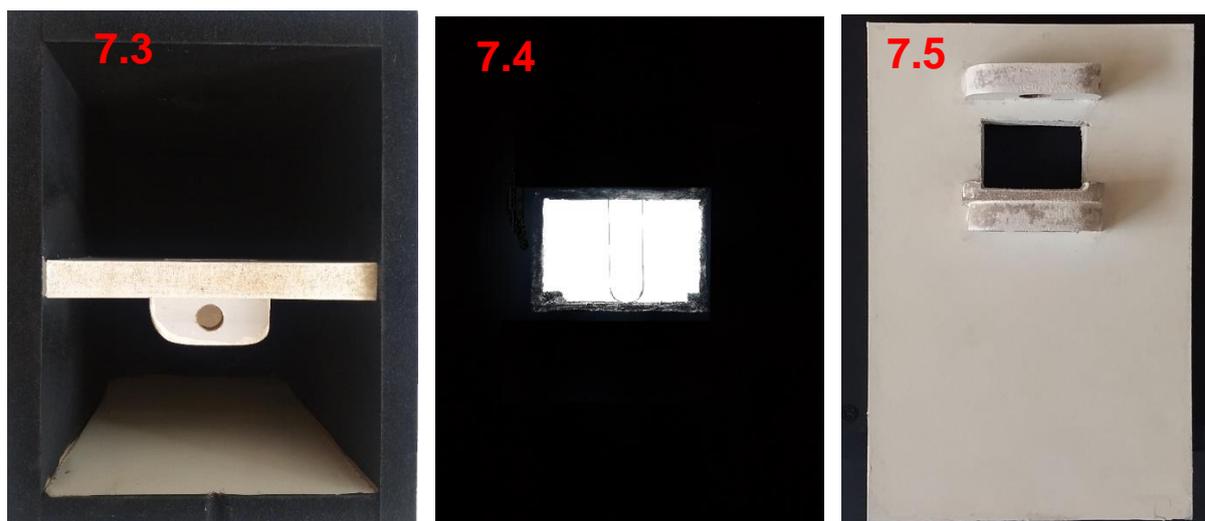
Na parte interna da caixa fica alojada uma placa divisória de 21 cm de comprimento, 22 cm de altura e 15 cm de largura (Figura 7.3). Desta forma, tem-se uma medida menor que o volume da caixa, possibilitando o movimento da placa divisória para uma melhor configuração da luz. A 12 cm da base da placa divisória foi aberta uma janela de 4 cm por 3 cm (Figura 7.4) para a obtenção das imagens. Na parte de traz da referida placa, acima da janela de imagem, foi colocado um suporte com um furo no centro feito com uma broca de 13 mm e que serve para colocar o tubo de ensaio contendo as amostras (Figura 7.5). Na parte de baixo da janela, foi instalado um suporte que serve de limite, de forma a garantir que o tubo de ensaio fique sempre na mesma posição, evitando, deste modo, a alteração dos dados fornecidos pela imagem.

Na tampa da cabine de coleta de dados, foi fixado na parte inferior (parte interna da cabine) um conjunto de LED (Light Emitting Diode) (Figura 7.2) retirado de uma lâmpada de 9 Watts (Figura 8) para substituir a luz do flash, pois alguns aparelhos de celular apresentam a luz do LED amarelada, interferindo nos resultados da imagem. A lâmpada de LED (Figura 8.1) foi desmontada usando uma chave de fenda para retirada do globo plástico (Figura 8.2). Em seguida, a placa integrada contendo as lâmpadas de LED, foi fixada à tampa (Figura 8.3).

Após fixada a placa de LED, a mesma foi ligada a um fio paralelo 2,5 mm utilizando uma extensão de 3 metros e um plugue de dois pinos, de forma a permitir que o sistema seja ligado diretamente em tomadas mais distantes, com funcionamento em 220 ou 110 volts, uma vez que a lâmpada de LED é também bivolt (100~240 volts).

Por fim, foi pintada toda a parte externa da cabine com tinta preta fosca e a parte interna da parede de traz foi deixada na cor branca para contraste da imagem. A placa divisória e os suportes não foram pintados, permanecendo na cor branca. A tampa da cabine também foi pintada de preto fosco, tanto interna quanto externamente, usando tinta de alta temperatura (600 °C), com o objetivo de evitar a queima do material, tendo em vista o aquecimento intenso provocado pelas lâmpadas de LED.





**Figura 7.** Cabine coletora de dados: visão geral e tampa móvel (7.1), visão interna (7.2), tampa com uso da LED (7.3), além de suporte e janela do tubo de ensaio para foto (7.4 e 7.5).



**Figura 8.** Lâmpada de LED (8.1), lâmpada desmontada (8.2) e placa integrada de LED (8.3).

#### 4.4. Guia de uso do app

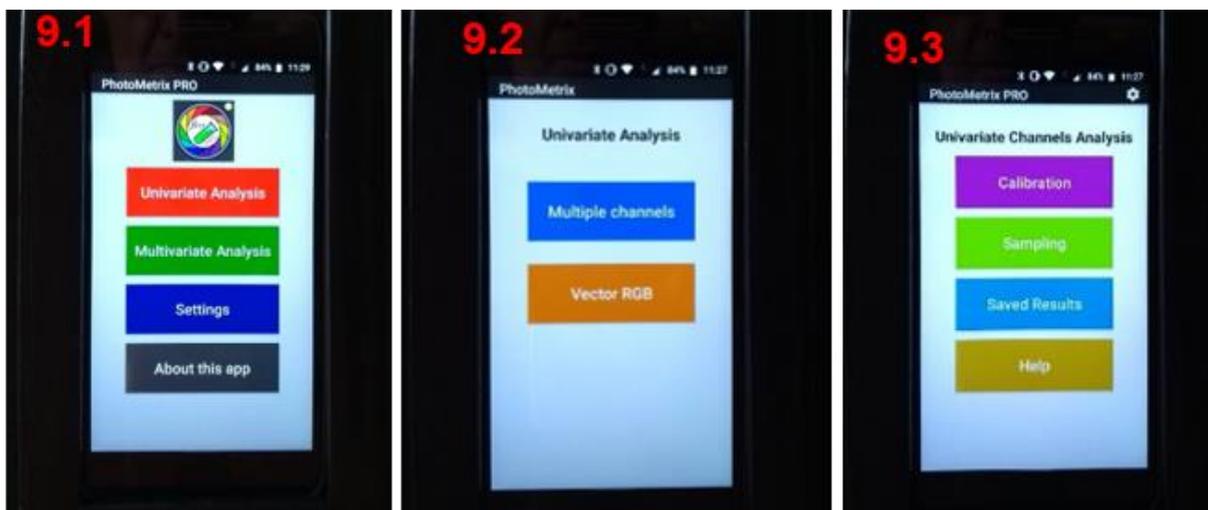
O app PhotoMetrix® pode ser adquirido gratuitamente no Play Store para smartphones Android e Windows phone. A tela inicial do aplicativo (Figura 9.1), apresentam as opções de *univariate analysis* (análise univariada), *multivariate analysis* (análise multivariada), *settings* (configuração) e *about this app* (informações sobre o aplicativo). Apesar de apresentar configuração, seus recursos e alterações não são muitos, limitando-se apenas aos comandos ligar, desligar ou colocar automático o flash, além da troca do e-mail para onde os dados são enviados (Figura 9.6). Não há opção que permita modificar parâmetros referentes à qualidade ou a outros recursos da câmera.

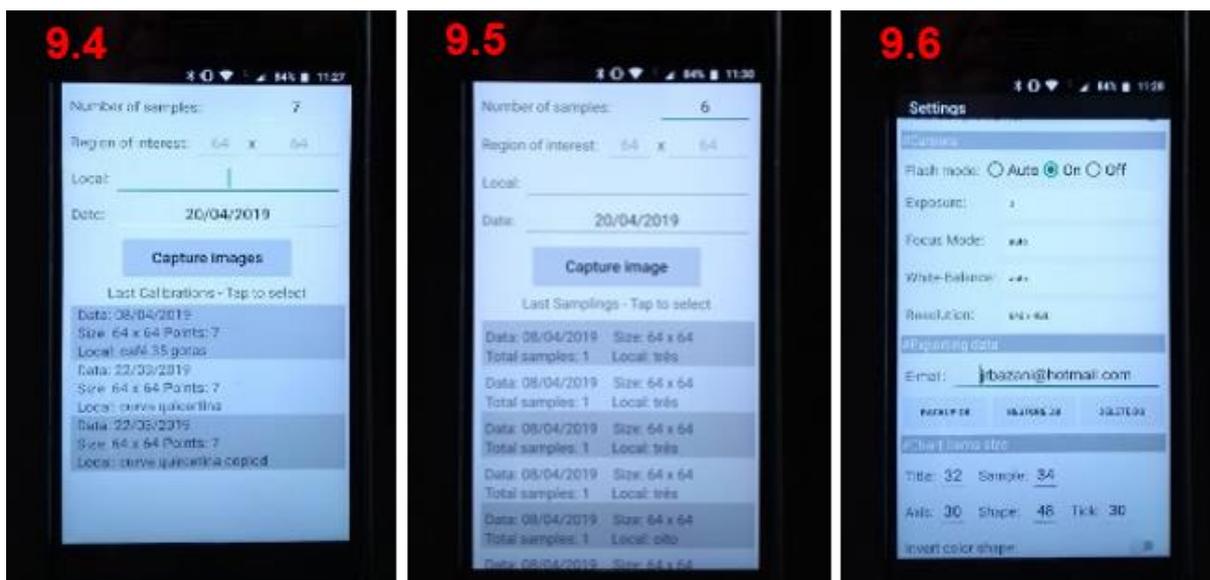
No menu inicial foi utilizado, na sequência, o recurso “análise univariante” para a segunda tela (Figura 9.2) com duas opções e para a coleta de dados *Multiple*

*Channels* (vários canais) e *Vector RGB* (vetor RGB). Executando *Multiple Channels*, abre-se automaticamente a terceira tela (Figura 9.3) com as opções *Calibration* (calibração), *Sampling* (amostragem), *Saved Results* (abrir análise salva) e *Help* (ajuda).

Acessando a opção *Calibration*, abre-se a quarta tela (Figura 9.4), onde será adicionado o número de amostras usadas para a construção da curva analítica. Também nesta tela deve ser informado o local (nome da amostra que será salva). Executando a opção *Capture Images* (captura de imagens), na quinta tela, será informada a concentração das soluções preparadas para construção da curva analítica. Então, realiza-se a medida colorimétrica dessas soluções que serão colocadas uma a uma na cabine coletora de dados. Em seguida, dever-se-á executar a opção *save* (salvar) e o programa vai gerar uma curva analítica.

A seguir, será executada a opção *sampling* (amostragem) (Figura 9.3) e realizadas as medições dos analitos de interesse nas amostras de alimentos de forma semelhante às realizadas com as soluções padrões em diferentes concentrações (Figura 9.5). Ao finalizar, a curva analítica deverá ser selecionada, permitindo que o sinal obtido na análise das amostras de alimentos seja convertido na concentração do analito de interesse no alimento avaliado.





**Figura 9.** Tela inicial (9.1), tela de análise univariada (9.2), tela de análise de canais univariados (9.3), tela de captura de imagem para construção da curva analítica (9.4), tela de captura de imagem para determinação do analito nas amostras de alimentos (9.5) e tela de “setup” (9.6).

#### 4.5. Reagentes

Cloreto férrico hexahidratado (99%), ácido tricloacético ( $\geq 99\%$ ), quercetina ( $\geq 95\%$ ) e hidroxitoluenobutilado ( $\geq 99\%$ ) foram comprados da Sigma Aldrich. Ferricianeto de potássio ( $\geq 99\%$ ) foi adquirido da Vetec. Etanol comercial foi adquirido no comércio local.

Solução estoque de quercetina ( $100 \text{ mg mL}^{-1}$ ) em água ultrapura foi preparada para determinação de fenólicos totais;

Solução de ferricianeto de potássio 1% (p/v) em água ultrapura foi preparada para determinação de fenólicos totais e de quercetina;

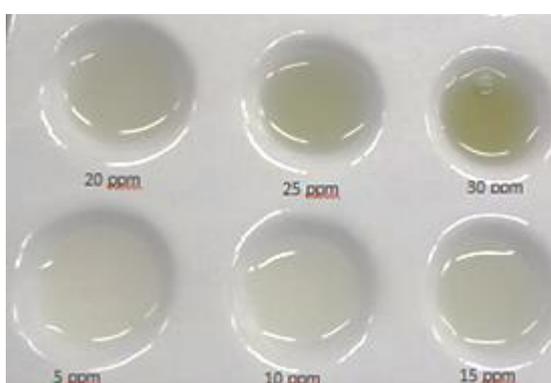
Soluções de hidroxitoluenobutilado (BHT)  $100 \text{ mg mL}^{-1}$ , de ferricianeto de potássio 1% (p/v); de ácido tricloroacético 10% (p/v) e de tampão fosfato  $0,2 \text{ mol L}^{-1}$  (pH = 6,6) foram preparadas em água ultrapura para determinação da atividade antioxidante.

As soluções foram preparadas com água ultrapura (resistividade  $> 18,0 \text{ M}\Omega \text{ cm}$ ) obtido de um sistema Millipore Milli-Q (EUA).

#### 4.6. Determinação de fenólicos totais

Para determinação de fenólicos totais foi utilizado o padrão quercetina. Uma curva analítica foi construída com concentrações de quercetina variando de 0 a 30 ppm (n = 7 pontos) preparadas a partir da solução estoque de quercetina (100 mg L<sup>-1</sup>) em água.

Para leitura no aplicativo PhotoMetrix®, foram pipetados 340 µL das soluções de quercetina, em diferentes concentrações, aos quais foram adicionados 10 µL da solução de cloreto férrico 1% (Figura 10).



**Figura 10.** Placa de porcelana contendo soluções de quercetina, em diferentes concentrações, acrescidas de cloreto férrico 1% para obtenção da curva analítica usada na determinação de fenólicos totais.

A determinação do teor de fenólicos nos extratos de tomate e de morango também foi realizada pipetando 340 µL de cada extrato, preparados conforme descrito no item 4.2., aos quais foram adicionados 10 µL da solução de cloreto férrico 1% (p/v). A seguir, foi realizada a leitura no aplicativo PhotoMetrix®.

O teor de fenólicos totais também foi determinado utilizando a técnica de espectrofotometria no ultravioleta visível (UV-Vis). Para construção da curva analítica, foram utilizadas as mesmas soluções de quercetina preparadas para obtenção da curva analítica usando o PhotoMetrix®. Tanto para obtenção da curva analítica como para determinação do teor de fenólicos totais nos extratos de tomate e de morango (item 4.2.), foram utilizados 2,0 mL das soluções de quercetina e dos extratos, respectivamente, aos quais foram adicionados 70 µL da solução de cloreto férrico 1% (p/v). A leitura foi realizada em  $\lambda = 294$  nm.

#### 4.7. Determinação do teor de antioxidantes

A determinação de antioxidantes em tomates e em morangos foi realizada utilizando como padrão o hidroxitoluenobutilado (BHT), de acordo com a metodologia citada por YEN e CHEN (1995), com modificações.

Inicialmente, foi construída uma curva analítica com diferentes concentrações de BHT (0; 0,1; 0,25; 0,50; 0,75; e 1,0 mg L<sup>-1</sup>; n = 6 pontos) preparadas a partir da solução estoque de BHT 100 mg L<sup>-1</sup> em água. Para isso, foram utilizados 6 tubos de ensaios de 25 mL para os quais foram transferidas alíquotas da solução padrão de BHT (0, 10, 25, 50, 75 e 100 µL), adicionados 2,5 mL da solução de ferricianeto de potássio 1% (p/v); 2,5 mL do tampão fosfato 0,2 mol L<sup>-1</sup> (pH = 6,6) e a mistura foi incubada a 45 °C por 20 min. A seguir, foram adicionados 2,0 mL de ácido tricloroacético 10% (p/v) e os volumes foram completados para 10,0 mL com água ultrapura.

Para leitura no aplicativo PhotoMetrix®, foram pipetados 340 µL das misturas contendo BHT em diferentes concentrações, aos quais foram adicionados 10 µL da solução de cloreto férrico 1% (p/v).

Para determinação do poder redutor nos extratos de tomate e de morango, uma alíquota de 2,0 mL de cada extrato, preparado conforme item 4.2, foi transferida para um tubo de ensaio de 25 mL ao qual foram adicionados 2,5 mL da solução de ferricianeto de potássio 1% (p/v); 2,5 mL do tampão fosfato 0,2 mol L<sup>-1</sup> (pH = 6,6) e a mistura foi incubada a 45 °C por 20 min. A seguir, foram adicionados 2,0 mL de ácido tricloroacético 10% (p/v) e 1,0 mL de água ultrapura para completar o volume para 10,0 mL.

A determinação do poder antioxidante nos extratos de tomate e de morango usando o aplicativo PhotoMetrix® foi realizada da mesma forma que para obtenção da curva analítica (340 µL das misturas contendo BHT, em diferentes concentrações, e 10 µL da solução de cloreto férrico 1% p/v).

Assim como o teor de fenólicos, o poder redutor também foi determinado por UV-Vis. A curva analítica foi obtida utilizando as mesmas soluções de BHT preparadas para obtenção da curva analítica usando o PhotoMetrix®. Entretanto, a leitura no UV-Vis ( $\lambda = 706 \text{ nm}$ ), tanto das soluções para obtenção da curva analítica como da mistura contendo os extratos de tomate e de morango, foram realizadas

utilizando um volume de 2,0 mL (das soluções de BHT e da mistura contendo os extratos) e 70 µL da solução de cloreto férrico 1% (p/v).

#### **4.8. Comparação entre os métodos de determinação de fenólicos totais e do poder redutor dos alimentos**

A comparação entre o tradicional método de espectrofotometria UV-Vis e o aplicativo PhotoMetrix® utilizados para determinação de fenólicos totais e de antioxidantes nos alimentos foi realizada por análise de variância (ANOVA) e pelo teste de Tukey com intervalo de confiança de 95% (CERCEAU *et al.*, 2016).

#### **4.9. Aula prática**

Foi escolhido um tema gerador para a aula prática, “Química orgânica e compostos fenólicos na palma da mão”, tendo em vista a determinação do teor de fenóis utilizando smartphone, o que seria impossível de se fazer com equipamentos tradicionais como espectrofotômetro. Isso porque, além dos reagentes utilizados serem caros, a aquisição do aparelho citado está fora da realidade das escolas mantidas pelos estados brasileiros, que, na maioria das vezes, não tem sequer espaço e equipamentos simples para realização de uma aula prática.

No laboratório da escola foram separados alguns dos materiais para a prática. Tubos de ensaio, alguns poucos béqueres, pipetas de vidro, copo de precipitação, solução de cloreto de ferro III e cabine coletora de dados, tendo em vista a falta de investimento em educação que contemple salas de pesquisas e prática de laboratório de ciências, o que poderia realmente transformar os educandos em cidadãos capazes de mudar o meio em que vivem.

Desta forma é possível, nesta experiência prática, desenvolver nos alunos o desafio de buscar respostas, tornando-os criadores e não simples repetidores das ideias de seus professores.

O trabalho foi desenvolvido pela turma do 3º ano do ensino médio (3º V01) vespertino da Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio “Antonio Carneiro Ribeiro”, no Município de Guaçuí, Estado do Espírito Santo. Foi solicitado que os alunos procurassem assuntos relacionados ao tema, ou seja, os compostos

fenólicos e o uso de celular em sala de aula, uma vez que o conteúdo contempla as várias funções orgânicas, sendo uma delas os compostos fenólicos.

Na sala foi utilizado um guia para a instalação e o uso do aplicativo (Apêndices D).

Assim, a apresentação contemplou outras disciplinas, o que demandou o apoio dos professores, abordando os conceitos de forma interdisciplinar.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Neste trabalho, um método simples e de baixo custo, que utiliza imagem digital e dispositivo portátil, foi empregado para determinação de fenólicos totais e de antioxidantes em tomates e em morangos, em diferentes estádios de maturação, adquiridos no comércio local e em cultivos realizados no município de Viçosa-MG.

Para a captura de imagens digitais, o sistema construído (cabine coletora) foi fortemente aprimorado para garantir a confiabilidade, exatidão/precisão e reprodutibilidade dos dados RGB obtidos.

Primeiramente, foi avaliada a melhor posição para fixação da placa de lâmpadas LED localizadas na parede superior do compartimento, assim como a intensidade da luz emitida para melhorar a captura da imagem. É comum encontrar sombras que afetam principalmente a repetibilidade do método DIB avaliado pelo desvio padrão relativo. Dessa forma, um melhor posicionamento da placa divisória dentro da câmara é realizado para reduzir sombras ou reflexos excessivos sobre a amostra e também sobre outras regiões de forma a evitar a obtenção de resultados errôneos.

### **5.1. Construção da curva analítica para determinação de fenólicos totais**

Uma curva analítica para determinação de fenólicos totais, nos alimentos avaliados, foi construída baseada na reação de redução de  $Fe^{3+}$  a  $Fe^{2+}$  pelo composto fenólico quercetina, formando um complexo amarelo com absorção em  $\lambda = 294$  nm. A intensidade da cor desenvolvida na reação química (complexo formado) é diretamente proporcional à concentração do analito (fenólicos totais) no alimento avaliado. Na Tabela 1, a seguir, estão registradas as concentrações de quercetina (0

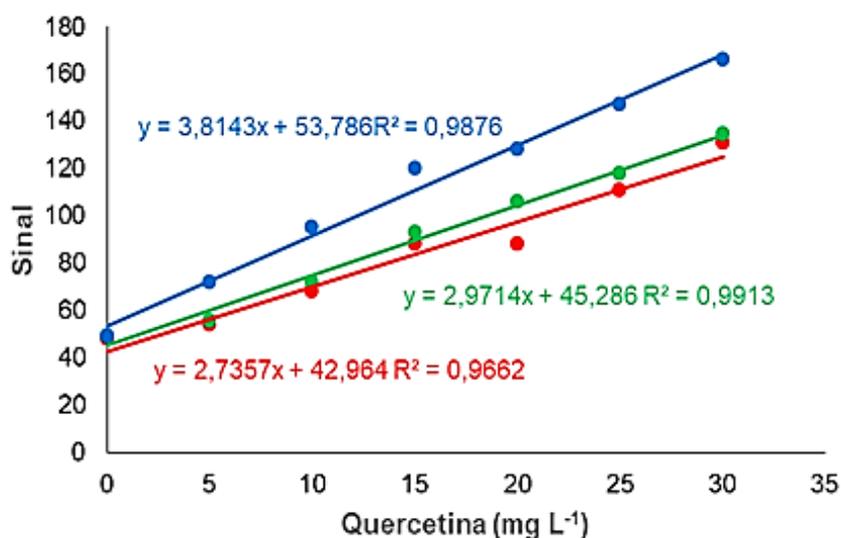
a 30 mg L<sup>-1</sup>) utilizadas na construção da curva analítica e suas respectivas intensidades de cores obtidas nos canais RGB usando o programa PhotoMetrix®.

**Tabela 1.** Concentração de quercetina (mg L<sup>-1</sup>) e intensidade das cores obtidas nos canais RGB em base úmida.

Quercetina (mg L <sup>-1</sup> )	Red (R)	Green (G)	Blue (B)
0	207	206	206
5	201	199	183
10	187	183	160
15	167	162	135
20	167	149	127
25	144	137	108
30	124	120	89

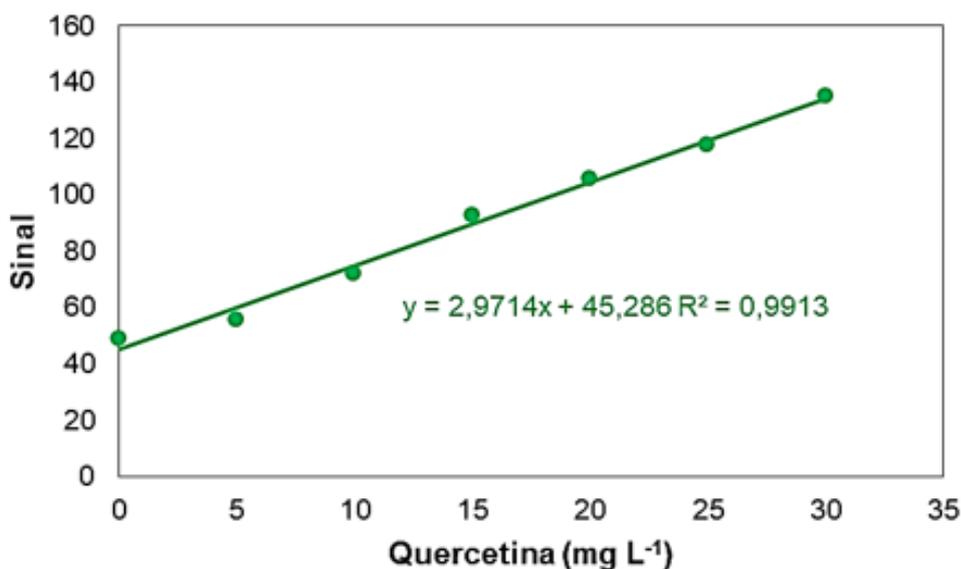
Na coluna Blue (B), foram obtidos os valores de 206 para 0 mg L<sup>-1</sup> e de 89 para 30 mg L<sup>-1</sup>, ou seja, quanto mais concentrada a solução de quercetina, menor a intensidade de cor obtida no canal “Blue”. No momento de fazer a leitura é importante observar esses valores e sempre anotá-los.

Inicialmente, uma curva analítica para cada canal RGB (Figura 11) foi obtida plotando no eixo x a concentração de quercetina (mg L<sup>-1</sup>) 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 11.** Curvas analíticas obtidas nos canais red (R), green (G) e blue (B) para o padrão quercetina.

Embora o canal B tenha se mostrado o mais sensível às alterações de concentração de quercetina (curva mais inclinada), a curva analítica por ele obtida é a menos linear em relação ao coeficiente de correlação (R,  $r^2 = 0,9662$ ; G,  $r^2 = 0,9913$  e B,  $r^2 = 0,9876$ ) (Figura 11). Das três curvas avaliadas (Figura 11), a obtida no canal G (Figura 12) apresentou melhor linearidade e a segunda melhor sensibilidade e, por isso, foi utilizada para determinação de fenólicos totais nos extratos de morango e de tomate.



**Figura 12.** Curva analítica do canal green com padrão quercetina.

Também foi obtida uma curva analítica para determinação de fenólicos totais pelo tradicional método de espectrofotometria no UV-Vis utilizando mesmas soluções de quercetina preparadas para construção da curva analítica utilizando o aplicativo PhotoMetrix® (Figura 13).

Para isso, foi plotado um gráfico utilizando no eixo x a concentração de quercetina (mg L<sup>-1</sup>) e no eixo y as absorbâncias obtidas no UV-Vis em  $\lambda = 294$  nm.

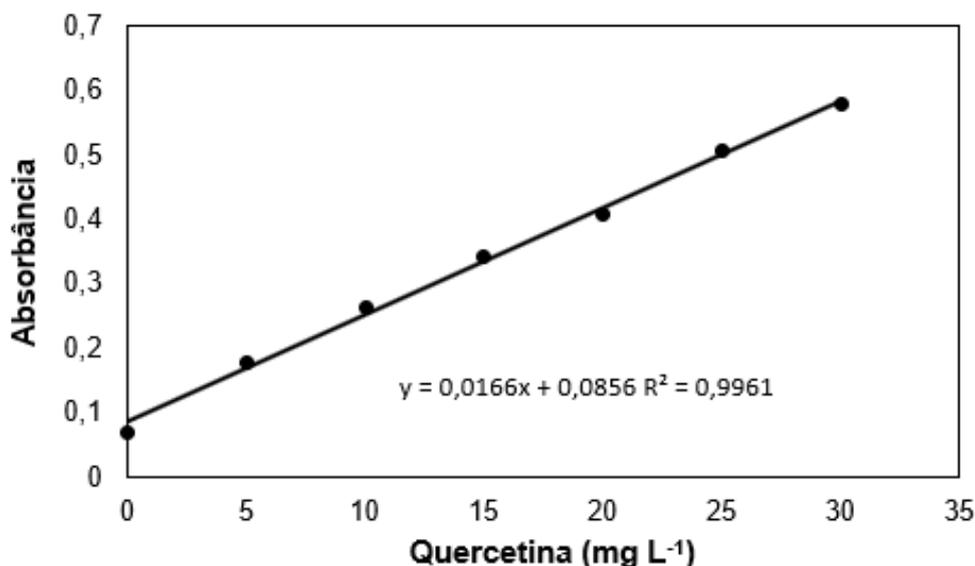


Figura 13. Curva analítica com padrão quercetina obtida no UV-Vis.

## 5.2. Determinação do teor de fenólicos totais em tomate e em morango

A análise de fenólicos totais foi realizada nas amostras de tomate e de morango, em diferentes estádios de maturação (Tabelas 2 a 8).

O teor de fenólicos totais no tomate vermelho ( $445,13 \pm 2,66$ ; Tabela 2) não variou muito quando comparado ao tomate alaranjado ( $420,65 \pm 0,45$ ; Tabela 3). Porém, quando comparado ao tomate amarelo ( $205,72 \pm 0,51$ ; Tabela 4) essa diferença aumenta consideravelmente. Assim, em relação ao tomate verde ( $155,35 \pm 3,47$ ; Tabela 5) o teor de fenólicos totais no tomate maduro é quase 3 vezes maior.

O teor de compostos fenólicos no morango vermelho ( $330,43 \pm 7,40$ ; Tabela 6) apresentou pouca diferença do encontrado no morango 75% da coloração vermelha ( $302,97 \pm 0,64$ ; Tabela 7) e o dobro quando comparado ao morango verde ( $141,45 \pm 0,72$ ; Tabela 8).

Bravo (1998) afirma que a quantidade de compostos fenólicos está fortemente associada a fatores genéticos e às condições ambientais, podendo-se citar o grau de maturação, cultivares e outros. Além disso, afirma que a média dos teores de compostos fenólicos totais encontrados em morangos varia entre 38 e 218 mg/100 g de material fresco. Esses resultados demonstram que o estágio de maturação corrobora com variação de concentração de compostos fenólicos totais, sendo observada a maior concentração no tomate vermelho.

As tabelas 2 a 8 apresentam a quantidade (mg de quercetina/100g de alimento) de compostos fenólicos nas amostras de tomate e de morango, nos diferentes estágios de maturação, determinada usando o aplicativo do celular (App) e o espectrofotômetro UV-Vis com as respectivas absorbâncias.

**Tabela 2.** Compostos fenólicos totais no tomate vermelho obtidos usando o App e o UV-Vis em base úmida.

Tomate vermelho	Absorbância	(mg quercetina 100 g <sup>-1</sup> )	
		App	UV-Vis
1	0,376	448,20	451,04
2	0,377	443,55	452,32
3	0,376	443,63	451,04
<b>Média</b>	0,376	445,13 ± 2,66 <sup>a</sup>	451,46 ± 0,60 <sup>a</sup>

Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre as amostras ( $p < 0,05$ ).  
Valores expressos em mg 100 g<sup>-1</sup> de amostra (média ± desvio padrão).

**Tabela 3.** Compostos fenólicos totais no tomate laranja obtidos usando o App e o UV-Vis em base úmida.

Tomate laranja	Absorbância	(mg quercetina 100 g <sup>-1</sup> )	
		App	UV-Vis
1	0,353	420,39	421,07
2	0,354	421,17	422,02
3	0,353	420,39	421,07
<b>Média</b>	0,353	420,65 ± 0,45 <sup>a</sup>	421,38 ± 0,54 <sup>a</sup>

Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre as amostras ( $p < 0,05$ ).  
Valores expressos em mg 100 g<sup>-1</sup> de amostra (média ± desvio padrão).

**Tabela 4.** Compostos fenólicos totais no tomate amarelo obtidos usando o App e o UV-Vis em base úmida.

Tomate amarelo	Absorbância	(mg quercetina 100 g <sup>-1</sup> )	
		App	UV-Vis
1	0,248	206,02	207,32
2	0,247	205,13	206,04
3	0,248	206,02	207,32
<b>Média</b>	0,248	205,72 ± 0,51 <sup>a</sup>	207,32 ± 0,73 <sup>a</sup>

Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre as amostras ( $p < 0,05$ ).  
Valores expressos em mg 100 g<sup>-1</sup> de amostra (média ± desvio padrão).

**Tabela 5.** Compostos fenólicos totais no tomate verde obtidos usando o App e o UV-Vis em base úmida.

Tomate verde	Absorbância	(mg quercetina 100 g <sup>-1</sup> )	
		App	UV-Vis
1	0,180	159,33	155,25
2	0,180	153,80	155,25
3	0,179	152,92	154,25
<b>Média</b>	0,179	155,35 ± 3,47 <sup>a</sup>	154,91 ± 0,57 <sup>a</sup>

Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre as amostras (p<0,05).  
Valores expressos em mg 100 g<sup>-1</sup> de amostra (média ± desvio padrão).

**Tabela 6.** Compostos fenólicos totais no morango vermelho obtidos usando o App e o UV-Vis em base úmida.

Morango vermelho	Absorbância	(mg quercetina 100 g <sup>-1</sup> )	
		App	UV-Vis
1	0,329	328,77	333,76
2	0,329	338,55	333,76
3	0,328	323,97	332,69
<b>Média</b>	0,328	330,43 ± 7,43 <sup>a</sup>	333,40 ± 0,61 <sup>a</sup>

Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre as amostras (p<0,05).  
Valores expressos em mg 100 g<sup>-1</sup> de amostra (média ± desvio padrão).

**Tabela 7.** Compostos fenólicos totais no morango com 75% da coloração vermelha obtidos usando o App e o UV-Vis em base úmida.

Morango 75% da coloração vermelha	Absorbância	(mg quercetina 100 g <sup>-1</sup> )	
		App	UV-Vis
1	0,298	302,61	303,06
2	0,299	303,72	304,09
3	0,298	302,60	303,06
<b>Média</b>	0,298	302,97 ± 0,64 <sup>a</sup>	303,40 ± 0,59 <sup>a</sup>

Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre as amostras (p<0,05).  
Valores expressos em mg 100 g<sup>-1</sup> de amostra (média ± desvio padrão).

**Tabela 8.** Compostos fenólicos totais no morango verde obtidos usando o App e o UV-Vis em base úmida.

Morango Verde	Absorbância	(mg quercetina 100 g <sup>-1</sup> )	
		App	UV-Vis
1	0,164	141,03	142,10
2	0,165	142,29	143,40
3	0,164	141,03	142,10
<b>Média</b>	0,164	141,45 ± 0,72 <sup>a</sup>	142,53 ± 0,75 <sup>a</sup>

Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre as amostras (p<0,05).  
Valores expressos em mg 100 g<sup>-1</sup> de amostra (média ± desvio padrão).

A similaridade entre os métodos PhotoMetrix® e UV-Vis foi comprovada usando análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey com 95% de confiança. Dessa forma, o método desenvolvido se destaca como uma alternativa viável para determinar fenólicos totais em espécies vegetais, útil em laboratórios com limitações de recursos financeiros, analíticos e que utilizam técnicas que corroboram com a Química Verde.

Além disso, o método para determinação de fenólicos utilizado no presente estudo apresenta baixo custo, pouca geração de resíduos, podendo ser utilizado fora do laboratório, como por exemplo em sala de aula, durante o ensino de Química. O professor pode explicar reações de oxidação e redução, ao mostrar que os polifenóis são substâncias redutoras e, portanto, oxidam-se com facilidade, resultando em substâncias coradas com o uso de reagentes específicos nestas reações.

Apresentar aos alunos o cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3$ ), reagente utilizado na caracterização de polifenóis, aplicar em amostras de extratos de frutas e verificar as diferenças de cores, podendo ter variação de cor, mostrando-se azulado ou esverdeado, com diferentes intensidades, de acordo com a composição química do extrato. Quanto mais intensa a coloração mais fenólicos estão presentes. As imagens podem ser capturadas de qualquer celular, desde que seja construída uma cabine coletora compatível com o celular utilizado. Por esse motivo, devem ser informados a marca e o modelo do celular. As imagens no presente estudo foram capturadas com uma câmera digital do Samsung Galaxy J2 prime 8.0-MP resolution, por exemplo.

Na captura de imagens digitais, foram registrados valores de intensidade de cores nos canais RGB para cada amostra avaliada. Esses valores (Tabelas 9 a 15) foram utilizados para determinar o sinal referente ao teor de fenólicos totais nos extratos de tomate e de morango.

**Tabela 9.** Intensidade de cores obtidas na leitura da amostra de tomate vermelho em base úmida.

<b>Tomate vermelho</b>	<b>Red (R)</b>	<b>Green (G)</b>	<b>Blue (B)</b>
<b>1</b>	153	154	152
<b>2</b>	155	156	151
<b>3</b>	152	153	158

**Tabela 10.** Intensidade de cores obtidas na leitura da amostra de tomate laranja em base úmida.

<b>Tomate laranja</b>	<b>Red (R)</b>	<b>Green (G)</b>	<b>Blue (B)</b>
1	165	167	169
2	164	167	168
3	165	166	169

**Tabela 11.** Intensidade de cores obtidas na leitura da amostra de tomate amarelo em base úmida.

<b>Tomate amarelo</b>	<b>Red (R)</b>	<b>Green (G)</b>	<b>Blue (B)</b>
1	179	177	182
2	178	177	181
3	179	177	182

**Tabela 12.** Intensidade de cores obtidas na leitura da amostra de tomate verde em base úmida.

<b>Tomate verde</b>	<b>Red (R)</b>	<b>Green (G)</b>	<b>Blue (B)</b>
1	199	200	192
2	201	201	195
3	201	201	189

**Tabela 13.** Intensidade de cores obtidas na leitura da amostra de morango vermelho em base úmida.

<b>Morango vermelho</b>	<b>Red (R)</b>	<b>Green (G)</b>	<b>Blue (B)</b>
1	167	168	169
2	166	168	170
3	167	169	169

**Tabela 14.** Intensidade de cores obtidas na leitura da amostra de morango 75 % coloração vermelho em base úmida.

<b>Morango 75 % coloração vermelha</b>	<b>Red (R)</b>	<b>Green (G)</b>	<b>Blue (B)</b>
1	193	189	183
2	192	191	185
3	192	192	184

**Tabela 15.** Intensidade de cores obtidas na leitura da amostra de morango verde em base úmida.

<b>Morango verde</b>	<b>Red (R)</b>	<b>Green (G)</b>	<b>Blue (B)</b>
1	198	189	198
2	197	199	198
3	198	198	198

### 5.3. Construção da curva analítica para determinação de antioxidantes

Outro parâmetro avaliado foi o poder de redução (teor de antioxidantes) das amostras de alimentos citadas anteriormente.

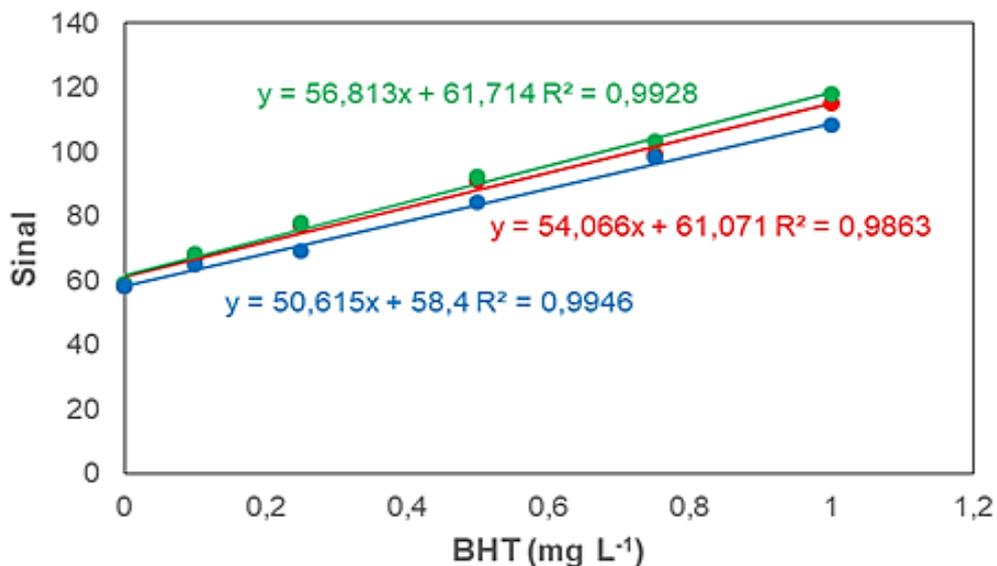
Primeiramente, uma curva analítica para determinação do poder de redução de tomate e de morango, foi construída baseada na reação entre cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3$ ), ferricianeto de potássio ( $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ) e hidroxitoluenobutilado (BHT), gerando um complexo verde-azulado com absorção em  $\lambda = 706 \text{ nm}$ . A intensidade da cor desenvolvida na reação química (complexo formado) é diretamente proporcional à concentração do analito (antioxidantes) presente no alimento avaliado.

Na Tabela 16, a seguir, estão registradas as concentrações de BHT (0,0 a 1,0  $\text{mg L}^{-1}$ ) utilizadas na construção da curva analítica e suas respectivas intensidades de cores obtidas nos canais RGB usando o programa PhotoMetrix®.

**Tabela 16.** Concentração de BHT ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e intensidade das cores obtidas nos canais RGB em base úmida.

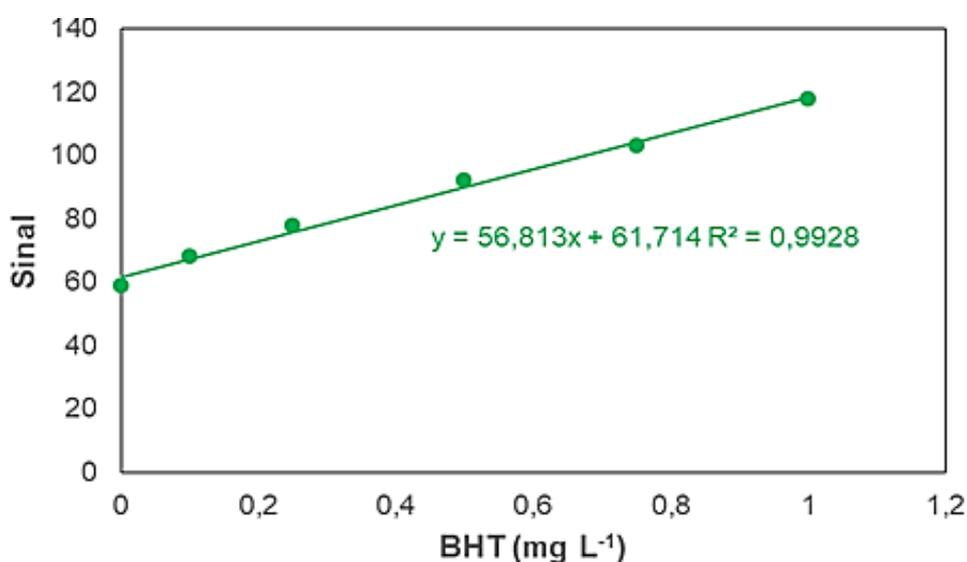
<b>BHT (<math>\text{mg mL}^{-1}</math>)</b>	<b>Red (R)</b>	<b>Green (G)</b>	<b>Blue (B)</b>
<b>0</b>	197	196	197
<b>0,10</b>	188	187	190
<b>0,25</b>	178	177	186
<b>0,50</b>	164	163	171
<b>0,75</b>	156	152	157
<b>1,0</b>	140	137	147

Foram obtidas três curvas analíticas (Figura 14), uma para cada canal RGB, plotadas da mesma forma que as curvas construídas para determinação de fenólicos totais.



**Figura 14.** Curvas analíticas obtidas nos canais red (R), green (G) e blue (B) para o padrão BHT.

Conforme observado na Figura 14, a curva obtida no canal B apresentou melhor linearidade quando o coeficiente de correlação desta ( $r^2 = 0,9946$ ) foi comparado ao das demais ( $r^2 = 0,9928$  e  $r^2 = 0,9863$ , para os canais B e R, respectivamente). Entretanto, a sensibilidade da curva analítica obtida no canal G, em função das diferentes concentrações de BHT, foi muito superior à das demais. A pequena diferença entre os coeficientes de correlação das curva nos canais B e G é compensada pela elevada sensibilidade do canal G. Dessa forma, a determinação de antioxidantes nos alimentos avaliados foi realizada utilizando a curva analítica obtida no canal G.



**Figura 15.** Curva analítica do canal Green com padrão BHT.

Também foi construída uma curva analítica (Figura 16) para determinação de antioxidantes pelo método de espectrofotometria no UV-Vis utilizando as mesmas soluções de BHT preparadas para construção da curva analítica utilizando o aplicativo PhotoMetrix®. Para isso, foi plotado um gráfico utilizando no eixo x a concentração de BHT ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e no eixo y as absorbâncias obtidas no UV-Vis em  $\lambda = 706 \text{ nm}$ .

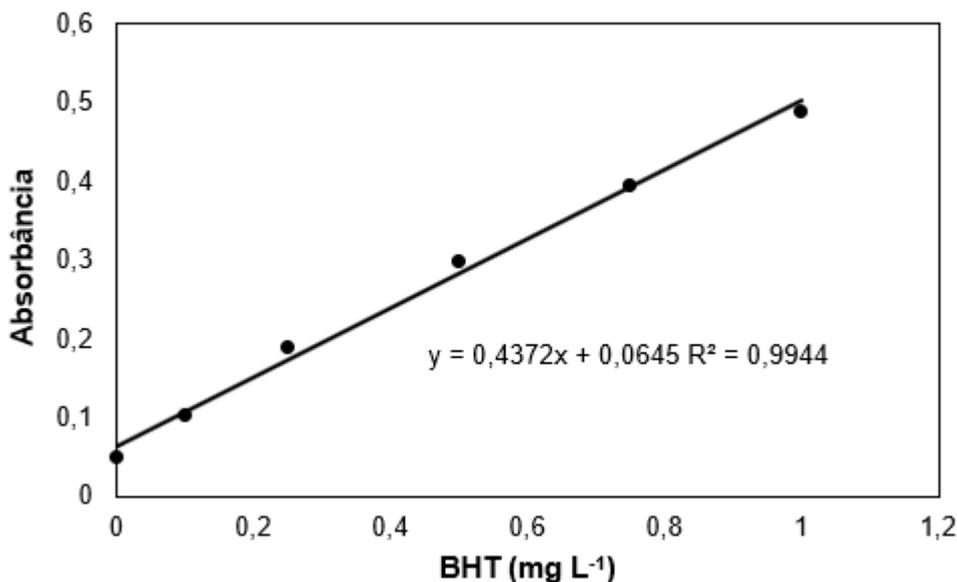


Figura 16. Curva analítica obtida no UV-Vis com padrão BHT.

#### 5.4. Determinação do teor antioxidantes em tomate e em morango.

A determinação de antioxidantes, ou seja, do poder redutor de alimentos foi realizada nas amostras de tomate e de morango nos diferentes estádios de maturação (Tabelas 17 a 23).

A quantidade de antioxidantes encontrada no tomate vermelho ( $9,13 \pm 0,66$ ), foi similar à do morango vermelho ( $8,90 \pm 0,54$ ). Entretanto, à medida que comparamos os outros estádios de maturação, o poder redutor vai diminuindo tanto no tomate quanto no morango. Desta forma, o poder redutor do tomate verde ( $5,72 \pm 0,38$ ) é aproximadamente 1,5 vezes menor que o do tomate vermelho ( $9,13 \pm 0,66$ ).

Estudos realizados por SCALZO *et al.* (2005) e MELO *et al.* (2008) afirmam que a capacidade antioxidante é influenciada pelo tipo de fruta, isto é, espécies e variedades, estágio de maturação e, também, depende das condições de cultivo das plantas.

Esses resultados mostram que, devido à elevada quantidade de antioxidantes contida em tomate e em morango vermelhos, a ingestão desses alimentos é benéfica à saúde humana. Isso porque os antioxidantes são capazes de capturar os radicais livres no organismo humano, prevenindo as doenças causadas por danos celulares decorrentes desses radicais, além de melhorarem a saúde do sistema imunológico.

**Tabela 17.** Avaliação do poder redutor do tomate vermelho utilizando o App e o UV-Vis em base úmida.

Tomate vermelho	UV-Vis (mg g <sup>-1</sup> )	App* (mg g <sup>-1</sup> )	Peso amostra (g)	Absorbância
1	9,103	9,039	0,050	0,129
2	9,103	9,690	0,053	0,129
3	9,211	9,005	0,041	0,130
Média	9,13±0,06 <sup>a</sup>	9,24±0,38 <sup>a</sup>	0,048	0,129

Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre as amostras ( $p < 0,05$ ). Valores expressos em mg g<sup>-1</sup> de amostra (média ± desvio padrão).

**Tabela 18.** Avaliação do poder redutor do tomate laranja utilizando o App e o UV-Vis em base úmida.

Tomate laranja	UV-Vis (mg g <sup>-1</sup> )	App* (mg g <sup>-1</sup> )	Peso amostra (g)	Absorbância
1	8,754	8,647	0,052	0,102
2	8,751	8,620	0,051	0,102
3	8,759	8,662	0,054	0,103
Média	8,75±0,01 <sup>a</sup>	8,64±0,02 <sup>a</sup>	0,052	0,102

Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre as amostras ( $p < 0,05$ ). Valores expressos em mg g<sup>-1</sup> de amostra (média ± desvio padrão).

**Tabela 19.** Avaliação do poder redutor do tomate amarelo utilizando o App e o UV-Vis em base úmida.

Tomate amarelo	UV-Vis (mg g <sup>-1</sup> )	App* (mg g <sup>-1</sup> )	Peso amostra (g)	Absorbância
1	7,483	7,502	0,049	0,095
2	7,698	7,589	0,053	0,097
3	7,508	7,545	0,044	0,096
Média	7,56±0,11 <sup>a</sup>	7,54±0,04 <sup>a</sup>	0,048	0,096

Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre as amostras ( $p < 0,05$ ). Valores expressos em mg g<sup>-1</sup> de amostra (média ± desvio padrão).

**Tabela 20.** Avaliação do poder redutor do tomate verde utilizando o App e o UV-Vis em base úmida.

Tomate verde	UV-Vis (mg g <sup>-1</sup> )	App* (mg g <sup>-1</sup> )	Peso amostra (g)	Absorbância
1	5,89	4,56	0,050	0,092
2	5,643	5,848	0,046	0,090
3	5,643	4,936	0,047	0,090
Média	5,72±0,38 <sup>a</sup>	5,11±0,06 <sup>a</sup>	0,047	0,090

Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre as amostras (p<0,05). Valores expressos em mg g<sup>-1</sup> de amostra (média ± desvio padrão).

**Tabela 21.** Avaliação do poder redutor do morango vermelho utilizando o App e o UV-Vis em base úmida.

Morango Vermelho	UV-Vis (mg g <sup>-1</sup> )	App* (mg g <sup>-1</sup> )	Peso amostra (g)	Absorbância
1	8,905	8,950	0,040	0,098
2	8,905	8,061	0,049	0,098
3	8,905	7,954	0,044	0,098
Média	8,90±0,54 <sup>a</sup>	8,01±0,01 <sup>a</sup>	0,046	0,098

Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre as amostras (p<0,05). Valores expressos em mg g<sup>-1</sup> de amostra (média ± desvio padrão).

**Tabela 22.** Avaliação do poder redutor do morango com 75% da coloração vermelha utilizando o App e o UV-Vis em base úmida.

Morango 75% coloração vermelha	UV-Vis (mg g <sup>-1</sup> )	App* (mg g <sup>-1</sup> )	Peso amostra (g)	Absorbância
1	7,842	7,738	0,053	0,094
2	7,829	7,734	0,052	0,094
3	7,874	7,789	0,058	0,094
Média	7,84 ± 0,02 <sup>a</sup>	7,75 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,054	0,094

Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre as amostras (p<0,05). Valores expressos em mg g<sup>-1</sup> de amostra (média ± desvio padrão).

**Tabela 23.** Avaliação do poder redutor do morango verde utilizando o App e o UV-Vis em base úmida.

Morango Verde	UV-Vis (mg g <sup>-1</sup> )	App* (mg g <sup>-1</sup> )	Peso amostra (g)	Absorbância
1	4,507	4,659	0,058	0,085
2	4,495	4,548	0,057	0,088
3	4,489	4,441	0,053	0,086
Média	4,49±0,01 <sup>a</sup>	4,54 ± 0,10 <sup>a</sup>	0,056	0,086

Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre as amostras ( $p < 0,05$ ). Valores expressos em mg g<sup>-1</sup> de amostra (média ± desvio padrão).

Testes estatísticos mostraram que os valores encontrados na determinação de antioxidante utilizando o aplicativo PhotoMetrix® são similares aos obtidos por espectrofotometria no UV-Vis. O estudo associado ao desenvolvimento de novas técnicas e metodologias de análise de compostos bioativos, capacidade antioxidante, são considerados importantes para obtenção de resultados mais rápidos, a um custo menor.

De modo geral, os antioxidantes podem ser definidos como moléculas capazes de diminuir ou de prevenir a oxidação de outras moléculas, podendo atuar em alimentos ou em sistemas biológicos. Em alimentos, ocorrem reações de auto oxidação em cadeia. Em organismos vivos, o estresse oxidativo é o responsável pelos danos celulares.

Diversos compostos possuem reconhecida atividade antioxidante, classificados em naturais e sintéticos. Dentre as substâncias sintéticas mais utilizadas pela indústria de alimentos como antioxidante, destaca-se o butilhidroxitolueno (BHT), padrão utilizado no presente trabalho.

A busca por compostos bioativos com potencial antioxidante torna-se cada vez mais crescente, devido as suas contribuições na manutenção da saúde humana (RAUDONEA *et al.*, 2017). Dentre os antioxidantes naturais destacam-se os compostos fenólicos, antioxidantes mais abundantes na natureza. Os compostos fenólicos englobam uma vasta gama de substâncias, as quais possuem no mínimo um anel aromático com uma ou mais hidroxilas. A atuação desses compostos como antioxidantes ocorre por meio do mecanismo de doação de hidrogênio e/ou transferência de elétrons para o radical livre, sendo assim chamado de sequestradores de radicais livres. O número de hidroxilas presentes nos compostos fenólicos, bem como sua localização, tem influência direta na sua atuação como

antioxidante. As ações antioxidantes como a captura de radicais livres, entre outras, são favorecidas por reações de oxirredução. Substâncias doadoras de elétrons podem reagir com espécies reativas de oxigênio e de nitrogênio, convertê-las em compostos mais estáveis e finalizar reações radicalares.

Nesse sentido, é importante determinar o poder de redução de substâncias antioxidantes, ou seja, a capacidade que o composto químico tem de doar elétrons e ser oxidado, pois uma força redutora elevada pode indicar uma atividade antioxidante alta. O poder redutor está relacionado à capacidade de reduzir  $Fe^{3+}$  a  $Fe^{2+}$ , antioxidantes que atuam por transferência de hidrogênio. Particularmente, tióis e carotenoides não serão determinados. O potencial antioxidante das espécies vegetais pode estar relacionado ao sinergismo de uma ampla variedade de compostos bioativos tais como as vitaminas C, ácidos fenólicos, flavonoides e carotenoides (PÉREZ-JIMÉNEZ *et al.*, 2008).

No teste antioxidante do tomate e do morango foram capturadas as imagens digitais e observados os valores de RGB para cada amostra. Esses valores podem ser observados nas tabelas 24 a 30.

**Tabela 24.** Valores de RGB para tomate vermelho em base úmida.

<b>Tomate vermelho</b>	<b>Red (R)</b>	<b>Green (G)</b>	<b>Blue (B)</b>
1	153	157	152
2	155	156	151
3	152	153	158

**Tabela 25.** Valores de RGB para tomate laranja em base úmida.

<b>Tomate laranja</b>	<b>Red (R)</b>	<b>Green (G)</b>	<b>Blue (B)</b>
1	161	164	160
2	165	166	161
3	162	163	168

**Tabela 26.** Valores de RGB para tomate amarelo em base úmida.

<b>Tomate amarelo</b>	<b>Red (R)</b>	<b>Green (G)</b>	<b>Blue (B)</b>
1	173	177	172
2	175	175	11
3	172	171	178

**Tabela 27.** Valores de RGB para tomate verde em base úmida.

<b>Tomate verde</b>	<b>Red (R)</b>	<b>Green (G)</b>	<b>Blue (B)</b>
<b>1</b>	193	189	183
<b>2</b>	192	191	185
<b>3</b>	192	192	184

**Tabela 28.** Valores de RGB para morango vermelho em base úmida.

<b>Morango vermelho</b>	<b>Red (R)</b>	<b>Green (G)</b>	<b>Blue (B)</b>
<b>1</b>	159	161	160
<b>2</b>	158	162	161
<b>3</b>	159	164	162

**Tabela 29.** Valores de RGB para morango com 75% da coloração vermelho em base úmida.

<b>Morango 75 % coloração vermelha</b>	<b>Red (R)</b>	<b>Green (G)</b>	<b>Blue (B)</b>
<b>1</b>	173	178	179
<b>2</b>	172	177	179
<b>3</b>	173	178	179

**Tabela 30.** Valores de RGB para morango verde em base úmida.

<b>Morango verde</b>	<b>Red (R)</b>	<b>Green (G)</b>	<b>Blue (B)</b>
<b>1</b>	189	200	192
<b>2</b>	191	201	195
<b>3</b>	191	201	189

### 5.5. Prática alternativa utilizando o aplicativo PhotoMetrix® em sala de aula

Foi realizada a prática alternativa no ensino de química utilizando o aplicativo PhotoMetrix® em sala de aula. O trabalho foi desenvolvido pela turma do 3º ano do ensino médio (3º V01) vespertino da Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio “Antonio Carneiro Ribeiro”, no Município de Guaçuí, Estado do Espírito Santo. A turma de 28 alunos foi dividida em 4 grupos de 7 alunos para a realização da atividade como apresenta a Tabela 31.

**Tabela 31.** Grupo, material vegetal e conceito de química apresentado

<b>Grupo</b>	<b>Material vegetal</b>	<b>Trabalho apresentado</b>	<b>Conceito de química abordado</b>
<b>1</b>	Morango verde	Substâncias químicas presentes no morango.	Ligações químicas e gás responsável pelo amadurecimento.
<b>2</b>	Morango vermelho	Cultivo, consumo do morango e atividade antioxidante.	Reação de oxirredução, solução, concentração e diluição.
<b>3</b>	Tomate verde	Características químicas e propriedades biológicas	Funções orgânicas, classificação das cadeias e dos átomos de carbono.
<b>4</b>	Tomate vermelho	Consumo mundial do tomate.	Extratos de tomate, extração e filtração.

Na Tabela 31, pode-se observar que o Grupo 1 escolheu o morango verde e relatou para os colegas a importância das substâncias presentes na espécie segundo dados da literatura. O grupo 2 relatou sobre a importância do morango vermelho na dieta humana, sua utilização e cultivo. O grupo 3 descreveu sobre o tomate verde, características químicas e propriedades biológicas e o grupo 4 apresentou o trabalho sobre o tomate vermelho, consumo mundial.

Os alunos participaram com muito entusiasmo, tendo em vista que não é comum terem aulas práticas e com a possibilidade de usarem o telefone como ferramenta de aprendizagem. Foi possível perceber que os alunos mais calados e apáticos em sala, foram muito mais participativos e ficaram impressionados com o fato de o aparelho celular conseguir determinar a concentração de fenólicos totais nas amostras de um simples fruto.

Em aulas posteriores, abordou-se a estrutura carbônica da quercetina, como ligações de carbono, classificação dos átomos, ligações sigma, ligações pi, hibridização, geometria dos carbonos, classificação da cadeia carbônica, elétrons ligantes e não ligantes, ressonância dos elétrons pi e funções presente na estrutura. Assim, dúvidas foram surgindo, curiosamente não apenas na disciplina de Química, mas em outras matérias, o que demandou o apoio de professores de outras disciplinas. O professor de Física, por exemplo, explicou a questão da luz e o fato de que nossos olhos têm células, chamadas de cones, sensíveis às cores, correspondendo a três faixas de cores: R (Red sensíveis aos vermelhos e aos laranjas); G (Green sensíveis aos amarelos e aos verdes); B (Blue sensíveis aos azuis e aos violetas). A aula recebeu também a intervenção do professor de

Biologia que abordou o tema referente à doenças que podem ser evitadas com a diminuição dos radicais livres, a partir do consumo dos compostos fenólicos e do seu poder redutor (antioxidante).

Os alunos gostaram muito do que foi apresentado, pois tiveram contato com as informações pesquisadas antes da prática e, assim, saíram do abstrato e foram para o concreto. Em outro momento, foi possível perceber que houve uma melhora na aprendizagem. Mesmo após algumas semanas, a maioria dos alunos ainda se lembrava dos assuntos tratados, tais como funções orgânicas, soluções e outras informações discutidas durante a aula. Até mesmo os alunos com um pouco mais de dificuldade mostraram uma melhor compreensão do conteúdo e houve vários pedidos, por parte dos alunos, para que fossem feitos novos experimentos com amostras diferentes.

#### **5.6. Problemas encontrados no ensino**

Infelizmente, o número reduzido de aulas na escola pública não contempla a possibilidade de realização de experimentos, pois na grade curricular constam apenas duas aulas semanais de Química para um conteúdo extenso, além de vários eventos como: recuperação de cada instrumento de avaliação, prova diagnóstica externa aplicada pelo governo, recuperação trimestral, torneios regionais, estaduais e nacionais, tornando impossível a conclusão dos conteúdos de cada série e inviabilizando a realização de aulas práticas com frequência. Além disso, conforme já dito anteriormente, a maioria das escolas públicas estaduais não possuem laboratório, equipamentos e recursos.

Por certo, não falta vontade de levar aos alunos uma aula diferenciada para uma melhor compreensão do conteúdo, fazendo com que nós, professores, possamos nos sentir realizados de oferecer, ao menos em algumas oportunidades, algo que consideramos relevante para suas vidas e que pode representar uma grande diferença para muitos desses alunos. A experimentação favorece o diálogo. Freire (1996) já dizia que ensinar exige respeito aos saberes do educando. Portanto, utilizando-se dos conteúdos já apreendidos e de seu conhecimento prévio existente, foi possível estabelecer situações onde houve aprendizagem significativa para a vida dos alunos.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A similaridade dos dados obtidos entre o método digital usando o aplicativo PhotoMetrix® e o de espectrofotometria no UV-Vis foi comprovada por testes estatísticos. Os resultados das determinações de fenólicos totais e do poder redutor de tomate e de morango utilizando o aplicativo PhotoMetrix® foram satisfatórios. O método é reproduzível, podendo ser uma alternativa eficiente e econômica para determinação destes parâmetros em alimentos diversificados.

O método desenvolvido durante a realização deste trabalho utiliza pouco reagente quando comparado a outros métodos tradicionais, contribuindo na preservação do meio ambiente, demonstrando ser de fácil reprodução por ser econômico e utilizar o celular como recurso tecnológico.

Além disso, o método pode ser utilizado em sala de aula, no ensino de conteúdos de Química, aumentando a interação aluno-professor, sendo possível relacionar teoria, prática e os conhecimentos trazidos de suas vivências. O método é então apresentado como tema gerador de ensino de Química, despertando o interesse, desafiando e estimulando, fazendo com que o aluno interaja ativa e profundamente e, desta forma, chegue as suas próprias conclusões sobre os conceitos da disciplina estudada, melhorando assim o aprendizado, relacionando a teoria à prática.

Assim, a troca de conhecimento entre professores e alunos com o desenvolvimento desta pesquisa contribuiu muito para a aprendizagem e para a busca de conhecimento contextualizado e interdisciplinar que envolve o uso de novas tecnologias tão presentes em nosso dia a dia. Embora o espaço disponível e os materiais de laboratório sejam insuficientes e inadequados, sendo necessárias algumas adaptações, é possível a aplicação deste experimento nas escolas públicas de forma cada vez mais sistemática.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AABY, K.; MAZUR, S.; NES, A.; SKREDE, G. Phenolic compounds in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) fruits; composition in 27 cultivars and changes during ripening. **Food Chemistry**, v.132, p.86–97, 2012.
- ABELES, F. B.; MORGON, P. W.; SALTVEIT Jr., M. E. **Fruit ripening, abscission, and postharvest disorders**. In: Abeles, F.B.; Morgon, P.W.; Saltveit Jr., M.E. (eds.) Ethylene in Plant Biology. 2nd edn. San diego, Academic Press, p. 414,1992.
- ALEXANDER L; GRIERSON D., Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climacteric fruit ripening. **Journal of Experimental Botany**, v.53, p.2039-2055, 2002.
- ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: produção em campo, casa-de-vegetação e em hidroponia**. Lavras: UFLA. 2004. 400p.
- ALVARENGA, M. A. R.; COELHO, F. S. Valor nutricional In: ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: produção em campo, em casa de vegetação e hidroponia**. 2. ed. rev. e ampl. Lavras, MG: Editora Universitária de Lavras, 2013. cap. 2, p. 23-30.
- ANTUNES, L. E. C.; REISSER JÚNIOR, C. **Produção de morangos**. Jornal da Fruta, Lages, v. 15, n. 191, p. 22-24, 2007.
- ASSIS, M. **Produção de matrizes e mudas de morangueiro no Brasil**. In: Simpósio Nacional do Morango, 2, 2004, Pelotas. Anais. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, p.45-50, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE COMÉRCIO DE SEMENTES E MUDA - ABCSEM. **2º levantamento de dados socioeconômicos da cadeia produtiva de hortaliças no Brasil**. Campinas, 2014. Disponível em: <<http://www.abcsem.com.br/releases/284/tomate-lidera-crescimento-e-lucratividade-no-setor-de-hortalicas>> Acesso em: 22 fev. 2019.
- ATKINSON, C. J.; DODDS, P .A. A.; FORD, Y. Y.; LE MIÈRE, J.; TAYLOR, J. M.; BLAKE, P. S.; PAUL, N. Effects of cultivar, fruit number and reflected photosynthetically active radiation on *Fragaria x ananassa* productivity and fruit ellagic acid and ascorbic acid concentrations. **Annals of Botany**, v. 97, p.429-441, 2006.
- AZZINI, E.; VITAGLIONE, P.; INTORRE, F.; NAPOLITANO, A.; DURAZZO, A.; FODDAI, M. S.; MAIANI, G. Bioavailability of strawberry antioxidants in human subjects. **The British journal of nutrition**, v.104, p.1165–1173, 2010.
- BLANK, D. E.; JUSTEN, D.; FRAGA, S.; PEIXOTO, C. R.; MOURA, N. F. Chemical Composition and Antioxidant Activity of *Bunchosia glandulifera* Fruit at Different Ripening Stages, **Food and Nutrition Sciences**, v. 9, p.1147-1159, 2018.

BENEDETTI, L. P. S.; SANTOS, V. B.; SILVA T. A.; BENEDETTI-FILHO, E.; MARTINS, V.C.; FATIBELO-FILHO, O. A digital image analysis method for quantification of sulfite in beverages. **Analytical Methods**, v.7, p.7568-7573, 2015a.

BENEDETTI, L. P. S.; SANTOS, V. B.; SILVA T. A.; BENEDETTI-FILHO, E.; MARTINS, V.C.; FATIBELO-FILHO, O. A digital imagebased method employing a spot-test for quantification of ethanol in drinks, **Analytical Methods**, v.7, p.4138-4144, 2015b.

BATTINO, M.; BEEKWILDER, J.; DENOYES-ROTHAN, B.; LAIMER, M.; MCDOUGALL, G. J.; MEZZETTI, B. Bioactive compounds in berries relevant to human health, **Nutrition Reviews**, v.1, p.145-150, 2009.

BRAVO, L. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance, **Nutrition Reviews**, v.56, n.11, p.317-333, 1998.

BORGES, G.; DEGENEVE, A.; MULLEN, W.; CROZIER, A. Identification of flavonoid and phenolic antioxidants in black currants, blueberries, raspberries, red currants, and cranberries, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.58, p.3901-3909, 2010.

CAPOCASA, F.; SCALZO, J.; MEZZETTI, B.; BATTINO, M., Combining quality and antioxidant attributes in the strawberry: The role of genotype, **Food Chemistry**, v.111, p.872-878, 2008.

CARVALHO, W.; FONSECA, M. E. N.; SILVA, H. R.; BOITEUX, L. S.; GIORDANO, L. B. Estimativa Indireta de Teores de Licopeno em Frutos de Genótipos de Tomateiro via Análise Colorimétrica, **Horticultura Brasileira**, v.232, p.819-825, 2005.

CANTILLANO, R. F. F., **Sistema de produção de morango**. Pelotas: Embrapa clima temperado, 2005. (Colheita e pós-colheita: sistema de produção, 5), versão eletrônica, (Embrapa clima temperado. Comunicado técnico). Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/catalogo/tipo/sistemas/morango/cap12.htm>>. Acesso em 09 jan. 2013.

SOUZA, C. J.; PEZZA, H. R.; PEZZA, L. A simple and green analytical method for determination of copper (II) in whisky and sugarcane spirit by diffuse reflectance spectroscopy, **Analytical Methods**, v.8, p.1867-1875, 2016.

CARVALHO, C. M. G.; PRUDENTE, L. R.; PEREIRA, A. C.; PAULA, J. R.; BARA, M. T. F. Avaliação da qualidade de extratos vegetais, **Revista Eletrônica de Farmácia**, v.3, p.53-62, 2006.

CERCEAU, C. I.; BARBOSA, L. C. A.; FILOMENO, C. A.; ALVARENGA, E. S.; DEMUNER, A. J.; FIDÊNCIO, P. H. An optimized and validated <sup>1</sup>H NMR method for the quantification of  $\alpha$ -pinene in essential oils. **Talanta**, v.150, p. 97-103, 2016.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B., **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: UFLA, 2005. 785p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira: tomate safra 2017/2018**, 2018.

CONTI, J. H.; MINAMI, K.; TAVARES, F. C. A., Comparação de caracteres morfológicos e agronômicos com moleculares em morangueiros cultivados no Brasil, **Horticultura Brasileira**, v.20, p.419-423, 2002.

CRECENTE-CAMPO, J.; NUNES-DAMACENO, M.; ROMERO-RODRIGUEZ, M. A.; VAZQUEZ-ODÉRIZ, M. L. Color, anthocyanin pigment, ascorbic acid and total phenolic compound determination in organic versus conventional strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch, cv Selva), **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 28, p. 23–30, 2012.

CURRENCE, T. M. **Tomato breeding. I. Species, origin and botanical characters**. Handbuch der pflanzenzuchtung, v.2, p.351-369, 1963.

DANILA, O. A.; GATEA, F.; RADU, G. L. Polyphenol composition and antioxidant activity of selected medicinal herbs, **Chemistry of Natural Compounds**, v.47, p. 22-26, 2011.

DARROW, G. M. **Strawberry: history, breeding and physiology**. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1966. 447p.

SILVA, F. L.; ESCRIBANO-BAILÓN, M. T.; ALONSO, J. J. P.; RIVAS-GONZALO, J. C.; SANTOS BUELGA, C.; Anthocyanin pigments in strawberry, **Food Science and Technology**, v.40, p.374-382, 2007.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Agência de Informação Tecnológica. **A Cultura do Morango - Coleção Plantar**. 2 ed. Brasília, DF: 2011.

EVANS, E.; GABRIEL, E. F. M.; BENAVIDEZ, T. E.; COLTRO, W. K. T.; GARCIA, C. D. Modification of microfluidic paper-based devices with silica nanoparticles. **Analyst**, v.139, p.5560-5567, 2014.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAOSTAT) 2014. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/>>. Acesso em 4 set. 2018.

FREIRE, P. **Pedagogia da Autonomia: saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

FREIRE, Paulo, **Pedagogia do oprimido**, 17<sup>a</sup>. ed. Rio de Janeiro, Paz e Terra. 1987.

FREIRE, J. M.; ABREU, C. M. P.; ROCHA, D. A.; CORRÊA, A. D.; MARQUES, N. C.; Quantificação de compostos fenólicos e ácido ascórbico em frutos e polpas congeladas de acerola, caju, goiaba e morango, **Ciência Rural**, v. 3, p. 2291-2295, 2013.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3ed. Viçosa: Editora UFV, 2008.

FNP Consultoria & Agroinformativos. **Morango**. Agriannual, São Paulo, 2005. p. 428-430.

GEORGE, B.; KAUR, C.; KHURDIYA, D. S.; KAPOOR, H. C. Antioxidants in tomato (*Lycopersium esculentum*) as a function of genotype, **Food Chemistry**, v.84, p.45-51, 2004.

GIAMPIERI, F.; ALVAREZ-SUAREZ, J. M.; TULIPANI, S.; GONZÀLES-PARAMÀS, A. M.; SANTOS-BUELGA, C.; BOMPADRE, S.; BATTINO, M. Photoprotective potential of strawberry (*Fragaria x ananassa*) extract against UVA irradiation damage on human fibroblasts, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.60, p. 2322-2327, 2012.

GIORDANO, L. B.; ARAGÃO, F. A. S.; BOITEUX, L. S. **Melhoramento genético do tomateiro**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.24, p.43-57, 2003.

GOUID. W. A. **Tomato production, processing & technology**. 3<sup>a</sup>. ed. CT1 publications.1992. 500p.

HÄKKINEN, S. H.; KÄRENLAMPI, S. O.; MYKKÄNEN, H. M.; HEINONEN, M. I.; TÖRRÖNEN, A. R.; Ellagic acid content in berries: influence of domestic processing and storage. **European Food Research and Technology**, v. 212, p. 75-80, 2000.

HANNUM, S.M. **Potential impact of strawberries on human health: a review of the science**. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, v. 44, p.1-17, 2004.

HARRIS, D. C. **Análise Química Quantitativa 7**. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

HEINONEN, M. I.; MEYER, A. S.; FRANKEL, E. N. Antioxidant activity of berry phenolics on human low-density lipoprotein and liposome oxidation, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.46, p.4107-4112, 1998.

HOBSON, G. E.; GRIERSON, D. 1993. **Tomato**. In: SEYMOUR GB; TAYLOR JE; TUCKER GA. (Eds.). Biochemistry of fruit ripening. London: Chapman & Hall. p.405-442.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), **Em janeiro, IBGE prevê safra 6,0% inferior à de 2017**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/19942-em-janeiro-ibge-preve-safra-6-0-inferior-a-de-2017>> Acesso em: 23 mar. 2019.

INTARAVANNE, Y.; SUMRIDDECHKAJORN, S.; NUKEAW J. Cell phone-based two-dimensional spectral analysis for banana ripeness estimation. **Sensors Actuators: B Chemical**, v.168, p.390-394, 2012.

JACQUES, A. C.; PERTUZATTI, P. B.; BARCIA, M. T.; ZAMBIAZI, R. C. Compostos bioativos em pequenas frutas cultivadas na região sul do estado do Rio Grande do Sul. **Brazilian Journal of Food technology**, v.12, p. 123-127, 2009.

JOSUTTIS, M.; CARLEN, C.; CRESPO, P.; NESTBY, R.; DIETRICH, H.; KRUGER, E. A comparison of bioactive compounds fruit from Europe affected by genotype and latitude, **Journal of Berry Research**, v.2, p.73–95, 2012.

KEVERS, C.; FALKOWSKI, M.; TABART, J.; DEFRAIGNE, J.; DOMMES, J.; INCEMAIL, J. Evolution of antioxidant capacity during storage of selected fruits and vegetables. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.55, p.8596-8603, 2007.

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.

KOSAR, M.; KAFKAS, E.; PAYDAS, S.; BASER, K. H.; Phenolic composition of strawberry genotypes at different maturation stages, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.52, p.1586-1589, 2004.

LAVELLI, V.; PERI, C.; RIZZOLO, A. Antioxidant activity of tomato products as studied by model reactions using xanthine oxidase, myeloperoxidase, and koper-induced lipid peroxidation, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.48, p.1442-1448, 2000.

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.

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.

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.

MALTONI, M. L.; MAGNANI, S.; RANIERI, M.; FAEDI, W. Qualli sono i fattori che influenzano la qualità del prodotto. **Frutticoltura**, n.6, p.22-27, 2009.

MARTINS, A. B.; SANTA MARIA, L. C.; AGUIAR, M. R. M. P. Drogas no Ensino de Química, **Química Nova na Escola**, n.18, p.18-21, 2003.

MATTEDI, A. P.; SOARES, B. O.; ALMEIDA, V. S.; GRIGOLLI, J. F. J.; SILVA, L. J.; SILVA, D. J. H. In: SILVA, D. J. H.; VALE, F. X. R. **Tomate: tecnologia de produção**. Viçosa: UFV, 2007.

MANACH, C.; SCALBERT, A.; MORAND, C.; RÉMÉSY, C.; JIMÉNEZ, L. Polyphenols: food sources and bioavailability. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.79, p.727-747, 2004.

MARKHAM, T.; LARMER, J.; RAVITZ, J. **Aprendizagem Baseada em Projetos**, Artmed Editora S/A, Porto Alegre, 2008.

MELECCHI, M. I. S. **Caracterização química de extratos de *Hibiscus tiliaceus* L: Estudo comparativo de métodos de extração**. Rio Grande do Sul, 2005. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, 2005.

MELO, P. C. T. **Melhoramento genético do tomateiro**. Campinas: Asgrow do Brasil Ltda, 1989. 55p.

MELO, P. C. T.; VILELA, N. J. Desafios e perspectivas para a cadeia brasileira do tomate para o processamento industrial, *Horticultura Brasileira*, v. 23, p.154-157, 2005.

MELO, E. A.; MACIEL, M. I. S.; LIMA, V. L. A. G.; NASCIMENTO, R. J. Capacidade antioxidante de frutas. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 44, p.193-201, 2008.

MONTEIRO, C. S.; BALBI, M. E.; MIGUEL, O. G.; PENTEADO, P. T. P. S.; HARACEMIV, S. M. C. Qualidade nutricional e antioxidante do tomate "tipo italiano", **Alimentação e Nutrição**, v.19, p.25-31, 2008.

MONOŠÍK, R.; SANTOS, V. B.; ANGNES, L. A simple paper-strip colorimetric method utilizing dehydrogenase enzymes for analysis of food components, **Analytical Methods** v. 7, p. 8177-8184, 2015.

OLIVEIRA, R. P.; SCIVITTARO, W. B.; WREGE, M. S.; UENO, B.; CASTRO, L. A. S. **Otimização da produção nacional de mudas de morangueiro**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, Documentos, 162, 2006, 28 p.

OLIVEIRA, R. P.; NINO, A. F. P.; SCIVITTARO, W. B. Mudas certificadas de morangueiro: maior produção e melhor qualidade da fruta, **A Lavoura**, v.108, p.35-38, 2005.

OUCHEMOUKH, S.; HACHOUD, S.; BOUDRAHAM, H.; MOKRANI, A.; LOUAILECHE, H. Antioxidant activities of some dried fruits consumed in Algeria **Food Science and Technology**, v.49, p.329-332, 2012.

PACIORNIK, S.; YALLOUZ, A. V.; CAMPOS, R. C.; GANNERMAN, D. Scanner image analysis in the quantification of mercury using spot-tests, **Journal of the Brazilian Chemical Society**, p.17, p.156-161, 2006.

PAGOT, E.; HOFFMANN, A. **Produção de pequenas frutas no Brasil**. In: Seminário Brasileiro Sobre Pequenas Frutas, 1, Vacaria. Anais ... Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, p.9-17, 2003.

PAQUET-DURAND, O.; SOLLE, D.; SCHIRMER, M.; HITZMANN, B., Monitoring baking processes of bread rolls by digital image analysis. **Journal of Food Engineering**, v.111, p.425–431, 2012.

PEREIRA, D. M.; VALENTÃO, P.; PEREIRA, J. A.; ANDRADE, P. B.; Phenolics: From Chemistry to Biology, **Molecules**, v.14, p.2202-2211, 2009.

PERES, T. B. Noções básicas de cromatografia, **Biológico**, v.64, n.2, p.227-229, 2002.

PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; ARRANZ, S.; TABERNERO, M.; DÍAZ-RUBIO, M. E.; SERRANO, J.; GOÑI, I. Updated methodology to determine antioxidant capacity in plant foods, oils and beverages: Extraction, measurement and expression of results, **Food Research International**, v.41, p.274–285, 2008.

PETERS, K. L.; CORBIN, I.; KAUFMAN, L. M.; ZREIBE, K.; BLANES, L.; McCORD, B. R. Simultaneous colorimetric detection of improvised explosive compounds using microfluidic paper-based analytical devices ( $\mu$ PADs), **Analytical Methods**, v.7, p.63-70, 2015.

PINELI, L. L. O.; MORETTI, C. L.; SANTOS, M. S.; CAMPOS, A. B.; BRASILEIRO, A. V.; CORDOVA, A. C.; CHIARELLO, M. D. Antioxidants and other chemical and physical characteristics of two strawberry cultivars at different ripeness stages, **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, p.11-16, 2011.

PINTO, M. S.; LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I. Bioactive compounds and quantification of total ellagic acid in strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch), **Food Chemistry**, v.107, p.1629-1635, 2008.

RAFFO, A.; LEONARDI, C.; FOGLIANO, V.; AMBROSINO, P.; SALUCCI, M.; GENNARO, L.; BUGIANESI, R. O.; GIUFRIDA, F.; QUAGLIA, G. Nutritional value of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Cv. Naomi F1) harvested at different ripening stages, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.50, p.6550-6556, 2002.

RAVAZZI, C. G.; FRANCO, M. O. K.; VIEIRA, M. C. R.; SUAREZ, W. T. Smartphone application for captopril determination in dosage forms and synthetic urine employing digital imaging. **Talanta**, v.189, p.339-344, 2019.

RAUDONEA, L.; RAUDONISA, R.; LIAUDANSKASA, M.; JANULIS, V.; VISKELIS, P. Phenolic antioxidant profiles in the whole fruit, flesh and peel of apple cultivars grown in Lithuania, **Scientia Horticulturae**, v.216, p.186-192, 2017.

REID M. S. Biology of ethylene production & action, **Perishables Handling Newsletter**, n.80, p.3-4, 1994.

REISSER JÚNIOR, C.; ANTUNES, L. E. C.; ALDRIGHI, M.; VIGNOLO, G. **Panorama do cultivo de morangos no Brasil**. Brasília, 2015.

RIGON, L.; CORRÊA, S.; REETZ, E.; VENCATO, A.; ROSA, G. R.; BELING, R. R.; Pequenas frutas, **Anuário Brasileiro da Fruticultura**, v.1, p.90-97, 2005.

SANDHAR, H.; KUMAR, B.; PRASHER, S.; TIWARI, P.; SALHAN, M.; SHARMA, P. A. Review of phytochemistry and pharmacology of flavonoids, **Internationale Pharmaceutica Scientia**, v.1, p.25-41, 2011.

SANTANA, M. J.; VIEIRA, T. A.; BARRETO, A. C.; CRUZ, O. C. Resposta do tomateiro irrigado a níveis de reposição de água no solo, **Irriga**, v.15, p.443-454, 2010.

SANTOS, P. M.; PEREIRA-FILHO, E. R. Digital image analysis an alternative tool for monitoring milk authenticity, **Analytical Methods**, v.5, p.3669-3674, 2013.

SANTOS, A. M. Cultivares. In: SANTOS, A. M.; MEDEIROS, A. R. M. (Eds.). **Morango: produção**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p.24-30, 2003 (Frutas do Brasil, 40).

SANTOS, M. A. I.; SIMÃO, A. A.; MARQUES, T. R.; SACKZ, A. A.; CORRÊA, A. D. Effect of different extraction methods on the antioxidant activity and phenolic compounds profile of cassava leaf, **Brazilian Journal Food Technology**, v.19, p.1-6, 2016.

SANTOS, W.; MÓL, G. **Química cidadã**. Vol 1, 2ª ed. Ed. AJS, São Paulo, 2013.

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

SANTOS, W. L. P.; SCHNETZLER, R. P. Função social: O que significa ensino de Química para formar cidadão?, **Revista Química Nova na Escola**, São Paulo, n.4, p.28-34, 1996.

SCALZO, J.; POLITI, A.; PELLEGRINI, N.; MEZZETTI, B.; BATTINO, M. Plant genotype affects total antioxidant capacity and phenolic contents in fruit, **Nutrition**, v.21, p.207-213, 2005.

SENA R, C.; SOARES, M.; PEREIRA, M. L. O.; SILVA, R. C. D.; ROSÁRIO, F. F.; J. F. C. A simple method based on the application of a CCD camera as a sensor to detect low concentrations of barium sulfate in suspension, **Sensors** v.11, p.864-875, 2011.

SIMÕES, C. M. O.; SCHENKEL, E. P.; GOSMANN, G.; MELLO, J. C. P.; MENTZ, L. A.; PETOVICK, P. R. **Farmacognosia da planta ao medicamento**. 5. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2003. p. 417.

SILVA, J. B. C.; GIORDANO, L. B.; BOITEUX, L. S.; LOPES, C. A.; FRANÇA, F. H.; SANTOS, J. R.; FURUMOTO, O.; FONTES, R. R.; MAROUELLE, W. A.; NASCIMENTO, W. M.; SILVA, W. L. C., PEDREIRA, W. Cultivo do Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) para a industrialização, Instruções Técnicas do CNPH, n.12, p.6-7, 1994.

SKERGET, M.; KOTNIK, P.; HADOLIN, M.; HRAS, A. R.; SIMONIC, M.; KNEZ, Z.; Phenols, proanthocyanidins, flavones and flavonols in some plant materials and their antioxidant activities, **Food Chemistry**, v.89, p.191-198, 2005.

SOARES, S. D. Ácidos Fenólicos como Antioxidantes, **Revista de Nutrição**, v.15, p.71-81, 2002.

SOROURADDIN, M.; SAADATI, M.; MIRABI, F. Simultaneous determination of some common food dyes in commercial products by digital image analysis. **Journal of Food and Drug Analysis**, v.23, p.447-452, 2015.

SUN, J.; CHU, Y. F.; WU, X.; LIU, R. H. Antioxidant and antiproliferative activities of common fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.50, p.7449-7454, 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**, 3ª. ed.; Artmed: Porto Alegre, p.720, 2004.

TAKEOTA, G. R.; DAO, L.; FLESSA, S.; GILLESPIE, D. M.; JEWELL, W. T.; HUEBNER, B.; BERTOW, D.; EBELER, S. E. Processing effects on lycopene content and antioxidant activity of tomatoes, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.49, p.3713-3717, 2001.

TIEMAN, D. M.; TAYLOR, M. G.; CIARDI, J. A.; KLEE, H. J. The tomato ethylene receptors NR and LeETR4 are negative regulators of ethylene response and exhibit functional compensation within a multigene family, **Horticultural Sciences**, v.97, p.5663-5668, 2000.

TSIMOGIANNIS, D.; SAMIOTAKI, M.; PANAYOTOU, G.; OREOPOULOU, V.; Characterization of Flavonoid Subgroups and Hydroxy Substitution by HPLC-MS/MS, **Molecules**, v.12, p. 593-606, 2007.

TULIPANI, S.; MARZBAN, G.; HERNDL, A.; LAIMER, M.; MEZZETTI, B.; BATTINO, M. Influence of environmental and genetic factors on health-related compounds in Strawberry, **Food chemistry**, v.124, p.906-913, 2011.

TULIPANI, S.; ROMANDINI, S.; CAPOCASA, F.; BOMPADRE, S.; MEZZETTI, B. Effects of strawberry consumption on plasma antioxidant patterns and parameters of resistance to oxidative stress: preliminary evidence from human subjects, **Acta Horticulturae**, n.842, p.873-876, 2009.

VINSON, J. A.; SU, X.; ZUBIQ, L.; BOSE, P. Phenol antioxidant quantity and quality in foods: Fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.49, p.5315-5321, 2001.

VIZZOTTO, M. **Propriedades funcionais das pequenas frutas**. Informe Agropecuário, v.33, n.268, p.84-88, 2012.

VOGEL, A. I. **Análise Química Quantitativa**. 6 Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

VIGOTSKI, L. S. (2001c). **Psicologia pedagógica**. São Paulo: Martins Fontes. (Trabalho original publicado em 1926).

WINSOR, G. W.; DAVIES, J. N.; MASSEY, D. M. Composition of tomato fruit. III. Juices from whole fruit and locules at different stages of ripeness, **Journal of Science, Food and Agriculture**, v.13, p.108-115, 1962.

WOLFE, K.; KANG, X.; HE, X.; DONG, M.; ZHANG, Q.; LIU, R. H. Cellular antioxidante activity of common fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.56, p.8418-8426, 2008.

YEN, G. C.; CHEN, H. Y. Antioxidant Activity of Various Tea Extracts in Relation to Their Antimutagenicity, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, , v.67, p.27-32, 1995.

ZHANG, Y.; SEERAM, N. P.; LEE, R.; FENG, L.; HEBER, D. Isolation and identification of strawberry phenolics with antioxidant and human cancer cell antiproliferative properties, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.56, p.670-675, 2008.

ZUANAZZI J. A. C.; MONTANHA, J. A. **Flavonóides**. In: Simões CMMO. et al. (org.). **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 5.ed. Porto Alegre: UFRGS, p.577-614, 2003.

## 8. APÊNDICES

## APÊNDICE A – Cabine coletora de dados.

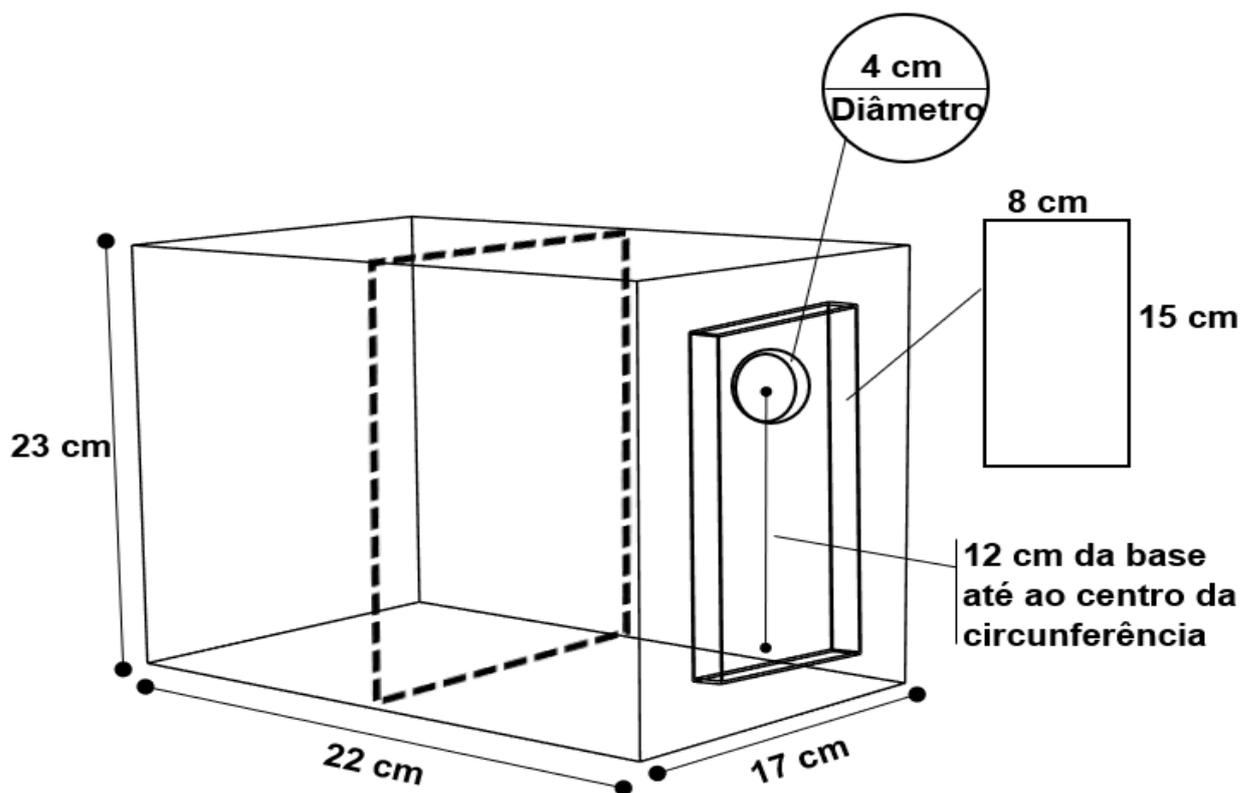
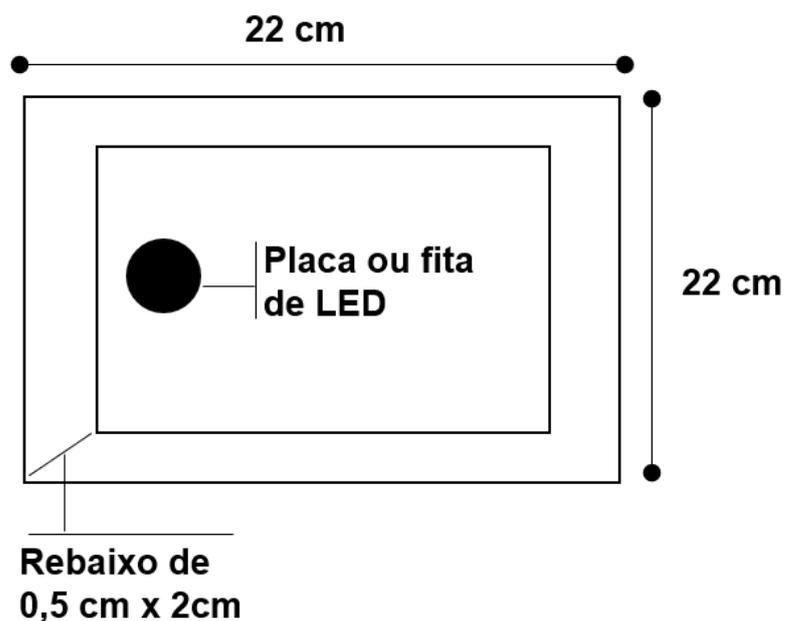


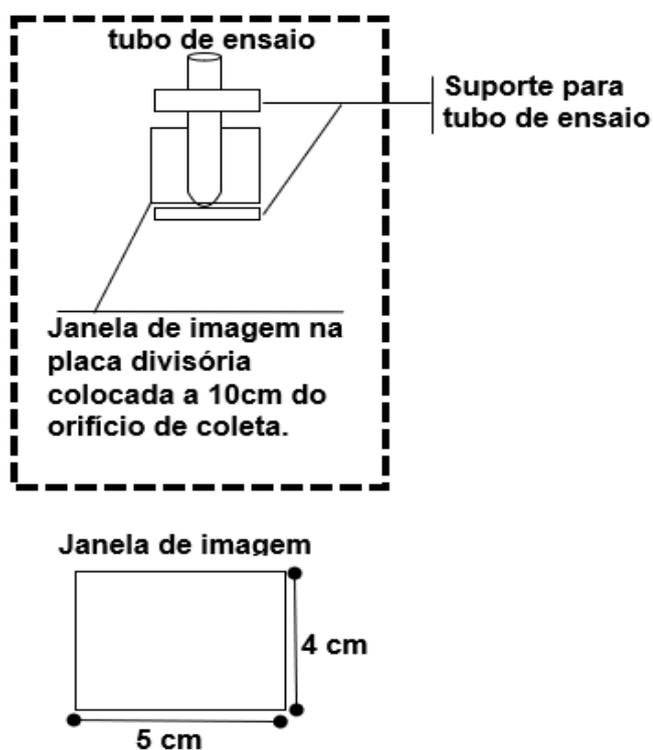
FIGURA 1 – Desenho 3d com medidas para confecção da cabine coletora de dados.

**APÊNDICE B – Tampa da cabine coletora de dados.**



**FIGURA 3 –** Desenho com medidas para confecção da tampa com LED (placa retirada de uma lâmpada de 12 Waters).

**APÊNDICE C – Placa divisória interna da cabine coletora de dados.**



**FIGURA 2 –** Desenho com medidas para confecção da placa divisória (divide a cabine em dois compartimentos).

## APÊNDICE D – Guia de instalação e uso do aplicativo PhotoMetrix® no smartphone.

### INSTALAÇÃO E GUIA DO App PHOTOMETRIX®

1º- O download gratuito do aplicativo PhotoMetrix®, pode ser feito pelo Play Store ou App Store no smartphone ou iPhone.

2ª- Deve aceitar as permissões de uso da câmera e armazenamento assim que forem solicitadas, apenas uma vez (Figuras 1 e 2) ou poderá realizar essa opção de forma manual, tela **Configuração** → **Apps** **notificações** → **PhotoMetrix** → **Permissões** (Figura 3 e 4).



Figura 1



Figura 2



Figura 3

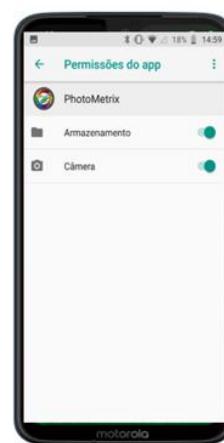


Figura 4

### TELA INICIAL E COMANDOS

Na tela inicial permite-se acessar diferentes tipos de comandos e de análises.



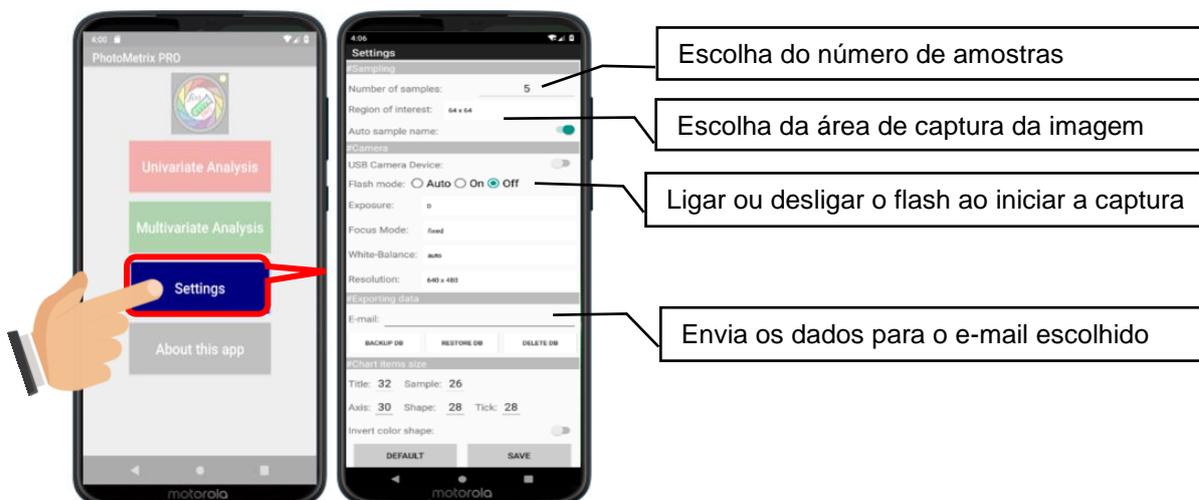
**ANÁLISE UNIVARIADA** cada variável é tratada isoladamente.

**ANÁLISE MULTIVARIADA** essa ferramenta de análise estatística estuda o comportamento de três ou mais variáveis simultaneamente.

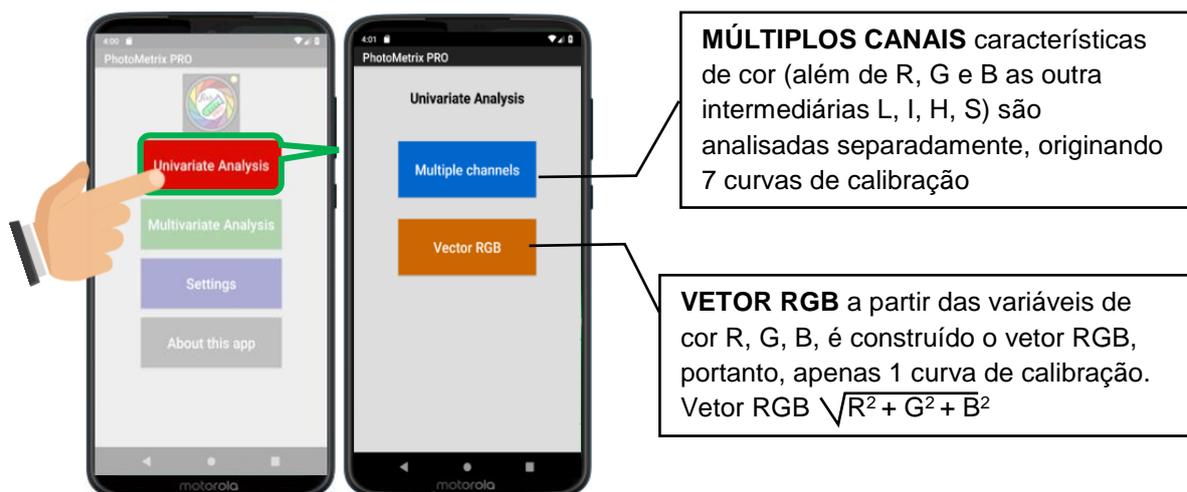
**CONFIGURAÇÕES** onde é possível definir as preferências do usuário.

**INFORMAÇÕES SOBRE O APLICATIVO.**

## TELA DE CONFIGURAÇÃO



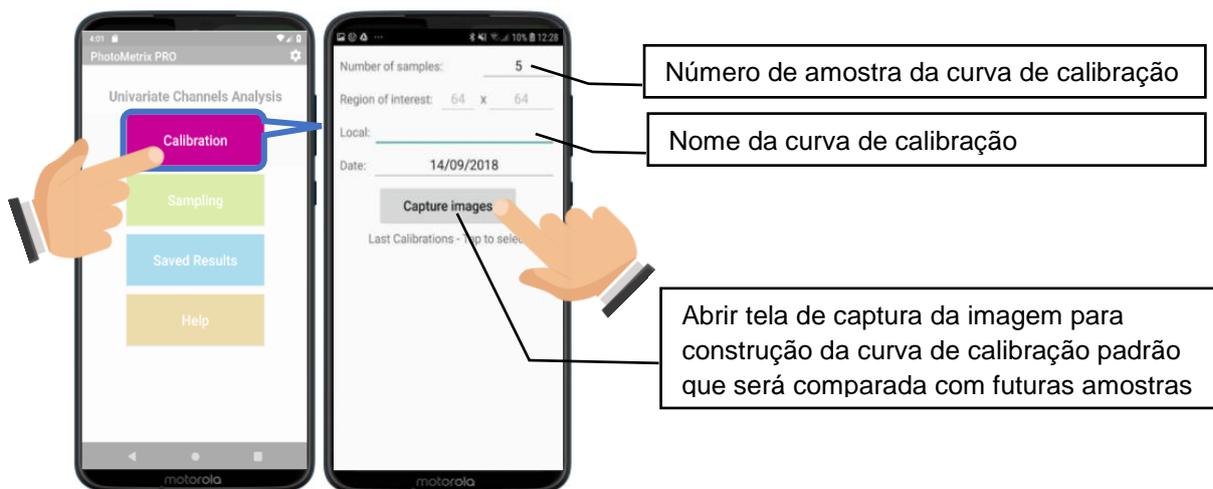
## TELA DE ANÁLISE UNIVARIADA (MULTICANAIS OU VETOR RGB)



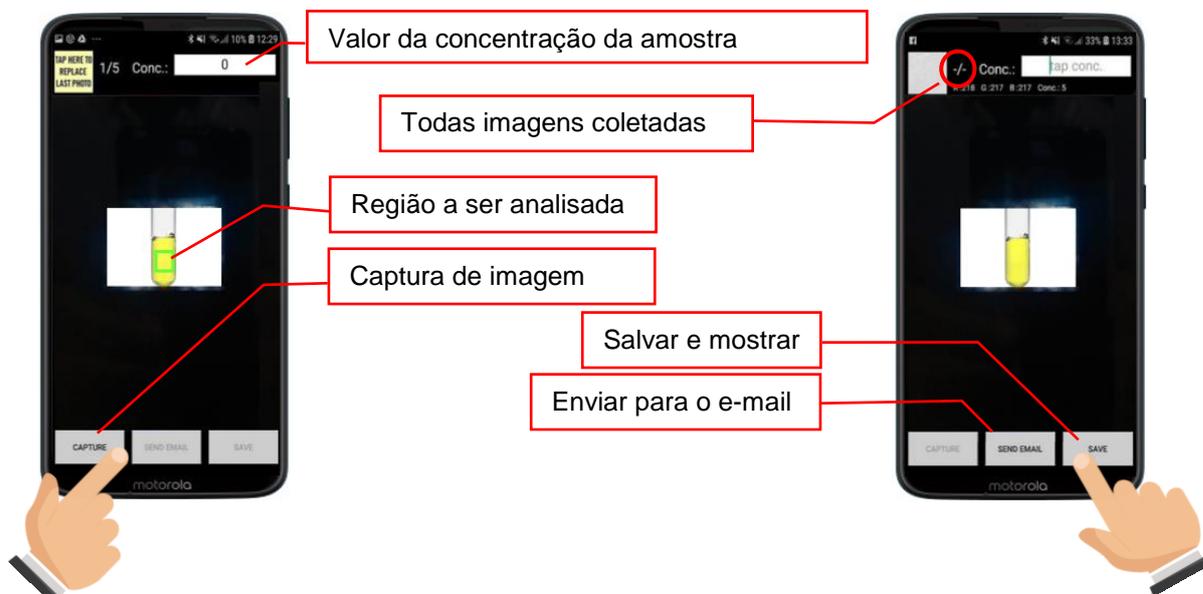
## TELA DE MULTICANAIS (MODO DE OPERAÇÃO)



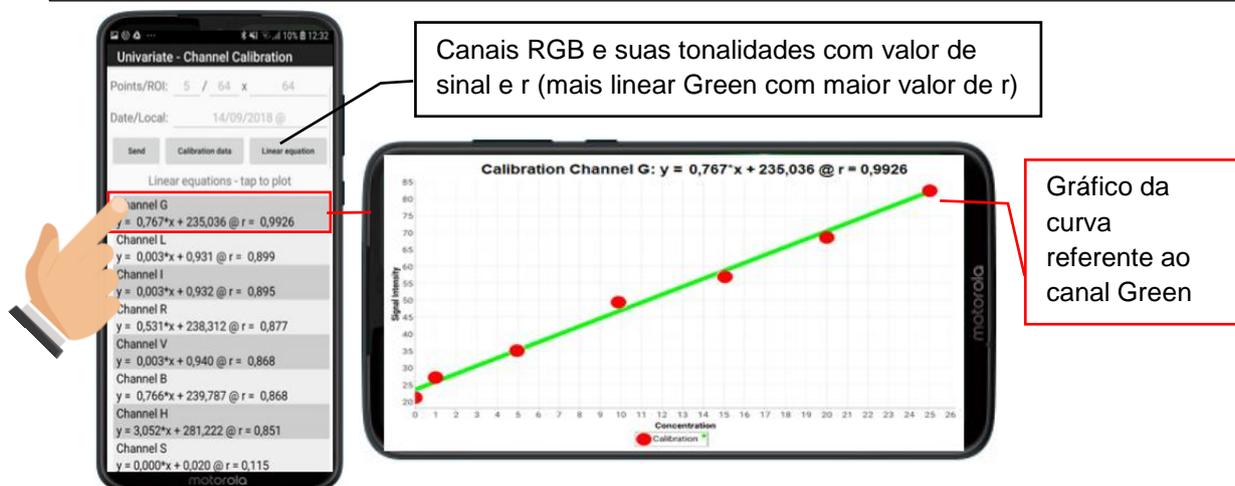
## TELA DE CONSTRUÇÃO DA CURVA DE CALIBRAÇÃO



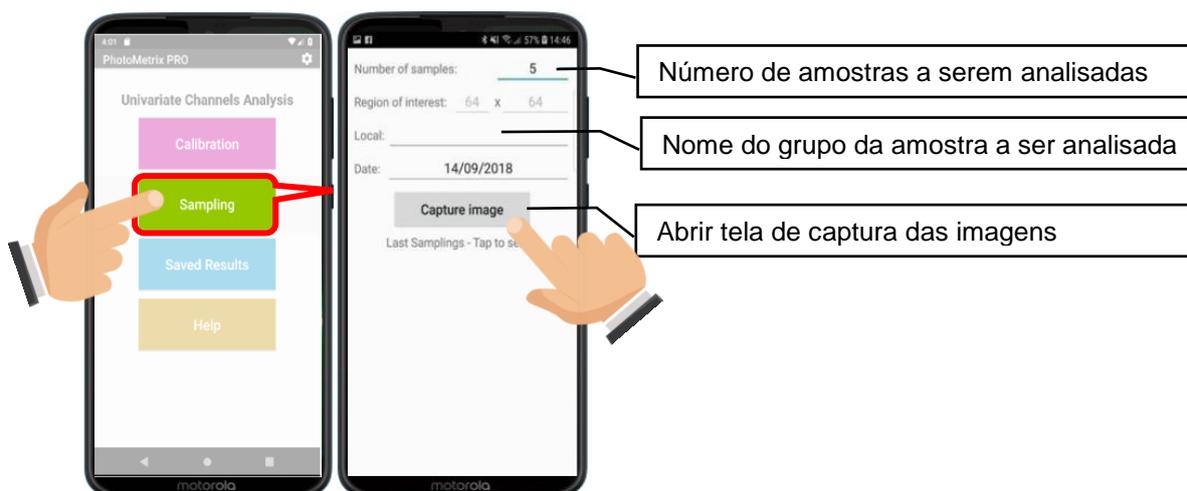
## TELA DE CAPTURA DE IMAGENS (CONSTRUÇÃO DA CURVA)



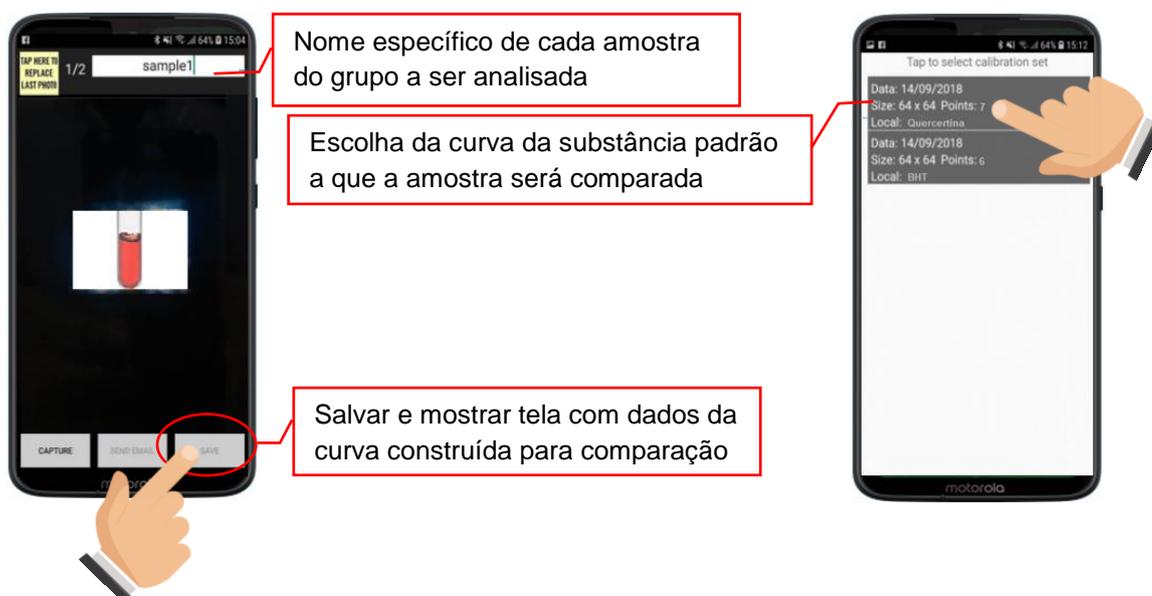
## TELA DOS RESULTADOS OBTIDOS DOS CANAIS E CURVA CONSTRUÍDA



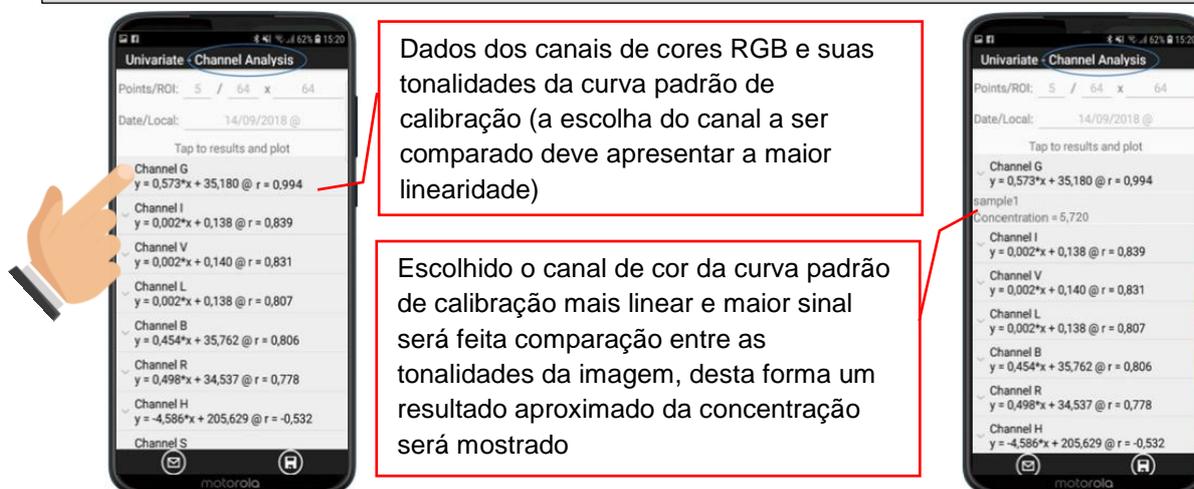
## CAPTURA DE IMAGENS DA AMOSTRA A SER QUANTIFICADA



## TELA DE CAPTURA DE IMAGEM E COMPARAÇÃO DE RESULTADOS



## TELA DE DADOS E ANÁLISE DE RESULTADOS



## TELA DE ANÁLISE DE RESULTADOS E GRÁFICO



## DÚVIDAS SOBRE O APLICATIVO PHOTOMETRIX®

Para maiores esclarecimentos, consulte os vídeos no YouTube

-  Análise Univariada (<https://www.youtube.com/watch?v=xM4BSVy1FPo>)
-  Análise Multivariada (<https://www.youtube.com/watch?v=Su9x4uqNEHo>)
-  Configurações Gerais ([https://www.youtube.com/watch?v=2TlxsJfs\\_ag](https://www.youtube.com/watch?v=2TlxsJfs_ag))

**OBSERVAÇÃO:** Este guia foi adaptado para o presente trabalho a partir do tutorial do aplicativo PhotoMetrix®, constante em <http://photometrix.com.br>.