

# RESSALVA

Atendendo solicitação da autora, o texto completo desta **Tese** será disponibilizado somente a partir de 27/04/2024.

**Universidade Estadual Paulista  
“Júlio de Mesquita Filho”**

**Faculdade de Ciências Farmacêuticas**

**Identificação, caracterização e valorização de  
mangas com distúrbio fisiológico por meio de  
métodos instrumentais**

**Fernanda Campos Alencar Oldoni**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Alimentos e Nutrição para obtenção do título de Doutora em Alimentos e Nutrição.

Área de Concentração: Ciência de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Marcos David Ferreira  
Coorientador: Prof. Dr. Luiz Alberto Colnago

Araraquara  
2022

# **Identification, characterization and valorization of mangoes with physiological disorders through instrumental methods**

**Fernanda Campos Alencar Oldoni**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Alimentos e Nutrição para obtenção do título de Doutora em Alimentos e Nutrição.

Área de Concentração: Ciência de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Marcos David Ferreira  
Coorientador: Prof. Dr. Luiz Alberto Colnago

Araraquara  
2022

---

**0532i** Oldoni, Fernanda Campos Alencar.  
Identificação, caracterização e valorização de mangas com distúrbio fisiológico por meio de métodos instrumentais / Fernanda Campos Alencar Oldoni. – Araraquara: [S.n.], 2022.  
159 f. : il.

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista. “Júlio de Mesquita Filho”. Faculdade de Ciências Farmacêuticas. Programa de Pós Graduação em Alimentos e Nutrição. Área de Concentração em Ciência de Alimentos.

Orientador: Marcos David Ferreira.  
Coorientador: Luiz Alberto Colnago.

1. *Mangifera indica* L. 2. Colapso interno. 3. Análises espectroscópicas. 4. Qualidade de frutos. 5. Voláteis de aroma. 6. Filmes comestíveis. I. Ferreira, Marcos David, orient. II. Colnago, Luiz Alberto, coorient. III. Título.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO DA TESE: Identificação, caracterização e valorização de mangas com distúrbio fisiológico por meio de métodos instrumentais

**AUTORA: FERNANDA CAMPOS ALENCAR OLDONI**

**ORIENTADOR: MARCOS DAVID FERREIRA**

**COORIENTADOR: LUIZ ALBERTO COLNAGO**

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em ALIMENTOS E NUTRIÇÃO, área: Ciência dos Alimentos pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. MARCOS DAVID FERREIRA (Participação Virtual)  
EMBRAPA Instrumentação Agropecuária

Profa. Dra. KATIA SIVIERI (Participação Virtual)  
Faculdade de Ciências Farmacêuticas - UNESP- Araraquara

Profa. Dra. MILENA MARTELLI TOSI (Participação Virtual)  
Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos / Universidade de São Paulo

Profa. Dra. MARTA HELENA FILLET SPOTO (Participação Virtual)  
Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz do Câmpus de Piracicaba da USP

Araraquara, 27 de abril de 2022

**Dedico à minha família e a todos que cruzaram meu caminho durante a  
minha trajetória acadêmica.**

## Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa concedida, Código de Financiamento 001.

Ao professor Dr. Marcos David Ferreira pela orientação ao longo de todo o doutorado.

Ao professor Dr. Luiz Alberto Colnago pela confiança, amizade e coorientação.

A Deus. Para Ele me faltam palavras para descrever todo o amor incondicional.

Ao meu marido Henrique Oldoni pelo companheirismo, confiança, colo, amor. Reviveria todos os momentos com você por mais infinitos anos. O seu coração é grandioso e gostaria que todos pudessem se espelhar no homem que você é. Obrigada por tudo!

À minha família por todo apoio e amor. Em especial: minha mainha (Adeliana Campos Belarmino Alencar), minha sobrinha (Letícia Alencar de Castro), minhas irmãs (Ricelly Campos Alencar e Viviane Campos Alencar). Sem o apoio, colo e amor de vocês, eu nada seria. Vocês sempre acreditaram em mim. Obrigada por tudo!

Ao meu painho Oliveira Siqueira Alencar (*in memoriam*).

Ao meu cunhado Robério Barreto Duarte (*in memoriam*).

Aos analistas, bolsistas e estagiários da Embrapa Instrumentação pelo apoio durante a realização dos experimentos.

À Faculdade de Ciências Farmacêuticas - UNESP.

À Embrapa Instrumentação pela utilização da infraestrutura laboratorial.

À CEAGESP e a todos do Centro de Qualidade Hortigranjeira – CQH.

Obrigada!

## Resumo

**Objetivo:** O estudo objetivou: i) avaliar o uso de técnicas espectroscópicas não destrutivas para identificação do colapso interno em frutos de manga Palmer; ii) caracterizar o perfil mineral e compostos orgânicos voláteis de modo a identificar se frutos acometidos pelo colapso possuem qualidade sensorial e nutricional para ser destinado a outras finalidades na indústria alimentícia, reduzindo o desperdício alimentar. iii) Avaliar o uso de polpa de manga com colapso interno para elaboração de filmes para uso em revestimentos comestíveis. **Metodologia:** Frutos de manga cv. Palmer foram selecionados quanto à ausência de danos mecânicos, lesões por insetos, podridões, uniformidade de tamanho e peso, lavados e sanitizados para desinfecção e secos em temperatura ambiente. Posteriormente foram mantidos em câmara fria a 15 °C, e analisados quando maduros por meio das espectroscopias de infravermelho próximo (NIR), médio (MIR) e de ressonância magnética nuclear no domínio do tempo (RMN-DT). O perfil mineral e de voláteis orgânicos foram analisados com espectrometria de emissão óptica de plasma acoplado indutivamente (ICP-OES) e cromatografia gasosa e espectrometria de massa, respectivamente. Os filmes comestíveis de mangas com colapso foram preparados com a homogeneização da polpa e produzidos por casting contínuo. **Resultados:** Os dados de NIR, MIR e RMN-DT foram analisados com um algoritmo de regressão logística simples, obtendo previsões de 83,9%, 79,2% e 67,7%, respectivamente. Os resultados obtidos para a classificação de mangas com e sem colapso, com técnicas de mineração de dados foram de até 77,5%. Frutos com colapso interno apresentam menor firmeza (2.91 N), conteúdo de fibra (12%) e maior pH (5,57). Na composição mineral maiores teores de N na casca (9.4 g kg<sup>-1</sup>) e polpa (9.6 g kg<sup>-1</sup>), P na polpa (1,9 g kg<sup>-1</sup>), K (14,6 g kg<sup>-1</sup>), S (0,9 g kg<sup>-1</sup>), B (6,3 mg kg<sup>-1</sup>) e menor teor de Ca na casca (2,1 g kg<sup>-1</sup>). Isso demonstra a importância do estudo para identificar e compreender a associação dos parâmetros na ocorrência do distúrbio em mangas 'Palmer'. A análise de componentes principais (PCA) e análise discriminante de mínimos quadrados parciais (PLS-DA) dos dados mostram que a cor, a firmeza e os compostos voláteis são importantes para fornecer informações sobre as alterações fisiológicas causadas pelo colapso interno. Os compostos voláteis ácido metacrílico, éster etílico, etanoato de isopentil, óxido de limoneno, (E)-2-pentenal, tetradecano e  $\gamma$ -elemeno foram identificados como marcadores químicos de colapso interno. Filmes obtidos a partir de polpas de manga com maior teor de colapso interno apresentam menor espessura e permeabilidade ao vapor d'água, e maior alongamento e opacidade, além de apresentarem um tempo de compostagem curto (10 dias). As propriedades físicas dos filmes comestíveis de manga são influenciadas pela composição físico-química da polpa, que originalmente muda com a progressão colapso interno. **Conclusão:** Foi obtido um bom desempenho da técnica de mineração de dados para a classificação de mangas com e sem colapso, demonstrando uma capacidade de acurácia acima de 60%. A classificação das mangas conforme a presença e ausência de colapso com base no algoritmo de regressão logística simples apresentou boa sensibilidade de previsão do colapso por meio das técnicas de NIR e MIR. A composição mineral dos frutos de manga 'Palmer' mostra-se como indicativo da existência do colapso interno, com destaque para os macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e enxofre e do micronutriente boro. Identificar a composição mineral permite auxiliar um bom

manejo no pomar, reduzindo o colapso interno e garantindo a qualidade pós-colheita em frutos de manga. A detecção de compostos voláteis pode ser utilizada para futuras separações entre mangas com e sem colapso na pós-colheita, porém, mais estudos são necessários para entender como a expressão de compostos voláteis está associada às mangas com a presença desse distúrbio fisiológico. Filmes de polpas de manga com colapso produzidos por casting continuous apresentam boas características como invólucro em alimentos.

**Palavras-chave:** *Mangifera indica* L.; colapso interno; análises espectroscópicas; qualidade de frutos; voláteis de aroma; filmes comestíveis.

## Abstract

**Objective:** The study aimed to: i) evaluate the use of non-destructive spectroscopic techniques to identify internal collapse in Palmer mango fruits; ii) characterize the mineral profile and volatile organic compounds in order to identify whether fruits affected by collapse have sensory and nutritional quality to be used for other purposes in the food industry, reducing food waste. iii) Evaluate the use of mango pulp with internal breakdown for the elaboration of films for use in edible coatings. **Methodology:** Mango fruits cv. Palmer were selected for absence of mechanical damage, insect injury, rot, uniformity in size and weight, washed and sanitized for disinfection, and dried at room temperature. Subsequently, they were kept in a cold chamber at 15 °C, and analyzed when ripe by means of near-infrared (NIR), medium (MIR) and time-domain nuclear magnetic resonance (DT-NMR) spectroscopy. The mineral and organic volatiles profile were analyzed with inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) and gas chromatography and mass spectrometry, respectively. Edible films of collapsed mangoes were prepared with pulp homogenization and produced by continuous casting. **Results:** The NIR, MIR and NMR-DT data were analyzed with a simple logistic regression algorithm, obtaining predictions of 83.9%, 79.2% and 67.7%, respectively. The results obtained for the classification of mangoes with and without collapse, with data mining techniques were up to 77.5%. Fruits with internal breakdown have lower firmness (2.91 N), fiber content (12%) and higher pH (5.57). In the mineral composition, higher levels of N in the peel (9.4 g kg<sup>-1</sup>) and pulp (9.6 g kg<sup>-1</sup>), P in the pulp (1.9 g kg<sup>-1</sup>), K (14.6 g kg<sup>-1</sup>), S (0.9 g kg<sup>-1</sup>), B (6.3 mg kg<sup>-1</sup>) and lower Ca content in the peel (2.1 g kg<sup>-1</sup>). This demonstrates the importance of the study to identify and understand the association of parameters in the occurrence of the disorder in 'Palmer' mangoes. Principal component analysis (PCA) and partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) of the data show that color, firmness and volatile compounds are important in providing information about the physiological changes caused by internal breakdown. The volatile compounds methacrylic acid, ethyl ester, isopentyl ethanoate, limonene oxide, (E)-2-pentenal, tetradecane and  $\gamma$ -elemene were identified as chemical markers of internal collapse. Films obtained from mango pulps with higher internal collapse content have less thickness and permeability to water vapor, and greater elongation and opacity, in addition to having a short composting time (10 days). The physical properties of edible mango films are influenced by the physicochemical composition of the pulp, which originally changes with the progression of internal collapse. **Conclusion:** A good performance of the data mining technique was obtained for the classification of mangos with and without collapse, demonstrating an accuracy capacity above 60%. The classification of sleeves according to the presence and absence of collapse based on the simple logistic regression algorithm showed good sensitivity for predicting collapse using the NIR and MIR techniques. The mineral composition of 'Palmer' mango fruits is indicative of the existence of internal breakdown, with emphasis on the macronutrients nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and sulfur and the micronutrient boron. Identifying the mineral composition allows for a good management in the orchard, reducing internal collapse and ensuring post-harvest quality in mango fruits. The detection of volatile compounds can be used for future separations between mangoes with and without post-harvest collapse, however, more studies are needed to understand how the expression of volatile compounds

is associated with mangoes with the presence of this physiological disorder. Collapsed mango pulp films produced by continuous casting have good characteristics as a food wrapper.

**Key-words:** *Mangifera indica* L.; internal breakdown; spectroscopic analyses; fruit quality; aroma volatiles; edible films.

## Sumário

	Página
Resumo	lii
Abstract	V
Introdução expandida	3
Capítulo 1. Predição não destrutiva de distúrbio fisiológico em manga “Palmer” usando técnicas espectroscópicas	15
Introdução	17
Material e Métodos	19
Resultados e Discussão	23
Conclusão	29
Referências	30
Capítulo 2. Composição mineral de frutos de manga com colapso interno assistida por ICP-OES	32
Introdução	34
Material e Métodos	35
Resultados e Discussão	41
Conclusão	52
Referências	53
Capítulo 3. Fruit quality parameters and volatile compounds from 'Palmer' mangoes with internal breakdown	59
Introduction	62
Material and methods	63
Results and discussion	67
Conclusion	81
References	83
Capítulo 4. Valorization of mangoes with internal breakdown through the production of edible films by continuous solution casting	96
Introduction	99
Material and methods	100
Results and discussion	107

Conclusion	121
References	122
Considerações Finais	129
Referências	130
Apêndices	140

## Introdução expandida

A manga (*Mangifera indica* L.) é um dos frutos mais importantes e populares no Brasil devido à sua fácil adaptação a diferentes climas (subúmidos a semiáridos), disponibilidade de variedades melhoradas e sua riqueza como fonte de vitaminas e minerais (1,2). O país ocupa a sétima posição de maior produtor de manga no mundo (3). Além de ser autossuficiente na produção de manga, o Brasil também é o maior exportador da fruta, com 179 mil toneladas exportadas em 2016 (4).

Pertencente à família Anacardiaceae, a manga é a cultura mais difundida nas áreas tropicais e subtropicais do mundo. Ela é amplamente consumida no mundo devido à sua suculência, sabor exótico e valor nutricional. A qualidade dos atributos de seus frutos, como cor, aroma, sabor, sabor e textura, é de grande importância comercial (5). Além disso, seu fruto é rico em carotenóides, ácido ascórbico, fibras, polifenóis, quercetina e mangiferina (6), compostos bioativos que contribuem para a promoção da saúde humana, confirmando a importância e a qualidade dos seus frutos devido ao crescente interesse do consumidor.

A manga é classificada como um fruto climatérico, cujo início do amadurecimento é marcado por um considerável aumento da taxa respiratória e da produção de etileno (climatérico), e, em seguida, ocorre um declínio acentuado que sinaliza o início da senescência (7). Sua vida útil é limitada devido à alta taxa de respiração, produção de etileno e amadurecimento excessivo, pragas, doenças que resultam cumulativamente nas perdas pós-colheita de nutrientes valiosos e no valor de mercado. Aliado a isso, a rejeição

pelo consumidor de mangas frescas é atribuída à maturação imprópria dos frutos, injúrias mecânicas causadas durante a colheita ou manuseio no campo (8).

O consumo de manga vem crescendo juntamente com a exigência dos consumidores por frutos de qualidade. Contudo, o mercado nacional e internacional tem enfrentado diferentes questões relacionadas ao manejo de frutas na fase pós-colheita (9). A redução da qualidade dos frutos causa perdas econômicas significativas (10) para produtores, comerciantes, distribuidores e exportadores, que têm seus lucros diminuídos e o prestígio de seu produto comprometido, quanto para os consumidores, que irão ter à sua mesa a disponibilização de menos produto, maiores preços e mangas com qualidade mercadológica inferior (11,12).

Os dados de perdas e desperdícios de alimento no mundo são alarmantes, estima-se que se perde ou se desperdiça 1,3 bilhão de toneladas de alimentos todos os anos no mundo (13). Com esse número seria possível abastecer as necessidades nutricionais das 815 milhões de pessoas que, em 2016, estavam subalimentadas (14). No Brasil, estima-se que aproximadamente 10% dos alimentos produzidos são perdidos ou desperdiçados. Com o crescimento da população mundial, em 2050 a população deve atingir 9,8 bilhões de pessoas. Para abastecer esse número de pessoas é necessário que a produção de alimentos cresça de 60 a 70% (15).

A manga é considerada um produto frutícola de grande importância nutricional e econômica (16). Do ponto de vista nutricional é uma excelente

fonte de antioxidantes preventivos do câncer e possui níveis significativos de betacaroteno e de vitaminas A e C (17). Do ponto de vista econômico, a manga tem uma expressiva contribuição na exportação de fruta brasileira, sendo o Vale do São Francisco responsável por mais 84% das exportações do fruto *in natura* (18), contribuindo para o Brasil ser um dos maiores exportadores de manga, com quase 10% do mercado mundial (19), portanto, com significativa importância econômica e social para o país.

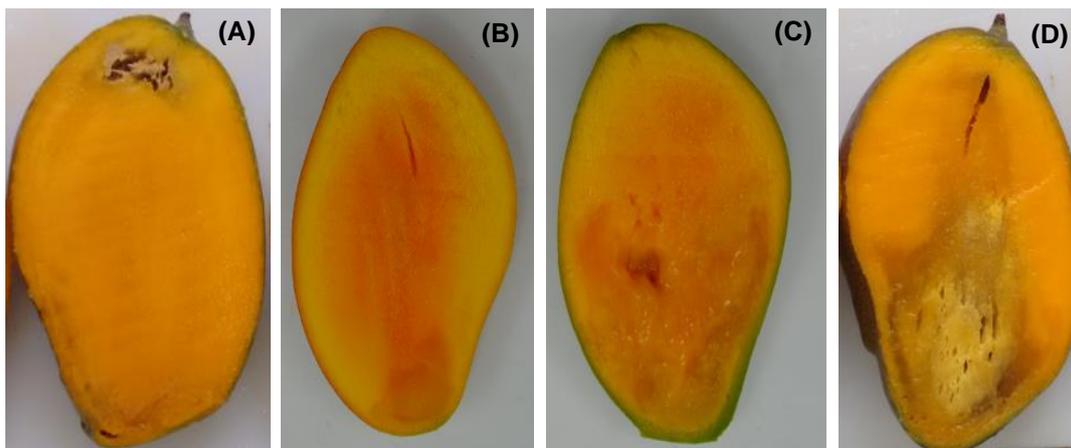
Como todos os frutos, a manga pode ter a sua qualidade comprometida por diversos fatores, tornando-se uma preocupação nas cadeias comerciais (20). Um dos fatores que contribuem para as perdas em frutos de manga é o distúrbio fisiológico denominado de colapso interno, o qual constitui-se em uma das principais desordens que causam perdas na pós-colheita (21).

O termo colapso é utilizado para descrever um ou mais distúrbios fisiológicos em frutos de manga caracterizados pelo amadurecimento prematuro e desigual do mesocarpo, o que resulta em desequilíbrios no metabolismo induzidos por causas diversas, geralmente relacionadas a fatores ambientais na pré ou pós-colheita, contribuindo ao colapso celular e ao surgimento de áreas escuras e aquosas na polpa (22). Algumas causas já foram identificadas, porém, a dificuldade para equacionar o problema ainda persiste.

Pelo fato do problema ter se tornado cosmopolita e de difícil solução da possível causa, muitos produtores, na tentativa de minimizar as perdas, têm colhido os frutos fisiologicamente imaturos e aplicado etefon (regulador

de crescimento) na fase de pré-colheita, ou imediatamente após a colheita para acelerar o amadurecimento dos mesmos (23). Essa prática aparentemente resolveria o problema, porém, houve redução na qualidade, produzindo frutos com baixos teores de sólidos solúveis e sem sabor, oferecendo ao mercado frutos de baixa qualidade, além de enfrentar problemas com maiores custos de produção.

De acordo com Filgueiras et al. (24), o distúrbio pode ser caracterizado de diferentes maneiras, dentre eles: cavidade na extremidade do pedúnculo (*stem-end cavity*): caracterizado, inicialmente, pela desintegração do sistema vascular na região de ligação entre o pedúnculo e o endocarpo, na fase pré-colheita. Essa desintegração é seguida da formação de um espaço vazio, podendo ocorrer escurecimento do tecido (Fig. 1A); Nariz mole (*soft nose*): caracterizado pelo amadurecimento parcial da polpa na extremidade oposta ao pedúnculo (Fig. 1B); Semente gelatinosa (*jelly seed*): apresenta-se com um amadurecimento avançado próximo ao caroço do fruto (Fig. 1C); Tecido esponjoso (*spongy tissue*): caracterizado pelo amadurecimento de áreas na polpa que se assemelham a uma esponja com uma coloração acinzentada (Fig. 1D).



**Figura 1.** Sintomas do distúrbio fisiológico conhecido como colapso interno em mangas em pós-colheita. Cavidade na extremidade do pedúnculo (A), nariz mole (B), semente gelatinosa (C), tecido esponjoso (D). Foto: Oldoni, FCA (A e D) e De Oliveira, SL (B e C).

As causas do colapso são bastante complexas e ainda não são totalmente esclarecidas, porém, existem relatos de que o desequilíbrio nutricional especialmente entre os nutrientes nitrogênio e cálcio (25) podem atenuar o distúrbio e influenciar na qualidade e na aparência dos frutos. Fatores associados ao material genético do fruto também são mencionados, uma vez que, variedades submetidas às mesmas condições de ambiente e manejo, diferem entre si quanto a susceptibilidade à desordem (26).

Embora algumas das prováveis causas tenham sido identificadas, ainda há dificuldade para solucionar o problema. O distúrbio tem ocasionado enormes prejuízos econômicos, principalmente por ser de difícil detecção externamente, sendo na maioria das vezes constatado apenas no momento do consumo.

O problema do colapso interno é abordado pela comunidade científica desde a década passada e, de acordo com Pinto (27), os danos causados pelo distúrbio na Índia foram de ordem de 30%. Malo e Campbell (28),

relataram que na Flórida os danos por colapso levaram a uma perda de 50% dos frutos. Na Austrália, Meurant et al. (29) afirmaram que em determinados pomares chegou-se a 100% dos frutos comprometidos pelo distúrbio, causando enormes prejuízos aos produtores. Atualmente, o problema ainda persiste, no Quênia, as perdas devido a este distúrbio são estimadas em 30% (30). Em geral, a desvalorização do produto afetado chega a 60% (23).

Frente ao problema, a busca por alternativas que identifiquem e caracterizem o colapso em mangas antes de chegar ao consumidor final é de fundamental importância para que os frutos sejam destinados a outras finalidades, reduzindo perdas e desperdícios na cadeia produtiva.

Previamente à aplicação de métodos para identificação e caracterização do colapso interno em mangas 'Palmer', uma pesquisa com 30 atacadistas foi desenvolvida na CEAGESP, localizada em São Paulo – SP em parceria com a Embrapa Instrumentação, São Carlos – SP. O estudo teve como objetivo investigar e explorar o distúrbio fisiológico por meio de aplicação de questionários. Os mesmos foram fundamentados com base na literatura e na percepção dos atacadistas acerca do colapso interno (Apêndice A). Os atacadistas que concordaram em colaborar com o questionário assinaram um termo de consentimento livre esclarecido (Apêndice B). A partir dos dados coletados foi possível compreender melhor as causas e traçar um perfil para caracterização do colapso interno. A avaliação dos questionários foi realizada por meio da análise descritiva e o resultado publicado no Simpósio Nacional de Instrumentação Agropecuária – 2019 (Apêndice C).

Atualmente, métodos não invasivos têm sido empregados para avaliar a qualidade interna dos frutos aos quais permitem a medição e análise de frutos individuais (31). Como o próprio nome diz, os métodos não são invasivos, ou seja, permite manipular os frutos sem destruí-los.

As técnicas são conhecidas como espectroscópicas, que de acordo com Dufour (32), a espectroscopia é o estudo da interação da radiação eletromagnética com a matéria, podendo ser dividida em regiões de energia. As técnicas espectroscópicas são utilizadas para avaliação dos atributos de qualidade interna e externa de produtos hortícolas de maneira não invasiva. Estas técnicas incluem a ressonância magnética nuclear no domínio do tempo e por imagem (33,34) e as espectroscopias no infravermelho próximo (31) e médio (35).

A espectroscopia por ressonância magnética nuclear (RMN) pode ser subdividida em aplicações em baixa e alta resolução. As técnicas não destrutivas de ressonância magnética de baixo campo ou também chamada de RMN no domínio do tempo (RMN-DT) e por imagem (RMNI) têm sido aplicadas para avaliar a qualidade interna em uma ampla variedade de espécies frutíferas. Zhang e McCarthy (34) estudaram a relação entre os atributos de qualidade como o teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), pH e *ratio* (SS/AT) e o tempo de relaxamento T2 em frutos de romã cv. Wonderful e relataram uma forte correlação entre o T2 e o teor de SS.

Flores et al. (36) avaliaram o potencial da RMN-DT, por meio dos sinais de decaimento da sequência CPMG, para classificar laranjas intactas em classes de baixo (classe 1) e alto (classe 2) teor de SS. Posteriormente,

foi realizada a aceitação sensorial que corroborou com a classificação instrumental, o qual revelou que os sucos da classe 2 eram mais doces que os sucos da classe 1 dentro de um intervalo de 95% de confiança. Em trabalho realizado por Pereira et al. (37), também foi possível classificar ameixas intactas por diferentes classes do teor de SS, totalizando 89% (classe 1), ameixas menos doces e mais de 93% (classe 2) para ameixas mais doces, com um nível de 95% de confiança. Khoshroo et al. (38) investigando a viabilidade da RMNI para avaliar a maturação de romãs, encontraram uma acurácia de classificação de 100%, 98,47% e 100% para frutos semi-maduros, maduros e super maduros, respectivamente.

Outra aplicação da técnica é em avaliar danos causados por insetos (39), colapso em nectarinas (40) e injúrias em maçãs (41). Detectar espaços vazios em melancia (42), detectar e monitorar o desenvolvimento do escurecimento interno em maçãs 'Fuji' e peras 'Conferência' (43,44) e doença interna em romãs (39).

Zur et al. (45) utilizaram a RMNI para prever a incidência da divisão de frutos de mandarinas cv. Nova. As plantas foram submetidas a baixos e altos níveis de irrigação e analisando as dimensões do tecido interno, os autores foram capazes de prever a incidência da divisão dois meses antes da primeira aparição do distúrbio no campo pelas dimensões do umbigo.

A radiação de infravermelho corresponde à parte do espectro eletromagnético situada entre a região do visível e das micro-ondas, subdividido em infravermelho próximo ( $4000-12500\text{ cm}^{-1}$ ), infravermelho médio ( $400-4000\text{ cm}^{-1}$ ) e distante ( $100-400\text{ cm}^{-1}$ ) (32). Estudos têm demonstrado o potencial

das técnicas não destrutivas de infravermelho próximo (NIR) e médio (MIR) para caracterização quantitativa em frutos.

O NIR tem sido utilizado para avaliar a qualidade interna de frutos frescos, como pêssigo (46) e manga (47). Estudos mostraram que o NIR tem a capacidade de avaliar o teor de sólidos solúveis e matéria seca em frutos de mangas maduras cv. Caraboa (48). Maniwara et al. (49) com o objetivo de determinar os atributos de qualidade interna, usaram a faixa de comprimento de onda de 600 a 1090 nm para avaliar o teor sólidos solúveis, acidez titulável e ácido ascórbico no maracujá.

O caminho óptico do fruto (considerado um dos pontos mais importantes durante a aquisição espectral NIR) e a densidade óptica (DO) podem diferir significativamente devido às diferenças no tamanho do fruto, da espessura da casca e formato (50,51). A manga apresenta uma casca fina e, como a casca dos frutos é parte do caminho da luz, o espectro de DO variará dependendo das mudanças na DO da casca (50). A partir dessa premissa, a espessura da barreira óptica afeta a profundidade de penetração (52).

Apesar do desafio da espessura óptica de algumas cascas de frutos, o NIR tem sido usado com sucesso para detectar defeitos da superfície do pêssigo (53), distúrbios do kiwi (lesão por frio e podridão de frutos) durante o armazenamento (54) e ruptura da casca em mandarinas (55). Arendse et al. (56) avaliando escaldadura da casca, distúrbio fisiológico que se manifesta durante o armazenamento e transporte em frutos de romã, conseguiram uma precisão na classificação de frutos de 100% saudáveis, 92,6% com escurecimento moderado e 93% com escurecimento severo utilizando o NIR.

A técnica da espectroscopia no MIR permite a identificação de moléculas orgânicas e a caracterização de grupos funcionais, tais como polissacarídeos (8). Ela tem se mostrado adequada no auxílio em análises de qualidade de alimentos, como também para estimar a composição de várias amostras dos mesmos, principalmente de produtos líquidos como sucos (57).

Em trabalho realizado por Macedo (58), foi possível identificar e quantificar a adulteração em leite bovino. Rodriguez-Saona e Allendorf (59) quantificaram os carotenoides presentes em suco de tomate, e Cadauid (60) analisou amostras de suco de tomate, determinando o teor de sólidos solúveis, pH, glicose, frutose e viscosidade. Bureau et al. (61,62) utilizaram a espectroscopia MIR para determinar os teores de açúcar, ácido orgânico e polifenol em damasco e maçã. Em estudo com espectroscopia do MIR conduzido por Kos et al. (63) na detecção de infecção fúngica em milho, foi possível descrever que dois aglomerados compostos por grãos brancos e contaminados eram obviamente distinguíveis pela análise de componentes principais (PCA) com precisão de 79%.

De acordo com Khaled (64), pode-se observar que a espectroscopia NIR pode detectar doenças com uma precisão de 90 a 96%. No entanto, para espectroscopia MIR, pode-se ter uma precisão de 79 a 92%. Diante disso, as técnicas tornam-se promissoras na avaliação rápida, não invasiva e econômica para detecção e monitoramento da qualidade dos frutos, despertando interesse na indústria, a partir da crescente demanda do consumidor por garantia de qualidade externa e interna de produtos frescos.

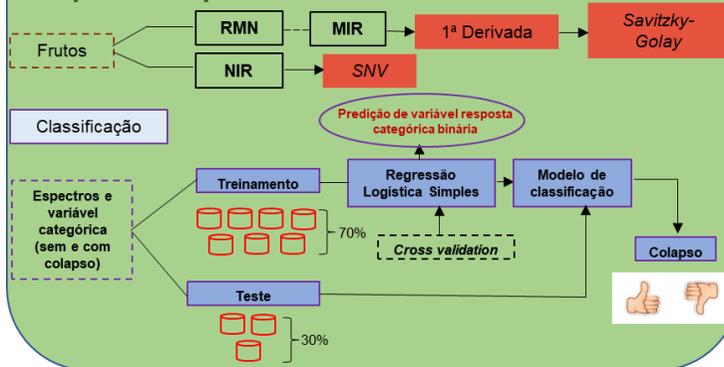
Os métodos não destrutivos permitem a mínima manipulação da amostra, garantindo o controle de qualidade de frutas e hortaliças ao longo de um período, tornando-se possível o monitoramento durante transporte, armazenamento e comercialização e sem geração de resíduos (65,66).

A caracterização do perfil mineral e volátil de frutos com colapso interno também são ferramentas que auxiliam identificar diferenças entre os grupos de frutos sintomáticos e assintomáticos. A partir da caracterização, é possível traçar uma estratégia de manejo que diminua a perda na pós-colheita de mangas, além de permitir identificar se os frutos são seguros para serem consumidos.

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar o uso de técnicas não destrutivas como as espectroscopias de ressonância magnética nuclear no domínio do tempo (RMN-DT), infravermelho próximo (NIR) e médio (MIR), para identificação do colapso interno em frutos intactos. Além da caracterização do perfil mineral e volátil por meio das técnicas de espectrometria de emissão óptica de plasma acoplado indutivamente (ICP-OES) e compostos orgânicos voláteis por microextração em fase sólida (SPME) e cromatografia gasosa e espectrometria de massa (GC-MS), visando identificar se frutos acometidos pelo colapso possuem qualidade nutricional para serem destinados a outras finalidades na indústria alimentícia, reduzindo o desperdício alimentar.

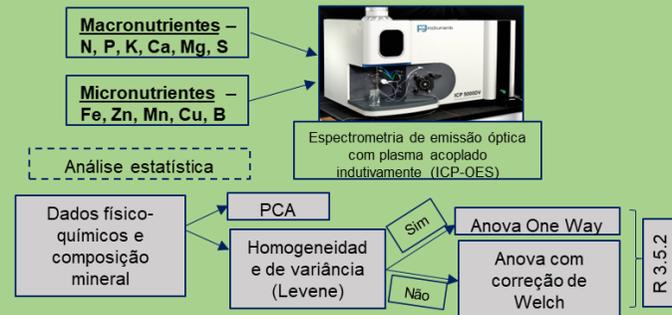
**Capítulo 1**

*Predição não destrutiva de distúrbio fisiológico em manga "Palmer" usando técnicas espectroscópicas*



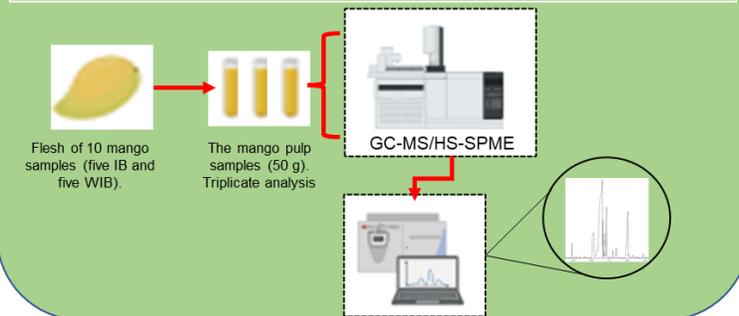
**Capítulo 2**

*Composição mineral de frutos de manga com colapso interno assistida por ICP-OES*



**Capítulo 3**

*Fruit quality parameters and volatile compounds from 'Palmer' mangoes with internal breakdown*



**Capítulo 4**

*Valorization of mangoes with internal breakdown through the production of edible films by continuous solution casting*



## **Considerações Finais**

O presente trabalho resultou que técnicas espectroscópicas aliadas com algoritmos de aprendizado de máquina são capazes de diferenciar frutos com e sem colapso de manga cv 'Palmer'.

A partir da investigação do perfil mineral e físico-químico é possível identificar diferenças entre os grupos de frutos, tornando-se um auxílio para a melhoria do manejo no pomar e garantir frutos de qualidade para o consumidor final.

Com o perfil volátil é possível identificar marcadores que distinguem os dois grupos de frutos. A partir disso, é possível adentrar em estudos que expliquem a expressão dos voláteis presentes em mangas colapsadas.

Mangas com colapso apresentam uma alternativa à matéria-prima utilizadas em embalagens. Além de possuir características que as definem com potencial para invólucro, agregam valor ao produto e reduzem o desperdício alimentar.

## Referências

1. Griesbach J. Mango growing in Kenya. Nairobi: ICRAF, 2003. 117 p.
2. Kundiu S. Baby food from mango. In: Valavi SG, Rajmohan K, Govil JN, Peter KV, Thottappilly G, editors. Mango production and processing technology. Houston: Studium Press LLC, 2012. p. 598.
3. Food and Agriculture Organization of the United Nations. [Internet]. FAO-Faostat. 2017. Available from: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
4. Anuário Brasileiro de Fruticultura. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta; 2017. 88 p.
5. Farina V, D'Asaro A, Mazzaglia A, Gianguzzi G, Palazzolo E. Chemical-physical and nutritional characteristics of mature-green and mature-ripe "Kensington Pride" mango fruit cultivated in Mediterranean area during cold storage. *Fruits*. 2017;72(4):221–229.
6. Lauricella M, Emanuele S, Calvaruso G, Giuliano M, D'Anneo A. Multifaceted health benefits of *Mangifera indica* L. (mango): The inestimable value of orchards recently planted in Sicilian rural areas. *Nutrients*. 2017;9(525):1-14.
7. Munasque VS, Abdullah H, Gelido MERA, Rohaya MA, Zaipun MZ. Fruit growth and maturation of banana. In: Hassan A, Pantastico EB, editors. Banana: fruit development, postharvest physiology, handling and marketing in ASEAN. Malaysia: ASEAN Food Handling Bureau;1990. p. 159.

8. Kader AA. Postharvest Technology of Horticultural Crops. 3rd ed. California: University of California Agriculture & Natural Resources; 2002. 535 p.
9. Malik AU, Hafeez O, Johnson P, Campbell JA, Amin M, Saeed M, et al. Toward developing, a sea-freight supply chain for delivering Pakistani mangoes to European supermarket: A private-public sector Model. *Acta Horticulturae*. 2010;83-89.
10. Jacobi KK, Macrae EA, Hetherington SE. Early detection of abnormal skin ripening characteristics of 'Kensington' mango (*Mangifera indica* L.). *Scientia Horticulturae*. 1998;72:215-225.
11. Variyan JN, Jordan JL. An application of models for survival data to postharvest systems evaluation. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*. 1988;101:200-202.
12. Borges RF. *Panela furada: o incrível desperdício de alimentos no Brasil*. 3 ed. São Paulo: Columbus; 1991. 124 p.
13. Food and Agriculture Organization of the United Nations. [Internet]. FAO-Faostat. 2017a. 2 p. Available from: <http://www.fao.org/3/a-i7338s.pdf>.
14. FAO, IFAD, UNICEF, WFP; WHO. [Internet]. The state of food security and nutrition in the world 2017: building resilience for peace and food security. 2017. 117 p. Available from: [www.fao.org/3/a-l7695e.pdf](http://www.fao.org/3/a-l7695e.pdf).
15. Food and Agriculture Organization of the United Nations. [Internet]. FAO-Faostat. 2015. 30 p. Available from: <http://www.fao.org/3/a-i4655s.pdf>.

16. Choudhury MM, Costa TS. Perdas na cadeia de comercialização da manga. Petrolina: Embrapa Semiárido; 2004. 44 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/154309/1/SDC186.pdf>.
17. Roizen MF, Puma JL. A dieta da idade verdadeira. Rio de Janeiro: Campus; 2001. 400 p.
18. Valexport. Associação dos Produtores e Exportadores de Hortigranjeiros e Derivados do Vale do São Francisco. 2016. Disponível em: <http://www.valexport.com.br>.
19. Food and Agriculture Organization of the United Nations. [Internet]. FAO-Faostat. 2015. Available from: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
20. Singh Z, Singh RK, Sane VA, Nath P. Mango: Post-harvest biology and biotechnology, Critical Reviews in Plant Science. Postharvest Biology and Biotechnology. 2013;32(4):217-236.
21. Lima MAC. Manga: colapso interno. Petrolina: Embrapa Semiárido; 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/manga/producao/problemas-de-causa-abiotica/colapso-interno>.
22. Wainwright H, Burbage MB. Physiological disorders in mango (*Mangifera indica* L.) fruit. Journal of Horticultural Science. 1989;64(2):125-135.
23. Watanabe HS. Desordens fisiológicas são ainda mistérios na pós-colheita. Revista Visão Agrícola. 2007;7:11-14.

24. Fonseca N, Cunha GAP, Nascimento AS, Filho HPS. A cultura da manga. 2. ed. revisada e ampliada. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; 2006. 63p.
25. Matos AP. Manga. Produção: aspectos técnicos. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; 2000. 63p.
26. Assis JS, Silva DJ, Moraes PLD. Equilíbrio nutricional e distúrbios fisiológicos em manga 'Tommy Atkins'. Revista Brasileira de Fruticultura. 2004;26(2):326-329.
27. Pinto ACQ. Nutrição mineral e adubação de mangueira. Campinas: CATI; 1984. 32 p.
28. Malo SE, Campbell CW. Studies on mango fruit breakdown in Florida. Proceedings of Tropical Region American Society for Horticultural Science. 1978;22:1-15.
29. Meurant VN, Johnson GI, Mayers PE. Mangoes diseases and disorders. Brisbane: Queensland Department of Primary Industries; 1988.14 p.
30. Gitonga KJ, Njuguna K, Gathambiri C, Muriuki SJN, Muthamia G, Wanjala S. Baseline survey report on mango production, post-harvest handling and marketing in Kilifi, Makueni, Embu and Meru Central Counties. Kenya Agricultural Research Institute; 2010.
31. Nicolai BM, Beullens K, Bobelyn E, Peirs A, Saeys W, Theron KI, et al. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. Postharvest Biology and Technology. 2007;46(2):99–118.

32. Dufour E. Principles of Infrared Technology. In: Sun D W, editor. Infrared Spectroscopy for Food Quality Analysis and Control. Boca Raton: CRC Press, 2008. p. 448.
33. Marcone MF, Wang S, Albabish W, Nie S, Somnarain D, Hill A. Diverse food-based applications of nuclear magnetic resonance (NMR) technology. *Food Research International*. 2013;51:729–747.
34. Zhang L, McCarthy MJ. Assessment of pomegranate postharvest quality using nuclear magnetic resonance. *Postharvest Biology Technology*. 2013;77:59–66.
35. Müller ALH. Attenuated total reflectance with Fourier transform infrared spectroscopy (ATR/FTIR) and different PLS Algorithms for simultaneous determination of clavulanic acid and amoxicillin in powder pharmaceutical formulation. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 2011;22(10):1903- 1912.
36. Flores DWM, Colnago LA, Ferreira MD, Spoto MHF. Prediction of orange juice sensorial attributes from intact fruits by TD-NMR. *Microchemical Journal*. 2016;128:113-117.
37. Pereira CAP, León GMP. Determinación del color em epicarpios de mango (*Mangifera* sp.) y plátano (*Musa* AAB) em maduración mediante sistema de visión computarizada. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 2012;3(2):302-318.
38. Khoshroo A, Keyhani A, Zoroofi RA, Rafiee S, Zamani Z, Alsharif MR. Classification of pomegranate fruit using texture analysis of MR images. *Agricultural Engineering International*. 2009;14:661-1182.

39. Chen, P.; McCarthy, J.M.; Kauten, R. NMR for internal quality evaluation of fruits and vegetables. *American Society of Agricultural Engineers*. 1989;32(5):1747–1753.
40. Sonogo L, Benarie R, Raynal J, Pech JC. Biochemical and physical evaluation of textural characteristics of nectarines exhibiting woolly breakdown – NMR imaging, X-ray computed-tomography and pectin composition. *Postharvest Biology Technology*. 1995;5:187–198.
41. Zion B, Chen P, McCarthy MJ. Detection of bruises in magnetic resonance images of apples. *Computers and Electronics in Agriculture*. 1995;13(4):289–299.
42. Saito K, Miki T, Hayashi S, Kajikawa H, Shimada M, Kawate Y, et al. Application of magnetic resonance imaging to non-destructive void detection in watermelon. *Cryogenics*. 1996;36(2):1027– 1031.
43. Gonzalez JJ, Valle RC, Bobroff S, Biasi WV, Mitcham EJ, McCarthy MJ. Detection and monitoring of internal browning development in ‘Fuji’ apples using MRI. *Postharvest Biology Technology*. 2001;22(2):179–188.
44. Hernandez-Sanchez N, Hills BP, Barreiro P, Marigheto N. An NMR study on internal browning in pears. *Postharvest Biology Technology*. 2007;44:260–270.
45. Zur N, Shlizerman L, Ben-Ari G, Sadka A. Use of magnetic resonance imaging (MRI) to study and predict fruit splitting in citrus. *The Horticulture Journal*. 2017;86(2):151–158.

46. Kawano S, Abe H, Iwamoto M. Development of a calibration equation with temperature compensation for determining the Brix value in intact peaches. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. 1995;3:211-218.
47. Schmilovitch Z, Mizrach A, Hoffman A, Egozi A, Fuchs Y. Determination of mango physiological indices by near-infrared spectrometry. *Postharvest Biology and Technology*. 2004;19:245–252.
48. Saranwong S, Sornsrivichai J, Kawano S. Prediction of ripe-stage eating quality of mango fruit from its harvest quality measured nondestructively by near infrared spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*. 2004;31:137-145.
49. Maniwaru P, Nakano K, Boonyakiat D, Ohashi S, Hiroi M, Tohyama, T. The use of visible and near infrared spectroscopy for evaluating passion fruit postharvest quality' *Journal of Food Engineering*. 2014;143:33-43.
50. Krivoshiev GP, Chalucova RP, Moukarev MI. A possibility for elimination of the interference from the peel in nondestructive determination of the internal quality of fruit and vegetables by VIS/NIR spectroscopy. *Lebensmittel Wissenschaft and Technology*. 2000;33(5):344–353.
51. Magwaza LS, Opara UL, Nieuwoudt H, Cronje PJR, Saeys W, Nicolai B. NIR Spectroscopy applications for internal and external quality analysis of citrus fruit – A review. *Food and Bioprocess Technology*. 2012;5(2):425-444.
52. Chen P, Nattuvetty VR. Light transmittance through a region of an intact fruit. *Transaction of the ASAE*. 1980;23:519-522.

53. Miller BK, Delwiche MJ. Peach defect detection with machine vision. *Transactions of the ASAE*. 1991;34(6):2588-2597.
54. Clark CJ, Mcglone VA, Silva HN, Manning MA, Burdon J, Mowat AD. Prediction of storage disorders of kiwifruit (*Actinidia chinensis*) based on visible-NIR spectral characteristics at harvest. *Postharvest Biology and Technology*. 2004;32:147-158.
55. Magwaza LS, Ford HD, Cronje PJR, Opara UL, Landahl S, Tatam RP. Application of optical coherence tomography to non-destructively characterize rind breakdown disorder of “Nules Clementine” mandarins. *Postharvest Biology Technology*. 2013;84:16-21.
56. Arendse E, Fawole OA, Magwasa LS, Nieuwoudt H, Opara UL. Evaluation of biochemical markers associated with the development of husk scald and the use of diffuse reflectance NIR spectroscopy to predict husk scald in pomegranate fruit. *Scientia Horticulturae*. 2018;240-249.
57. Geladi P, Kowalski BR. Partial least-squares regression: a tutorial. *Analytica Chimica Acta*. 1986;185:1-17.
58. Macedo PS. Aplicação de imagens digitais e técnicas espectroanalíticas combinadas com quimiometria para detecção e quantificação de adulteração em leite bovino. [Tese]. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos; 2013. 79f.
59. Rodriguez-Saona LE, Allendorf ME. Use of FTIR for rapid authentication and detection of adulteration of food. *Annual Review of Food Science and Technology*. 2011;17(2):1–17.

60. Cadavid AS. Multicomponent quality control analysis for the tomato Industry using portable mid-infrared (MIR) spectroscopy. [Thesis]. Ohio: The Ohio State University; 2014. 58p.
61. Bureau S, Ruiz D, Reich M, Gouble B, Bertrand D, Audergon JM. Application of ATR-FTIR for a rapid and simultaneous determination of sugars and organic acids in apricot fruit. *Food Chemistry*. 2019;115:1133–1140.
62. Bureau S, Scibisz I, Bourvellec C, Renard, CMGC. Effect of sample preparation on the measurement of sugars, organic acids, and polyphenols in apple fruit by mid-infrared spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2012;60:3551–3563.
63. Kos G, Krska R, Lohninger H, Griffiths PR. A comparative study of midinfrared diffuse reflection (DR) and attenuated total reflection (ATR) spectroscopy for the detection of fungal infection on RWA2-corn. *Anais Bioanal. Chem*. 2004;378(1):159-166.
64. Khaled AY, Aziz SA, Bejo SK, Nawi NM, Seman IA, Onwude DI. Early Detection of Diseases in Plant Tissue Using Spectroscopy – Applications and Limitations. *Applied Spectroscopy Reviews*. 2017;1-68.
65. Bizzani M, Flores DWM, Colnago LA, Ferreira MD. Non-invasive spectroscopic methods to estimate orange firmness, peel thickness, and total pectin content. *Microchemical Journal*. 2017;133:168-174.

66. Borba KR, Sapelli KS, Spricigo P, Ferreira MD. Near Infrared Spectroscopy Sugar Quantification in Intact Orange. *Citrus Research & Technology*. 2017;38:1-7.