



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOQUÍMICA E BIOLOGIA MOLECULAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOQUÍMICA

MÔNICA MARIA DE ALMEIDA LOPES

EFEITOS DA LUZ PULSADA NO METABOLISMO E NAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE FRUTOS DE MANGA
“TOMMY ATKINS” DURANTE O ARMAZENAMENTO

FORTALEZA

2015

MÔNICA MARIA DE ALMEIDA LOPES

EFEITOS DA LUZ PULSADA NO METABOLISMO E NAS CARACTERÍSTICAS
FÍSICO-QUÍMICAS DE FRUTOS DE MANGA “TOMMY ATKINS” DURANTE O
ARMAZENAMENTO

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em
Bioquímica e Biologia Molecular do Departamento de
Bioquímica e Biologia Molecular da Universidade
Federal do Ceará como parte dos requisitos para
obtenção do Título de Doutor em Bioquímica.

Área de Concentração: Bioquímica Vegetal

Orientador: Dra. Maria Raquel Alcântara de Miranda

Co-orientador: Dr. Ebenezer de Oliveira Silva

FORTALEZA-CEARÁ

2015

Mônica Maria de Almeida Lopes

EFEITOS DA LUZ PULSADA NO METABOLISMO E NAS CARACTERÍSTICAS
FÍSICO-QUÍMICAS DE FRUTOS DE MANGA “TOMMY ATKINS” DURANTE O
ARMAZENAMENTO

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação
em Bioquímica e Biologia Molecular do
Departamento de Bioquímica e Biologia
Molecular da Universidade Federal do Ceará
como parte dos requisitos para obtenção do Título
de Doutor em Bioquímica.

Área de Concentração: Bioquímica Vegetal

Aprovada em: 14/08/2015

BANCA EXAMINADORA



Dra. Maria Raquel Alcântara de Miranda (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará



Dr. Ebenezer de Oliveira Silva (Co-orientador)
Embrapa Agroindústria Tropical



Dr. Enéas Gomes Filho (Membro)
Universidade Federal do Ceará



Dr. Guilherme Julião Zocolo (Membro)
Embrapa Agroindústria Tropical



Dra. Maria Isabel Gallão (Membro)
Universidade Federal do Ceará

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- L854e Lopes, Mônica Maria de Almeida.
 Efeitos da luz pulsada no metabolismo e nas características físico-químicas de frutos de manga
 "Tommy Atkins" durante o armazenamento / Mônica Maria de Almeida Lopes. – 2015.
 145 f. : il., color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de
 Bioquímica e Biologia Molecular, Programa de Pós-Graduação em Bioquímica, Fortaleza, 2015.
 Area de Concentração: Bioquímica Vegetal.
 Orientação: Profª. Dra. Maria Raquel Alcântara de Miranda.
 Coorientação: Dr. Ebenezzer de Oliveira Silva.
1. Fitoquímicos. 2. Mangifera. I. Título.

CDD 574.192

A **Nilo Sérgio Rodrigues Barros** (*in memoriam*).

Por seu companheirismo e amor dedicados em vida...

A **João Vitor Rodrigues Lopes** (*in memoriam*).

Por sua gentileza, amor e delicadeza...

Como prova de meu amor e consideração a vocês,

Dedico

À minha mãe **Maria Joaquina**, por seu exemplo de luta, fé, coragem e dedicação, e por ter feito de minha educação uma prioridade.

À minha irmã e acima de tudo minha querida amiga **Diana**, com quem compartilho todos os momentos de minha vida.

À minha **família**.

Como prova do meu amor e gratidão em medidas,

Ofereço

“Cada um de nós compõe a sua história

Cada ser em si

Carrega o dom de ser capaz

De ser feliz....

Almir Sater e Renato Teixeira

AGRADECIMENTOS}

A Deus, por me conceder força, determinação e discernimento para a realização deste trabalho.

À CAPES, CNPQ e ao INCT-Frutos Tropicais pelo suporte financeiro.

A Universidade Federal do Ceará - UFC, pela minha formação desde a graduação, em particular ao Departamento Bioquímica e Biologia Molecular, pela oportunidade concedida para a realização do curso de doutorado.

A Coordenação e a todos os Professores e Funcionários do programa de Pós-Graduação do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular (DBBM).

Aos meus familiares pelo apoio e compreensão, em especial a minha mãe Maria Joaquina de Almeida Lopes e minha irmã e melhor amiga Diana Maria de Almeida Lopes que participaram do meu processo de formação sempre me indicando os melhores caminhos, transmitindo-me confiança, coragem e fé em suas palavras.

Ao meu amado Nilo Sérgio Rodrigues Barros (*in memoriam*) por seu amor e companheirismo dedicados em vida e que certamente está muitíssimo orgulhoso e radiante por essa conquista. Ao meu querido sobrinho João Vitor Rodrigues Lopes (*in memoriam*) por sua alegria e carinho dedicado aos seus familiares, por onde passou deixou um caminho repleto de flores e cheio sorrisos...

A orientadora deste trabalho Dra. Maria Raquel Alcântara de Miranda por ter me direcionado durante toda a pesquisa com seus brilhantes direcionamentos, incentivando meu estágio sanduíche no exterior, e principalmente pela confiança depositada para realização deste trabalho, e por fim, pela grande oportunidade de tê-la como minha orientadora.

Ao pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical Dr. Ebenézer Oliveira Silva pela grande honra de tê-lo como meu co-orientador. Agradeço imensamente o fato de ter me

proporcionado a experiência de desenvolver o doutorado sanduíche no exterior e principalmente por seu entusiasmo e profissionalismo durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos Senhores participantes da banca examinadora por terem contribuído com suas valiosíssimas considerações.

Aos orientadores do estágio sanduíche no exterior Dr. Laurent Urban e Dra. Florence Charles da Universidade de Avignon (França) por terem me acolhido no laboratório Qualisud colaborando para o engrandecimento do trabalho.

A Embrapa Agroindústria Tropical, na pessoa do chefe geral Lucas Antônio de Sousa Leite, por ter permitido o desenvolvimento dos meus estudos e por disponibilizar a infraestrutura dos laboratórios de Fisiologia e Tecnologia Pós-Colheita de Frutos e Desenvolvimento de Produtos Naturais para a realização deste experimento.

Ao pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical Dr. Kirley Canuto pelas orientações oferecidas com muita presteza durante o período no qual estive realizando experimentos no Laboratório de Desenvolvimento de Produtos Naturais.

A Dra. Maria Izabel Gallão por ter disponibilizado seu laboratório e auxiliado nas avaliações histoquímicas realizadas no Departamento de Biologia.

A adorável e amada família LABFRUTOS- Laboratório de Bioquímica e Fisiologia de Frutos, pela harmoniosa convivência, disponibilidade, troca de conhecimentos e experiências proporcionando um ambiente de trabalho bastante agradável.

A todos os colegas e profissionais do Laboratório Qualisud (Avignon – França) pelo convívio agradabilíssimo, e principalmente por terem me proporcionando um ambiente de trabalho acolhedor.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho meu muito obrigada.

RESUMO

LOPES, M. M. A. L. **Efeitos da luz pulsada no metabolismo e nas características físico-químicas de frutos de manga “Tommy Atkins” durante o armazenamento.** Tese (Doutorado em Bioquímica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2015

A luz pulsada (LP) é uma tecnologia emergente usada como estressor abiótico para aumentar o teor de fitoquímicos em frutos e vegetais. No entanto, seus efeitos variam dependendo da cultivar, da dose hormética, do modo de aplicação da dose e do estágio de maturação do fruto. Neste trabalho, partimos da hipótese de que alterações no metabolismo dos frutos de mangas tratadas por baixas doses de luz pulsada desencadeariam respostas que resultariam em um impacto positivo sobre o conteúdo de fitoquímicos, sem qualquer efeito negativo sobre os parâmetros de qualidade dos frutos. Este trabalho foi dividido em três capítulos. O capítulo I trata de uma revisão de literatura e estado da arte dos principais tópicos abordados ao longo do estudo. No segundo capítulo (experimento I), mangas fisiologicamente maduras (estágio de maturação 3) foram submetidas a uma dose de luz pulsada de $0,6 \text{ J cm}^{-2}$ e analisadas decorridos 7 dias de armazenamento a $20 \text{ }^\circ\text{C}$, quanto às características físico-químicas [sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação SS/AT, aparência geral cor, firmeza], metabolismo antioxidante enzimático [dismutase do superóxido (SOD), catalase (CAT) e peroxidase do ascorbato (APX)] e não-enzimático [vitamina C, carotenóides totais, antocianinas totais, flavonóides amarelos, polifenóis totais, conteúdo de mangiferina e atividade antioxidante total], integridade de membrana [peroxidação lipídica (MDA), peróxido de hidrogênio e extravasamento de eletrólitos], atividade da fenilalanina amônia liase (PAL), atividade das enzimas de escurecimento [polifenoloxidase (PPO) e peroxidase do guaiacol (G-POD)], atividade das enzimas de parede celular [pectinametilsterase (PME) e poligalacturonase (PG)] e a influência do tratamento na histologia dos tecidos. A atividade das enzimas antioxidantes como a dismutase superóxido e a catalase encontraram-se elevadas tanto na polpa quanto na casca dos frutos expostos à LP após 7 dias a $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Não foram encontradas diferenças significativas nos indicadores de parede celular e integridade de membrana como o MDA, sugerindo que o estresse oxidativo associado à LP foi efetivamente prevenido através do aumento da atividade das enzimas antioxidantes após 7 dias. Atividades das enzimas de parede celular foram reduzidas após 7 dias nos frutos tratados. Observações macroscópicas e microscópicas confirmaram que os frutos não foram danificados pela LP. O conteúdo de carotenóides totais, fenólicos, e em menor extensão, a vitamina C, foram dramaticamente aumentados após 7 dias, tanto no epicarpo como mesocarpo tratados pela LP, resultando em frutos com alta capacidade antioxidante. Carotenóides aumentaram 350% na polpa tratada pela LP após 7 dias. Os níveis mais elevados de compostos fenólicos (+97%) na casca tratada foram associados a uma atividade aumentada da PAL (+98%) e conteúdo de mangiferina (+42%). As atividades da G-POD no mesocarpo e da PPO no epicarpo aumentaram 1268% e 22% respectivamente, após 7 dias nos frutos tratados, no entanto, não foi observado escurecimento dos frutos. Observou-se, ao final do primeiro experimento, um aumento dos fitoquímicos em mangas submetidas a dose hormética de $0,6 \text{ J cm}^{-2}$ sem alterações negativas na qualidade dos frutos. No terceiro capítulo (experimento II), mangas minimamente processadas (estágio de maturação 4), foram submetidas a quatro diferentes tratamentos: controle, 1 pulso, 4 pulsos e 1 pulso por dia durante 4 dias, com o objetivo de avaliar se o modo de aplicação da LP poderia interferir nas variáveis físico-químicas [firmeza, SS, cor, perda de matéria fresca e taxa de respiração], compostos bioativos [carotenóides e vitamina C] e atividade antioxidante total quando armazenamentos durante 7 dias a 6

°C. Amostras que receberam 4 pulsos alternados ($4 \times 0,7 \text{ J cm}^{-2} = 2,80 \text{ J cm}^{-2}$), aumentaram o conteúdo de ascorbato total (~40%) após 7 dias, no entanto, os cubos apresentaram-se mais escuros do que o tratamento que recebeu a mesma dose de 4 pulsos sucessivos. No final do período de armazenamento, as mangas minimamente processadas que receberam 4 pulsos sucessivos exibiram uma melhor qualidade em comparação com os demais tratamentos, que foi associado ao elevado teor de carotenóides ($0,894 \text{ mg g}^{-1} \text{ MF}$) e atividade antioxidante ($\sim 145 \mu\text{mol trolox } 100 \text{ g}^{-1}$). Como conclusão, nossos dados sugerem que uma dose hormética de luz pulsada pode ser utilizada para aumentar as concentrações de compostos fitoquímicos sem efeitos negativos na qualidade de frutos de mangas “Tommy Atkins”.

Palavras-chave: Fitoquímicos; Mangiferina; Minimamente Processado; Luz Pulsada; Epicarpo.

ABSTRACT

LOPES, M. M. A. L. **Effects of pulsed light on metabolism and physico-chemical characteristics of "Tommy Atkins" mangoes during storage.** Thesis (Doctorate in Biochemistry) - Federal University of Ceará, Fortaleza. 2015.

The pulsed light (PL) is a technology emergent used as abiotic stressor to increase the content of phytochemicals of fruits and vegetables. However, their effects vary depending on the cultivar, the dose hormetic, the mode of application of dose and the maturation stage of fruits. In this work, we start from the main hypothesis that changes in the metabolism of the fruits of mangoes treated with low doses of pulsed light would trigger responses that result in a positive impact on the content of phytochemicals, without any negative effect on the fruit quality parameters. This work was divided into three chapters. Chapter I is a literature review and state of the art of the main topics covered throughout the study. In the second chapter (experiment I), mangoes mature physiologically (maturation stage 3) were subjected to a hormetic dose of pulsed light 0.6 J cm^{-2} and analyzed after 7 days storage at $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, for the physicochemical characteristics [soluble solid (SS), titratable acidity (TA), SS/TA ratio, overall appearance, color and firmness], enzymatic antioxidant metabolism [superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and ascorbate peroxidase (APX)] and non-enzymatic [ascorbate, total carotenoids, total anthocyanins, yellow flavonoids, total phenolic, mangiferin content and total antioxidant activity], membrane integrity [lipid peroxidation (MDA), hydrogen peroxide content and electrolyte leakage], phenylalanine ammonia lyase activity (PAL), enzymes of enzymatic browning [polyphenoloxidase (PPO), peroxidase of guaiacol (GPOD) and activity of enzymes wall cell [pectinmethylesterase (PME) and polygalacturonase (PG)] and the influence of treatment on tissue histology. The activity of antioxidant enzymes such as catalase and superoxide dismutase was found to be substantially enhanced in both the epicarp and the mesocarp of fruits exposed to PL after 7 days at $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$. There were no differences in indicators of cell wall and membrane integrity such as MDA content suggesting that the PL-associated oxidative stress was effectively prevented by the enhanced activity of antioxidant enzymes after 7 days. Activities of cell wall enzymes were reduced after 7 days in the PL-treated fruits. Microscopic as well as macroscopic observations confirmed that PL-treated fruits were not damaged. We observed that contents in total carotenoids, in total phenolic, and, to a lesser extent, in vitamin C, were dramatically increased after 7 days, generally in both the epicarp and the mesocarp PL-treated resulting in fruits with high antioxidant capacity. Carotenoids increased 350% in treated-pulp at J7. The higher levels in phenolics in treated-peel (+97%) were associated with enhanced activity of PAL (+98%) and enhanced content in mangiferin (+42%). Although G-POD in the mesocarp and PPO in the epicarp increased 1268% and 22% respectively, after 7 days in the PL-treated fruits, we did not observe increases in browning. Was observed at the end of the experiment I an increase of phytochemicals in mangoes subjected to hormetic dose of 0.6 J cm^{-2} without negative changes in fruit quality. In the third chapter (experiment II), mangoes minimally processed (maturation stage 4) were subjected to four different treatments: control (not flashed), 1 pulse, 4 pulses, and 1 pulse (4 days) prior to storage at $6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ in order to assess whether the mode of application of the different doses used could interfere on physiochemical variables [firmness, color, SS, loss weight and rate respiration] the bioactive compounds [ascorbate (AsA) and carotenoids] and total antioxidant activity by a storage period of 7 days at $6 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Samples flashed with 1 pulse during 4 alternated days ($4 \times 0.6 \text{ J cm}^{-2} = 2.80 \text{ J cm}^{-2}$) increased the total ascorbate (AsA) (~40% more than the control) at time 7

days but the cubes of mangoes are darker than treatment that received the same dose of 4 successive pulses (2.80 J cm^{-2}). At end of storage fresh cut mangoes received 4 successive pulses exhibited a better quality in comparison to the other treatments that was associated a higher content carotenoid (0.894 mg g^{-1}) and antioxidant activity ($\sim 145 \text{ } \mu\text{mol trolox } 100 \text{ g}^{-1}$). In conclusion, our data suggest that a hormetic dose of pulsed light can be used to increase concentrations of phytochemical compounds without negative effects on the quality criteria.

Key Words: Phytochemicals; Mangiferin; Fresh cut; Pulsed light; Epicarp.

LISTA DE FIGURAS} ---

CAPÍTULO I.

1. Componentes do fruto da mangueira.....	24
2. Escala de maturação da manga ‘Tommy Atkins’	25
3. Fases de desenvolvimento dos frutos	26
4. Crescimento e desenvolvimento de frutos.....	27
5. Sistema antioxidante enzimático	33
6. Estrutura química do ácido ascórbico.....	34
7. Célula vegetal com diferentes compartimentos e organelas.....	35
8. Ciclo ascorbato-glutationa.....	36
9. Metabolismo dos compostos fenólicos em plantas.....	37
10. Estrutura das principais classes de flavonóides em plantas.....	38
11. Estrutura da mangiferina	40
12. Representação da transição de cloroplastos para cromoplastos	42
13. Fórmula estrutural de alguns carotenóides	43
14. Via de biossíntese dos carotenóides	44
15. Estrutura da parede celular vegetal.....	47
16. Ação das enzimas de parede celular na degradação da pectina.....	48
17. Mecanismo de ação enzimática das enzimas de escurecimento.....	50
18. Localização dos compostos fenólicos e enzimas de oxidação	51
19. Representação esquemática de uma unidade de luz pulsada de bancada	53
20. Interação da luz com a matriz alimentar.....	56
21. Espectro de distribuição da luz pulsada.....	56
22. Curvas características de efeito hormético	57
23. Mecanismo de proteção das plantas frente à radiação UV-C.....	60
24. Etapas gerais do processamento mínimo de produtos hortifrutícolas	63

CAPÍTULO II.

1. Polpa submetida ao teste do ácido periódico (PAS) após tratamento com luz pulsada durante armazenamento a 20 °C114
2. Modelo simplificado dos efeitos de uma baixa dose de luz pulsada no metabolismo de mangas.....116

CAPÍTULO III.

1. Alterações na cor de mangas “Tommy Atkins” minimamente processadas submetidas ao tratamento de luz pulsada armazenadas a 6 °C durante 7 dias.....134
2. Variáveis físico-químicas de mangas minimamente processadas submetidas ao tratamento de luz pulsada armazenadas a 6 °C durante 7 dias135
3. Mudanças nos compostos bioativos e atividade antioxidante total em mangas minimamente processadas submetidas ao tratamento de luz pulsada armazenadas a 6 °C para durante 7 dias.....138
4. Efeito de uma dose de quatro pulsos sucessivos em mangas minimamente processadas durante o período de armazenamento de 7 dias a 6 °C.....139

LISTA DE TABELAS} ---

CAPÍTULO I.

1. Ranking de produção mundial da manga em 2012.....	23
2. Polifenóis em diferentes partes do fruto da mangueira de várias espécies.....	39
3. Compostos fenólicos na casca do fruto da mangueira.....	40
4. Estudos relatando a aplicação pós-colheita do UV-C em frutos e vegetais	58
5. Efeito hormético da luz pulsada na pós-colheita	61

CAPÍTULO II.

1. Variáveis físico-químicas em polpa e casca de mangas “Tommy Atkins” tratadas com luz pulsada e armazenadas a 20 °C..	102
2. Atributos de cor e variáveis associadas em polpa e casca de mangas “Tommy Atkins” tratadas com luz pulsada e armazenadas a 20 °C.....	105
3. Variáveis associadas ao metabolismo antioxidante/oxidativo e atividade da fenilalanina amônia liase em polpa e casca de mangas “Tommy Atkins” tratadas com luz pulsada e armazenadas a 20 °C..	109
4. Correlação de Pearson (R) entre a concentração de compostos antioxidantes e a atividade antioxidante avaliada pelo método ABTS em mangas “Tommy Atkins” tratadas com luz pulsada e armazenadas por 7 dias a 20 °C.....	110
5. Firmeza e variáveis associadas em polpa e casca de mangas “Tommy Atkins” tratadas com luz pulsada e armazenadas a 20 °C	113

CAPÍTULO I. Fundamentação Teórica	21
1. Introdução Geral	21
1.1 Importância econômica e aspectos botânicos da mangicultura	22
1.2. Ponto de colheita e maturidade fisiológica.....	24
1.3. Desenvolvimento e padrão respiratório	26
2. Fisiologia pós-colheita da manga	29
2.1. Metabolismo oxidativo	29
2.1.2. Enzimático	31
2.1.3. Não-enzimático.....	33
2.2. Variáveis físico-químicas de qualidade pós-colheita	45
2.2.1. Firmeza	45
2.2.2. Estrutura Celular.....	46
2.2.3. Açúcares, Acidez e pH	48
2.2.4. Cor	49
3. Tecnologias de conservação pós-colheita	52
3.1. Tecnologia da luz pulsada e seus efeitos fisiológicos	52
3.2. Processamento mínimo e seus efeitos fisiológicos.....	62
4. Objetivos	65
5. Referências Bibliográficas	66

CAPÍTULO II. Baixa fluência de luz pulsada estimula o conteúdo de fitoquímicos em mangas “Tommy Atkins”	85
1. Introdução	86
2. Material e Métodos	89
2.1. Material vegetal	89
2.2. Tratamento de luz pulsada, preparo das amostras e armazenamento	89
2.3. Atributos físico-químicos	90
2.4. Atributos de cor e variáveis associadas	90
2.4.1. Sinal de estresse oxidativo e antioxidantes não enzimáticos	92
2.5.6 Atividade da PAL e enzimas antioxidantes	95
2.6. Firmeza e variáveis associadas	97
2.7. Análises histológicas	99
2.8. Delineamento experimental e análise estatística	100
3. Resultados e Discussão	101
3.1. Efeito da luz pulsada nas variáveis físico-químicas	101
3.2. Efeito da luz pulsada nos atributos de cor e variáveis associadas	103
3.3. Efeito da luz pulsada no metabolismo oxidativo/antioxidante e atividade da fenilalanina amônia liase... ..	106
3.4. Efeito da luz pulsada na firmeza e variáveis associadas... ..	110
3.5. Influência da luz pulsada na histologia dos tecidos.....	114
4. Conclusão	117
5. Referências	118

CAPÍTULO III: Impacto da dose e modo ação de aplicação de luz pulsada na qualidade e compostos bioativos de mangas minimamente processadas	126
1. Introdução	127
2. Material e Métodos	128
2.1. Processamento mínimo e tratamento de luz pulsada	128
2.2. Análises de qualidade	128
2.3. Bioativos e atividade antioxidante.....	130
2.4. Análise estatística e delineamento experimental	131
3. Resultados e Discussão	132
3.1. Efeito da luz pulsada nas variáveis físico-químicas	132
3.2. Efeito da luz pulsada nos compostos bioativos e atividade antioxidante	136
4. Conclusão	140
5. Referências	141

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS}

AA - Ácido Ascórbico

AAT- Atividade Antioxidante Total

ABTS - Radical 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)

AT - Acidez titulável

CAT - Catalase

EROs - Espécies Reativas de Oxigênio

FAO - Food and Agricultural Organization

MP - Minimamente Processados

GPOD - Peroxidase do Guaiacol

H₂O₂ - Peróxido de Hidrogênio

LP- Luz Pulsada

MDA - Malonaldeído

PAL - Fenilalanina amôniaíase

PG - Poligalacturonase

PME - Pectinametilesterase

PPO - Polifenoloxidase

SOD - Dismutase do Superóxido

SS - Sólidos Solúveis

UV-C- Luz Ultravioleta-C

CAPÍTULO I

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1. Introdução geral

A manga (*Mangifera indica* L.) é um fruto tropical de grande importância econômica e muito apreciada por suas características de sabor, aroma e coloração. De acordo com a Food and Agriculture Organization (FAO) (2012), o Brasil é o oitavo maior produtor de manga. Seu amadurecimento, como em todo fruto climatérico, é acompanhado por um pico de respiração e significativo incremento na produção do hormônio vegetal etileno, que é o principal agente promotor do amadurecimento do fruto. Esse processo culmina com respostas bioquímicas e fisiológicas, tais como a degradação da clorofila e acúmulo de carotenóides, mudanças de textura pelas modificações na parede celular e com o desenvolvimento de aroma e sabor, estes decorrentes do aumento de compostos voláteis e do balanço entre ácidos e açúcares (ALEXANDER; GRIERSON, 2002; GIOVANNONI, 2004; CARA; PRASANNA *et al.*, 2007).

Nos vegetais, vários fatores elicitores influenciam a biossíntese dos compostos provenientes do metabolismo secundário; dentre eles têm-se a incidência da radiação (UV) que, dependendo da intensidade a qual os organismos são expostos, pode desencadear a produção de compostos de tolerância ao estresse, com indução de genes e consequente modificação das rotas metabólicas. Uma vez que doses horméticas podem ativar a síntese de compostos bioativos de defesa nos vegetais, com propriedades antioxidantes, provenientes do metabolismo secundário, que atuam em defesa à oxidação celular, o uso da luz pulsada na pós-colheita emerge como uma técnica promissora frente à aplicação de radiação contínua (UV-C e UV-B) com relação a melhoraria da conservação do fruto e consequentemente incremento dos compostos benéficos para saúde humana (BAKA *et al.*, 1999; COSTA *et al.*, 2006; ERKAN *et al.*, 2007; SEVERO, 2009; LIU *et al.*, 2009; POMBO *et al.*, 2011; CRIZEL, 2012).

No entanto, estudos relatando os efeitos bioquímicos e/ou fisiológicos da aplicação da luz pulsada em frutos tropicais tanto íntegros como em minimamente processados são escassos. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho de tese está centrado na compreensão das respostas bioquímicas e fisiológicas decorrentes do efeito hormético da luz pulsada em mangas cv. Tommy Atkins, com a finalidade de dispor tecnologias adequadas, que permitam manter a boa qualidade, extensão da vida útil pós-colheita e incremento de fitoquímicos dos frutos para comercialização.

2. Importância econômica e aspectos botânicos da mangicultura

Atualmente, a mangicultura é uma das principais atividades do agronegócio frutícola não somente no Brasil como no mundo, apresentando desempenho crescente nos últimos anos. Esta atividade está dividida basicamente em duas rotas de produção, uma para o consumo de frutas in natura para o mercado interno e externo, e outra para a sua agroindustrialização, notadamente para produção de sucos e polpas. As principais variedades cultivadas no Brasil em áreas comerciais são: ‘Tommy Atkins’, ‘Haden’, ‘Keitt’, ‘Van Dyke’, ‘Rosa’ e ‘Ubá’ (FARAONI *et al.*, 2009). Dentre elas, destaca-se a ‘Tommy Atkins’, por ser a mais cultivada e exportada no País, por ter boa produtividade, boa capacidade de adaptação a diferentes ambientes de cultivo, maior tolerância a certas doenças, como o oídio, a antracnose e a verrugose, além de apresentar frutos com boa qualidade e boa conservação pós-colheita (CARVALHO, 2004).

O Nordeste brasileiro responde por 66% da produção nacional de manga, com destaque para o município de Juazeiro da Bahia com 26% do total produzido no país (IBGE, 2012). De acordo com dados recentes de produção da manga, a Índia produziu cerca de 15,25 milhões de toneladas de manga destacando-se no ranking mundial como o maior produtor desta cultura, com um aumento na produção em torno de 10% em relação a 2011 FAO, 2012. O Brasil com uma produção de 1,17 milhões de toneladas ocupa o 8º lugar no ranking, descendo uma posição em relação ao ano de 2011, quando havia atingido uma produção de 1,24 milhões de toneladas (FAO, 2015) (**Tabela 1**). Com relação à exportação de manga pelo Brasil, de acordo com os dados levantados pela FAO no ano de 2011 (FAO, 2015), o país apareceu como o quarto maior exportador (126 mil toneladas), e tomando como base o Mango Crop Report (2012) a estimativa é de que a cultivar Tommy Atkins seria a principal variedade de manga exportada pelo Brasil no ano de 2012, representando um total de 95% do volume das exportações.

A mangueira (*Mangifera indica* L.) pertence à classe das Dicotiledôneas e à família *Anacardiaceae*. O gênero *Mangifera* inclui cerca de 60 espécies, das quais a *M. indica* é a mais importante, embora existam outras espécies que produzam frutos comestíveis, como a *M. altissima*, *M. caesia*, *M. lagenifera*, *M. macrocarpa*, *M. odorata* e *M. sylvatica* (SANTOS-SEREJO, 2005). A mangueira nativa do sul e sudeste da Ásia

disseminou-se para diversas partes do mundo, sendo atualmente produzida nas regiões tropicais e subtropicais (CUNHA *et al.*, 1994; JAMES; NGARMSAK, 2010).

Tabela 1. Ranking de produção mundial da manga em 2012**.

	País	Produção (Toneladas)
1º	Índia	15.250.000
2º	China	4.400.000
3º	Quênia	2.781.706
4º	Tailândia	2.650.000
5º	Indonésia	2.376.339
6º	Paquistão	1.950.000
7º	México	1.760.588
8º	Brasil	1.175.735

*FAO (2015) ** últimos levantamentos de produção

A mangueira é uma árvore frondosa com porte variando de médio a grande, podendo atingir cerca de 40 metros ou mais, com copa simétrica de forma arredondada baixa à forma piramidal alta, podendo ser densa ou aberta (SANTOS-SEREJO, 2005). O sistema radicular é composto por uma raiz principal longa e vigorosa com grande número de raízes superficiais (MUKHERJEE; LITZ, 2009).

O fruto da mangueira é uma grande drupa carnosa indeiscente, com formato alongado, ovóide, oblongo ou arredondado, é composto por exocarpo (casca), mesocarpo (polpa) e endocarpo (semente), de aparência exótica (**Figura 1**). O endocarpo monoembriônico corresponde a 60% do peso total do fruto. O exocarpo com coloração que geralmente varia do amarelo ao roxo quando o fruto está maduro alcança 35% do peso total do fruto. O mesocarpo é comestível, de espessura variável, succulento, apresentando teor médio de fibras que se originam a partir do endocarpo, com coloração que vai do amarelo ao alaranjado (JUDD *et al.*, 2009; MUKHERJEE; LITZ, 2009, GOMES, 2010).

A cultivar Tommy Atkins é originária da Flórida-EUA e é caracterizada por apresentar frutos grandes com médias de 12 cm de comprimento, 10 cm de largura, 9 cm de espessura e pesam de 400 a 700 g. A forma é oval de ápice arredondado com inserção peduncular moderadamente saliente, epicarpo grosso, bastante resistente ao transporte e ao armazenamento. Quando na maturidade fisiológica, o fruto apresenta

coloração arroxeadado-púrpura e quando maduro, vermelho-amarelo-brilhante (SANTOS, 2003).

Marques *et al.* (2010), em um estudo sobre a composição centesimal e de minerais da casca e polpa da manga da cultivar Tommy Atkins, verificaram que o conteúdo de fibra alimentar da casca é superior ao da polpa, classificada como rica nesse nutriente. Além disso, o conteúdo de proteínas e amido da casca foram maiores em relação à polpa, assim como os teores de magnésio, fosforo, sódio, potássio e cálcio.

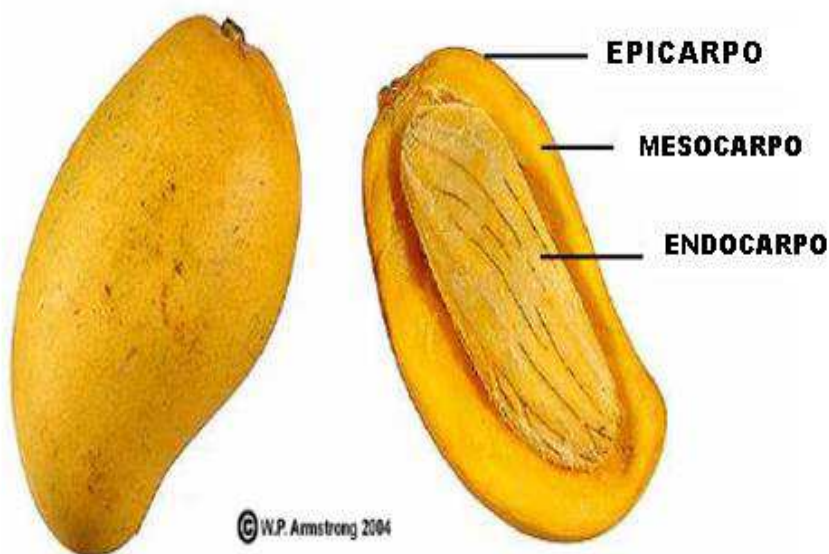


FIGURA 1. Componentes do fruto da mangueira. **FONTE:** Fruitop, 2015.

1.2 Ponto de colheita e maturidade fisiológica

O momento da colheita é uma das mais importantes decisões visando à qualidade da manga. Frutos colhidos antes da maturidade ideal podem amadurecer, mas haverá o desenvolvimento de sabor e aroma inferiores. Na manga, a identificação da maturidade é baseada, principalmente, através de observação da rugosidade e brilho da casca, do enchimento ou formação de “ombro” na região do pedúnculo, dias pós-colheita, aspecto das lenticelas, acidez, textura da polpa, e coloração tanto da casca quanto da polpa (MEDICLOTT, 1988; LIMA *et al.*, 2009; NASSUR, 2013).

Considerando que a composição química da manga varia com as condições de cultivo, a cultivar e o estágio de maturação, além de outros fatores, o amplo conhecimento da evolução da maturação desse fruto, nas condições regionais de cultivo,

permitirá definir com maior segurança o ponto de colheita que potencializa a vida útil e permitir manejo pós-colheita adequado, ao mesmo tempo em que assegura a aparência, sabor e o valor nutricional desejados pelos consumidores (CARDELLO; CARDELLO, 1998).

De acordo com Alves *et al.* (2002), a maturação mínima para colheita da variedade Tommy Atkins é quando a mesma apresenta cor de polpa 1 (creme), cor de casca 2 (verde claro), firmeza 129,41 Newtons (N) e sólidos solúveis de 7,3 °brix. Entretanto, é recomendado para que as mangas que se destinam à Europa e ao Canadá sejam colhidas com cor de polpa correspondente ao grau entre 2 (até 30% da área da polpa de coloração amarela e o restante creme) e 3 (amarelo), da escala subjetiva proposta por Protrade (1992) (**Figura 2**).



FIGURA 2. Escala de maturação da manga ‘Tommy Atkins’ segundo sua coloração de casca (**A**) e da polpa (**B**), conforme Protrade (1992). **FONTE:** Foto de Sousa (2014).

1.3 Desenvolvimento e padrão respiratório

O desenvolvimento dos frutos da mangueira inicia-se com uma rápida multiplicação celular, durante cerca de três semanas, seguido por um alargamento das células por, aproximadamente, quatro semanas. O tamanho máximo dos frutos é atingido de 10 a 28 semanas após o início da frutificação e coincide com a maturidade fisiológica. O teor de amido na polpa atinge o pico nesse ponto, seguido por um acentuado decréscimo no amadurecimento (TANDON; KALRA, 1983).

O processo de desenvolvimento, com as fases de formação, crescimento, maturação e senescência dos órgãos da planta, ocorre mediante um conjunto de diferentes processos fisiológicos, bioquímicos e genéticos, durante o qual um tecido novo é formado e levado a senescência com a morte das células. A maturação pode ser definida como a sequência de mudanças bioquímicas, fisiológicas e estruturais dos frutos, conduzindo a um estado que os torna comestíveis. O amadurecimento é um evento interessante nesse ciclo vital dos frutos, por transformá-los em produtos atrativos e aptos para o consumo humano. A senescência, portanto, corresponde aos processos que ocorrem após a maturidade fisiológica ou horticultural e que, por serem predominantemente degradativos e irreversíveis, resultam na morte dos tecidos (WATADA *et al.*, 1984; KLUGE *et al.*, 2002; CHITARRA; CHITARRA, 2005) (**Figura 3**). O amadurecimento envolve uma série de complexos eventos bioquímicos, tais como: alterações na textura, conversão de amido e ácidos em açúcares, desestruturação ou conversão dos cloroplastos em cromoplastos e consequente degradação da clorofila, aparecimento de carotenóides e antocianinas, polimerização de fenólicos e produção de álcoois, ésteres e outros (**Figura 4**) (SPEIRS; BRADY, 1991).

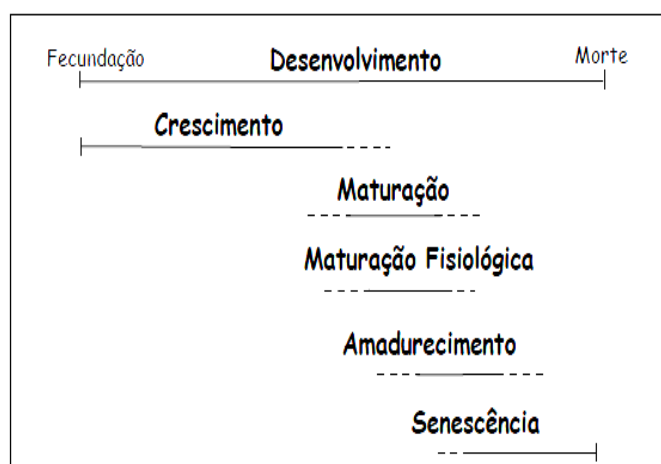


FIGURA 3. Fases de desenvolvimento dos frutos. **FONTE:** Watada *et al.* (1984).

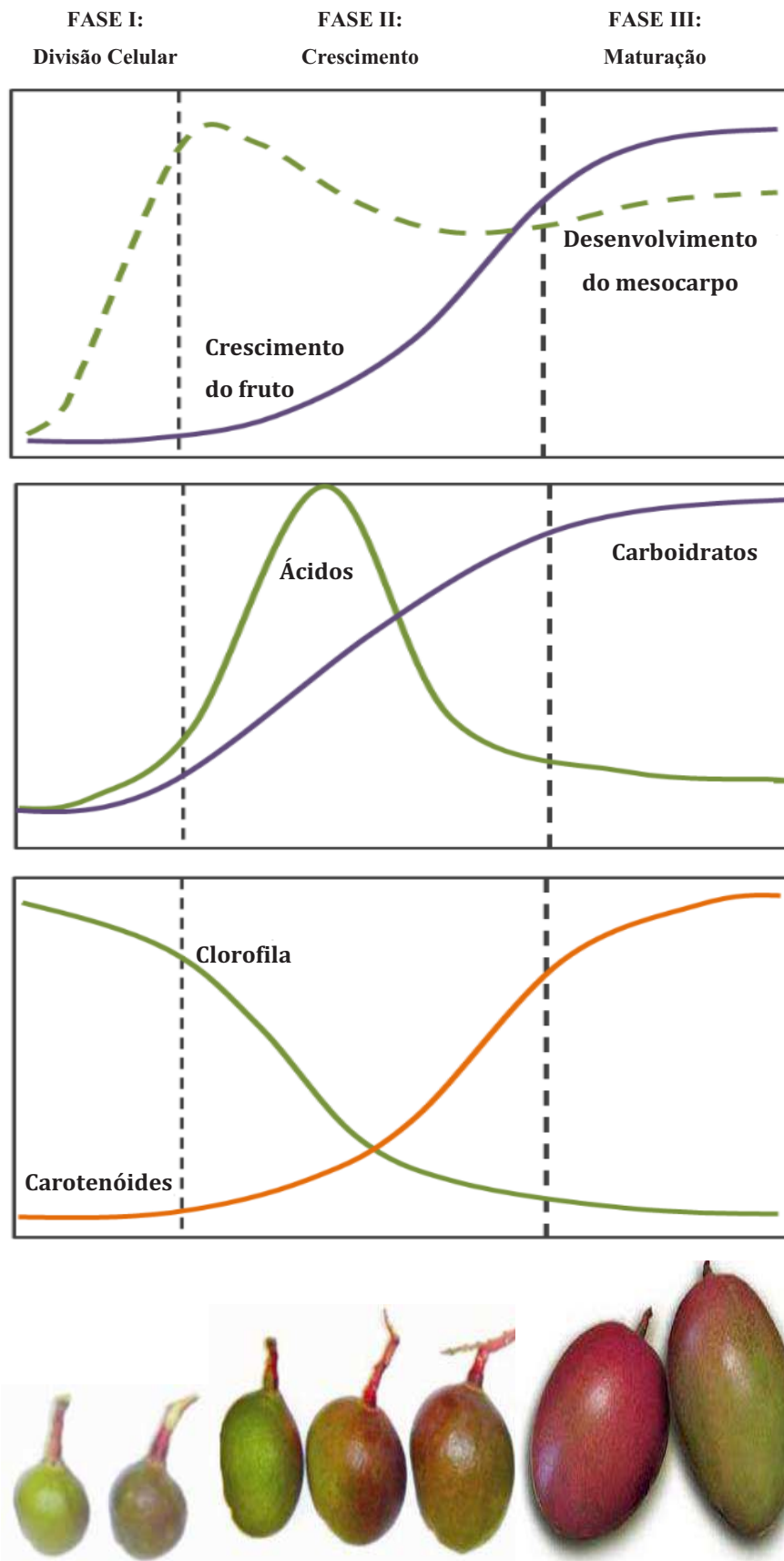


FIGURA 4. Crescimento e desenvolvimento de frutos. **FONTE:** Spiegel-Roy; Goldschmidt (1996) e Tadeo *et al.* (2008).

A respiração é o processo biológico pelo qual os compostos orgânicos reduzidos são metabolizados e, subsequentemente, oxidados de maneira controlada. Durante a respiração, a energia livre é liberada e transitoriamente armazenada na forma de adenosina trifosfato (ATP), o qual pode ser prontamente utilizado para a manutenção e o desenvolvimento da planta (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Cada espécie apresenta uma taxa respiratória específica e esta atividade pode variar entre as cultivares, dentro de uma mesma espécie. A atividade respiratória dos frutos também é influenciada por fatores, como por exemplo, a relação entre a área superficial e o volume, a temperatura de armazenamento, a concentração de oxigênio e o acúmulo de etileno atmosférico, além de danos mecânicos entre outros (MAIA *et al.*, 2009).

De acordo com a presença ou ausência da produção autocatalítica de etileno, durante o processo de maturação, os frutos, geralmente, podem ser classificados em não climatérico ou climatérico. Os frutos não climatéricos não apresentam grandes mudanças no padrão respiratório, enquanto os frutos climatéricos apresentam um aumento rápido e acentuado na atividade respiratória, resultando em intensas transformações no seu desenvolvimento, durante o amadurecimento (ALEXANDER; GRIERSON, 2002; CHAVES; MELO-FARIA, 2006).

Como um fruto climatérico, a manga exibe padrão de respiração climatérico e aumento na produção de etileno durante o amadurecimento. A respiração é alta após a frutificação, diminuindo e mantendo-se em baixas taxas até o amadurecimento. Esse processo culmina com respostas bioquímicas e fisiológicas, tais como a degradação da clorofila e acúmulo de carotenóides, mudanças de textura pelas modificações na parede celular e com o desenvolvimento de aroma e sabor, estes decorrentes do aumento de compostos orgânicos voláteis e do balanço entre ácidos e açúcares (ALEXANDER; GRIERSON, 2002; GIOVANNONI, 2004; PRASANNA *et al.*, 2007; CARA; GIOVANNONI, 2008; BRECHT; YAHIA, 2009).

O conteúdo de ácido 1-aminociclopropeno-1-carboxílico (ACC), o precursor imediato de etileno, aumenta em diferentes tecidos (epicarpo e mesocarpo) durante o amadurecimento, ao passo que a ACC oxidase (ACO), que catalisa a conversão de ACC a etileno. O epicarpo da manga tem as maiores taxas de produção de etileno e ACO e menores taxas de acumulação de ACC do que o mesocarpo no estágio verde-maduro segundo Reddy e Srivastava (1999).

2. Fisiologia pós-colheita da manga

Os frutos, mesmos após a colheita, continuam respirando intensamente, uma vez que requerem energia para continuarem mantendo os processos metabólicos como a síntese de pigmentos, enzimas e outros materiais de estrutura celular elaborada (CHITARRA; CHITARRA, 2005). A energia é obtida através da decomposição oxidativa e liberação de energia de moléculas mais complexas (amido, açúcares, ácidos orgânicos) de suas próprias reservas, em moléculas simples (CO_2 e H_2O). Assim, a taxa de respiração é indicativa da rapidez com que as mudanças na composição físico-química ocorrem nos frutos e o controle desse processo é essencial para a conservação e comercialização (AWAD, 1993). Sigrist (1992) diz que a continuidade do processo de maturação (respiração) sob o ponto de vista das tecnologias pós-colheita, pode ser afetado por uma série de fatores, principalmente ambientais, que são: temperatura, disponibilidade de oxigênio, gás carbônico e etileno.

Em condições fisiológicas normais, radicais livres são formados durante o metabolismo celular por enzimas que participam da respiração mitocondrial ou por reações não enzimáticas entre o oxigênio e outros compostos orgânicos nos frutos. Em tais condições, a concentração desses radicais é mantida baixa devido a um eficiente sistema de eliminação das espécies reativas de oxigênio (EROs) que incluem enzimas e antioxidantes não enzimáticos. No entanto, em condições patológicas os radicais livres acumulam-se em concentrações mais altas e induzem um estresse oxidativo que acarreta numa série de danos irreversíveis, resultando em impedimento metabólico, desde que os radicais livres reagem rapidamente com todos os tipos de biomoléculas (WANG; JIAO, 2001).

2.1 Metabolismo oxidativo

O termo radical livre é frequentemente usado para designar qualquer átomo ou molécula contendo um ou mais elétrons desemparelhados nos orbitais mais externos, o que torna essas moléculas altamente reativas e capazes de reagir com qualquer composto que esteja próximo, passando a assumir uma ação oxidante (HALLIWELL; WHITEMAN, 2004). Entretanto, o termo não é ideal para designar todos os agentes reativos, pois, alguns destes não possuem elétrons desemparelhados, como é o caso do peróxido de hidrogênio (H_2O_2). Apesar do H_2O_2 não ser um radical livre, ele pode ser

bastante danoso às células, principalmente devido a sua reação com o ânion superóxido, formando o radical hidroxil ($\cdot\text{OH}$) que é altamente reativo (HALLIWELL, 1991).

As EROs incluem os radicais livres e outras espécies que, embora não possuam elétron desemparelhado, são muito reativas devido a sua instabilidade (RIBEIRO *et al.*, 2005). O radical hidrogênio ($\text{H}\cdot$), que contém um próton e um elétron, é o mais simples de todos os radicais. As reações em cadeia dos radicais livres são então iniciadas pela remoção do $\text{H}\cdot$ de outras moléculas, como, por exemplo, durante a peroxidação lipídica (VANNUCHI; JORDÃO-JÚNIOR, 2005). O oxigênio molecular (O_2) contém dois elétrons desemparelhados e, apesar de ser considerado um birradical livre, apresenta baixa reatividade devido à chamada “restrição do spin”. Os elétrons do oxigênio molecular apresentam spins paralelos e quando o O_2 tenta oxidar outro átomo ou molécula, os spins destes devem estar na mesma condição, o que raramente ocorre em sistemas biológicos. A maioria das moléculas são não radicais ligados covalentemente, e os elétrons que formam uma ligação covalente apresentam spins opostos, ocupando o mesmo orbital molecular (HALLIWELL; GUTTERIDGE, 2006).

A formação de EROs tem início a partir da eliminação da restrição do spin do O_2 , que sofre rearranjo em seus elétrons. A nova conformação gera o oxigênio singleto ($^1\text{O}_2$) que, por possuir dois elétrons em spins opostos, apresenta grande capacidade de oxidação. As outras formas de EROs de importância biológica são produzidas por reduções parciais do oxigênio e incluem: íon superóxido ($\text{O}_2^{\cdot-}$), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e radical hidroxil ($\cdot\text{OH}$) (FOOTE *et al.*, 1985).

Em determinadas condições, os radicais livres de oxigênio, com seus elétrons não pareados, podem atacar e danificar, praticamente, qualquer molécula encontrada no organismo. São tão ativos que, uma vez formados, ligam-se a diferentes compostos em frações de segundo, podendo entregar seu elétron não pareado ou capturar um elétron de outra molécula atacada, transformando-a, por sua vez, em um radical e iniciando uma reação em cadeia (YOUNGSON, 1995).

Os antioxidantes são compostos, que mesmo em baixas concentrações, possuem capacidade de reagir com as EROs, retardando ou prevenindo sua oxidação, quelando os íons metálicos e prevenindo a oxidação lipídica e assim restringindo os efeitos maléficos ao organismo vegetal. Durante o metabolismo celular normal dos frutos, diversas espécies reativas são produzidas, mas o vegetal possui defesas antioxidantes para controlar e retirar essas espécies, a fim de manter-se em equilíbrio. Os mecanismos de defesa são baseados em enzimas como a dismutase do superóxido

(SOD) a catalase (CAT) e a peroxidase do ascorbato (APX), as quais apresentam capacidade para bloquear o início da oxidação, e moléculas antioxidantes não enzimáticas ou nutricionais como o ácido ascórbico, os carotenóides e os compostos fenólicos, que interagem com as EROs e são consumidos durante a reação (TREVISAN, 2008; ARAÚJO, 2009; TORRES, 2009; ZIMMERMANN, 2010).

2.1.1. Enzimático

A produção de EROs durante a respiração na mitocôndria é causada pela fuga de elétrons inerentes ao funcionamento da cadeia respiratória os quais reduzem parcialmente o oxigênio molecular (O_2) formando as EROs. Essa fuga de elétrons se faz na desidrogenase do NADH pertencente ao Complexo I e também no citocromo bc1 (Complexo III) (RICH; BONNER, 1978; TURRENS; BOVERIS; 1980; BROOKES, 2005). Enquanto que as principais fontes de EROs são os complexos I e III, as flavoproteínas do complexo II também podem contribuir para a formação de íons superóxido (YOUNG *et al.*, 2002). Esta produção de EROs é inseparável do processo respiratório e fortemente modulado por condições ambientais (MOLLER, 2001).

A produção de EROs aumenta cada vez que o fluxo de elétrons processados pela citocromo c oxidase é retardada, e cada vez que o fluxo de elétrons da cadeia transportadora de elétrons aumenta para além da capacidade da via respiratória, isto é o que leva à formação de uma reserva de ubiquinona (Q) reduzida (RHOADS *et al.*, 2006). Superóxido é formado, e então, convertido a H_2O_2 por dismutação espontânea ou pela ação da enzima dismutase do superóxido (BOVERIS; CHANCE, 1973).

Baseando-se no metal cofator utilizado pela enzima, as diversas isoformas da SOD são classificadas em três grupos: Ferro SOD (FeSOD), localizada nos cloroplastos, manganês SOD (MnSOD) em mitocôndrias, e cobre/zinco SOD (Cu/ZnSOD), presente em cloroplastos, no citosol e possivelmente no espaço extracelular (SCANDALIOS, 2005) (**Figura 5**).

A SOD participa ativamente na remoção do $\cdot O_2^-$, gerado através de diferentes processos do metabolismo celular, tais como o transporte de elétrons na mitocôndria e cloroplastos (ELSTNER, 1991). O Zn encontra-se associado ao cobre (Cu) na isoenzima dismutase do superóxido dependente de Cu e Zn (Cu/ZnSOD). Muito provavelmente o átomo de cobre é o componente catalítico e o zinco é o componente estrutural da Cu/ZnSOD. Contudo, na deficiência do Zn, a atividade da Cu/ZnSOD é

drasticamente reduzida, mas pode ser restabelecida *in vitro* pelo suprimento de Zn (MARSCHNER, 1995). Portanto, o átomo de Zn é um componente estrutural essencial para o funcionamento normal da Cu/ZnSOD. O radical superóxido é um dos principais oxidantes responsáveis pela peroxidação de lipídios e consequente aumento na permeabilidade das membranas (CAKMAK; MARSCHNER, 1989). O produto da dismutação do superóxido pela SOD, o H_2O_2 , deve ser removido a fim de evitar sua conversão em radicais mais reativos, como o $\cdot OH$ (PERL-TREVES; PERL, 2002) (**Figura 5**).

A CAT presente nos peroxissomos removendo o H_2O_2 gerado durante a fotorrespiração e a β -oxidação dos ácidos graxos. É uma das enzimas chave envolvidas na remoção de peróxidos tóxicos nas células apenas quando estes estão em concentrações altas, pois apresenta baixa afinidade pelo H_2O_2 (MITTLER, 2006). A CAT pertence à família das oxirredutases presente universalmente nos organismos que decompõem H_2O_2 em H_2O e O_2 . Em plantas, as CAT são encontradas nos peroxissomos, glioxissomos, citosol e mitocôndrias (PERL-TREVES; PERL, 2002) (**Figura 5**).

A desintoxicação pela ascorbato peroxidase (APX) ocorre com a oxidação de ascorbato, reação que resulta em monodeidroascorbato (MDHA) e H_2O . A APX é uma importante enzima do sistema de defesa antioxidante, e é considerada chave no ciclo da glutathiona-ascorbato que reduz o H_2O_2 (quando em baixas concentrações na célula) até água usando ascorbato como doador de elétrons, resultando na formação de deidroascorbato. Deste modo, a SOD age como primeira linha de defesa convertendo o $\cdot O_2^-$ a H_2O_2 . A APX e a CAT agem, portanto desintoxicando o H_2O_2 (NAKANO; ASADA, 1980) (**Figura 5**). O estresse oxidativo pode ativar a morte celular programada devido à peroxidação lipídica de membranas, oxidação de proteínas, inibição enzimática e danos ao DNA e RNA. Por outro lado, as EROs também podem agir como sinalizadoras em vários processos intrínsecos de crescimento e desenvolvimento adaptativos (PITZSCHKE *et al.*, 2006), além de atuarem como mensageiros secundários envolvidos na ativação de genes de resposta ao estresse e rotas de defesa (DESIKAN *et al.*, 2001; MILLER *et al.*, 2008).

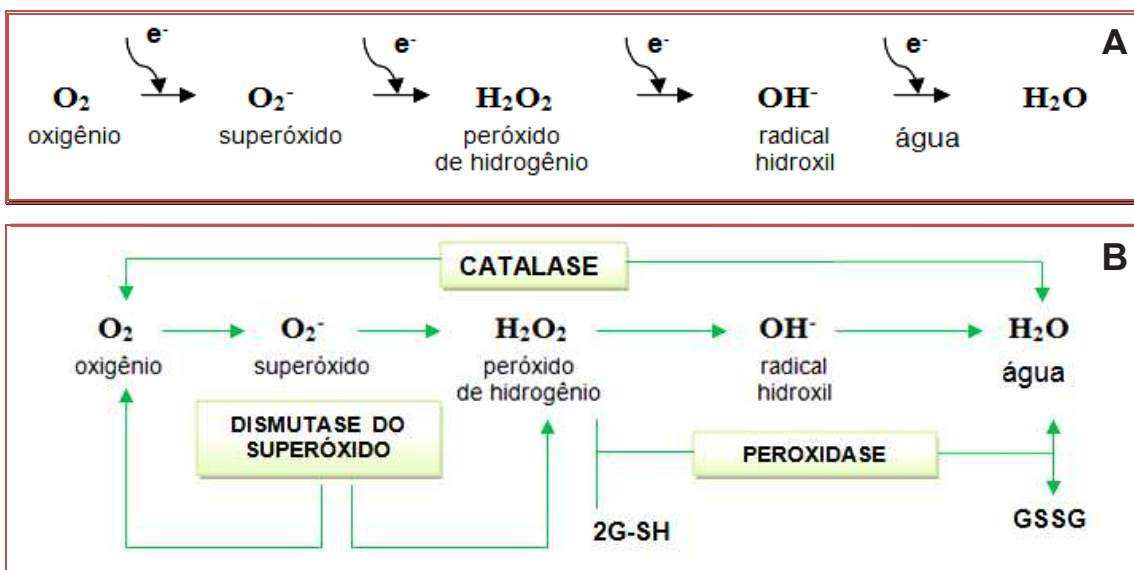


FIGURA 5. Sistema antioxidante enzimático. (A) Redução do oxigênio em espécies reativas (B) Atuação do complexo enzimático antioxidante na remoção das espécies reativas de oxigênio. **FONTE:** Appel; Hirt (2004).

2.1.2. Não enzimático

Os frutos são considerados fontes importantes de macro e micronutrientes, mas também possuem outros compostos com propriedades bioativas, que promovem benefícios adicionais à saúde e protegem o corpo humano contra diferentes doenças crônicas, como obesidade, diabetes mellitus, dislipidemias, hepatopatias e cânceres (DEMBITSKY *et al.*, 2011; DEVALARAJA *et al.*, 2011; WOOTTON-BEARD; RYAN, 2011). Os compostos bioativos, de natureza antioxidante, naturalmente presentes nos frutos e seus subprodutos, têm despertado interesse devido aos efeitos benéficos na saúde e bem-estar, e ainda na prevenção de doenças. Mangas são frutos ricos em antioxidantes, como compostos fenólicos e carotenóides. A perda de adstringência durante o amadurecimento de mangas está associada com a diminuição do conteúdo de compostos fenólicos e o seu consumo tem sido associado a importantes benefícios à saúde (ORNELAS *et al.*, 2008; YAHIA, 2010).

Os antioxidantes podem ser encontrados em diversas matrizes vegetais e são muito importantes para a manutenção da saúde de quem os consome. Nos frutos, os principais tipos de compostos não-enzimáticos com propriedades bioativas estão relacionados a três grandes grupos: vitaminas, com destaque para a vitamina C, compostos fenólicos e carotenóides (BARRETO, 2011).

A vitamina C é considerada de alta ação antioxidante porque sua molécula apresenta a propriedade de se oxidar primariamente às demais moléculas, impedindo e protegendo-as da oxidação. O ácido ascórbico, de fórmula química $C_6H_8O_6$ (**Figura 6**), apresenta quatro hidroxilas (OH) livres que interagem com as moléculas dos radicais livres. Essa interação resulta na remoção de um átomo de hidrogênio entre as hidroxilas localizadas na posição C=C, com posterior eliminação de uma molécula de água. A dupla ligação entre os carbonos faz com que a molécula do ácido ascórbico se mantenha estável e ao mesmo tempo possa atuar contra os radicais livres, reduzindo a velocidade das reações de oxidação (LAMEIRO, 2012).

O ácido ascórbico é essencial para os seres humanos uma vez que eles são incapazes de sintetizá-lo. Vários autores encontraram diminuição do teor de ácido ascórbico durante o amadurecimento de mangas, de diferentes variedades (AINA, 1990; GOFUR *et al.*, 1994; VINCI *et al.*, 1995). Silva *et al.* (2012) verificaram teores de ácido ascórbico variando entre 7,47 a 34,27 mg 100 g⁻¹ na polpa fresca em frutos das cultivares Parwin, Palmer, Tommy Atkins, Bourbon e Haden.

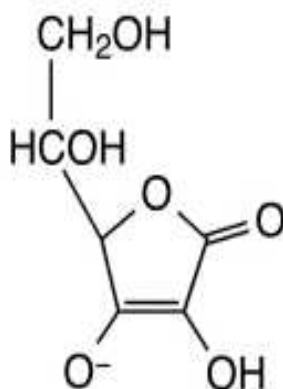


FIGURA 6. Estrutura química do ácido ascórbico. **FONTE:** Rice (2000).

Na célula vegetal, o ascorbato está presente em vários compartimentos celulares (citossol, cloroplastos, mitocôndrias, vacúolo e apoplasto) (HOREMANS *et al.*, 2000) e em diferentes concentrações (**Figura 7**). O ascorbato acumula-se de maneira importante nos cloroplastos onde pode alcançar até 40% da quantidade de ascorbato total na folha (FOYER *et al.*, 1983). Quantidades consideráveis são vistas no apoplasto (VANACKER *et al.*, 1998), citossol e vacúolo (RAUTENKRANZ *et al.*, 1994). Esse acúmulo é relacionado com a função do ascorbato na detoxicação de EROs produzidas pelo metabolismo celular (POTTERS *et al.*, 2002). O ascorbato participa de maneira

indireta dos mecanismos de detoxificação enzimáticos graças à ação de enzimas antioxidantes como a APX que participa do ciclo do ascorbato/glutationa (DAVEY *et al.*, 2000; CONKLIN, 2001). Esse ciclo foi descrito pela primeira vez em 1976 por Foyer e Halliwell (**Figura 8**).

A APX utiliza o ascorbato como doador de elétrons para reduzir o H_2O_2 em água e monodeidroascorbato (MDHA). O MDHA é então dissociado em ascorbato e DHA, que é reduzido em ascorbato a MDHAR. O DHA poderá ser também reduzido em ascorbato pela DHAR, uma enzima dependente da oxidação da glutathiona. A glutathiona oxidada (GSSG) é novamente reduzida para glutathiona reduzida (GSH) por ação da glutathiona redutase (GR). (FOYER *et al.*, 1994).

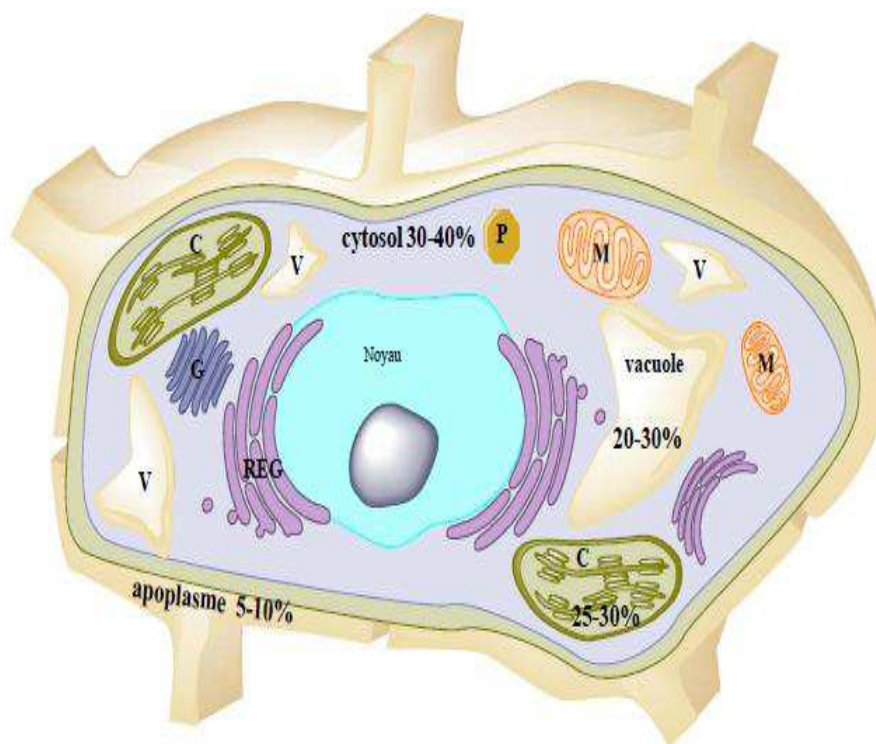


FIGURA 7. Célula vegetal e seus diferentes compartimentos e organelas (V, vacúolo; M, mitocôndria; C, cloroplasto; P, peroxissomos; REG, retículo endoplasmático rugoso; G, Complexo de Golgi). Os teores de ascorbato em diferentes compartimentos são expressos em porcentagem. **FONTE:** Horemans *et al.* (2000).

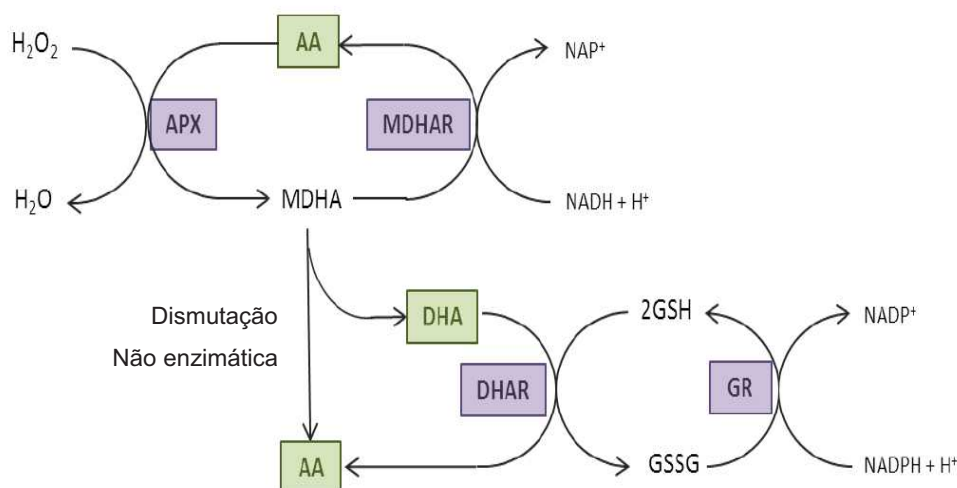


FIGURA 8. Ciclo ascorbato-glutationa. AA: ascorbato reduzido; APX: ascorbato peroxidase; DHA: deidroascorbato; DHAR: deidroascorbato redutase; GSSG: glutaciona oxidada; GSH: glutaciona reduzida; GR: redutase da glutaciona; H_2O_2 : peróxido de hidrogênio; MDHAR: redutase do monodeidroascorbato. **FONTE:** Foyer; Noctor (2009).

Os compostos fenólicos ou polifenóis são largamente distribuídos no reino vegetal, influenciando fortemente a qualidade dos frutos, pois exercem uma contribuição sensorial e nutricional (ABIDI *et al.*, 2011). São derivados metabólicos da fenilalanina proveniente da rota do ácido chiquímico em células vegetais. A fenilalanina amônialiase (PAL, do inglês) é a enzima chave na regulação da via metabólica dos fenilpropanóides, conforme ilustra a **figura 9**, convertendo a L-fenilalanina em ácido transcinâmico e iniciando a biossíntese de fenólicos. Fatores genéticos irão determinar quais classes e subclasses desses compostos serão sintetizadas (NACZK; SHAHIDI, 2006).

Os compostos fenólicos pertencem a uma classe de substâncias químicas que incluem uma grande diversidade de estruturas, simples e complexas e estão localizados em vacúolos, mitocôndrias, cloroplastos e no citosol da célula vegetal (NACZK; SHAHIDI, 2006; KANNAN, 2011; LAMEIRO, 2012; D'ÁVILA, 2013). Sua estrutura molecular básica é constituída por um anel aromático no qual ao menos um hidrogênio é substituído por um grupamento hidroxila. Existem mais de 8000 compostos fenólicos no reino vegetal, que variam amplamente em complexidade. A presença de compostos fenólicos específicos em cada fruto pode estar relacionado a fatores como o tipo de

fruto, cultivar, localização geográfica da planta e às condições ambientais e climáticas durante seu crescimento, assim como à incidência de doenças (VIZZOTO *et al.*, 2010).

Os compostos fenólicos são metabólitos secundários dos frutos, sendo parcialmente responsáveis pela cor, sabor, aroma e adstringência, além de estarem envolvidos no processo de crescimento e reprodução (ABIDI *et al.*, 2011; KANNAN, 2011). De acordo com Pertuzatti (2009), a quantificação do total de compostos fenólicos é uma estimativa do conteúdo de todos os compostos pertencentes às subclasses de compostos fenólicos presentes em uma amostra, ou seja, que possuem ao menos um anel aromático ligado a uma ou mais hidroxilas em sua estrutura.

Uma das formas de classificar os compostos fenólicos é quanto a sua cadeia carbônica principal. Segundo esta classificação existe quatro classes principais: ácidos hidroxibenzóicos, ácidos hidroxicinâmicos, cumarinas e flavonóides, das quais derivam outras subclasses (ESCARPA; GONZÁLES, 2001).

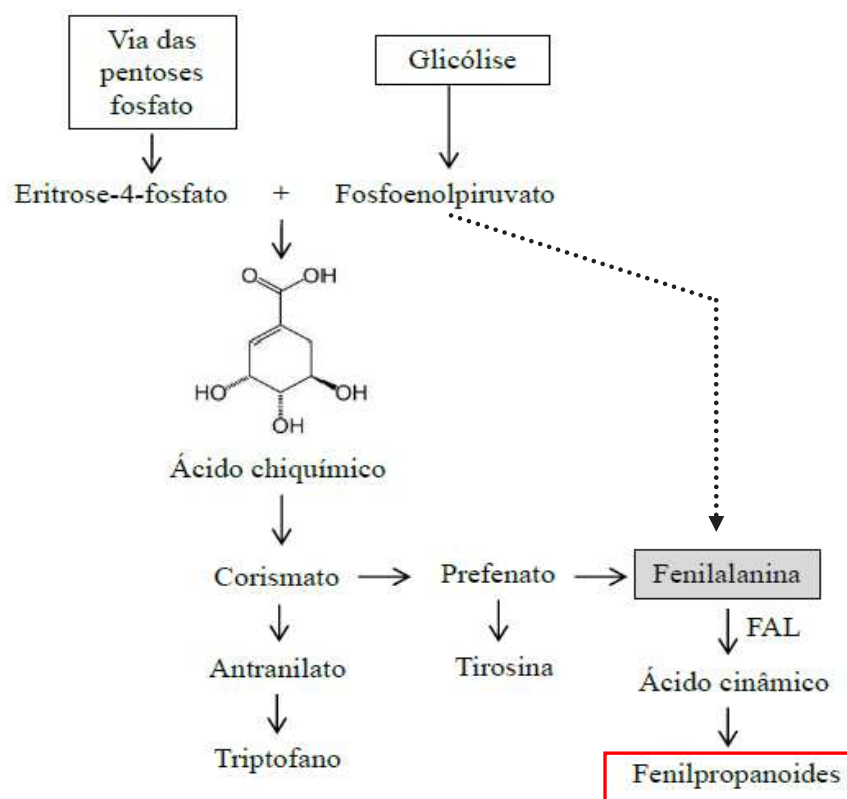


FIGURA 9. Metabolismo dos compostos fenólicos em plantas. FAL: fenilalanina amônia liase. **FONTE:** Taiz; Zeiger (2013).

Mais de 6000 diferentes tipos de flavonóides já foram descritos e as principais classes encontradas nos alimentos são: flavonas, flavonol, flavanona, isoflavona, flavanol e antocianidinas (YANG *et al.*, 2001) (**Figura 10**). Quimicamente, os flavonóides são doadores de elétrons, por apresentarem estruturas químicas conjugadas em anel, ricas em grupos hidroxilas, que têm potenciais ações antioxidantes por reagirem e inativarem ânions superóxido ($\cdot\text{O}_2^-$), peróxido de hidrogênio (H_2O_2), oxigênio singlete ($^1\text{O}^2$) e/ou estabilizar radicais livres envolvidos no processo oxidativo através da hidrogenação ou complexação com espécies oxidantes (MACHADO *et al.*, 2008; JIMÉNEZ *et al.*, 2009).

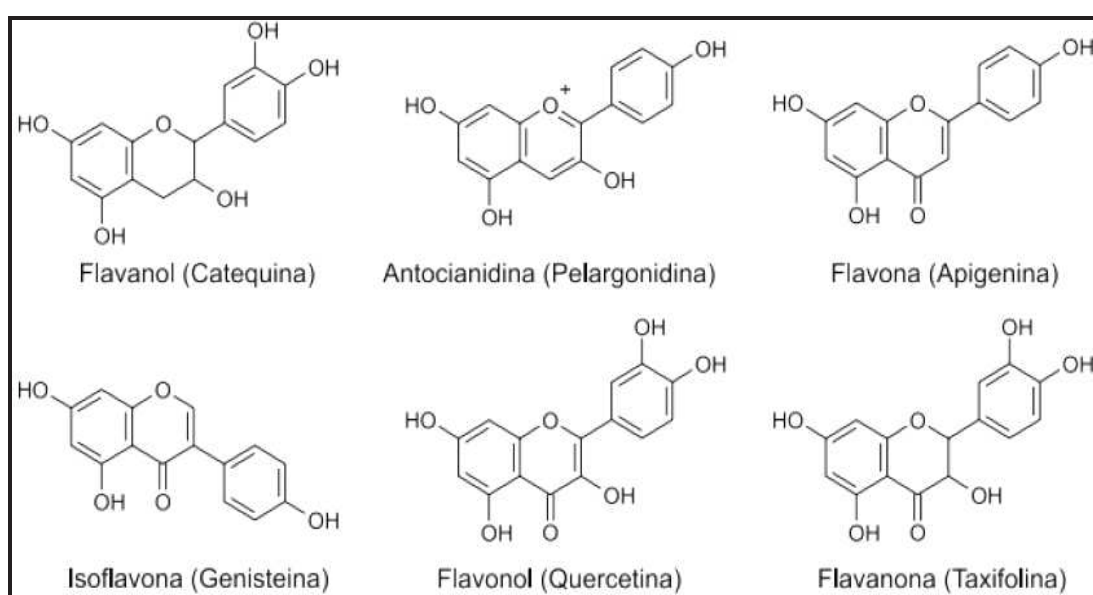


FIGURA 10. Estrutura das principais classes de flavonóides em plantas. **FONTE:** Cerqueira *et al.* (2007).

Dentre os frutos, a manga é ressaltada por apresentar considerável teor de fitoquímicos com reconhecida ação antioxidante e consequente efeito benéfico sobre a saúde (KIM *et al.*, 2007). Vários estudos têm sido desenvolvidos com o intuito de identificar e quantificar o teor de polifenóis em mangas de diferentes variedades e sua ação antioxidante (**Tabela 2**). Os dados demonstram que polifenóis estão presentes tanto na polpa, cascas e na semente deste fruto.

TABELA 2. Polifenóis em diferentes partes do fruto da mangueira de várias espécies.

Partes do fruto	Compostos quantificados	Referências
Polpa	Galotaninos; Ácido gálico, Ácido <i>m</i> -digálico; Mangiferina	Saeed, Karamalla, Khattab (1976)
Casca	Polifenóis Totais	Larrauri <i>et al.</i> (1996)
Polpa	Polifenóis Totais	Goristein <i>et al.</i> (1999)
Polpa	Quercetina; Kaempferol	Schieber, Ullrich, Carle (2000)
Casca cozida	Polifenóis Totais	Núñez-Sellés <i>et al.</i> (2002)
Semente	Alto teor de fenólicos	Soong; Barlow (2004)
Casca	Polifenóis	Soong; Barlow (2004)
Polpa	Ácidos Gálico e Elágico	Berardini <i>et al.</i> (2004)
Casca e Polpa	Fenólicos Totais e Ação Antioxidante	Melo; Araújo (2011)

As propriedades funcionais da manga podem ser atribuídas em grande parte a mangiferina, um composto fenólico conhecido por sua propriedade antioxidante. Quimicamente a mangiferina apresenta-se na forma de uma xantona C-glicosilada, sendo encontrada em toda a mangueira, e de forma mais abundante nas folhas, no caule e na casca do fruto (manga) (BARRETO *et al.*, 2008) (**Figura 11; Tabela 3**). Ensaios farmacológicos realizados tanto *in vitro* quanto *in vivo* mostraram que a mangiferina apresenta atividades antioxidante, anti-inflamatória, hipoglicemiante, hipolipidêmica, anticâncer, gastroprotetora, dentre outras.

Carvalho *et al.*, (2009) avaliaram a influência da mangiferina na prevenção e tratamento de periodontite induzida em ratos e concluíram que uma administração oral de 100 mg kg⁻¹ inibiu a expressão da enzima cicloxigenase 2 (COX-2) uma enzima que está intimamente relacionada a processos inflamatórios periodontais, sugerindo potencial terapêutico da mangiferina na prevenção e tratamento da periodontite. Li *et al.* (2013), avaliando o efeito da mangiferina em linhagens de células malignas de câncer de mama observou que a mangiferina inibiu a via da β -catenina resultando na diminuição significativa do peso, volume e proliferação dos tumores suprimindo o potencial metastásico do câncer. A aplicação de mangiferina através de uma dose oral de 40 mg kg⁻¹ durante um período de 30 dias exerceu efeito antiabético em ratos, além de ter diminuído significativamente as atividades da SOD, CAT, APX e GPX (SELLAMUTHU *et al.*, 2013).

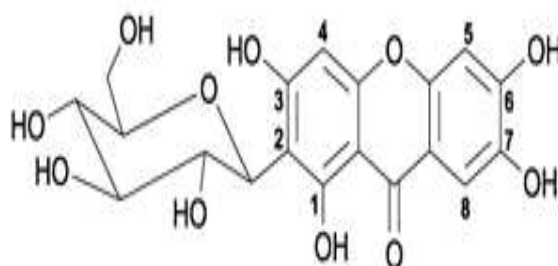


FIGURA 11. Estrutura da mangiferina (1,3,6,7-tetra-hidroxixantona-C2- β -D-glicose).

FONTE: Canuto *et al.* (2010).

Em razão do seu reconhecido potencial biológico, formulações contendo mangiferina (10 a 20%) vêm sendo exploradas comercialmente para fins nutricionais como suplemento alimentar e farmacêuticos (fitoterápicos e cosméticos) em uma formulação comercialmente denominada de Vimango® difundida em Cuba (NÚÑEZ-SELLÉS, 2005; GARRIDO *et al.*, 2008). O primeiro relato do produto Vimango® como fitoterápico através da sua ação antialérgica em modelos animais foi reportado por Rivera *et al.* (2006).

TABELA 3. Compostos fenólicos na casca do fruto da mangueira

Composto	mg kg
Mangiferina	1690,4
Galactomangiferina	321,9
Isomangiferina	134,5
Quercetina 3- <i>O</i> -galactosídeo	82,0
Quercetina 3- <i>O</i> -glicosídeo	651,2
Quercetina 3- <i>O</i> -xilósídeo	557,7

FONTE: BERARDINI *et al.* (2004). * matéria seca

Já os carotenóides fazem parte da classe de compostos que representam um grupo de pigmentos responsáveis pelas cores amarelo, laranja, vermelho ou roxo de muitos vegetais, frutos e flores (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001; BATISTA, 2010). Até 1000 variantes de ocorrência natural têm sido identificadas, e, pelo menos 60,

carotenóides presentes nos frutos e vegetais são comumente consumidos por humanos. Alguns dos carotenóides podem ser convertidos em vitamina A por animais onde os mais importantes na dieta são: β -caroteno, β -criptoxantina, licopeno, luteína e zeaxantina. Os carotenóides são compostos lipofílicos que apresentam diversas funções biológicas e benefícios à saúde, atuando principalmente como antioxidantes (VIZZOTO *et al.*, 2010; D'ÁVILA, 2013). Devido as suas longas cadeias de duplas ligações poliinsaturadas, o espectro de absorção dos carotenóides situa-se no espectro do UV visível (BRITTON *et al.*, 1995). As cores são perceptíveis (laranja, azul e vermelho) uma vez que estes possuam ao menos sete duplas ligações conjugadas que são absorvidas no UV visível (RODRIGUEZ-AMAYA, 1999). O espectro característico dos carotenóides é específico para cada composto e pode ser utilizado para uma identificação específica, onde o comprimento de onda máximo de absorção e a estrutura do espectro fornecem as informações estruturais sobre o cromóforo da molécula. A intensidade de absorção é um indicador da estrutura e concentração dos carotenóides na amostra (BRITTON *et al.*, 1995). Devido ao fato da presença de duplas ligações, os carotenóides contém um sistema reativo rico em elétrons que é susceptível de reagir com compostos eletrófilos. Na presença de oxigênio, os carotenóides apresentam uma tendência a autooxidar-se. A reação dos carotenóides com agentes oxidantes ou EROs depende do comprimento de onda da cadeia de carbono poliinsaturado e da natureza do grupo terminal (grupamento hidroxila, ciclo β ...) (VAN DEN BERG *et al.*, 2000).

Durante o processo de conversão dos cloroplastos em cromoplastos, as membranas dos tilacóides se desintegram, a clorofila e a maioria dos componentes da maquinaria fotossintética desaparecem, e então, um acúmulo massivo de plastoglobulos e carotenóides ocorre (**Figura 12**). Os carotenóides, como o β -caroteno, exercem uma função fotoprotetora da maquinaria fotossintética devido à eliminação direta do oxigênio singlete (COLLINS, 2001).

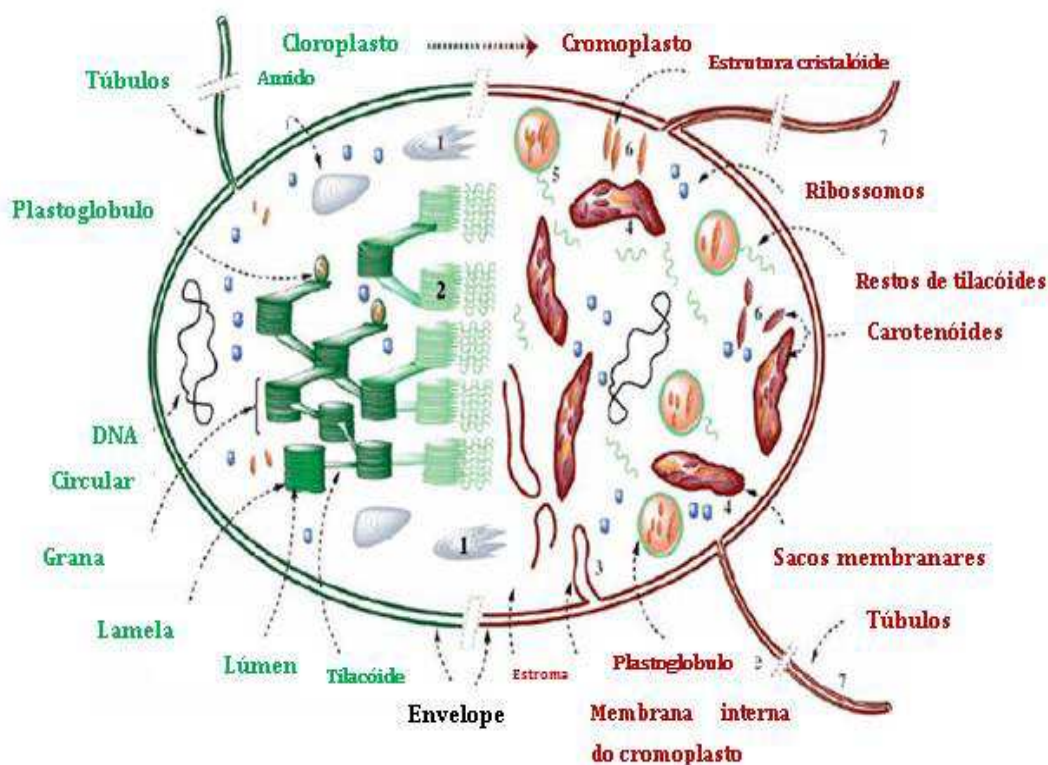


FIGURA 12. Representação da transição de cloroplastos para cromoplastos. O esquema mostra a ruptura de grânulos de amido (1), tilacóides e grana (2). A síntese de novas estruturas membranares da membrana interna do envelope (3) principalmente a formação de sacos membranosos ricos em carotenóides (4). Aumento do número do tamanho dos plastoglóbulo (5). Aspecto cristalóides contendo carotenóides (6) e aumento do número de projeções que emanam do envelope dos plastos (7).

FONTE: Egea *et al.* (2010).

Como componentes essenciais da membrana fotossintética, os carotenóides exercem uma função importante na montagem dos fotossistemas, na coleta de luz e na fotoproteção desses fotossistemas (CUNNINGHAM; GANTT, 1998; HAVAUX, 1998; TAIZ; ZEIGER, 2013). Nas diferentes antenas coletoras de luz, os carotenóides absorvem a luz azul-verde e transferem a energia para as clorofilas, estendendo assim, a gama de comprimentos de onda absorvidos e eficiência fotossintética (FRANK; COGDELL, 1996; TAIZ; ZEIGER, 2013). Sua absorção máxima dependerá do número de duplas ligações, ficando compreendida entre 400 e 500 nm (VAN DEN BERG *et al.*, 2000).

Os carotenóides são predominantes na manga e o β -caroteno (**Figura 13 e 14**) é o composto majoritário. Eles são os responsáveis pela coloração atraente das mangas maduras (MEDLICOTT *et al.*, 1986) e seus teores aumentam com a maturação (DOREYAPPA GOWDA, 2002), que é traduzida pela mudança de cor. O teor varia segundo o estágio de maturação, a variedade e a zona geográfica de produção (JOAS, 2008). Estudos demonstram que a taxa de carotenóides totais aumenta na polpa de 12,3 a 38,0 $\mu\text{g g}^{-1}$ na cultivar Keitt e de 17 a 51,2 $\mu\text{g g}^{-1}$ na cultivar Tommy Atkins durante a maturação (MERCADANTE *et al.*, 1998).

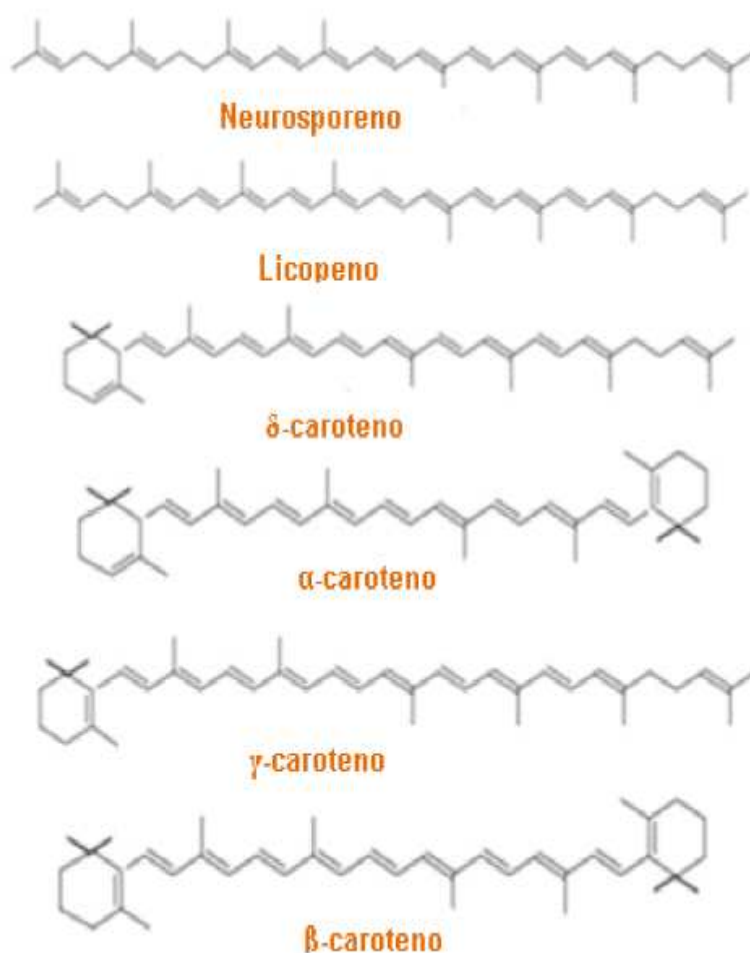


FIGURA 13. Fórmula estrutural de alguns carotenóides. **FONTE:** Van den Berg *et al.*, (2000).

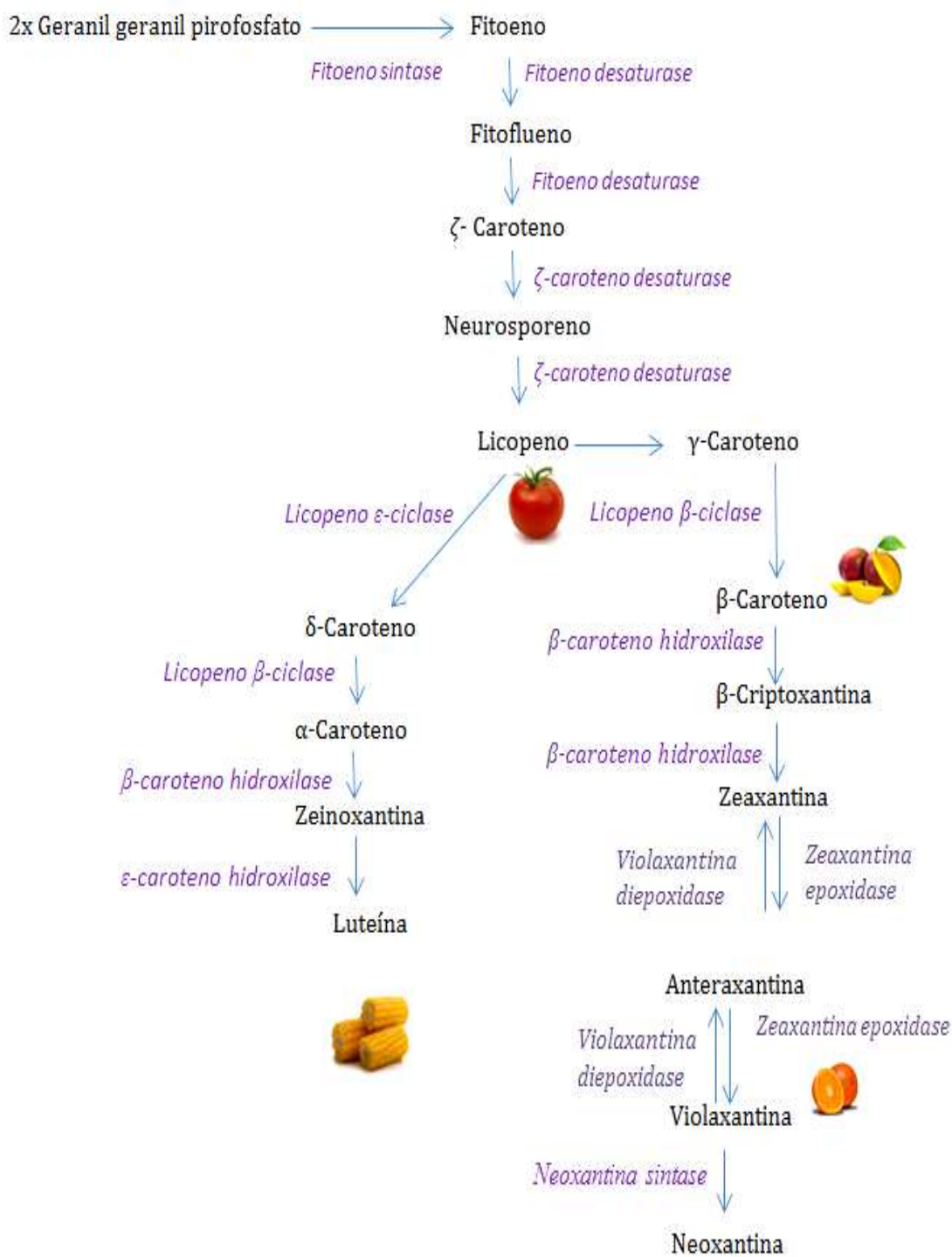


FIGURA 14. Via de biossíntese dos carotenóides. FONTE: Gonord (2011).

2.2 Variáveis físico-químicas de qualidade pós-colheita

2.2.1 Firmeza

A firmeza dos frutos é determinante para a aceitação do consumidor, e apresenta um alto impacto na qualidade organoléptica, percepção do aroma, vida de prateleira e transportabilidade (SEYMOUR *et al.*, 2002; CAUSSE *et al.*, 2003). A perda de firmeza durante a maturação até a senescência é, em grande parte, atribuída à ação de enzimas envolvidas na despolimerização e solubilização da parede celular, como é o caso das poligalacturonases, pectinametilerases, β -galactosidases, α -arabinofuranosidases, β -glucanases, β -xilosidases, expansinas dentre outras (NISHIYAMA *et al.*, 2007; PRASANNA *et al.*, 2007; MIEDES; LORENCES, 2009).

A textura do fruto é também influenciada por fatores histológicos. O pericarpo do fruto é composto de três tecidos distintos: o exocarpo, o mesocarpo e o endocarpo. O exocarpo apresenta células de pequeno tamanho e são recobertos pela cutícula (uma cobertura não viva produzida pela epiderme de todos os órgãos vegetais vasculares primários) (ESAU, 1977).

As propriedades da cutícula contribuem para a firmeza dos frutos (SALADIÉ *et al.*, 2007). A cutícula é uma montagem molecular hidrofóbica complexa depositada nas paredes celulares epidérmicas constituídas de fibras não orientadas, caracterizadas por um polímero, a cutina (poliéster de glicerol e ácidos graxos de 16 ou 18 carbonos), recoberto por ceras. A cutícula garante uma resistência mecânica à deformação (MATAS *et al.*, 2004), limitando as perdas de águas por transpiração e protegendo os frutos contra os patógenos (SALADIÉ *et al.*, 2007).

As propriedades elásticas e viscoelásticas da cutícula são atribuídas à cutina e aos polissacarídeos que estão integrados a matriz cuticular. Os polissacarídeos conferem rigidez à cutícula enquanto a cutina influencia as características plásticas (LOPEZ-CASADO *et al.*, 2007). O aumento da quantidade de ceras e a densificação da matriz cuticular durante a maturação tem ação na firmeza e na permeabilidade da cutícula (SALADIÉ *et al.*, 2007).

O mesocarpo e endocarpo são constituídos de grandes células parenquimatosas (até 200 μm) possuindo grandes vacúolos. As propriedades e arranjo das células que compõem os três tecidos do pericarpo (espessura da parede celular e tamanho das células) contribuem para as propriedades mecânicas do fruto, e principalmente para a

firmeza (ALLENDE *et al.*, 2004; DEVAUX *et al.*, 2008; LEGLAND *et al.*, 2009; AURAND *et al.*, 2012). A presença de tecidos vasculares no pericarpo (xilema e floema) pode contribuir para as características fibrosas de textura do fruto. Os vasos são constituídos de células alongadas, lignificadas pelo xilema que estão presentes geralmente na columela de alguns frutos. A textura do fruto depende igualmente da coesão celular, que é devido a três fatores: a rigidez da lamela média, a proporção dos espaços intercelulares e da repartição dos plasmodesmos (HARKER *et al.*, 1997).

A lamela média é uma camada rica em pectina que separa a parede celular das células vizinhas. Os espaços intercelulares determinam a superfície de contato entre as células, e contribuem para a adesão celular. Geralmente, a proporção dos espaços intercelulares depende do tipo de fruto como, por exemplo, a maçã, que apresenta vários espaços intercelulares, já o tomate apresenta espaços intercelulares bem reduzidos. Durante a maturação, a perda de adesão entre as células vizinhas induz a maciez da polpa do fruto (bananas, pêras e kiwis) enquanto uma forte coesão celular como as observadas nas células de maçãs e melancias induzem características crocantes (HARKER *et al.*, 1997; GHIANI *et al.*, 2011).

2.2.2 Estrutura Celular

As células vegetais são delimitadas por uma parede relativamente delgada, mas mecanicamente forte. Essa parede consiste de uma mistura complexa de polissacarídeos e outros polímeros, secretados pela célula e reunidos em uma rede organizada por meio de ligações covalentes e não covalentes. As células vegetais contêm, além disso, proteínas estruturais, enzimas, polímeros fenólicos e outros materiais que modificam as características físicas e químicas da parede celular. As paredes celulares primárias apresentam microfibrilas de celulose (estruturas relativamente rígidas) implantadas em uma matriz, formada por hemiceluloses (polissacarídeos flexíveis) e pectinas, que formam a fase de gel hidratada implantada a rede celulose/hemicelulose, e onde se pode encontrar também uma pequena quantidade de proteína estrutural (**Figura 15**) (TAIZ; ZAIGER, 2013). Morfologicamente a parede celular vegetal é dividida em três regiões distintas: a lamela média, a parede primária e a secundária. Esta camada intercelular é rica em substâncias pécticas mergulhadas em meio aquoso (CARPITA; McCANN, 2000).

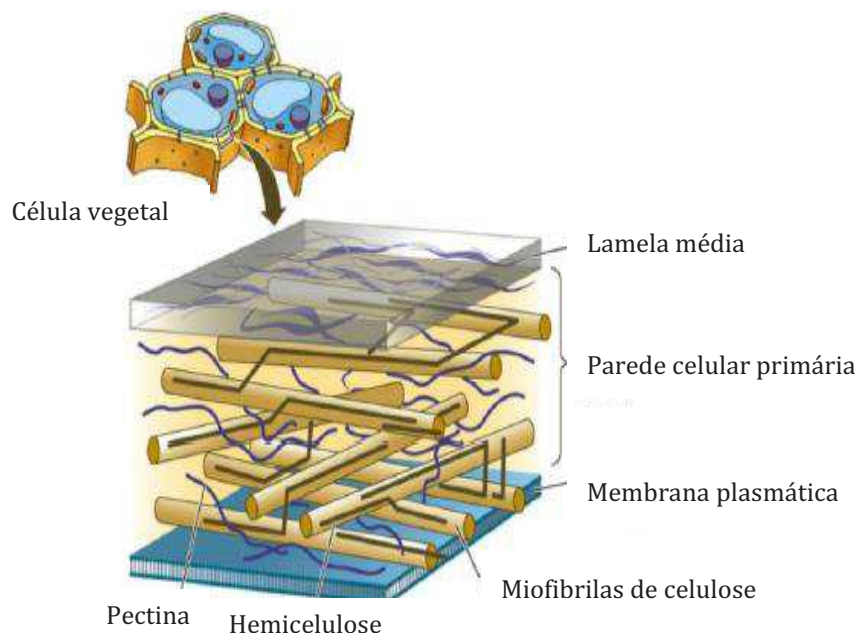


FIGURA 15. Estrutura da parede celular vegetal. **FONTE:** SADAVA *et al.* (2009).

Durante o amadurecimento dos frutos, ocorre o amaciamento ou perda da firmeza através da degradação da estrutura da parede celular e/ou da membrana plasmática. Uma das enzimas envolvidas com a despolimerização da parede celular é a pectinametilesterase (PME, EC 3.1.1.11), que é responsável pela desmetilação das pectinas presentes na parede celular (**Figura 16A**), resultando na formação de blocos contínuos de resíduos de galacturonatos ionizados, que servem de substrato, para outra enzima, a poligalacturonase (PG, EC 3.2.1.15), que realiza a despolimerização dos ácidos galacturônicos (**Figura 16B**). Como resíduos de galactose estão frequentemente associados aos constituintes da parede celular, durante o amadurecimento de frutos, a enzima β -galactosidase (β -Gal, EC 3.2.1.23) pode agir degradando os galactanos que ligam as cadeias laterais das pectinas ao esqueleto de ácido poligacturônico (**Figura 16C**) (SEVERO, 2009).

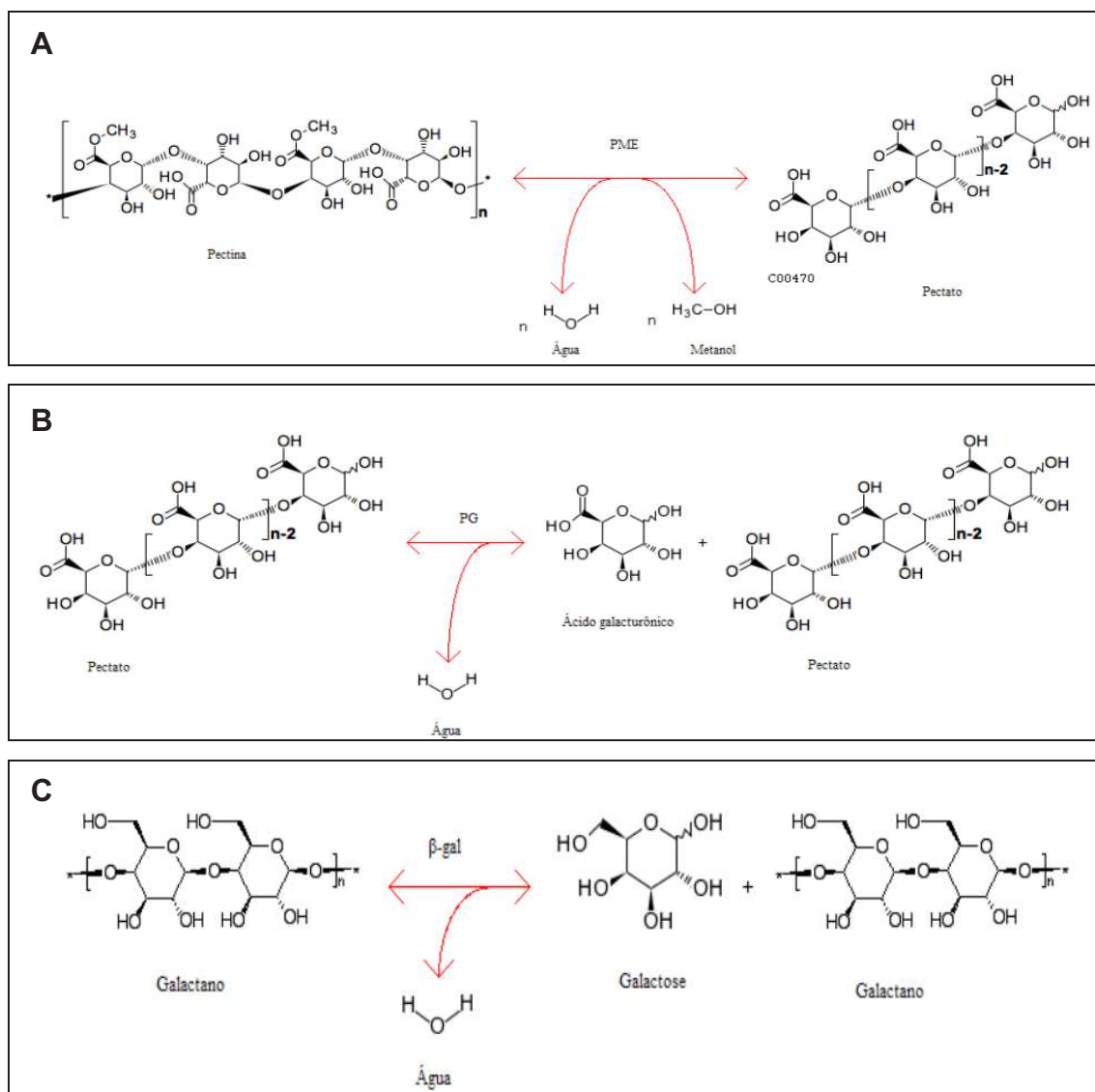


FIGURA 16. Ação das enzimas de parede celular na degradação da pectina (A). Ação da pectinametilsterase na pectina. (B). Ação da poligalacturonase no pectato. (C). Ação da β -galactosidase na molécula de galactanos. **FONTE:** Le Queré *et al.* (2007).

2.2.3 Açúcares, pH e acidez

Com o amadurecimento do fruto, ocorre um aprimoramento das suas características sensoriais, sendo desenvolvidos sabores e odores específicos, em conjunto com o aumento da doçura, redução da acidez e da adstringência. Deste modo, o fruto torna-se mais macio, de cor mais intensa e aceitável para o consumo. Entre as características químicas e físico-químicas utilizadas na avaliação da qualidade dos frutos, consideram-se as mais comuns: teor de sólidos solúveis (SS), pH, acidez titulável (AT), relação SS/AT, açúcares redutores e totais (CHITARRA; CHITARRA, 2005). O

teor de SS, normalmente é feito com objetivo de se ter uma estimativa da quantidade de açúcares presentes nos frutos, embora, medidos através de refratômetro, incluam, além dos açúcares, pectinas, sais e ácidos. Os SS aumentam nos frutos com o amadurecimento, os quais são constituídos principalmente pelos açúcares solúveis (COCOZZA, 2003). De acordo com Bleinroth (1992), os SS totais têm tendência de aumento com o avanço da maturação, enquanto a AT diminui com o amadurecimento, sendo assim, a relação SS/AT é diretamente proporcional aos SS e inversamente proporcional a AT.

O conteúdo de ácidos orgânicos diminui com o amadurecimento na maioria dos frutos tropicais, devido à utilização desses ácidos no ciclo de Krebs, durante o processo respiratório ou de sua conversão em açúcares (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Embora algumas cultivares de manga apresente teor de acidez mais elevado, como por exemplo, a cv. Alphonso, com aproximadamente 3% da AT, outras, tais como a cv. Tommy Atkins apresenta acidez média (0,5 a 1,0%), sendo predominante o ácido cítrico (LAKSHMINARAYANA, 1980). Durante o amadurecimento há diminuição da acidez e conseqüentemente um aumento do pH (MATTOO *et al.*, 1975). A manga é considerada um fruto ácido, com a maioria das cultivares apresentando valores de pH abaixo de 6,0. Dependendo do estágio de maturação do fruto e da variedade, a manga apresenta teores mais baixos de pH como é o caso da Tommy Atkins (3,5 a 3,7) (LUCENA *et al.*, 2000).

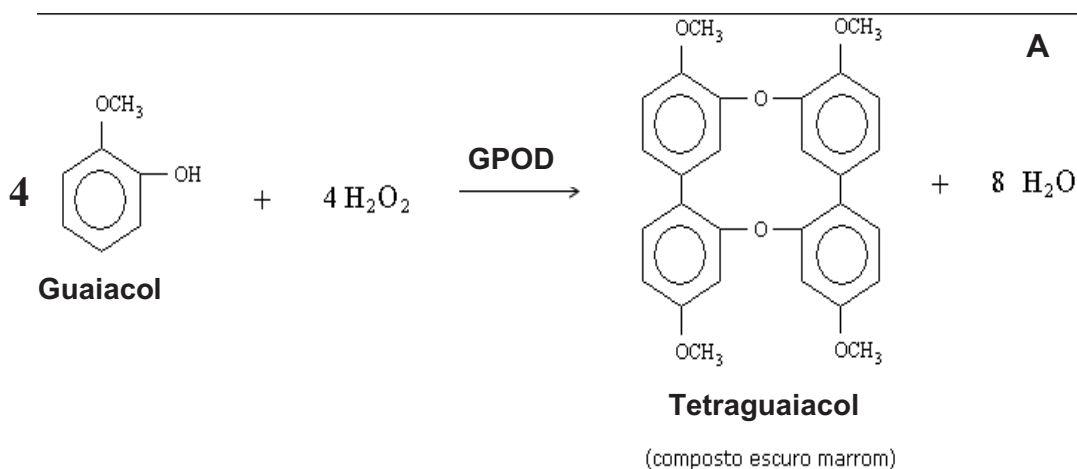
2.2.4 Cor

Embora nem todos os frutos mudem de cor durante o amadurecimento, esta é uma das características mais associadas ao ponto de colheita e maturidade para o consumo (TUCKER, 1993). A época, a velocidade e a intensidade da mudança variam entre espécies e entre cultivares de uma mesma espécie (KAYS, 1991). As alterações mais representativas ocorrem devido à degradação da clorofila. Apesar do mecanismo exato desta degradação ainda não ser totalmente esclarecido, supõe-se que a molécula de clorofila seja solubilizada das membranas dos tilacóides do cloroplasto para o estroma, onde é oxidada (TUCKER, 1993). Simultaneamente à degradação de clorofila, pode haver síntese de outros pigmentos em alguns frutos (KAYS, 1991; TUCKER, 1993; WILLS *et al.*, 1998). Neste sentido, de acordo com Medlicott *et al.* (1992), as

mudanças na coloração da manga, se devem principalmente à degradação da clorofila e síntese de carotenóides (carotenos, licopeno e xantofilas) e flavonóides (antocianinas).

A luz refletida do produto carrega informações que os consumidores julgam para avaliar diferentes aspectos de qualidade, no entanto, a visão humana é limitada a uma pequena região do espectro de luz. Sendo assim, a cor dos frutos pode ser descrita por diferentes sistemas de coordenadas e um dos mais comuns é o Hunter L/a/b, no qual L indica a luminosidade (branco ao preto), e a/b são coordenadas XY indicando as direções da cor: a (vermelho-verde) e b (amarelo-azul) (ABBOTT, 1999). Medidas de cor no espaço tristimulus são relacionadas com a visão humana, onde os parâmetros são: Hue (H) que é a percepção da cor resultando de diferenças na absorção da energia incidente em vários comprimentos de onda, como verde, azul, amarelo e vermelho. Saturação croma (C) ou pureza descreve a reflexão de um dado comprimento de onda, e por fim a luminosidade (L) que descreve a relação entre a luz total refletida e a luz absorvida sem levar em consideração um comprimento de onda específico (ABBOTT, 1999).

O escurecimento enzimático é a reação primária responsável pela alteração da cor de frutos e hortaliças. É uma reação resultante da oxidação de compostos fenólicos presentes na célula de planta por duas principais enzimas: as polifenoloxidasas (PPO) e peroxidases (POD) (VAMOS-VIGYAZO; MIHÁLYI, 1976) sendo que a PPO é considerada a enzima chave no escurecimento enzimático. Esta reação de oxidação conduz à formação de quinonas, espécie muito instável que se polimeriza, resultando na formação de pigmentos castanho-escuros (**Figura 17**).



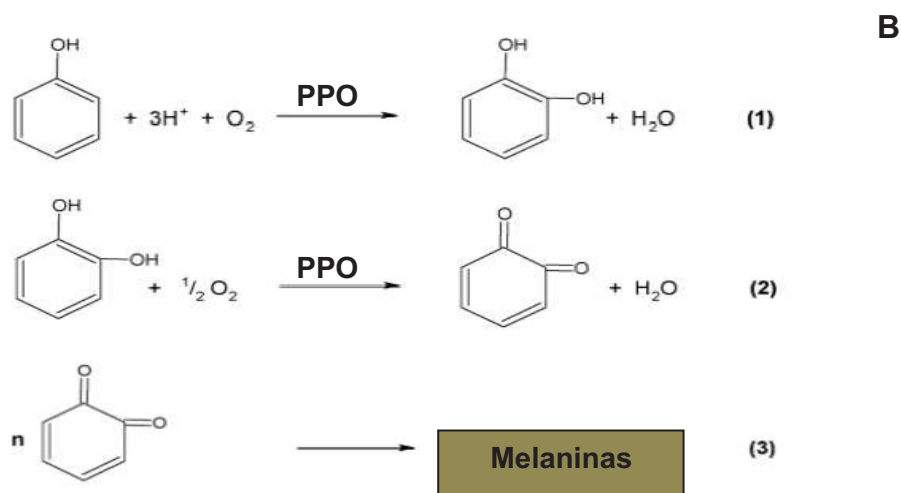


FIGURA 17. Mecanismo de ação enzimática da (A) peroxidase do guaiacol (G-POD) resultando em tetraguaiacol e da (B) polifenoloxidase (PPO) resultando em melaninas. **FONTE:** Zeraik *et al.* (2008).

O escurecimento enzimático não ocorre em um fruto, uma vez que enzimas e substratos não estejam em contato. Os vacuolos comportam 97% dos polifenóis na célula vegetal e as enzimas PPO e POD estão localizadas em diversos compartimentos celulares (**Figura 18**). Frutos minimamente processados têm suas paredes celulares quebradas o que faz com que o complexo enzima/substrato entre em contato e a reacao de escurecimento venha a ocorrer. Os principais polifenóis envolvidos no escurecimento enzimático de frutos, de acordo Macheix (1974) são: catequina, ácidos cinâmicos e os seus ésteres (por exemplo, o ácido clorogenico).

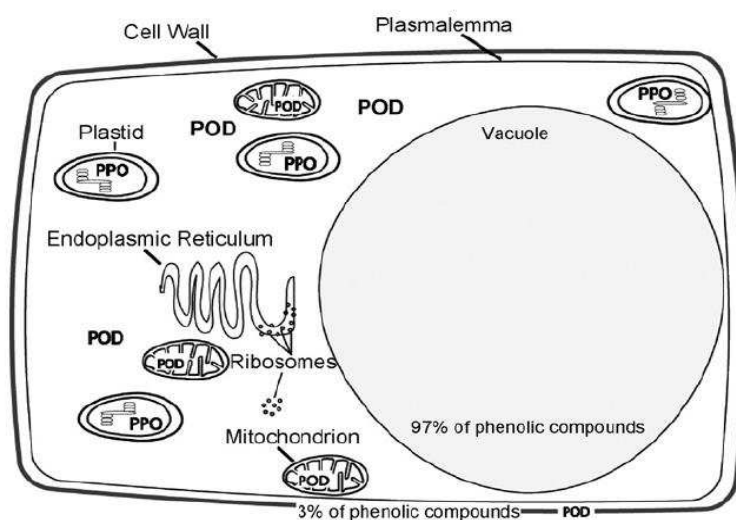


FIGURA 18. Localizaao dos compostos fenólicos e enzimas de oxidaao da polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (POD) em uma célula vegetal. **FONTE:** Toivonen; Brummell (2008).

3. Tecnologias de conservação pós-colheita

A grande problemática que permeia a conservação dos frutos é a sua vida útil reduzida, uma vez que se deterioram rapidamente por serem produtos metabolicamente ativos. As alterações fisiológicas, bioquímicas e microbianas levam conseqüentemente às alterações na coloração, textura e sabor. Várias pesquisas existem com técnicas visando preservar a qualidade dos produtos como: adição de antioxidantes, aplicação de atmosfera modificada (ODRIOZOLA-SERRANO *et al.*, 2008), ou ainda, tratamentos com 1-metilciclopropano (1-MCP) (CLIFF *et al.*, 2009). No entanto, os consumidores tem recusado cada vez mais encontrar produtos químicos em sua dieta. Sendo assim, tem sido cada vez mais oportuno focar em técnicas ditas mais “limpas” para melhoria da conservação de frutos. Nesse sentido, a tecnologia da luz pulsada vem abrindo caminho como uma alternativa no sentido primeiro da sua aplicação, que é a descontaminação microbiana, e recentemente, de forma animadora como ferramenta para tornar os frutos biofábricas de “fitoquímicos” e com vida útil estendida sem, no entanto, afetar os aspectos de qualidade pós-colheita.

3.1 Tecnologia da luz pulsada e seus efeitos fisiológicos

A luz pulsada (LP) é uma técnica emergente, que utiliza pulsos de alta intensidade, curta duração (1 μ s a 0,1 s) com um amplo espectro de ondas de luz (200-1100 nm) capaz de assegurar a descontaminação microbiológica. A LP é rica em luz de comprimento de onda principalmente no espectro UV, com ênfase para o UV-C (200-280 nm) (GÓMEZ-LÓPEZ *et al.*, 2007; GÓMEZ *et al.*, 2012) e sua utilização foi aprovada pelo FDA (1996), através do código (21CFR179-41), para descontaminação de alimentos durante sua produção, processamento e manipulação, não podendo exceder uma dose cumulativa de 12 J cm⁻². Sendo assim, a inativação microbiana e a eficácia do tratamento com LP dependem da intensidade e do número de flashes aplicados (ELMNASSER *et al.*, 2007).

A empresa pioneira na produção de equipamentos de LP para desinfecção é a PurePulse Technologies, sediada na Califórnia e detentora do sistema PureBright. Atualmente, sabe-se que existem três empresas que produzem sistemas de desinfecção com base na LP. Uma delas é a SteriBeam, sediada na Alemanha. As demais empresas especialistas em LP são: a Xenon Corporation, localizada nos Estados Unidos e a

Claranor S.A, localizada na França (GÓMEZ-LÓPEZ *et al.*, 2007). O equipamento básico para a bancada de laboratório de estudos é composto por um módulo de energia e uma câmara de tratamento (**Figura 19**). O sistema de engenharia da LP baseia-se em três componentes principais: poder do pulso, configuração do dispositivo de pulso e lâmpada. Nesse sistema, a energia é estocada em um capacitor de alta potência por um período de fração de segundos, variando de nanosegundos a milissegundos e a luz produzida pela lâmpada, na forma de flashes gera um amplo comprimento de onda (DUNN *et al.*, 1995; MACGREGOR *et al.*, 1998). A lâmpada é o elemento mais importante de qualquer unidade de LP, que é responsável pela conversão de 45% a 50% da energia elétrica em energia radiante, sendo preenchida com um gás inerte como xenônio ou criptônio. O gás xenônio é preferido devido a sua maior eficiência na conversão de energia e na descontaminação microbiana (ELMNASSER *et al.*, 2007).

A dose de tratamento de LP é quantificada por sua "fluência", que representa a exposição à luz de um substrato biológico e é tipicamente expressa em unidades de $J\text{ cm}^{-2}$ (BOLTON, 2000). Embora o número de pulsos e características de pulso seja útil, a fluência total deve sempre ser relatada para permitir comparações diretas de tratamentos diferentes, independentemente da configuração experimental (KOUTCHAMA *et al.*, 2009).

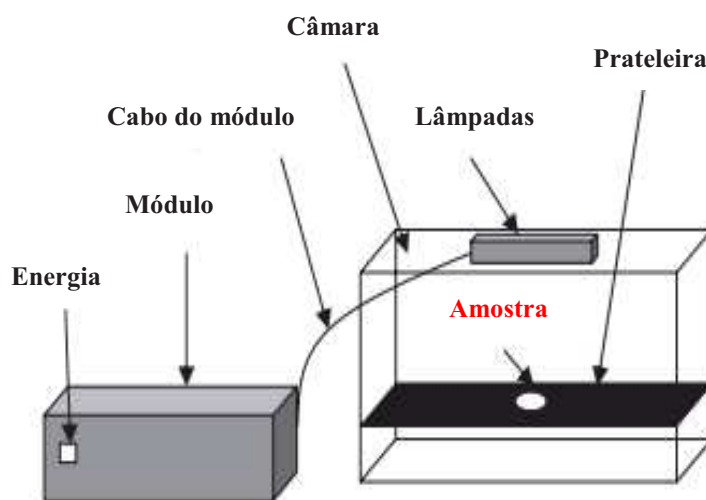


FIGURA 19. Representação esquemática de uma unidade de luz pulsada de bancada.
FONTE: Gómez-López *et al.* (2007).

Mecanismos têm sido propostos para explicar a letalidade do tratamento com LP, que está relacionado principalmente com o espectro ultravioleta (UV) (ANDERSON *et al.*, 2000; TAKESHITA *et al.*, 2003; WUYTACK *et al.*, 2003). O efeito letal da luz pulsada pode ser devido aos mecanismos fotoquímico ou fototérmico ou ambos podem existir simultaneamente. No entanto, sua importância depende da fluência do tratamento e do microrganismo alvo. O efeito letal da LP durante a descontaminação de alimentos é explicado pela maioria dos autores com base no mecanismo fotoquímico. A molécula alvo principal da LP no mecanismo fotoquímico é o DNA (CHANG *et al.*, 1985, MILLER *et al.*, 1999). A luz pulsada é absorvida pelas duplas ligações conjugadas das bases nitrogenadas presentes na molécula de DNA, sendo o efeito bactericida atribuído à alta energia do espectro UV-C (200-280 nm), que resulta em alterações no DNA devido à formação principalmente de dímeros de timina, que impedem a formação de novas cadeias no processo de replicação do DNA, resultando na morte do microrganismo. Segundo relatos, não ocorre reparação do DNA nos microrganismos após a aplicação do tratamento de LP (MITCHELL *et al.*, 1992; GIESE; DARBY, 2000).

O efeito letal da LP também pode ser devido ao efeito fototérmico. Wekhof (2000) propuseram que, com uma fluência de LP superior a $0,5 \text{ J cm}^{-2}$, a desinfecção é conseguida por meio de uma ruptura das bactérias devido ao seu sobreaquecimento causado pela temporária absorção de toda a luz UV gerada por um flash da lâmpada. Esta hipótese tornou-se evidente através dos estudos de Wekhof *et al.* (2001), que mostraram através de imagens de microscopia eletrônica que esporos de *Aspergillus niger* apresentavam graves deformações e rupturas após aplicação de LP, daí então, concluíram que teria acontecido uma espécie de “explosão das células” pelo sobreaquecimento, resultando na “vazamento” do conteúdo celular.

Outros efeitos da LP sobre as células incluem, por exemplo, colapso da estrutura celular e alargamento dos vacúolos, como relatado em alguns estudos microbianos (PROCTOR, 2011). Efeitos antimicrobianos foram também relacionados às alterações no fluxo de íons, aumento da permeabilidade da membrana celular e despolarização da membrana celular (OHLSSON; BENGTSSON, 2002). Como a LP provoca danos na membrana da célula, ela pode ser considerada como uma técnica de esterilização (TAKESHITA *et al.*, 2003, BIALKA *et al.*, 2008).

A absorção da LP depende da composição do substrato e dos comprimentos de onda presentes no pulso. Para sistemas biológicos, a absorção do UV é principalmente,

devido às proteínas, que contêm aminoácidos como a fenilalanina, tirosina e triptofano. Os ácidos nucleicos são fortes absorvedores de luz a 253,7 nm, e aproximadamente 10% das proteínas contêm ligações conjugadas e pontes dissulfeto, sendo a absorção da luz a 253,7 nm devido a estas características.

O ácido ascórbico absorve fortemente a luz UV a 254 nm. Na região do espectro VIS (visível), a absorção no tecido vegetal é devido principalmente aos cromóforos como, por exemplo, carotenos, clorofilas e xantofilas. Na região do infravermelho próximo (NIR), a absorção pelo substrato é devido à água, que apresenta um pico de absorção a 970 nm (COOPER *et al.*, 1996). Carboidratos são insensíveis à luz, mas na presença de fotossensibilizadores como, por exemplo, o sorbitol são fotoxidados a hexoses. Radicais livres podem gerar fotoreações, que resultam na despolimerização de polissacarídeos responsáveis pelo amaciamento de frutos e vegetais (KOUTCHMA *et al.*, 2009).

Quando um material alimentar é exposto à LP, a energia pode ser absorvida, refletida ou transmitida. A intensidade de LP decai exponencialmente no interior da matriz alimentar (**Figura 20**). Quando a luz, com uma intensidade inicial de I_0 , penetra o alimento, sua intensidade decai ao longo de uma distância x abaixo da superfície do alimento. A intensidade real (I), disponível em qualquer ponto dentro do alimento, que está localizado a uma distância x da superfície dos alimentos, pode ser determinada pela lei de Lambert-Beer: $I = TI_0e^{-x}$, onde T é o coeficiente de transparência da matriz alimentar. As características dos alimentos, especialmente as propriedades ópticas, determinam a porcentagem de energia real absorvida pelo alimento (KEENER; KRISHNAMURTHY, 2014).

Em alimentos sólidos, a energia da LP é absorvida próximo à superfície do alimento, o que limita sua penetrabilidade a 1 mm. No entanto, uma maior penetrabilidade pode ser alcançada em alimentos líquidos, dependendo das suas características de opacidade e de fluxo. Além disso, impurezas ou partículas de grandes dimensões contidas dentro de alimentos podem refletir energia e dispersão de luz, minimizando assim a quantidade de energia disponível para a inativação microbiana (KEENER; KRISHNAMURTHY, 2014).

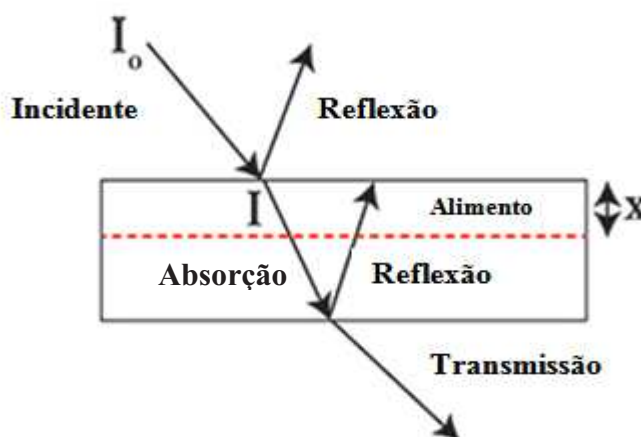


FIGURA 20. Interação da luz com a matriz alimentar. FONTE:Keener; Krishnamurthy (2014).

- Espectro UV: Hormese versus Fitoquímicos

O espectro UV é o principal componente dos sistemas de LP destacando-se o comprimento UV-C (200-280 nm), que apresenta energia intensa o suficiente para quebrar ligações covalentes de moléculas orgânicas e em plantas causa danos no fotossistema II mais intensos do que a radiação UV-B (280-320 nm) e UV-A (320 nm-400), por possuir uma maior energia (PERL-TREVES, 2002) (Figura 21).

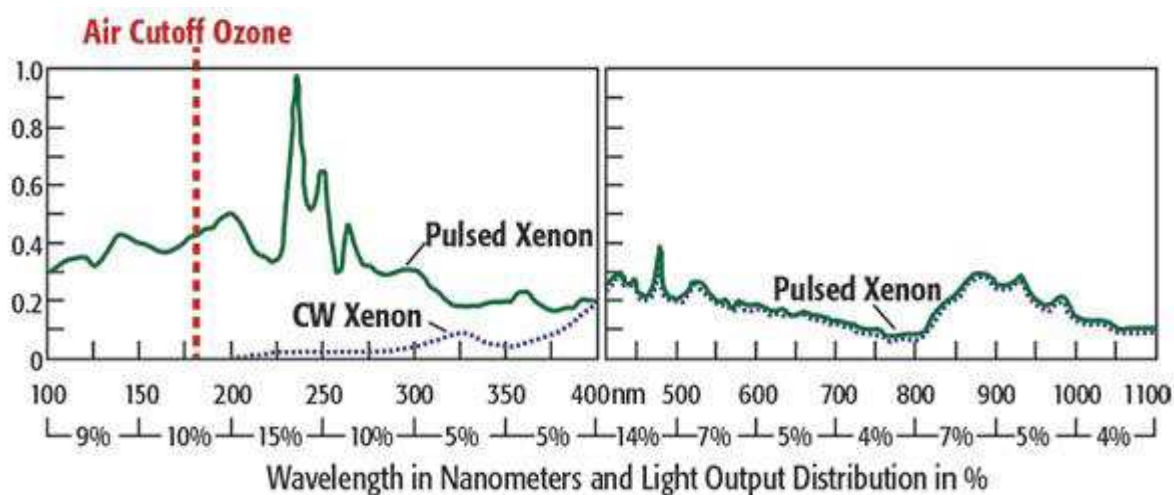


FIGURA 21. Espectro de distribuição da luz pulsada. FONTE: Xenon Co.

Para aplicação da radiação na pós-colheita de frutos e hortaliças existe a constante busca pelo efeito “hormético” que é conhecido como a aplicação de um agente potencialmente prejudicial em baixas doses a fim de induzir respostas de estresse em organismos vivos, agindo como um elicitador (SHAMA; ALDERSON, 2005). Segundo Calabrese e Baldwin (2009) hormese é uma resposta adaptativa com características diferenciáveis pela relação à dose-resposta, que é induzida por um processo de ação direta ou de estímulo a baixas doses. As respostas horméticas podem ser em formato de “U” invertido ou em formato de “J” (**Figura 22**), onde baixas doses causam efeitos estimulatórios e altas doses causam efeitos deletérios e/ou inibitórios (CALABRESE; BLAIN, 2009).

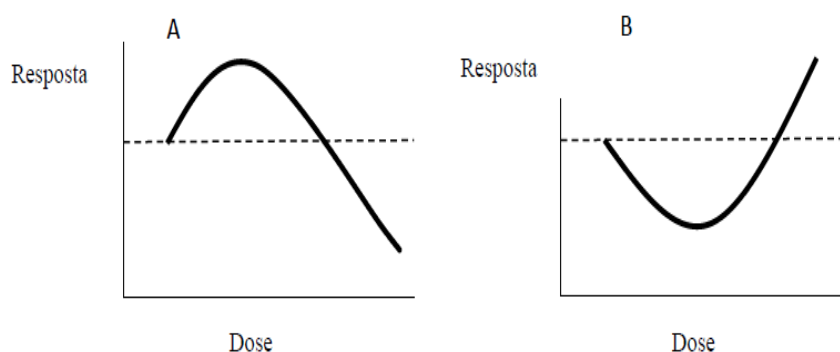


FIGURA 22. Curvas características de efeito hormético em formato de “U” invertido (A) ou em formato de “J” (B). **FONTE:** Calabrese; Blain (2009).

No entanto, a resposta hormética é totalmente dependente da dose aplicada além de outros fatores como, por exemplo, o estágio de maturação dos frutos, a cultivar, os comprimentos de onda que compõem a dose aplicada, a penetrabilidade da dose aplicada sobre a amostra, e mesmo a maneira como a dose é aplicada sobre a amostra. Mercier *et al.* (2001) mostraram que uma dose de UV-C de $0,088 \text{ J cm}^{-2}$ foi mais efetiva se aplicada na forma de dois pulsos sucessivos de $0,044 \text{ J cm}^{-2}$ na indução de resistência a doenças em pimentões. Liu *et al.* (2012) avaliando o efeito do UV-C pós-colheita em tomates com relação aos compostos fenólicos e atividade antioxidante encontraram que a dose ótima foi de $0,4$ ou $0,8 \text{ J cm}^{-2}$ para aumentar a atividade antioxidante. Bravo *et al.* (2013), trabalhando com UV-B em tomates, sugeriram que baixas doses aplicadas por um longo período teriam o mesmo efeito que doses de alta intensidade por um curto período de tempo e que a dose final seria o fator mais importante a ser considerado.

A utilização da radiação UV-C tem sido amplamente preconizada como tratamento físico de superfície na pós-colheita de frutos e hortaliças, não somente visando prevenir podridões, mas também retardando a senescência e aumentando a produção de compostos fenólicos e capacidade antioxidante, além de estar relacionada com a produção de enzimas que atuam no sistema antioxidante enzimático (SEVERO, 2009; ERKAN *et al.*, 2007; POMBO *et al.*, 2011) (Tabela 4).

TABELA 4. Estudos relatando a aplicação pós-colheita do UV-C como tratamento superficial de frutos e vegetais.

VEGETAL (CULTIVAR)	TRATAMENTO UV-C	RESULTADOS	REFERÊNCIAS
Caqui (<i>Diospyros kaki</i> Thunb. cv. Karaj)	Doses: 0,15; 0,3 J cm ⁻² Armazenado de 0 a 4 meses a 1 °C	UV-C reduziu a incidência de doenças pós-colheita sem efeitos importantes sobre os atributos de qualidade do fruto (firmeza, produção de etileno e cor da casca).	Khademi <i>et al.</i> , 2013
Morangos (<i>Fragraria ananassa</i> , Duch. cv. Kurdistan)	Doses: 0,025 e 0,05 J cm ⁻² Armazenado durante 7 dias a 5 °C	- Todas as doses de UV-C diminuíram o crescimento de leveduras; - Os frutos tratados com as doses mais elevadas (0,05 J cm ⁻²) apresentaram-se significativamente mais firmes no 7º dia e esta dose melhorou a qualidade sensorial dos frutos	Darvishi <i>et al.</i> , 2012
Couve chinesa (<i>Brassica oleracea</i> var. alboglabra)	Doses: 0,18; 0,36; 0,54 e 0,72 J cm ⁻² . Armazenados a 20 °C	- Doses de UV-C de 0,36 e 0,54 J cm ⁻² retardaram o amarelecimento das folhas de couve - UV-C atrasou a diminuição na atividade de enzimas antioxidantes, particularmente a peroxidase (POD) e dismutase do superóxido (SOD); - UV-C reduziu as taxas de produção de etileno e de respiração	Chairat <i>et al.</i> , 2013
Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> cv. Zhenfen 202)	Doses: 0,2; 0,4; 0,8; e 1,66 J cm ⁻² Armazenados a 14 °C	UV-C aumentou significativamente o conteúdo de fenólicos totais e atividade antioxidante	Liu <i>et al.</i> , 2012

Continuação da Tabela 4.

Cebolas (<i>Allium cepa</i> <i>L.</i>), cv. verde	Doses: 5, 10 e 15 min Armazenados durante 15 dias a 5 °C	- UV-C controlou o crescimento de patógenos; - Atividade antioxidante de cebola minimamente processada foi aumentada com a maior dose de UV-C; -Ocorreu vazamento de eletrólitos das cebolas minimamente processadas que receberam altas doses de UV-C; -Doses mais baixas foram recomendadas para controle de patógenos, assim como controle da perda de eletrólitos e redução da deterioração.	Kasim; Kasim, 2012
Bluberry (<i>Vaccinium corymbosum</i> <i>L.</i> cvs. Collins, Bluecrop	Doses: 0 a 0,4 J cm ⁻² Armazenadas durante 7 dias a 5 °C e depois mais 2 dias a 20 °C	- A perda de peso e a firmeza não foram afetadas pelo tratamento - Antioxidantes (antocianina e fenólicos totais) e atividade antioxidante (FRAP) aumentaram com a intensidade do tratamento.	Perkins- Veazie <i>et al.</i> , 2008
Uvas (<i>Vitis vinifera</i> <i>L.</i>) - cvs. Thompson, Outono, Black, B36-55	Doses: 0,0036 J cm ⁻² por 5 min	- Redução da incidência de podridão (<i>Botrytis cinerea</i>) - UV-C induziu a produção de fenólicos em bagas da cv. Black e trans-resveratrol tanto na cv Outono como na B36-55	Romanazzi <i>et al.</i> , 2006
Manga (<i>Mangifera indica</i> cv. Haden)	Doses: 2,46 e 4,93 J cm ⁻² Armazenadas por 18 dias a 25 °C	- UV-C manteve uma melhor aparência geral dos frutos, um menor percentual de deterioração e aumento da vida de prateleira de mangas.	González- Aguilar <i>et al.</i> , 2007
Manga (<i>Mangifera indica</i> cv. Tommy Atkins)	Doses: 0,49 e 0,99 J cm ⁻²	- O tratamento de 0,49 J cm ⁻² resultou em melhor aparência e textura dos frutos. - A aplicação de uma dose mais elevada induziu a senescência.	González- Aguilar <i>et al.</i> , 2001

Vários fatores afetam a eficiência do tratamento na manutenção ou aumento de fitoquímicos dentre eles: o tipo de produto hortícola, o tempo de exposição da radiação e a classe dos fitoquímicos. Shama e Alderson (2005) sugerem que tratamentos utilizando UV promovem reações de fotoxidação nas plantas através da produção de EROs, que fazem com que as plantas reajam e estimulem seus mecanismos de defesa. Quando uma dose hormética de radiação é absorvida por um material biológico, ela pode interagir com átomos e moléculas, principalmente a água, produzindo EROs pela redução univalente do oxigênio de uma maneira rápida e controlada (GONZÁLEZ-AGUILAR *et al.*, 2010). No entanto, os mecanismos pelos quais ocorrem as alterações causadas pela radiação UV-C, como o aumento do potencial antioxidante, ainda não

estão completamente elucidados. No entanto, sabe-se que o metabolismo secundário é ativado juntamente com o sistema antioxidante enzimático e que haveria a formação de EROs, como oxigênio singlete ($^1O^2$), radical superóxido ($^{\cdot}O_2^-$), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e radical hidroxil ($^{\cdot}OH$) (GONZÁLEZ-AGUILAR *et al.*, 2010; KOVÁCS; KERESZTES, 2002).

A exposição do fruto a um estresse abiótico, ocasiona uma resposta complexa que é iniciada com a percepção do estresse e que pode ativar vias de transdução de sinais que manifestam mudanças celulares, fisiológicas e dos níveis de desenvolvimento, induzindo a produção de compostos com propriedades antioxidantes provenientes do metabolismo secundário, aumento da atividade das enzimas antioxidantes, síntese de carotenóides e fenólicos, que podem atuar em defesa da oxidação celular, resultando em resistência dos frutos a doenças (BAKA *et al.*, 1999; COSTA *et al.*, 2006; ERKAN *et al.*, 2007; SEVERO, 2009; POMBO *et al.*, 2011; LIU *et al.*, 2009) (Figura 23).

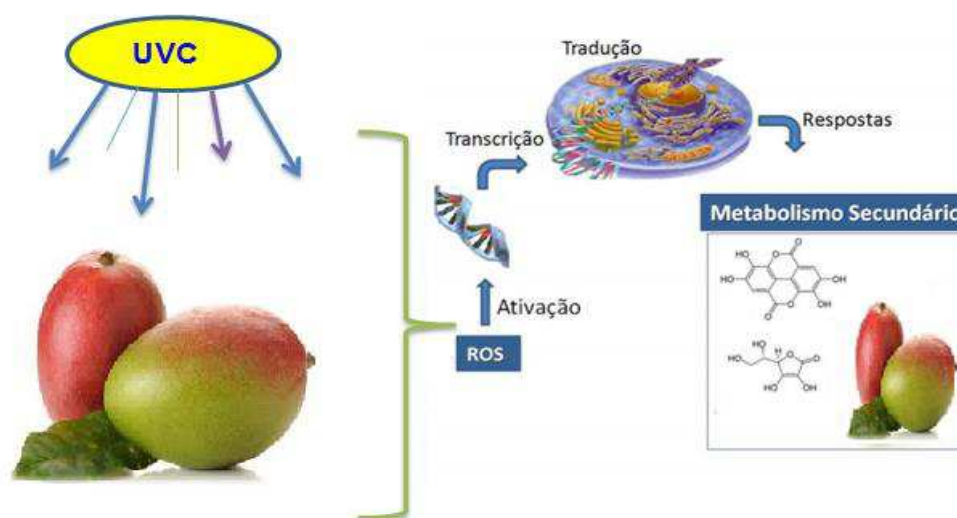


FIGURA 23. Mecanismo de proteção das plantas frente à radiação UV-C. **FONTE:** adaptado de Crizel (2012).

Castagna *et al.* (2013), avaliando o efeito pós-colheita UV-B na qualidade nutricional e propriedades físicas de tomates, mostraram que as respostas em componentes como carotenóides e ascorbato dependem do gene LeDDB1. Nasibi e Kalantari (2005) avaliando o efeito das radiações UV-A, UV-B e UV-C nos conteúdos de proteínas, ascorbato, peroxidação lipídica e fitoquímicos em nabo (*Brassica napus*) mostraram que proteínas, flavonóides, e antocianinas foram significativamente mais

elevados em plantas tratadas com UV-B e UV-C em comparação com as tratadas com UV-A. Os autores sugerem que o incremento de proteínas está provavelmente relacionado com a síntese de proteínas de defesa, como a proteína do choque térmico (HSP), a expressão de genes que codificam as enzimas antioxidantes, e a síntese de compostos que absorvem UV como os responsáveis pela via dos fenilpropanóides como a fenilalanina amônia liase (PAL), chalcona sintase (CHS) e chalcona isomerase (CHI). Cominelli *et al.* (2008) avaliaram a expressão transcricional de genes que regulam a biossíntese de antocianinas em *Arabidopsis thaliana* expostas à radiação UV-A e UV-B, e observaram maior expressão de genes relacionados com a via metabólica de biossíntese quando comparado ao controle. Além disso, demonstraram, também, que a radiação induz fortemente a expressão de genes *PAP1* e *PAP2*, ambos da família dos fatores de transcrição MYB, considerados reguladores da biossíntese dos fenilpropanóides. Tiecher (2010) observou um aumento nos níveis de carotenóides durante o armazenamento de tomates submetidos ao tratamento com UV-C, especialmente o licopeno, resultado do acúmulo prévio de transcritos de *PSY* e *ZCD*, que codificam enzimas responsáveis pela síntese de carotenóides, e que tiveram a expressão transcricional elevada no epicarpo dos frutos no primeiro dia após o tratamento com UV-C e no último dia de armazenamento no mesocarpo.

Relatos da aplicação da tecnologia de LP em frutos e hortaliças na pós-colheita são discretos e escassos em relação aos frutos tropicais, portanto, pouco se sabe sobre os mecanismos fisiológicos em decorrência da aplicação desse tratamento em frutos e hortaliças (Tabela 5).

TABELA 5. Efeito da luz pulsada na pós-colheita em vegetais.

REFERÊNCIAS	VEGETAL	DOSE	EFEITO	SISTEMA DE LP
Oms-Oliu <i>et al.</i> , (2010)	Cogumelos minimamente processados	4,8 J cm ⁻²	Manutenção da textura e propriedades antioxidantes	SteriBeam
Ignat <i>et al.</i> , (2011)	Maçãs minimamente processadas	1,7; 5,2; 10,5 e 15,7 J cm ⁻²	Baixa fluência de 1,7 J cm ⁻² não afetou a qualidade a aparência dos cubos de maçã	Claranor
Kalaras <i>et al.</i> , (2012)	Cogumelos	0,79 J cm ⁻²	Aumento da vitamina D	Xenon Corporation
Aguiló-Aguayo <i>et al.</i> , (2013)	Tomate	30 J cm ⁻²	Aumento da quantidade de licopeno	Claranor
Charles <i>et al.</i> , (2013)	Mangas “Kent”	8 J cm ⁻²	Manteve a firmeza, e o conteúdo de carotenóides	Claranor

De acordo com Castagna *et al.* (2013), a modificação da intensidade e/ou qualidade da luz é uma forma de estresse particularmente promissora porque parece existir um papel central da luz em alguns processos metabólicos envolvidos na biossíntese de compostos fitoquímicos de interesse para a saúde humana.

3.2 Processamento mínimo e seus efeitos fisiológicos

Sendo o comércio de produtos à base de frutos frescos bastante dinâmico a possibilidade da aplicação do tratamento de LP na conservação e aumento da qualidade nutricional de frutos minimamente processados surge de forma bastante promissora e atrativa. O processamento mínimo no Brasil teve início com a chegada das redes de refeições rápidas ou fast foods, no final da década de 70, e condizem perfeitamente com as características da sociedade moderna: envelhecimento da população, urbanização, aumento da participação feminina no mercado de trabalho, dentre outros fatores (SILVA *et al.*, 2011).

De acordo com Moretti (2007), frutos e hortaliças minimamente processados são, em essência, frutos ou vegetais que passaram por alterações físicas, isto é, foram descascados, picados, torneados e ralados, dentre outros processos, mas mantidos no estado fresco e metabolicamente ativos. Assim, os hortifrutícolas minimamente processados são produtos que sofreram operações de limpeza, lavagem, seleção e corte, até chegarem a um produto totalmente aproveitável, que é embalado, a fim de se oferecer aos consumidores frescor, conveniência e qualidade nutricional. A **figura 24** resume as etapas do processamento mínimo de frutos e hortaliças, sendo que cada produto apresenta particularidades em relação ao seu processamento.

Ao contrário das técnicas de processamento de alimentos que estabilizam os produtos e aumentam sua durabilidade, o processamento mínimo aumenta a perecibilidade dos alimentos (CANTWELL, 2000). No entanto, a aplicação de LP pode manter a qualidade e incrementar alguns fitoquímicos de interesse como carotenóides e fenólicos em produtos minimamente processados de origem vegetal.

Muitos fatores influenciam a qualidade de vegetais minimamente processados, como as condições de cultivo e as práticas culturais adotadas, a cultivar utilizada, o ponto de colheita, os métodos usados na colheita e no manuseio, os padrões de inspeção, assim como a duração e as condições de armazenamento. A vida útil dos vegetais minimamente processados é diretamente afetada pela cultivar que vai

influenciar no rendimento, qualidade e resistência (ALVES *et al.*, 2000) e pelo estágio de maturação, uma vez que frutas imaturas geralmente têm baixo teor de açúcar e frutas muito maduras têm vida útil limitada (WATADA; QI, 1999).

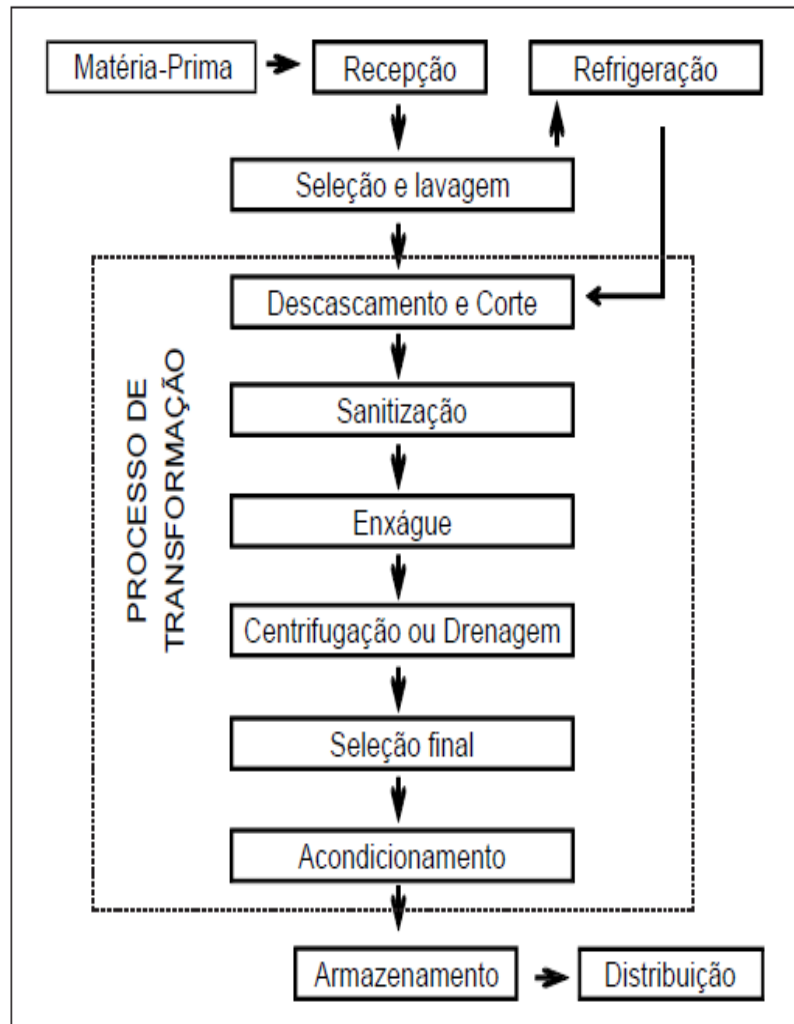


FIGURA 24. Etapas gerais do processamento mínimo de produtos hortifrutícolas.

FONTE: Silva (2011).

Como o objetivo do processamento mínimo de frutas e hortaliças é oferecer aos consumidores produtos similares aos produtos frescos, enfrenta-se alguns problemas. Um dos problemas é que se trata de tecidos vivos, nos quais inúmeras reações químicas e bioquímicas estão ocorrendo, e o segundo é que se deve minimizar ao máximo o risco de contaminação microbológica, uma vez que compromete a segurança do alimento, bem como a qualidade final do produto, pois o crescimento microbiano pode levar a alterações físico-químicas e sensoriais (CENCI, 2011). Dentre os principais processos fisiológicos que ocorrem após a colheita de frutos e hortaliças, destaca-se a respiração

sendo considerado como o melhor indicador da atividade metabólica da célula e a redução de sua intensidade promove a diminuição da taxa de metabolismo como um todo (LANA; FIGNER, 2000).

O processamento mínimo torna os produtos mais perecíveis devido às operações de descascamento e corte. Nos vegetais inteiros, o sistema enzimático está geralmente intacto e ativo. Neste caso, o produto deteriora-se devido ao processo de senescência natural à medida que as reservas de energia vão sendo consumidas e os produtos metabólicos vão sendo acumulados nos tecidos; em consequência disso, os tecidos amaciam e a vida pós-colheita decresce. Quando os produtos vegetais são cortados, descascados ou fatiados, sua taxa metabólica aumenta, o que torna estas etapas críticas e limitam a vida útil de frutos e hortaliças processados minimamente. Isso decorre da maior atividade metabólica das células injuriadas e do aumento da superfície exposta à atmosfera após o corte, o que facilita a penetração do oxigênio no interior das células (CENCI, 2011).

O aumento da taxa metabólica nos frutos minimamente processados ocorre em função da espécie vegetal, do seu grau de maturação, das condições fisiológicas e da composição gasosa da atmosfera ao seu redor, podendo variar pouco ou aumentar em mais de 100% em relação ao produto similar intacto. Portanto, o controle da respiração é essencial para os produtos processados minimamente, o que obriga a sua comercialização sob refrigeração (WILEY, 1994; SOLIVA-FORTUNY; CENCI, 2011). Deficiências no controle da temperatura nas diferentes etapas, como recepção, estocagem, processamento, armazenamento, transporte, distribuição e comercialização do produto têm repercutido negativamente na sanidade, qualidade e vida útil dos frutos e hortaliças minimamente processadas.

4 OBJETIVOS

4.1 Geral

Avaliar os efeitos da aplicação da luz pulsada em mangas da cultivar Tommy Atkins sobre os processos bioquímicos e fisiológicos, partindo da hipótese de que a aplicação de uma baixa dose de luz pulsada interfere positivamente no conteúdo de fitoquímicos, sem afetar negativamente os parâmetros de qualidade.

4.2 Específicos

- Investigar o comportamento da luz pulsada na qualidade pós-colheita, metabolismo antioxidante enzimático e não-enzimático a nível de peroxidação lipídica, além da atividade das enzimas de parede celular e de escurecimento enzimático em mangas, durante o armazenamento a 20 °C por um período de 7 dias;
- Verificar alterações na morfologia dos tecidos submetidos à luz pulsada, durante o armazenamento;
- Compreender como os efeitos horméticos da luz pulsada são transmitidos da casca para a polpa no fruto íntegro;
- Verificar como o modo de aplicação de diferentes doses de luz pulsada interferem na qualidade de mangas minimamente processadas durante 7 dias a 6 °C;
- Verificar se o efeito de uma baixa dose de luz pulsada influencia no conteúdo de fitoquímicos de mangas “Tommy Atkins” minimamente processadas ou no fruto íntegro.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBOTT, J. Quality measurement of fruit and vegetables. Horticultural Crops Quality Laboratory, USDA. **Postharvest Biology and Technology**, v. 15, p. 207-225, 1999.

ABIDI, W.; JIMÉNEZ, S.; MORENO, M. A.; GOGORCENA, Y. Evaluation of antioxidant compounds and total sugar content in a nectarine (*Prunus persica* (L.) Batsch). **International Journal of Molecular Science**, v. 12, p. 6919-6935, 2011.

AGUILÓ-AGUAYO, I.; CHARLES, F., RENARD, C. M. G. C., PAGE, D.; CARLIN, F. Pulsed light effects on surface decontamination, physical qualities and nutritional composition of tomato fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 86, p. 26-29, 2013.

AINA, J. O. Physicochemical changes in African mango (*Irvingia gabonensis*) during normal storage ripening. **Food Chemistry**, v. 36, n. 3, p. 205-212, 1990.

ALEXANDER, L.; GRIERSON, D. Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climacteric fruit ripening. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 377, p. 2039-2055, 2002.

ALLENDE, A.; DESMET, M.; VANSTREELS, E.; VERLINDEN, B. E.; NICOLAI, B. M. Micromechanical and geometrical properties of tomato skin related to differences in puncture injury susceptibility. **Postharvest Biology and Technology**, v. 34, p. 131-141, 2004.

ALVES, R. E.; FILGUEIRAS, H. C. ; MENEZES, J. B. ; ASSIS, J. S. de LIMA; LIMA, M. A. C. de. ; AMORIM, T. B. F. ; MARTINS, A. G. Colheita e pós-colheita. In: GENÚ, P. J. de C.; PINTO, A. C. de Q. **A cultura da mangueira**. 1. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. cap. 17, p. 38-405.

ALVES, R. E.; SOUZA FILHO, M. S. M.; BASTOS, M. S. R.; FILGUEIRAS, H. A. C.; BORGES, M. F. Pesquisa em processamento mínimo de frutas no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE PROCESSAMENTO MÍNIMO DE FRUTAS E HORTALIÇAS, 2., 2000, Viçosa. **Palestras...** Viçosa: UFV, 2000. p.75-85.

ANDERSON, J. G., ROWAN, N. J., MACGREGOR, S. J., FOURACRE, R. A. AND FARISH, O. Inactivation of food-borne enteropathogenic bacteria and spoilage fungi using pulsed-light. **IEEE Transactions on Plasma Science**, v. 28, p. 83-88, 2000.

APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. **Annual Review of Plant Biology**, v. 55, p. 373-399, 2004.

ARAÚJO, P. F. **Antioxidante de néctar de amora-preta (*Rubus* spp.) e sua influência sobre os lipídios séricos, glicose sanguínea e peroxidação lipídica em hamsters (*mesocricetus auratus*) hipercolesterolêmicos**. 2009. p. 122. Dissertação (Mestrado em Ciência Agroindustrial). Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas - RS.

AURAND, R.; FAUROBERT, M.; PAGE, D.; MAINGONNAT, J. F.; BRUNEL, B.; CAUSSE, M.; BERTIN, N. Anatomical and biochemical trait network underlying genetic variations in tomato fruit texture. **Euphytica**, v. 187, p. 99-116, 2012.

AWAD, M. **Fisiologia pós-colheita de frutos**. Editora Nobel, São Paulo. 1993, 114p.

BAKA, M.; MERCIER, J.; CORCUFF, R.; CASTAIGNE, F.; ARUL, J. Photochemical treatment to improve storability of fresh strawberries. **Journal of Food Science**, v. 64, p.1068-1072, 1999.

BARRETO, J. C.; TREVISAN, M. T. S.; HULL, W. E.; ERBEN, G.; BRITO, E. S.; PFUNDSTEIN, B.; WURTELE, G.; SPIELGELHALDER, B.; OWEN, R. W. Characterization and quantitation of polyphenolic compounds in bark, kernel, leaves, and peel of mango (*Mangifera indica* L.). **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 56, p. 5599-5610, 2008.

BARRETO, N. D. S. **Qualidade dos Compostos Bioativos e Capacidade Antioxidante de Frutos Híbridos Comerciais de Meloeiro Cultivados no CE e RN**, Tese – (Universidade Federal Rural do semiárido), p. 21-39-Mossoró, RN, 2011.

BATISTA, P. F. **Qualidade, Compostos Bioativos e atividade Antioxidante Produzidos no Submédio do Vale do São Francisco**. Dissertação – (Universidade Federal Rural do Semiárido). Mossoró-RN, 2010.

BERARDINI, N.; CARLE, R.; SCHIEBER, A. Characterization of gallotannins and benzophenone derivatives from mango (*Mangifera indica* L. Cv. Tommy Atkins) peels, pulp and kernels by high-performance liquid chromatography/electrospray ionization mass spectrometry. **Rapid Commun Mass Spectrometry**, v. 18, 2208-2216, 2004.

BIALKA, K. L.; DEMIRCI, A.; PURI, V. M. Modeling the inactivation of Escherichia coli O157:H7 and Salmonella enterica on raspberries and strawberries resulting from exposure to ozone or pulsed Ultraviolet light. **Journal of Food Engineering**, v. 85, p. 444-449, 2008.

BLEINROTH, E. W. Determinação do ponto de colheita das frutas. In: **Tecnologia de pós-colheita de frutas tropicais**. 2. ed. rev. Campinas: ITAL, 1992. cap. 1, p. 1-18. (Manual Técnico, 9).

BOLTON, J. R. Calculation of ultraviolet fluence rate distributions in an annular reactor: Significance of refraction and reflection. **Water Research**, n. 34, p. 3315-3324, 2000.

BOVERIS, A.; CHANCE, B. Mitochondrial generation of hydrogen peroxide - General properties and effect of hyperbaric-oxygen. **Biochemical Journal**, v. 134, p. 707-716, 1973.

BRAVO, S.; GARCÍA-ALONSO, J.; MARTÍN-POZUELO, G.; GÓMEZ, V.; SANTAELLA, M.; NAVARRO-GONZÁLEZ, I.; PERIAGO, M. J. The influence of post-harvest UV-C hormesis on lycopene, b-carotene, and phenolic content and

- antioxidant activity of breaker tomatoes. **Food Research International**, v. 49, p. 296-302, 2013.
- BRECHT, J.; YAHIA, E. M. Postharvest physiology. In: LITZ, R. (Ed.). **The mango: botany, production and uses**. 2nd ed. Wallingford: CAB International, 2009. p. 484-528.
- BRITTON, G.; LIAAEN-JENSEN, S.; PFANDER, H. Carotenoids today and challenges for the future. **Carotenoids: Isolation and Analysis**, v. 1, p. 13-26, 1995.
- BROOKES, P. S. Mitochondrial H⁺ leak and ROS generation: An odd couple. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 38, p. 12-23, 2005.
- CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. High light intensity enhances chlorosis and necrosis in leaves of zinc, potassium and magnesium-deficient bean (*Phaseolus vulgaris*) plants. **Journal of Plant Physiology**, v. 134, p. 308-315, 1989.
- CALABRESE, E. J.; BLAIN, R. B. Hormesis and plant biology. **Environmental Pollution**, v. 157, n. 1, p. 42-48, 2009.
- CANTWELL, M. The dynamic fresh-cut sector of the horticultural industry. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE PROCESSAMENTO MÍNIMO DE FRUTAS E HORTALIÇAS, 2., 2000, Viçosa. **Palestras...** Viçosa: UFV, 2000.
- CANUTO, K. K.; NETO, M. A. S.; GARRUTI, D. S.; LIMA, M. A. C. Evaluation of the use of ethylene inhibitors on production of volatile compounds and mangiferin in mango fruit. **Química Nova**, v. 33, p. 1535-1540, 2010.
- CARA, B.; GIOVANNONI, J. J. Molecular biology of ethylene during tomato fruit development and maturation. **Plant Science**, v. 175, p. 106-113, 2008.
- CARDELLO, H. M. A. B.; CARDELLO, L. Teor de vitamina C, atividade de ascorbato oxidase e perfil sensorial de manga (*Mangifera indica* L.) var. Haden, durante o amadurecimento. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 18, n. 2, 1998.
- CARPITA, N.; McCANN, M. **The cell wall**. In: BUCHANAN, B. B; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. (Eds.). **Biochemistry & molecular biology of plants**. American Society of Plant Physiologists. ch. 2, p. 52-108, 2000.
- CARVALHO, C. R. L.; ROSSETTO, C. J.; MANTOVANI, D. M. B.; MORGANO, M. A.; CASTRO, J. V.; BORTOLETTO, N. Avaliação de cultivares de mangueiras selecionadas pelo Instituto Agrônomo de Campinas comparada a outras de importância comercial. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 2, p. 264-271, 2004.
- CARVALHO, R. R.; PELLIZZON, C. H, JUSTULIN JR, L.; FELISBINO, S. L.; VILEGAS, W.; BRUNI, F, LOPES-FERREIRA, M.; HIRUMA-LIMA, C. A. Effect of mangiferin on the development of periodontal disease: Involvement of lipoxin A4, anti-chemotaxic action in leukocyte rolling. **Chemico-Biological Interactions**, n. 179, p. 344-350, 2009.

CASTAGNA, A.; CHIAVARO, E.; DALL'ASTA, C.; RINALDI, M.; GALAVERNA, G.; RANIERI, A. Effect of Postharvest UV-B on irradiation on nutraceutical quality and physical properties of tomatoes fruits. **Food Chemistry**, v. 137, p. 151-158, 2013.

CAUSSE, M.; BURET, M.; ROBINI, K.; VERSCHAVE, P. Inheritance of nutritional and sensory quality traits in fresh market tomato and relation to consumer preferences. **Journal of Food Science**, v. 68, p. 2342-2350, 2003.

CENCI, S. A. **Processamento Mínimo de Frutas e Hortaliças: Tecnologia, qualidade e sistemas de embalagem**. Embrapa Agroindústria de Alimentos. Rio de Janeiro, RJ. 144p, 2011.

CERQUEIRA, F. M.; MEDEIROS, M. H. G.; AUGUSTO, O. Antioxidantes dietéticos: controvérsias e perspectivas. **Revista Química Nova**, v. 3, n. 2, 2007.

CHAIRAT, B.; NUTTHACHAI, P.; VARIT, S. Effect of UV-C treatment on chlorophyll degradation, antioxidant enzyme activities and senescence in Chinese kale (*Brassica oleracea* var. *alboglabra*). **International Food Research Journal**, v. 20, p. 623-628, 2013.

CHANG, J. C.; OSSOFF, S. F.; LOBE, D. C.; DORFMAN, M. H.; DUMAIS, C.M.; QUALLS, R.G. AND JOHNSON, J. D. Ultraviolet (UV) inactivation of pathogenic and indicator organisms. **Applied Environmental Microbiology**, v. 49, p. 1361-1365, 1985.

CHARLES, F.; VIDAL, V.; OLIVE, F.; FILGUEIRAS, H.; SALLANON, H. Pulsed light treatment as new method to maintain physical and nutritional quality of fresh-cut mangoes. **Innovative Food Science and Emerging Technology**, v. 18, p. 190-195. 2013.

CHAVES, A. L. S.; MELLO-FARIAS, P. C. Ethylene and fruit ripening from illumination gas to the control of gene expression, more than a century of discoveries. **Genetics and Molecular Biology**, v. 29, n. 3, p. 508-515, 2006.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.

CLIFF, M.; LOK, S.; LU, C.; TOIVONEN, P. M. A. Effect of 1-methylcyclopropene on the sensory, visual, and analytical quality of greenhouse tomatoes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 53, p. 11-15, 2009.

COCOZZA, F. D. M. **Maturação e conservação de manga "Tommy Atkins" submetida a aplicação pós-colheita de 1-metilciclopropano**. 2003. 198f. Tese. (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas, 2003.

COLLINS, A. R. Carotenoids and genomic stability. **Mutation Research Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis**, v. 475, p. 21-28, 2001.

COMINELLI, E.; GUSMAROLI, G.; ALLEGRA, D.; GALBIATI, M.; WADE, H. K.; JENKINS, G. I.; TONELLI, C. Expression analysis of anthocyanin regulatory genes in

response to different light qualities in *Arabidopsis thaliana*. **Journal of Plant Physiology**, v. 165, p. 886-894, 2008.

CONKLIN, P. L. Recent advances in the role and biosynthesis of ascorbic acid in plants. **Plant Cell and Environment**, v. 24, p. 383-394, 2001.

COOPER, C. E.; ELWELL, E. E.; MEEK, J. H.; MATCHER, S. J., WYATT, J. S.; COPE, M.; DELPY, D. T. The noninvasive measurement of absolute cerebral deoxyhaemoglobin concentration and mean optical path length in the neonatal brain by second derivative near infrared spectroscopy. **Pediatra Research**, v. 39, p. 32-38, 1996.

COSTA, L.; VICENTE, A. R.; CIVELLO, P. M.; CHAVES, A. R.; MARTÍNEZ, A. R. UV-C treatment delays postharvest senescence in broccoli florets. **Postharvest Biology and Technology**, v. 39, p. 204-210, 2006.

CRIZEL, G. R. **Efeito da radiação UV-C durante o cultivo de morangos: aspectos bioquímicos, fisiológicos e tecnológicos**. 2012. 71 p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Pelotas, Rio Grande do Sul, RS, 2012.

CUNHA, G. A. P. da.; SAMPAIO, J. M. M.; NASCIMENTO, A. S. do.; SANTOS FILHO, H. P.; FONSÊCA, N. **A cultura da manga**. Brasília: Embrapa-SPI, 1994. 54 p. (Coleção Plantar, 10).

CUNNINGHAM, F. X.; GANTT, E. Genes and enzymes of carotenoid biosynthesis in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 49, p. 557-583, 1998.

D'ÁVILA, R. F. **Amêndoa de pêssego: Atividade de β -glucosidases e composição físico-química e fitoquímica do óleo extraído por diferentes métodos**. Dissertação, 102f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2013.

DARVISHI, S.; FATEMI, A.; DAVARI, K. Keeping quality of use of fresh "Kurdistan" strawberry by UV-C radiation. **World Applied Sciences Journal**, v. 17, p. 826-831, 2012.

DAVEY, M. W.; MONTAGU, M. V.; INZE, D.; SANMARTIN, M.; KANELIS, A.; SMIRNOFF, N.; BENZIE, I. J. J.; STRAIN, J. J.; FAVELL, D.; FLETCHER, J. Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 80, p. 825-860, 2000.

DEMBITSKY, V. M.; POOVARODOM, S.; LEONTOWICZ, H.; LEONTOWICZ, M.; VEARASILP, S.; TRAKTENBERG, S.; GORINSTEIN, S. The multiple nutrition properties of some exotic fruits: biological activity and active metabolites. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 1671-1701, 2011.

- DESIKAN, R.; MACKERNESS, S. A. H.; HANCOCK, J. T.; NEILL, S. J. Regulation of the *Arabidopsis* transcriptome by oxidative stress. **Plant Physiology**, v. 127, n. 1, p. 159-172, 2001.
- DEVALARAJA, S.; JAIN, S.; YADAV, H. Exotic fruits as therapeutic complements for diabetes, obesity and metabolic syndrome. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 1856-1865, 2011.
- DEVAUX, M. F.; BOUCHET, B.; LEGLAND, D.; GUILLON, F.; LAHAYE, M. Macro-vision and grey level granulometry for quantification of tomato pericarp structure. **Postharvest Biology and Technology**, v. 47, p. 199-209, 2008.
- DOREYAPPA GOWDA, I. N. **Ripening changes in mango fruits - a review**. Indian Food Packer, p. 89-91, 2002.
- DUNN, J.; OTT, T.; CLARK, W. Pulsed-light treatment of food and packaging. **Food Technology**, v. 49, p. 95-98, 1995.
- EGEA, I.; BARSAN, C.; BIAN, W.; PURGATTO, E.; LATCHE, A.; CHERVIN, C.; BOUZAYEN, M.; PECH, J. C. Chromoplast differentiation: current status and perspectives. **Plant and Cell Physiology**, 51, p. 1601-1611, 2010.
- ELMNASSER, N; GUILLOU, S.; LEROI, F.; ORANGE, N.; BAKHROUF, A.; FEDERIGHI, M. Pulsed-light system as novel food decontamination technology: A Review. **Canadian Journal Microbiology**, v. 53, p. 813-821, 2007.
- ELSTNER, E. F. **Mechanisms of oxygen activation in different compartments of plant cells**. In: Pchiell E.J., Steffen K.L., eds. Active oxygen/oxidative stress and plant metabolism. Rockville, M.D: American Society of Plant Physiologists, p. 13-25, 1991.
- ERKAN, M.; WANG, S. Y.; WANG, C. Y. Effect of UV treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme and decay in strawberries fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 48, n. 2, p. 163-171, 2007.
- ESAU, K. **Anatomy of seed plants**. New York, John Wiley and Sons, 1977.
- ESCARPA, A.; GONZÁLES, M. C. An overview of analytical chemistry of phenolic compounds in foods. **Critical Reviews in Analytical Chemistry**, v. 31, n. 2, p. 57-139, 2001.
- FAO-Production 2011-2012**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 02 mai. 2015.
- FARAONI, A. S.; RAMOS, A. M.; STRINGHETA, P. C. Caracterização da manga orgânica da cultivar ubá. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 11, n. 1, p. 9-14, 2009.
- FOOD AND DRUG ADMINISTRATION-FDA**. Code of Federal Regulations. 21CFR179. 41. Giovannoni, J. J. (2007). Fruit ripening mutants yield insights into ripening control. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 10, p. 283-289, 1996.

- FOOTE, C. S.; VALENTINE, J. S.; GREENBERG, A.; LIEBMAN, J. F. (Eds.) **Active Oxygen in Chemistry**. New York: Chapman and Hall, 1985.
- FOYER, C. H.; LELANDAIS, M.; KUNERT, K. J. Photooxidative stress in plants. **Physiology Plant**, v. 92, p. 696-717, 1994.
- FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Redox regulation in photosynthetic organisms: signaling, acclimation, and practical implications. **Antioxidants & redox signaling**, n.1, p.861-905, 2009.
- FOYER, C. H.; ROWELL, J.; WALKER, D. Measurement of the ascorbate content of spinach leaf protoplasts and chloroplasts during illumination. **Planta**, p. 239-244, 1983.
- FRANK H. A.; COGDELL, R. J. Carotenoids in photosynthesis. **Photochemistry and Photobiology**, n. 63, p. 257-264, 1996.
- FRUITROP, 2015**. Versão francesa, Fevereiro, 2015, nº 164.
- GARRIDO, G.; GONZÁLEZ, D.; ROMAY, C.; NÚÑEZ-SELLÉS, A. J.; DELGADO, R.. Scavenger effect of a mango (*Mangifera indica L.*) food supplement's active ingredient on free radicals produced by human polymorphonuclear cells and hypoxanthine-xanthine oxidase chemiluminescence systems. **Food Chemistry**, v. 107, p. 1008, 2008.
- GHIANI, A.; ONELLI, E.; AINA, R.; COCUCCI, M.; CITTERIO, S. A comparative study of melting and non-melting flesh peach cultivars reveals that during fruit ripening endo-polygalacturonase (endo-PG) is mainly involved in pericarp textural changes, not in firmness reduction. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, p. 4043-4054, 2011.
- GIESE, N.; DARBY, J. Sensitivity of microorganisms to different wavelengths of ultraviolet (UV) light: implications on modeling of medium pressure ultraviolet (UV) systems. **Water Research**, v. 34, p. 4007-4013, 2000.
- GIOVANNONI, J. J. Genetic Regulation of fruit development and ripening. **The Plant Cell**, v. 16, p. 170-180, 2004.
- GOFUR, M. A.; SHAFIQUE, M. Z.; HELALIH.; IBRAHIM, M.; RAHMAN, M. M.; HAKIM, A. Effect of various factors on the vitamin C (ascorbic acid) content of some mango varieties grown in Rajshahi region. **Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research**, v. 29, n. 3, p. 163-171, 1994.
- GOMES, P. **Fruticultura brasileira**. 2010. Disponível em <<http://www.bibvirt.futuro.usp.br>>. Acesso em: 10 jul. 2015.
- GÓMEZ, P. L.; GARCÍA-LOREDO, A.; NIETO, A.; SALVATORI, D. M.; GUERRERO, S.; ALZAMORA, S. M. Effect of pulsed light combined with an antibrowning pretreatment on quality of fresh cut apple. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 16, p. 102-112, 2012.

GÓMEZ-LÓPEZ, V. M.; RAGAERT, P.; DEBEVERE, J.; DEVLIEGHERE, F. Pulsed light for food decontamination: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 18, p. 464-473, 2007.

GONORD, F. **Estudo dos efeitos dos fatores do ambiente sobre a concentração de carotenóides na polpa de clementinas (*Citrus clementina Hort. Ex Tan.*)**. Tese em Bioquímica e Biologia Molecular. 205p, França, 2011.

GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A.; ZAVALA-GATICA, R.; TIZNADO-HERNANDEZ, M. E. Improving postharvest quality of mango cultivar Haden by UV-C treatment. **Postharvest Biology and Technology**, v. 451, p. 108-116, 2007.

GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A.; VILLA-RODRIGUEZ, J. A.; AYALA-ZAVALA, J. F.; YAHIA, E. M. Improvement of the antioxidant status of tropical fruits as a secondary response to some postharvest treatments. **Review in Trends Food Science and Technology**, v. 21, p. 475-482, 2010.

GONZÁLEZ-AGUILAR.; WANG.; C. Y.; BUTA.; J. G.; KRIZEK.; D. T. Use of UV-C irradiation to prevent decay and maintain postharvest quality of ripe 'Tommy Atkins' mangoes. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 36, p. 767-773, 2001.

GORISTEIN, S.; ZEMSER, M.; HARUENKIT, R.; CHUTHAKORN, R.; GRITAUER, F.; MARTIN-BELLOSO, O.; TRAKHTENBERG, S. Comparative content of total polyphenols and dietary fiber in tropical fruits and persimmon. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 10, n. 6, p. 367-371, 1999.

HALLIWELL, B. Reactive oxygen species in living systems: Source, biochemistry, and role in human disease. **American Journal Medicine**, v. 91, p. 14-22, 1991.

HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J. M. C. **Free Radicals in Biology and Medicine**, 4 ed., Oxford: Clarendon Press, 2006.

HALLIWELL, B.; WHITEMAN, M. Measuring reactive species and oxidative damage in vivo and in cell culture: how should you do it and what do the results mean? **Brazilian Journal of Pharmacology**, v. 142, p. 231-255, 2004.

HARKER, F. R.; REDGWELL, R. J.; HALLETT, I. C.; MURRAY, S. H.; CARTER, G. Texture of fresh fruit. **Horticultural Reviews**, v. 20, p. 121-224, 1997.

HAVAUX, M. Carotenoids as membrane stabilizers in chloroplasts. **Trends in Plant Science**, v. 3, p. 147-151, 1998.

HOREMANS, N.; FOYER, C. H.; POTTERS, G.; ASARD, H. Ascorbate function and associated transport systems in plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, p. 531-540, 2000.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola 2012**. Disponível: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: julho de 2015.

- IGNAT, A.; MANZOCCO, L.; MAIFRENI, M.; BARTOLOMEOLI, I.; NICOLI, M. C. Surface decontamination of fresh-cut apple by pulsed light: Effects on structure, color and sensory properties. **Postharvest Biology and Technology**, 91, 2014, p. 122-127.
- JAMES, J. B.; NGARMSAK, T. 2010. **Processing of Fresh-Cut Tropical Fruits and Vegetables: A Technical Guide**. Food and Agriculture Organization of the United Nations Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, pp. 86.
- JIMÉNEZ, C. I. E.; MARTIZÉZ, E. Y. C.; FONSECA, J. G. Flavonoides y sus acciones antioxidantes. **Revista Faculdade de Medicina**, v. 52, n. 2, p. 73-75, 2009.
- JOAS, J. **Incidence de l'état physiologique de la mangue à la récolte sur sa maturation en cours de conservation**, Avignon et Pays du Vaucluse, Avignon, 186. 2008.
- JUDD, W. S.; CAMPBELL, C. S.; KELLOGG, E. A.; STEVENS, P. F.; DONOGHUE, M. J. **Sistemática Vegetal: Um Enfoque Vegetal**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 632 p.
- KALARAS, M. D.; BEELMAN, R. B.; ELIAS, R. Effects of Postharvest pulsed UV light treatment of white button mushrooms (*Agaricus bisporus*) on vitamin D2 content and quality attributes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60 (1), p. 220-225, 2012.
- KANNAN, V. **Extraction of Bioactive Compounds from Whole Red Cabbage and Beetroot using Pulsed Electric Fields and Evaluation of their Functionality**, Tese, University of Nebraska-Lincoln, v.11, p.160, 2011.
- KASIM, R.; KASIM, M. U. UV-C treatments of freshcut garden cress (*Lepidium sativum* L.) enhanced chlorophyll content and prevent leaf yellowing. **World Applied Sciences Journal**, v.17, p. 509-515, 2012.
- KAYS, S. J. **Postharvest physiology of perishable plant products**. New York: AVI Book, 1991. 532p.
- KEENER, L.; KRISHNAMURTHY, K. Shedding Light on Food Safety: Applications of Pulsed Light Processing. **Food Safety Magazine**, 2014.
- KHADEMI, O.; ZAMANI, Z.; POOR AHMADI, E.; KALANTARI, S. Effect of UV-C radiation on postharvest physiology of persimmon fruit (*Diospyros kaki* Thunb.) cv. 'Karaj' during storage at cold temperature. **International Food Research Journal**, v. 20, p. 247-253, 2013.
- KIM, Y.; BRECHT, J. K.; TALCOTT, S. T. Antioxidant phytochemical and fruit quality changes in mango (*Mangifera indica* L.) following hot water immersion and controlled atmosphere storage. **Food Chemistry**, v. 105, n. 4, p. 1327-1334, 2007.
- KLUGE, R. A.; NACHTIGAL, J. C.; BILHALVA, A. B. **Fisiologia e manejo pós-colheita de frutas de clima temperado**. 2. ed. Pelotas: UFPEL, 2002, 163p.

- KOUTCHMA, T. N.; FORNEY, L. J.; MORARU, C. I. **Ultraviolet light in food technology: principles and applications**. Boca Raton, 278p, 2009.
- KOVÁCS, E.; KERESZTES, A. Effect of gamma and UV-B/C radiation on plant cells. **Micron**, v. 33, p. 199-210, 2002.
- LAKSHIMINARAYANA, S. Mango. In: NAGY, S.; SWAW, P. E. **Tropical and subtropical fruits**. Westport: AVI Publishing, Inc., 1980. p. 157-184.
- LAMEIRO, M. **Poder Antioxidante de Extratos de Amora Preta (*Rubus sp.*) e de Mirtilo (*Vaccinium sp.*) em Ratos wistar**, 2012. Tese Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial da Universidade Federal de Pelotas, 2012.
- LANA, M. M.; FINGER, F. L. **Atmosfera modificada e controlada**. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia: Embrapa Hortaliças, 2000. 34p.
- LARRAURI, J. A.; RUPÉREZ, P.; BORROTO, B.; SAURA-CALIXTO F. Mango peels as a new tropical fiber: preparation and characterization. **Food Science Technology**, v. 29, n. 8, p. 687-670, 1996.
- LE QUERÉ, J. M.; BARON, A.; DRILLEAU, J. F. **Des fruits aus jus de fruits et produits fermentés**. In: Science des Aliments, Tec et Doc Editions. Paris, 2007.
- LEGLAND, D.; GUILLON, F., KIEU, K.; BOUCHET, B.; DEVAUX, M. F. Stereological estimation of cell wall density of DR12 tomato mutant using three-dimensional confocal imaging. **Annals of Botany**, v. 105, p. 265-276, 2009.
- LI, H.; HUANG, J.; YANG, B.; XIANG, T.; YIN, X.; PENG, W.; CHENG, W.; WAN, J.; LUO, F.; LI, H.; REN, G. Mangiferin exerts antitumor activity in breast cancer cells by regulating matrix metalloproteinases, epithelial to mesenchymal transition, and β -catenin signaling pathway. **Toxicology and Applied Pharmacology**, v. 272, p.180-190, 2013.
- LIMA, M. A. C.; SILVA, A. L.; AZEVEDO, S. S. N. Evolução de indicadores do ponto de colheita em manga ‘Tommy Atkins’ durante o crescimento e a maturação, nas condições do vale do São Francisco, Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 2, p. 432-439, 2009.
- LIU, J.; STEVENS, C.; KHAN, V.; LU, J.; WILSON, C.; ADEYEYE, O.; KABWE, M.; PUSEY, P.; CHALUTZ, E.; SULTANA, T.; DROBY, S. Application of ultraviolet-C light on storage rots and ripening of tomatoes. **Journal of Food Protection**, v. 56, p. 868-872, 1993.
- LIU, L. H.; ZABARAS, D.; BENETT, L. E.; AGUAS, P.; WOONTON, B. W. Effects of UV-C, red light and sun light on the carotenoid content and physical qualities of tomatoes during post-harvest storage. **Food Chemistry**, v. 115, p. 495-500, 2009.

- LIU, C. H., CAI, L. Y., LU, X. Y., HAN, X. X., YING, T. J. Effect of postharvest UV-C irradiation on phenolic compound content and antioxidant activity of tomato fruit during storage. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 11, p. 159-165, 2012
- LOPEZ-CASADO, G.; MATAS, A. J.; DOMINGUEZ, E.; CUARTERO, J.; HEREDIA, A. Biomechanics of isolated tomato (*Solanum lycopersicum L.*) fruit cuticles: the role of the cutin matrix and polysaccharides. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, p. 3875-3883, 2007.
- LUCENA, E. M. P. de.; SILVA JÚNIOR, A.; CAMPELO, I. K. M. **Caracterização físico-química da manga (*Mangifera indica L.*), variedade Tommy Atkins, em diferentes estádios de maturação.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 17., 2000, Fortaleza. **Resumos...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2000.
- MACGREGOR, S. J.; ROWAN, N. J.; MCLLVANEY, L.; ANDERSON, J. G.; FOURACRE, R. A.; FARISH, O. Light inactivation of food-related pathogenic bacteria using a pulsed power source. **Letters in Applied Microbiology**, 1998.
- MACHADO, H.; NAGEM, T. J.; PETERS, V. M.; FONSECA, C. S.; OLIVEIRA, T. T. Flavonóides e seu potencial terapêutico. **Boletim do Centro de Biologia Reprodução**. UFJF, v. 26, p. 33-39, 2008.
- MACHEIX, J. J. **Les esters hydroxycinnamiques de la pomme: identification, variations au cours de la croissance du fruit et métabolisme.** Thèse d'Etat, Paris. 168 p. 1974.
- MAIA, G. A.; SOUSA, P. H. M.; LIMA, A. S.; CARVALHO, J. M.; FIGUEIREDO, R. W. (2009) **Processamento de frutas tropicais: nutrição, produção e controle de qualidade.** UFC: Fortaleza, p. 277.
- MANGO CROP REPORT. **Mango Crop Report Updated.** Disponível em: <mango.org/crop.>. Acesso em: 15 out. 2013.
- MARQUES, A.; CHICAYBAN, G.; ARAÚJO, M. T.; MANHÃES, R. L. T.; SABAA-SRUR, A. U. O. Composição centesimal e de minerais de casca e polpa de manga (*Mangifera indica L.*) cv. Tommy Atkins. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 4, 2010.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**, 2nd ed. (1995) London, UK: Academic Press.
- MATAS, A. J.; COBB, E. D.; PAOLILLO, D. J.; NIKLAS, K. J. Crack resistance in cherry tomato fruit correlates with cuticular membrane thickness. **Hortscience**, v. 39, p. 1354-1358, 2004.
- MATOO, A. K.; MURATA, T.; PANTASTICO, E. B.; CHACHIN, K.; OGATA, K.; PHAN, C. T. Chemical changes during ripening and senescence. In: PANTASTICO, E. B. **Postharvest physiology, handling and utilization of tropical and subtropical fruits and vegetables.** Westport: The AVI Publishing, 1975. p. 103-127.

MEDLICOTT, A. P.; BHOGOL, M.; REYNOLDS, S. B. Changes in peel pigmentation during ripening of mango fruit (*Mangifera indica* var. Tommy Atkins). **Annals of Applied Biology**, v. 109, n. 3, p. 651-656, 1986.

MEDLICOTT, A. P.; REYNOLDS, S. B. Harvest maturity effects on mango fruit ripening. **Tropical Agriculture**, v. 65, n. 2, p. 153-157, 1988.

MEDLICOTT, A. P.; SEMPLE, A. J.; THOMPSON, A. J.; BLACKBOURNE, H. R.; THOMPSON, A. K. Measurement of color changes in ripening bananas and mangoes by instrumental, chemical and visual assessments. **Tropical Agriculture**, 69, n. 2, p.161-166, 1992.

MELO, E. A.; ARAÚJO, C. R. Mangas das variedades espada, rosa e Tommy Atkins: compostos bioativos e potencial antioxidante. **Semina**, v. 32, n. 4, p.1451-1460, 2011.

MERCANDANTE, A. Z.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Effects of ripening, cultivar differences and processing on the carotenoid composition of mango. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, p. 128-130, 1998.

MERCIER, J.; BAKA, M.; REDDY, B.; CORCUFF, R.; ARUL, J. Shortwave ultraviolet irradiation for control of decay caused by *Botrytis cinerea* in Bell pepper: induced resistance and germicidal effects. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 126, p. 128-33, 2001.

MIEDES, E.; LORENCES, E. P. Xyloglucan endotransglucosylase/hydrolases (XTHs) during tomato fruit growth and ripening. **Journal of Plant Physiology**, v. 166, p. 489-498, 2009.

MILLER, G.; SHULAEV, V.; MITTLER, R. Reactive oxygen signaling and abiotic stress. **Physiologia Plantarum**, v. 133, p. 481-489, 2008.

MILLER, R.; JEFFRY, W.; MITCHELL, D.; ELASRI, M. Bacterial response to ultraviolet light. **American Society for Microbiology**, v. 65, p. 535-541, 1999.

MITCHELL, D. L.; JEN, J.; CLEAVER, J. E. Sequence specificity of cyclobutane pyrimidine dimers in DNA treated with solar (ultraviolet B) radiation. **Nucleic Acids Research**, v. 20, p. 225-229, 1992.

MITTLER, R. Abiotic stress, the field environment and stress combination. **Trends in plant science**, v. 1, p. 15-19, 2006.

MOLLER, I. M. Plant mitochondria and oxidative stress: Electron transport, NADPH turnover, and metabolism of reactive oxygen species. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 52, p. 561-591, 2001.

MORETTI, C. L. **Manual de processamento mínimo de frutos e hortaliças**. 1. ed. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2007, 531 p.

- MUKHERJEE, S. K.; LITZ, R. E. Introduction: botany and importance. In: LITZ, R. E. (Org). **The Mango: botany, production and uses**. 2. ed. Wallingford: CAB International, 2009. v. 1, p. 1-18.
- NACZK, M.; SHAHIDI, F. Phenolics in cereals, fruits and vegetables: occurrence, extraction and analysis. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, p. 1523-1524, 2006.
- NAKANO, Y.; ASADA, K. Spinach chloroplasts scavenge hydrogen peroxide on illumination. **Plant and Cell Physiology**, v. 21, p. 1295-1307, 1980.
- NASIBI, F.; KALANTARI, M. The effects of UV-A, UV-B and UV-C on protein and ascorbate content, lipid peroxidation and biosynthesis of screening compounds in *brassica napus*. **Iranian Journal of Science & Technology**, v. 29, p. 39-48, 2005.
- NASSUR, R. C. M. R. **Indicadores de qualidade em mangas durante o amadurecimento**. 2013. 86f. Tese (doutorado). Universidade Federal de Lavras, 2013.
- NISHIYAMA, K.; GUI, M.; ROSE, J. K.; KUBO, Y.; BENNETT, K. A.; WANGJIN, L.; KATO, K.; USHIJIMA, K.; NAKANO, R.; INABA, A.; BOUZAYEN, M.; LATSHE, A.; PECH, J. C.; BENNETT, A. B. Ethylene regulation of fruit softening and cell wall disassembly in Charentais melon. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, p. 1281-1290, 2007.
- NUÑEZ-SELLES, A. J. Antioxidant therapy: Myth or reality? **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 16, p. 699-710, 2005.
- NUÑEZ-SELLÉS, A. J.; VELEZ-CASTRO, H. T.; AGUERO-AGÜERO, J. GONZÁLEZ-GONZALEZ, J.; NADDEO, F.; DE SIMONE, F.; RASTELLI, L. Isolation and quantitative analysis of phenolic antioxidants, free sugars, and polyols from mango (*Mangifera indica* L.) stem bark aqueous decoction used in Cuba as nutritional supplement. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 4, p.762-766, 2002.
- ODRIOZOLA-SERRANO, I.; SOLIVA-FORTUNY, R.; MARTÍN-BELLOSO, O. Effect of minimal processing on bioactive compounds and color attributes of fresh-cut tomatoes. **LWT- Food Science and Technology**, v. 41, p. 217-226, 2008.
- OHLSSON, T.; BENGTSSON, N. **Minimal processing technologies in the food industry**. In Ohlsson, T. and Bengtsson, N. (Eds). Cambridge, England: Woodhead Publishing, p. 112. CRC Presss. 2002.
- OMS-OLIÚ, G.; AGUILÓ-AGUAYO, I.; MARTÍN-BELLOSO, O.; SOLIVA-FORTUNY, R. Effects of pulsed light treatments on quality and antioxidant properties of fresh-cut mushrooms (*Agaricus bisporus*). **Postharvest Biology and Technology**, n. 56, p.216-222, 2010.
- ORNELAS-PAZ, J. J.; YAHIA, E. M.; GARDEA, A. A. Changes in external and internal color during postharvest ripening of ‘Manila’ and ‘Ataulfo’ mango fruit and relationship with carotenoid content determined by liquid chromatography APcI+-time-

- of-flight mass spectrometry. **Postharvest Biology and Technology**, v. 20, p. 145-152, 2008.
- PERKINS-VEAZIE, P.; COLLINS, J. K.; HOWARD, L., Blueberry fruit response to postharvest application of ultraviolet radiation. **Postharvest Biology and Technology**, v. 47, p. 280-285, 2008.
- PERL-TREVES, R.; PERL, A. **Oxidative stress: an introduction**. In: INZÉ, D.; MONTAGU, M. V. Oxidative stress in plants. Taylor & Francis, 2002. p. 321.
- PERTUZATTI, P. B. **Compostos bioativos em diferentes cultivares de mirtilo (*Vaccinium ashei* Reade)**. Paula Becker Pertuzatti. Pelotas, 2009. 68f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Universidade Federal de Pelotas, 2009.
- PITZSCHKE, A.; FORNAZI, C.; HIRT H. Reactive oxygen species signaling in plants. **Antioxidants and Redox Signalling**, New York, v. 8, n. 9, p. 1757-1764, 2006.
- POMBO, M. A.; ROSLY, H. G.; MARTÍNEZ, G. A.; CIVELLO, P. M. UV-C treatment affects the expression and activity of defense genes in strawberry fruit (*Fragaria x ananassa*, Duch.). **Postharvest Biology and Technology**, v. 59, p. 94-102, 2011.
- POTTERS, G.; GARA, L. D.; ASARD, H.; HOREMANS, N. Ascorbate and glutathione: guardians of the cell cycle, partners in crime? **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 40, p. 537-548, 2002.
- PRASANNA, V.; PRABHA, T. N.; THARANATHAN, R. N. Fruit Ripening Phenomena-An Overview. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 47, p. 1-19, 2007.
- PROCTOR, A. **Alternatives to Conventional Food Processing**. In Proctor, A. (Ed). Arkansas, USA: Royal Society of Chemistry (RSC), p. 200, 2011.
- PROTRADE. **Mango: Manual de exportacion: frutas tropicales y hortalizas**. Eschborn: GTZ, 1992. 34 p.
- RAUTENKRANZ, A.; LI, L.; MACHLER, F.; MARTINOIA, E.; OERTLI, J. J. Transport of ascorbic and dehydroascorbic acids across protoplast and vacuole membranes isolated from barley (*Hordeum vulgare* L. cv *Gerbel*) leaves. **Plant Physiology**, v. 106, p. 187-193, 1994.
- REDDY, Y. V.; SRIVASTAVA, G. C. Ethylene biosynthesis and respiration in mango fruits during ripening. **Indian Journal of Plant Physiology**, v. 4, n. 1, p. 32-35, 1999.
- RHOADS, D. M.; UMBACH, A. L.; SUBBIAH, C.C.; SIEDOW, J. N. Mitochondrial reactive oxygen species. Contribution to oxidative stress and interorganellar signaling. **Plant Physiology**, v. 141, p. 357-366, 2006.

RIBEIRO, S. M. R.; QUEIROZ, J. H.; PELÚZIO, M. C. G.; COSTA, N. M. B.; MATTA, S. L. P.; QUEIROZ, M. E. L. R. A formação e o efeito das espécies reativas de oxigênio no meio biológico. **Bioscience Journal**, v. 21, n. 3, p. 133-149, 2005.

RICE, M. E. Ascorbate regulation and its neuroprotective role in the brain. **Trends in neurosciences**, v. 23, p. 209-216, 2000.

RICH, P. R.; BONNER, W. D. Sites of superoxide anion generation in higher plant mitochondria. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 188, p. 206-213, 1978.

RIVERA, D.G.; BALMASEDA, I.H.; LEÓN, A. A.; HERNÁNDEZ, B. C.; MONTIEL, L. M.; GARRIDO, G. G, CUZZOCREA, S.; HERNÁNDEZ, R. D. Anti-allergic properties of *Mangifera indica* L. extract (Vimang) and contribution of its glucosylxanthone mangiferin. **Journal of Pharmacy and Pharmacology**, n. 58, p. 385-392, 2006.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. A guide to carotenoid analysis in foods. **ILSI Press. USA**, 2001. RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. A guide to carotenoid analysis in foods. **ILSI Press. USA**, 2001.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A guide to carotenoids analysis in foods**. Washington: Ilsi, 1999. 119p.

ROMANAZZI, G.; MLIKOTA GABLER, F.; SMILANICK, J. L. Preharvest chitosan and postharvest UV irradiation treatments suppress gray mold of table grapes. **Plant Disease**, v. 90, p. 445-450, 2006.

SADAVA, D.; HILLIS, D. M.; HELLER, H. C.; BERENBAUM, M. 2009. **Life: the science of biology**: Macmillan.

SAEED, A. R.; KARAMALLA, K. A.; KHATTAB, A. H. Polyphenolic compounds in pulp of *Mangifera indica* L. **Journal of Food Science**, v. 41, n.4, p. 959-960, 1976.

SALADIÉ, M.; MATAS, A. J.; ISAACSON, T.; JENKS, M. A.; GOODWIN, M.; NIKLAS, K. J.; XIAOLIN, R.; LABAVITCH, J. M.; SHACKEL, K. A.; FERNIE, A. R.; LYTOVCHENKO, A.; O'NEILL, M. A.; WATKINS, C. B.; ROSE, J. K. C. A reevaluation of the key factors that influence tomato fruit softening and integrity. **Plant Physiology**, v. 144, p. 1012-1028, 2007.

SANTOS-SEREJO, J. A. Classificação e descrição botânica. In: PEREIRA, M. E. C.; FONSECA, N.; SOUZA, F. V. D. (Eds.). **Manga: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. 1. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. cap. 1, p. 15-17.

SANTOS, C. N. P. **Elaboração de um estruturado de manga (*Mangifera indica* L. var Tommy Atkins) parcialmente desidratada por osmose**. 2003. 79p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Campinas, 2003.

SAUTTER, C. K.; STORCK, L.; RIZATTI, M. R.; MALMANN, C. A.; BRACKMANN, A. Síntese de trans-resveratrol e controle de podridão em maçãs com

uso de elicitores em pós-colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 9, p. 1097-1103, 2008.

SCANDALIOS, J. G. Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defenses. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 38, p. 995-1014, 2005.

SCHIEBER, A.; ULLRICH, W.; CARLE, R. Characterization of polyphenols in mango puree concentrate by HPLC with diode array and mass spectrometric detection. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 1, n. 2, p. 161-166, 2000.

SELLAMUTHU, P. S.; ARULSELVAN, P.; KAMALRAJ, S.; FAKURAZI, S.; MURUGESAN, K. Protective nature of mangiferin on oxidative stress and antioxidant status in tissues of streptozotocin-induced diabetic rats. **ISRN Pharmacology**, 2013.

SEVERO, J. 2009. **Maturação e UV-C na expressão transcricional de genes envolvidos nas rotas metabólicas de parede celular, compostos fenólicos e aromas em morango**. 94f. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.

SEYMOUR, G. B.; MANNING, K.; ERIKSSON, E. M.; POPOVICH, A. H.; KING, G. J. Genetic identification and genomic organization of factors affecting fruit texture. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, p. 2065-2071, 2002.

SHAMA, G.; ALDERSON, P. UV hormesis in fruits: a concept ripe for commercialization. **Trends in Food Science & Technology**, v. 16, p. 128-136, 2005.

SIGRIST, J. M. M. Respiração. In: BLEINROTH, E. W. (Coord.) et al. **Tecnologia de pós colheita de frutos tropicais**. 2. ed. rev. Campinas: ITAL, 1992. cap. 2, p. 19-26. (Manual Técnico, 9).

SILVA, A. C.; SOUZA, A. P.; LEONEL, S.; SOUZA, M. E.; TANAKA, A. A. Caracterização e correlação física e química dos frutos de cultivares de mangueira em São Manuel, São Paulo. **Magistra**, v. 24, p. 15-26, 2012.

SILVA, E. O.; PINTO, P. M.; JACOMINO, A. P.; SILVA, L. T. **Processamento mínimo de produtos hortifrutícolas**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2011. 71 p. (Documentos, 139).

SOLIVA-FORTUNY, R. C.; MARTIN-BELLOSO, O. New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 14, p. 341-353, 2003.

SOONG, Y. Y.; BARLOW, P. J. Antioxidant activity and phenolic content of selected fruit seeds. **Food Chemistry**, v. 88, n. 3, p. 411-417, 2004.

SOUSA, F. A. **Uso de índice de degradação do amido na indicação na qualidade de mangas “Tommy Atkins” injuriada por impacto**. 2014. 36 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba – PB.

SPEIRS, J.; BRADY, C. J. Modification of gene expression in ripening fruit. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 18, p. 519-532, 1991.

SPIEGEL-ROY, P.; GOLDSCHMIDT, E. E. 1996. **Biology of citrus**.

TADEO, F. R.; CERCOS, M.; COLMENERO-FLORES, J. M.; IGLESIAS, D.; NARANJO, M. A.; RIOS, G.; CARRERA, E.; RUIZ-RIVEIRO, O.; LIISO, O.; MORILLON, R.; OLLITRAULT, P.; TALON, M. Molecular physiology of development and quality of citrus. **Botanical Research: Incorporating Advances in Plant Pathology**, v. 47, p. 147-223, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 5.^{ed}, 2013.

TAKESHITA, K.; SHIBATO, J.; SAMESHIMA, T.; FUKUNAGA, S.; ISOBE, S.; ARIHARA, K. Damage of yeast cells induced by pulsed light irradiation. **International Journal of Food Microbiology**, v. 85, p. 151-158, 2003.

TANDON, D. K.; KALRA, S. K. Changes in sugars, starch and amylase activity during development of mango fruit cv. *Dashehari*. **Journal of Horticultural Science**, v. 58, n. 3, p. 449-453, 1983.

TIECHER, A. **Effect of UV-C radiation on gene expression and biochemical and physiological responses in tomato fruit (*Solanum lycopersicum* Mill.)**. 2010. 71 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Pelotas, 2010.

TOIVONEN, P. M. A.; BRUMMELL, D. A. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, v. 48, p. 1-14, 2008.

TORRES, L. H. L. **Efeitos da inalação da fumaça de cigarro no estresse oxidativo no sistema nervoso central de camundongos jovens**. 2009. 101f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas). Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP.

TREVISAN, R. **Marcadores de estresse oxidativo e outros parâmetros biológicos em peixes e bivalves como ferramentas de monitoramento ambiental: análise de dois ecossistemas catarinenses**. 2008. 54f. Monografia (Graduação em Farmácia)-Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC.

TUCKER, G. A. Introduction. In: SEYMOUR, G. B.; TAYLOR, S. E.; TUCKER, G. A. **Biochemistry of fruit ripening**. London: Chapman & Hall, 1993. p. 255-266.

TURRENS, J. F.; BOVERIS A. Generation of superoxide anion by the NADH deshydrogenase of bovine heart-mitochondria. **Biochemical Journal**, v. 191, 421-427, 1980.

VAMOS-VIGYAZO, L.; MIHALYI K. Review of the international literature on diphenol oxidases of peaches cultivars. **Confructa**, v. 6, p. 234-241, 1976.

VAN DEN BERG, H.; FAULKS, R.; GRANADO, H. F., HIRSCHBERG, J.; OLMEDILLA, B.; SANDMANN, G.; SOUTHON, S.; STAHL, W. The potential for the improvement of carotenoid levels in foods and the likely systemic effects. **Journal of Science and Food Agriculture**, v. 80, p. 880-912, 2000.

VANACKER, H.; CARVER, T. L. W.; FOYER, C. H. Pathogen-induced changes in the antioxidant status of the apoplast in barley leaves. **Plant Physiology**, v. 117, p. 1103-1114, 1998.

VANNUCCHI, H.; JORDÃO JÚNIOR, A. Radicais livres, antioxidantes e dieta. A importância das frutas e verduras. In: DE ANGELIS, R. C. **A importância dos alimentos vegetais na proteção da saúde: fisiologia da nutrição**. 2. ed. São Paulo: Editora Atheneu, 2005. p. 195-203.

VINCI, G.; BOTRE, F.; MELE, G.; RUGGIERI, G. Ascorbic acid in exotic fruits: a liquid chromatographic investigation. **Food Chemistry**, v. 53, n. 2, p. 211-214, 1995.

VIZZOTO, M.; KROLOW, A. C.; TEIXEIRA, F. C. Alimentos Funcionais: Conceitos Básicos, **Embrapa Clima Temperado**, ISSN 1516-8840, Pelotas, RS, 2010.

WANG, S. Y.; JIAO, H. Changes on oxygen-scavenging systems and membrane lipid peroxidation during maturation and ripening in blackberry. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 49, p. 1612-1619, 2001.

WATADA, A. E.; HERNER, R. C.; KADER, A. A.; ROMANI, R. J.; STABY, G. L. Terminology for the description of developmental stages of horticultural crops. **HortScience**, v. 19, n. 1, p. 20-21, 1984.

WATADA, A. E.; QI, L. Quality of fresh-cut produce. **Postharvest Biology and Technology**, v. 15, p. 201-205, 1999.

WEKHOF, A. Disinfection with flash lamps. **PDA Journal of Pharmaceutical Science and Technology**, v. 54, p. 264-276, 2000.

WEKHOF, A.; TROMPETER, F. J.; FRANKEN, O. Pulsed UV Disintegration (PUVD): a new sterilization mechanism for packaging and broad medical-hospital applications. **Conference on Ultraviolet Technologies**, p. 14-16, 2001.

WILEY, R. C. **Minimally processed refrigerated fruits and vegetables**, London, CHAPMAN e HALL, 357p, 1994.

WILLS, R.; MCGLASSON, B.; GRAHAM, D.; JOYCE, D. **Introducción a la fisiología y manipulación poscosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales**. Tradução de J. B. Gonzáles. 2nd ed. Zaragoza: Acribia, 1998. 240p.

WOOTTON-BEARD, P. C.; RYAN, L. Improving public health?: The role of antioxidant-rich fruit and vegetable beverages. **Food Research International**, v. 44, n. 10, p. 3135-3148, 2011.

WUYTACK, E. Y.; PHUONG, L. D. T.; AERTSEN, A.; REYNS, K. M. F.; MARQUENIE, D.; KETELAERE, D. B.; MASSCHALCK, B.; VAN OPSTAL, I.; DIELS, A. M. J.; MICHIELS, C. W. Comparison of sublethal injury induced in *Salmonella enterica* serovar Typhimurium by heat and by different nonthermal treatments. **Journal of Food Protection**, v. 66, p. 31-37, 2003.

YAHIA, E. M. Contribution of fruits and vegetables to human health. In: DE LA ROSA, L.; ALVAREZ-PARRILLA, E.; GONZALEZ-AGUILAR, G. (Ed.). **Fruit and vegetable phytochemicals: chemistry, nutritional value and stability**. Oxford: Wiley-Blackwell, 2010. p. 3-51.

YANG, C. S.; LANDAU, J. M.; HUANG, M. T.; NEWMARK, H. L. Inhibition of carcinogenesis by diet polyphenolic compounds. **Revista de Nutrição**, v. 21, p. 331-406, 2001.

YOUNG, T. A.; CUNNINGHAM, C. C.; BAILEY, S. M. Reactive oxygen species production by the mitochondrial respiratory chain in isolated rat hepatocytes and liver mitochondria: studies using myxothiazol. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 405, p. 65-72, 2002.

YOUNGSON, R. **Como combater os radicais livres: O Programa de saúde dos antioxidantes**. Rio de Janeiro: Campos, 1995. 168p.

ZERAIK, A. E.; SOUZA, F. S.; FATIBELLO-FILHO, O.; LEITE, O. D. Desenvolvimento de um spot test para o monitoramento da atividade da peroxidase em um procedimento de purificação. **Química Nova**, v. 31, n. 4 p. 731-734, 2008.

ZIMMERMANN, A. L. **Potencial antioxidante de extratos de cevada em ratos submetidos à dieta hipercolesterolêmica**. 2010. 54f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos). Centro de Ciências Rurais, Universidade de Santa Maria, RS.

CAPÍTULO II

BAIXA FLUÊNCIA DE LUZ PULSADA ESTIMULA O CONTEÚDO DE FITOQUÍMICOS DE MANGAS TOMMY ATKINS

Apresentado na forma de artigo submetido à Innovative Food Science and Emerging
Technologies. ISSN: 1466856

1. INTRODUÇÃO

A luz pulsada (LP) emerge como um tratamento pós-colheita para aumentar os fitoquímicos de produtos vegetais sem quaisquer riscos para a saúde humana (Gómez et al., 2012; Aguiló-Aguayo et al., 2013). Esta tecnologia, que pode ser considerada uma alternativa em relação ao tratamento com luz ultravioleta (UV) contínua, envolve um amplo espectro de comprimentos de ondas de 100-110 nm, com aproximadamente 54% da energia emitida no intervalo do UV. Durante o tratamento com LP, energia elétrica é acumulada em um capacitor de alta potência e liberada sobre um gás inerte (xenônio) gerando pulsos intermitentes e intensos de luz, que normalmente duram por algumas centenas de microssegundos (Elmanasser et al., 2007; Krishnamurthy et al., 2008). O potencial do tratamento de LP para uso comercial em pós-colheita depende de uma série de condições (fluência, distância entre as amostras e a lâmpada, penetrabilidade da luz nos produtos, etc) capaz de transmitir os efeitos desejáveis sobre a qualidade nutricional, no entanto, sem prejudicar os atributos de frescor dos produtos vegetais.

Estudos recentes demonstraram que mangas minimamente processadas cv. Kent (*Mangifera indica*) submetidas ao tratamento de LP, mantendo os fitoquímicos, mas em contrapartida foi observado um aumento na atividade da polifenoloxidase associado ao escurecimento dos frutos (Charles et al., 2013). Aguiló-Aguayo et al. (2013) verificaram que tomates (*Lycopersicon esculentum*) tratados com LP apresentaram uma redução nos contaminantes microbiológicos sem comprometer o valor nutricional, no entanto, os frutos tratados apresentaram alguns defeitos em sua aparência.

A aplicação de estresses abióticos pós-colheita em frutos e vegetais frescos através do espectro UV-C (pico de emissão de 254 nm) é amplamente reconhecido por melhorar o conteúdo em fitoquímicos de produtos de origem vegetal (Jagadeesh et al., 2009; Bravo et al., 2013). No entanto, pouco se sabe sobre a fisiologia do acúmulo de fitoquímicos como uma resposta ao estresse pós-colheita em frutos e hortaliças pela aplicação da LP. Conhecimento científico nesta área é necessário para prever estratégias que permitam produzir frutos e hortaliças com concentrações mais elevadas em fitoquímicos e explorar os vegetais como biofábricas de fitoquímicos (Jacobovelázquez et al., 2011).

Estresses abióticos pós-colheita, como a exposição à radiação contínua, são bem conhecidos por terem efeitos prejudiciais sobre as plantas, como resultado da produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) que podem estar na origem dos danos em células de plantas, acelerando assim os processos de senescência (Mittler, 2002; Allende et al., 2006; Maharaj; Mohammed, 2012; Sharma et al., 2012). No entanto, as plantas possuem uma variedade de compostos enzimáticos como a catalase (CAT), peroxidase (APX), dismutase do superóxido (SOD), peroxidase glutaciona e redutase glutaciona, bem como componentes não enzimáticos (tocoferóis, carotenos, compostos contendo tiol, ascorbato e compostos fenólicos) para se protegerem contra os efeitos deletérios das EROs (Mittler, 2002; Kalam et al., 2015) que podem ser causados por tratamentos elicitores específicos pós-colheita. As plantas podem diferir na resistência às EROs dependendo da eficiência dos seus sistemas antioxidantes que envolvem quer uma redução da produção ou a eliminação de EROs que foram produzidas (Mittler, 2002; Sharma et al., 2012).

Espécies reativas de oxigênio são moléculas de sinalização que estão associadas com a ativação da via de síntese dos fenilpropanóides através do estímulo da atividade da fenilalanina amônialiase (do inglês, PAL). Os compostos fenólicos acumulam-se como consequência do estresse e da produção de EROs, podendo oxidar-se através da ação das polifenoloxidasas (PPO), resultando em polímeros escuros que não só reduzem a qualidade visual dos frutos, mas também pode resultar em alterações indesejáveis no sabor, cor e teor de ascorbato (Orozco-Cárdenas et al., 2001; Charles et al., 2013). As fontes de EROs são ativadas mediante a aplicação de estresse e incluem a redução da NADPH-oxidase que está localizada nas membranas, a cadeia de transporte de elétrons da respiração mitocondrial, entre outros. NADPH-oxidase e respiração produzem o radical superóxido (\dot{O}_2), que são transformados em O_2 e H_2O_2 pela ação da SOD. Altos níveis de EROs são tóxicos para as plantas e portanto, é necessária a atividade de enzimas desintoxicantes como a SOD, a APX e a CAT para uma modulação refinada dos baixos níveis de EROs (Mittler, 2002; Jacobo-Velázquez et al., 2011).

Em plantas, os sinais de estresse propagam-se para desencadear respostas distantes e, assim, desenvolvem uma aclimatação dos órgãos vegetais não expostos. Um conceito pouco documentado conhecido por aclimatação sistêmica adquirida (do inglês, SAA) proposto por Karpinski et al. (1999) prova que a sinalização mediada pelo estresse fotooxidativo sistêmico em folhas estressadas é propagado para as folhas mais

distantes que não foram expostas ao estresse. Baixos níveis de radiação podem estar na origem das respostas benéficas, como um fenômeno conhecido por hormese, ou seja, o estímulo fisiológico de respostas benéficas das plantas por baixos níveis de estressores que de outro modo causariam respostas nocivas. Os baixos níveis de radiação podem ser usados como ferramentas em alimentos para gerar produtos mais saudáveis, incrementando os fitoquímicos em produtos inteiros ou sob a forma de minimamente processados (Cisneros-Zevallos, 2003; González-Aguillar et al., 2007; Bravo et al., 2013). Dependendo da cultura, estudos mostraram que doses de UV-C no intervalo de 0,04 a 0,2 J cm⁻² são consideradas subletais. No entanto, neste intervalo, alguns frutos e vegetais mostraram danos externos, como resultado do tratamento UV-C (Stevens et al., 1996). Uma exposição prolongada à radiação UV-C de maçãs minimamente processadas resultaram em danos na sua estrutura celular, levando à desidratação e fenômenos oxidativos como o escurecimento acentuado dos tecidos (Gómez et al., 2010; Manzocco et al., 2011).

Também tem sido observado que as doses horméticas de radiação UV-C alteram a susceptibilidade da planta à doenças, e podem induzir mecanismos de tolerância, incluindo a produção de compostos antifúngicos como as fitoalexinas. Doses horméticas de radiação UV-C também podem atrasar o amaciamento do fruto causado por alterações na atividade de enzimas envolvidas na degradação da parede celular, como por exemplo, a poligalacturonase (PG) e a pectinametilesterase (PME), estendendo conseqüentemente a vida útil dos frutos (Allende et al., 2006; Pombo et al., 2009; Ribeiro et al., 2012).

A tecnologia da luz pulsada surge como uma ferramenta promissora para aumentar o teor de fitoquímicos de commodities. No entanto, nenhum estudo até agora tem focado os efeitos desta tecnologia sobre a fisiologia e bioquímica de frutos tropicais inteiros. Por isso, testamos a hipótese que alterações no metabolismo dos frutos de manga “Tommy Atkins” tratados por doses horméticas de LP seria sinalizado e propagado da casca para a polpa desencadeando respostas que levariam a um forte impacto positivo sobre o conteúdo de fitoquímicos, sem efeitos negativos sobre as variáveis de qualidade dos frutos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material vegetal

Todas as medições foram realizadas em mangas fisiologicamente maduras (*Mangifera indica*, cv. Tommy Atkins) no qual a região próxima ao centro da polpa apresentava uma coloração predominantemente amarela (estádio de maturação 3) (Protrade, 1992). Frutos foram cedidos pela empresa Finobrasa Agroindustrial S.A, que está localizada no município de Ipanguaçu, Rio Grande do Norte, no Nordeste do Brasil (05°34'37"S e 36°54'32"O) e selecionados com relação à uniformidade de coloração da casca, formato e tamanho (485,43 g \pm 12,18). O clima da região é quente (temperatura média anual = 24,7 °C) e seco, com chuvas irregulares no verão (dezembro a janeiro), com média de 673,9 mm e uma umidade relativa (UR) média anual do ar de 69% (Porto et al., 2006).

2.2 Tratamento de luz pulsada, preparo das amostras e armazenamento

Tratamentos de luz pulsada foram definidos de acordo com testes preliminares com doses de 0 J cm⁻² (0 pulso) a 4,8 J cm⁻² (16 pulsos). O tratamento delimitado para esse estudo considerando os parâmetros de firmeza, incremento de fenólicos totais e manutenção da aparência geral, correspondeu a 0,6 J cm⁻² (2 pulsos). As mangas foram separadas em dois lotes: um lote foi usado como controle e o outro foi submetido ao tratamento de luz pulsada a 10 cm de distância das lâmpadas. Os frutos a serem tratados foram colocados em uma câmara (SteriBeam, XeMaticA-2LXL, Alemanha) equipada com duas lâmpadas de xenônio (190 mm) (não tóxicas e livres de mercúrio). As lâmpadas produziram pulsos de 0,3 μ s, com espectro de comprimento de ondas (200-1100 nm) possuindo aproximadamente 15 a 20% UV-C. Os frutos foram colocados em um suporte transparente de teflon e receberam luz pulsada das lâmpadas numa posição a 360°. Importante ressaltar, que para garantir que os frutos recebessem o pulso de luz em toda sua superfície, estes foram mudados de posição entre a aplicação dos pulsos. Após o tratamento os frutos foram armazenados à temperatura ambiente (20,0 \pm 1,4 °C) e UR (80-85%). Mesocarpo (polpa) e epicarpo (casca) foram avaliados imediatamente após o tratamento (**T0**) e após 7 dias do tratamento (**T7**). A casca foi separada da polpa e liofilizada (Liotop L101, Brasil). A polpa foi processada usando um blender (Walita-Ri1858, Brasil) e em seguida armazenada a -18 °C para análises posteriores. Durante

obtenção das amostras, estas foram mantidas durante o processamento a 4 °C no laboratório de fisiologia pós-colheita da Embrapa Agroindústria Tropical.

2.3 Atributos físico-químicos

A concentração de SS foi determinada por refratometria (AOAC, 2005), utilizando um refratômetro digital (ATAGO PR-101, Japão) e os resultados foram expressos em °Brix (concentração de sacarose *m/v*). A acidez titulável (AT) foi avaliada segundo (AOAC, 2005) através da titulação com NaOH 0,1 N, usando fenolftaleína a 1% (*m/m*) e os resultados expressos em (%) de ácido cítrico. A relação SS/AT foi determinada pela divisão do conteúdo de sólidos pelos valores de acidez titulável. A aparência geral foi avaliada através de uma escala de notas (1= excelente, 2= bom, 3= péssimo, 4= impróprios) adaptada de González-Aguillar et al., (2007), com 16 frutos para cada condições em triplicata. Açúcares redutores foram mensurados de acordo com Miller (1959), utilizando ácido 3,5 dinitrosalicílico (DNS) através de um leitor de microplaca (Synergyx Mx, Biotek, Estados Unidos) a 540 nm e os resultados foram expressos em mg Kg⁻¹. A concentração de proteína em todos os extratos enzimáticos foi determinada pelo método de Bradford (1976), utilizando albumina bovina sérica (Sigma-Aldrich, Co.) como padrão. A cada 10 µL de amostra, diluída ou não, 100 µL do reagente de Bradford foram adicionados. A mistura foi então deixada em repouso por 15 min, e em seguida absorvância determinada a 595 nm em leitor de microplacas UV/VIS (Synergyx Mx, Biotek, Estados Unidos). A concentração de proteínas solúveis nas amostras analisadas foi determinada a partir de uma curva padrão obtida como uso de soluções de concentrações conhecidas de albumina sérica bovina (BSA). Os resultados foram expressos em mg g⁻¹ proteína (P).

2.4 Atributos de cor e variáveis associadas

2.4.1 Cor instrumental

A cor instrumental foi determinada através de um colorímetro Konica Minolta (CR-300 com uma fonte de luz D65, Japão), calibrado usando uma placa branca padrão (L= 98,15; C = 15,58; H = 93,80). Os resultados foram expressos como L* para a luminosidade, C (Cromaticidade) $(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$ e h (ângulo Hue) $(\tan^{-1}(b^*/a^*))$. Foram usadas para avaliação da coloração da casca quatro leituras na área longitudinal de cada fruto. Para a cor da polpa as medidas foram tomadas a partir do centro de cada fruto.

2.4.2 Carotenóides e Clorofilas totais

Os carotenóides foram determinados de acordo com Lichtenthaler e Wellburn (1983) baseado no conteúdo de clorofila total. Foram macerados separadamente durante 5 min, 2 g de polpa fresca e 0,05 g de casca liofilizada, e em seguida, adicionado a 2 mL de acetona 80% (v/v) e 0,2 g de carbonato de cálcio em banho de gelo e protegido da luz. Em seguida, foi realizada centrifugação a 3000 x g durante 15 min a temperatura ambiente. As absorbâncias foram mensuradas a 663, 645 e 480 nm e calculadas segundo as fórmulas:

$$\text{- Clorofila } a \text{ (mg mL)} = 12,25 \times (A663) - 2,81 \times (A646)$$

$$\text{- Clorofila } b \text{ (mg mL)} = 20,31 \times (A646) - 2,81 \times (A663)$$

$$\text{- Carotenóides (mg mL)} = (1000 - (A470) - 3,27 \times [\text{clorofila } a] - (104 \times [\text{clorofila } b]))/227$$

Os resultados para carotenóides e clorofilas totais foram expressos em mg Kg⁻¹.

2.4.3 Antocianinas totais e Flavonóides amarelos

Antocianinas totais e flavonóides amarelos foram dosados segundo Francis (1982), no qual 1 g de polpa fresca ou 0,1 g de casca liofilizada foram homogeneizados em 5 mL de solução de etanol-HCl (1,5 M) durante 5 min. Em seguida, o conteúdo foi transferido para um balão de 10 mL e o volume aferido com a solução de etanol-HCl (1,5 M). Em frasco escuro, o conteúdo do balão ficou em repouso por uma noite, sendo em seguida filtrado e a absorbância medida a 535 nm para antocianinas e 374 nm para flavonóides amarelos através de um leitor de microplaca (Synergyx Mx, Biotek, Estados Unidos). Para os cálculos, foram utilizados os coeficientes de extinção molar da quercetina de 76,6 e 98,2 M⁻¹ cm⁻¹, para flavonóides amarelos e antocianinas totais, respectivamente. Os resultados foram expressos em mg Kg⁻¹.

2.4.4 Atividade da polifenoloxidase

O extrato enzimático para a determinação da polifenoloxidase (PPO, EC 1.14.18.1) foi preparado como descrito por Sojo et al., (1998). Polpa (1 g) e casca liofilizada (0,25 g) foram maceradas separadamente em almofariz previamente resfriado, durante 5 min com tampão fosfato de potássio 0,1 M (pH 6,1), contendo 4% (v/v) de Triton X-100 e 0,02 g de polivinilpolipirrolidona (PVPP). Após centrifugação a 5000 x g durante 4 min a 4 °C, o precipitado foi descartado e o sobrenadante incubado em banho-maria durante 10 min a 37 °C, seguido por centrifugação a 2000 x g durante

20 min a 4 °C. O sobrenadante foi utilizado como extrato para análise da atividade da PPO. A atividade da PPO foi determinada segundo Robinson (1987). A mistura reacional consistiu de 80 µL de tampão fosfato de sódio a 0,1 M (pH 6,0), 100 µL do extrato e 5 µL de substrato pirocatecol (Sigma). Após incubação a 30 °C durante 30 min, a absorbância foi medida a 395 nm. Uma unidade de atividade enzimática foi definida como uma variação de 0,001 a absorbância da mistura a 395 nm. Os resultados foram expressos como UA mg⁻¹ min⁻¹ P.

2.4.5 Atividade da peroxidase do guaiacol

O extrato foi realizado como descrito no item 2.5.7.1 e a atividade da peroxidase do guaiacol (G-POD, EC 1.11.17) foi realizada de acordo com Amanko et al. (1994). Em microplaca foram adicionados 90 µL de tampão fosfato de potássio 0,1 M com EDTA 0,1 mM (pH 7), 50 µL de guaiacol 0,02 M, 50 µL de H₂O₂ e 10 µL do extrato e em seguida foram incubados a 30 °C e a absorbância medida a 470 nm após 1 e 10 min através de um leitor de microplaca (Synergyx Mx, Biotek, Estados Unidos). A atividade da G-POD foi calculada utilizando o coeficiente de extinção molar do tetraguaiacol (26,6 mM⁻¹ cm⁻¹), considerando que 4 moléculas de H₂O₂ são necessárias para a formação de uma molécula de tetraguaiacol. Os resultados foram expressos como UA mg⁻¹ min⁻¹ P.

2.5 Sinal de estresse oxidativo e antioxidantes não-enzimáticos

2.5.1 Peróxido de hidrogênio (H₂O₂)

O conteúdo de H₂O₂ das amostras foi determinado de acordo com Velikova et al. (2000). Amostras de polpa fresca (0,5 g) e casca de liofilizada (0,05 g) foram macerados em ácido tricloroacético (TCA) 0,1% (w/v) a 4 °C e após centrifugadas a 12000 x g, durante 15 min a 4 °C. Foram adicionados a 200 µL do sobrenadante, 200 µL de tampão fosfato de potássio 10 mM (pH 7,0) e 400 µL de KI a 1 M. A mistura foi protegida da luz e deixado reagir durante 1 h. O teor de peróxido de hidrogênio do sobrenadante foi determinado por comparação da sua absorbância a 390 nm contra uma curva de calibração padrão, variando de 1 a 90 µmol de H₂O₂ mL⁻¹. Os resultados foram expressos como µmol g⁻¹.

2.5.2 Vitamina C

Vitamina C total foi determinada através de titulação com uma solução de Tillman 0,02% (m/v) (2,6 dicloroindofenol-DCFI) (Sigma) de acordo com Strohecker e Henning (1967). Na ausência de luz, 1 g de polpa fresca ou 0,1 g de casca liofilizada foram adicionados a 5 mL de ácido oxálico 0,5% (refrigerado) e uma alíquota de 5 mL foi colocada em um erlenmeyer completando-se o volume com água destilada até o volume final de 5 mL. Procedeu-se, então, a titulação com a solução de Tillman refrigerada, até o ponto de viragem, representado pela cor róseo clara, persistente por 15 s, quando o reagente reduzido de azul a incolor tornando-se róseo em meio ácido. Os resultados foram expressos em mg Kg⁻¹.

2.5.3 Fenólicos totais

Fenólicos totais foram mensurados por colorimetria usando o reagente de Folin-Ciocalteu (Sigma) segundo Obanda et al. (1997). Para obtenção do extrato, 5 g de polpa fresca ou 0,05 g de casca liofilizada foram extraídas em metanol 50% (v/v) e acetona 70% (v/v), de acordo com Larrauri et al. (1997). Em microtubos protegidos da luz, foram adicionados nesta ordem: 100 µL do extrato, 650 µL de água destilada, 250 µL do reativo de Folin-Ciocalteu e 500 µL de carbonato de sódio anidro 20% (m/v). Após homogeneização, os tubos descansaram por 30 min protegidos da luz e a temperatura ambiente. A leitura foi realizada a 700 nm através de um leitor de microplaca (Synergyx Mx, Biotek, Estados Unidos), sendo o ácido gálico (Acrós Organics) usado como padrão e os resultados expressos em mg de equivalentes de ácido gálico (EAG) Kg⁻¹.

2.5.4 Quantificação da mangiferina

2.5.4.1 Extração

As extrações foram realizadas em extrator de solvente acelerado Dionex ASE 35 (Dionex, Estados Unidos). Casca liofilizada (2 g) e terra diatomácea (4 g) (Thermo Scientific, Estados Unidos) foram pesadas com precisão e misturadas antes de serem colocadas em células de aço inoxidável de 66 mL, contendo um filtro de celulose na extremidade inferior. As amostras foram inicialmente desengorduradas em solvente apolar, hexano 100% (v/v) (Tedia Co, Estados Unidos), e, em seguida em solvente polar

metanol 100% (v/v) (Tedia Co, Estados Unidos). As condições de operação foram padronizadas da seguinte maneira: tempo de purga de 200 s, 3 ciclos estáticos, temperatura de 80 °C, período de aquecimento de 5 min, volume de lavagem de 60% da célula, tempo estático de 10 min e tempo de extração de 60 min para cada amostra. Os extratos metanólicos foram evaporados usando evaporador rotativo (IKA, HB10, Alemanha) a 40 °C, 60 rpm e pressão de -700 mmHg. Os extratos evaporados (3 mg) foram diluídos em 3 mL de metanol aquoso a 20% (v/v), e filtrados através de uma membrana de 0,45 mm de politetrafluoretileno (PTFE) apresentando 0,45 µm de porosidade e 13 mm de diâmetro (Biotechlab, Bulgária) para análise de mangiferina por HPLC-DAD.

2.5.4.2 Análise de HPLC-DAD

Mangiferina foi analisada de acordo com o método descrito por Canuto et al. (2010). A análise por HPLC foi realizada utilizando o sistema LC-20A, acoplado a um detector SPD-M20A e autosampler SIL-20AC (Shimadzu, Japão). As amostras foram analisadas através de uma coluna analítica C18 ODS (4,6 x 150 mm) e mantidas em forno termostático a 30 °C. A fase móvel consistiu de **(A)** ácido trifluoroacético (CF₃CO₂H) 1% (v/v) (Tedia Co, Estados Unidos) e **(B)** metanol (MeOH) (Tedia Co, Estados Unidos). Gradiente de eluição foi realizado pelo método isocrático: 0-1min, 35% de B; 11-16 min, 100% de B; 17-21 min, 35% de B. O fluxo do gradiente foi de 1,0 mL min, o volume de injeção de 2 mL, e a detecção por UV foi efetuada a 350 nm. A mangiferina foi identificada de acordo com o tempo de retenção, e o pico de pureza foi avaliado através da digitalização do cromatograma nos comprimentos UV (190-400 nm). A fim de construir a curva padrão de mangiferina, uma diluição em série foi feita a partir da solução-mãe de mangiferina (1,5 mg mL⁻¹) (Sigma Aldrich, Estados Unidos) em metanol 20% (v/v), resultando em cinco soluções padrão nas concentrações de 1, 2, 5, 10 e 15 ppm. A mangiferina foi então quantificada com base na área do pico e o seu teor nas amostras determinado utilizando a equação da reta ($y = 21012,7x - 3692,394$; $R^2 = 0,9997$). A concentração de mangiferina foi expressa em mg kg⁻¹ de massa seca (MS).

2.5.5 Atividade antioxidante total

Para avaliação da atividade antioxidante total (AAT) a extração das amostras foi realizada segundo Larrauri et al., (1997) e baseou-se na captura do radical 2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico-ABTS^{*+}) (Re et al., 1999) formado da reação entre uma solução ABTS^{*+} 7 mM com uma solução de persulfato de potássio 140 mM, mistura a qual foi mantida no escuro à temperatura ambiente por 16 h antes do seu uso. A solução de ABTS^{*+} resultante foi diluída em álcool etílico P.A. que resultou em absorvância de $0,700 \pm 0,02$, a 734 nm. Em ambiente escuro, foi adicionado em microplaca, uma alíquota de 3 μ L do extrato e 300 μ L da solução ABTS^{*+}. Após 6 min de descanso, a absorvância foi lida a 734 nm através de um leitor de microplaca (Synergyx Mx, Biotek, Estados Unidos). Uma curva de calibração foi preparada com diferentes concentrações de trolox de 100 a 2000 mM. A atividade antioxidante das amostras foi expressa como capacidade antioxidante de equivalente de trolox (TEAC) por grama de massa fresca (μ mol Trolox g^{-1}).

2.5.6 Atividade da fenilalanina amônia liase e enzimas antioxidantes

2.5.6.1 Atividade da fenilalanina amônia liase

A atividade da fenilalanina amônia liase (do inglês, PAL, EC 4.3.1.24) foi realizada pelo método de Mori et al. (2001) e El-Shora (2002). Polpa fresca (1 g) e casca liofilizada (0,25 g) de manga foram homogeneizadas durante 3 min a 4 °C com 3 mL de tampão Tris-HCl 10 mM (pH 8,4), seguido de centrifugação a 10000 x g durante 10 min a 4 °C. O sobrenadante recuperado foi utilizado como extrato para determinar a atividade da PAL. A mistura reacional foi composta de 200 μ L de β -mercaptoetanol, 100 μ L de extrato, 580 μ L de tampão Tris-HCl a 100 mM (pH 8,4) e 200 μ L de L-fenilalanina a 40 mM (Sigma). A reação foi paralisada pela adição de 100 μ L de HCl a 6 M. A absorvância foi determinada a 290 nm através de um leitor de microplaca (Synergyx Mx, Biotek, Estados Unidos). Curva padrão foi construída com base na quantidade de ácido transcinâmico formado e os resultados expressos em μ mol de ac. transc. $h^{-1} mg^{-1} P$.

2.5.7 Enzimas antioxidantes

2.5.7.1 Extração

O extrato foi preparado seguindo protocolo modificado de Yang et al. (2009). Polpa fresca (1 g) e casca liofilizada (0,5 g) de manga foram separadamente maceradas, durante 5 min, em solução tampão gelada (pH 8,0), contendo 0,05 M de Tris-HCl e 0,1 mM de EDTA, seguido por filtração através de malha fina de nylon. O filtrado repousou durante 1 h a 4 °C. Em seguida, o homogenato foi centrifugado a 12000 x g durante 15 min a 4 °C. O sobrenadante obtido constituiu o extrato enzimático para a determinação da atividade das enzimas antioxidantes SOD, CAT, APX e G-POD.

2.5.7.2 Dismutase do superóxido

A atividade da dismutase do superóxido (SOD, EC 1.15.1.1) foi determinada com base na reação da riboflavina com o oxigênio molecular (O₂), que na presença de luz reage com o nitro azul de tetrazólio (NBT) (Sigma), resultando na formação de formazana, um produto colorido monitorado espectrofotometricamente (Giannopolitis e Ries, 1977). A absorbância foi medida a após 15 min a 560 nm e uma unidade de atividade da enzima (UA) foi definida como a quantidade de enzima necessária para causar uma redução de 50% na taxa de fotoredução do NBT (Beauchamp e Fridovich, 1971). Os resultados foram expressos como UA mg⁻¹ P.

2.5.7.3 Catalase

A atividade da catalase (CAT, EC 1.11.1.6) foi medida de acordo com Beers e Sizer (1952). A diminuição do teor de H₂O₂ (Merck) foi monitorizada e quantificada utilizando o coeficiente de extinção molar (36 mM⁻¹ cm⁻¹). O meio reacional foi composto de 129 µL de tampão fosfato de potássio 0,1 M com EDTA 0,1 mM (pH 7), 6 µL de H₂O₂ a 0,5 M e 15 µL de extrato. A leitura foi feita a cada minuto, a 240 nm em intervalo de 20 min com auxílio de um leitor de microplaca (Synergyx Mx, Biotek, Estados Unidos). Os resultados foram expressos em µmol de H₂O₂ mg⁻¹ min⁻¹ P.

2.5.7.4 Peroxidase do ascorbato

A atividade da peroxidase do ascorbato (APX, EC 1.11.1.1) foi realizada de acordo com Nakano e Asada (1981). A reação foi iniciada pela adição de ácido ascórbico, que é oxidado durante a degradação do H₂O₂. A reação constituiu-se de 110

μL de tampão fosfato de potássio 0,05 M, com EDTA a 0,05 mM (pH 6), 30 μL de extrato, 5 μL de H_2O_2 a 0,03 M e 5 μL de ascorbato 0,015 M. A atividade da APX foi medida usando o coeficiente de extinção molar do ascorbato ($2,8 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$). As leituras foram realizadas a cada minuto durante 20 min, na absorvância de 290 nm e os resultados expressos em $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ mg}^{-1} \text{ min}^{-1} \text{ P}$, considerando que 1 mol de ascorbato é necessário para a redução de 1 mol de H_2O_2 .

2.6 Firmeza e variáveis associadas

2.6.1 Firmeza

A firmeza da polpa foi determinada utilizando um texturômetro (Brookfield® 25K CT3, USA, Estados Unidos), utilizando a força máxima requerida para penetrar a amostra com uma profundidade de 10 mm, a uma velocidade de cisalhamento de 1 mm s^{-1} . As medições foram efetuadas em dois pontos equidistantes na região equatorial dos frutos, e os resultados foram reportados em Newtons (N). Foram utilizados 16 frutos para cada condição.

2.6.2 Peroxidação lipídica

A peroxidação lipídica foi avaliada através da produção de metabólitos, usando protocolo desenvolvido por Zhu et al. (2008) com base na formação do malonaldeído (MDA), produto secundário da oxidação de ácidos graxos poliinsaturados, que ao reagir com o ácido tiobarbitúrico (TBA) pode ser lido por espectrofotometria. Polpa fresca (2 g) e casca liofilizada (0,5 g) foram homogeneizadas em 5 mL de ácido tricloroacético (TCA) 0,1% (w/v) (Vetec, Brasil) e centrifugado a $3000 \times g$ a $4 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 20 min. O sobrenadante (75 μL) foi recolhido e adicionado a 300 μL de TBA 0,5% (v/v) (JT Baker, Reino Unido) em TCA 20% (w/v), sendo incubado a $95 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 30 min. Após incubação, os tubos foram imediatamente resfriados em banho de gelo e centrifugados a $3000 \times g$ durante 10 min. Absorvância do sobrenadante foi mensurada a 532 nm e 600 nm gerando absorvâncias específica e não específica, respectivamente. As espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARs) foram calculados utilizando o coeficiente de extinção ($155 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$), e expressos como nmol de MDA g^{-1} .

2.6.3 Extravasamento de eletrólitos (EE)

O extravasamento de eletrólitos foi medido de acordo com a metodologia descrita por Serek et al. (1995), com modificações. Cinco discos de epicarpo e mesocarpo de 1,0 mm de espessura e 1,5 cm de comprimento foram tomados de duas regiões medianas de cada fruto usando um extrator manual de polpa (Tramontina, Brasil). Os discos foram lavados em água destilada, secos com papel absorvente, e colocados em frascos de vidro âmbar, onde descansaram durante 2 h imersos em 15 mL de água destilada. Após o período de repouso, foi realizada a primeira leitura de condutividade elétrica (C_i) utilizando um condutivímetro (TEC 4MP, Tecnal, Brasil), sendo o material armazenado em congelador (-18 °C) até o dia seguinte, quando foi realizada a segunda medição (C_f). O vazamento de eletrólitos foi medido como a quantidade no aumento da condutividade elétrica ($S\text{ cm}^{-1}$) e expresso como porcentagem de eletrólitos perdidos por h segundo a fórmula: $(\%EE) = [(C_i/C_f)*100]$.

2.6.4 Atividade da pectinametilsterase

A extração para determinação da atividade da pectinametilsterase (PME, EC 3.1.1.11) foi realizada por homogeneização de amostras de polpa fresca (5 g) e de casca de liofilizada (0,5 g) separadamente em 20 mL de NaCl a 0,2 M a temperatura de 4 °C. A solução resultante foi filtrada e utilizada como extrato (Jen e Robinson, 1984).

A atividade da PME foi realizada através do registro do volume da titulação dos grupos carboxila liberados a partir de uma solução de pectina com NaOH 0,01 N usando um pHmetro automático (W3B, Bell Engenharia, Brasil), com titulação finalizando quando o $pH = 7 \pm 0,01$ foi alcançado e mostrou-se estável durante um período de 10 min (Jen e Robinson, 1984). O volume de NaOH usado para a titulação foi registrado para calcular a atividade enzimática. Uma unidade de atividade de PME (UA) foi definida como a quantidade de enzima capaz de catalisar a desmetilação da pectina correspondente ao consumo de $1\text{ nmol de NaOH min}^{-1}\text{ mg}^{-1}$ e os resultados expressos como $UA\text{ mg}^{-1}\text{ min}^{-1}\text{ P}$.

2.6.5 Atividade da poligalacturonase

Para determinação da atividade da poligalacturonase (PG, EC 3.2.1.15) o extrato foi preparado de acordo com Pressey e Avants (1973) no qual as amostras de polpa fresca (12,5 g) e casca liofilizada (2,6 g) foram homogeneizadas separadamente em 25 mL de água destilada e centrifugadas a $6000 \times g$ durante 10 min a 4 °C. O

sobrenadante foi descartado e o precipitado ressuspenso em 1 mL de água destilada, seguido por centrifugação sob as mesmas condições descritas anteriormente. O procedimento foi repetido duas vezes. O precipitado final foi ressuspenso e homogeneizado durante 1 min em NaCl a 0,1 M gelado. O pH da solução foi ajustado para 6 com solução de NaOH 0,1 N, seguido por incubação durante 1 h a 4 °C. Finalmente, a solução foi centrifugada a 6000 x g durante 20 min a 4 °C e o sobrenadante constituiu o extrato enzimático para avaliação da atividade da PG.

Atividade da PG foi determinada de acordo com o método de Somogyi (1945), medindo a liberação de grupos redutores da pectina cítrica usando ácido 3,5-dinitrossalicílico (DNS) (Miller, 1959). A mistura de reação continha 300 µL de extrato e 300 µL de ácido poligalacturônico 0,25% (*m/v*) em tampão acetato de sódio a 37,5 mM (pH 5) que foram colocados em tubos de ensaio e agitados por 1 min. A solução foi incubada durante 3 h a 30 °C. Uma unidade de enzima (UA) foi definida como a quantidade de enzima capaz de catalisar a formação de 1 nmol de açúcares redutores (AR) $\text{mg}^{-1} \text{min}^{-1}$ e os resultados expressos como UA $\text{mg}^{-1} \text{min}^{-1}$ P.

2.7 Análises morfológicas para avaliar a estrutura do tecido

As amostras foram fixadas em glutaraldeído a 1% (*v/v*) e paraformaldeído a 4% (*v/v*) em tampão fosfato de sódio a 0,02 M (pH 7,2), durante 24 h a 25 °C (Karnovsky, 1965). Em seguida, foram desidratadas em bateria crescente de etanol de 50 a 100% (*v/v*) seguido de pré-infiltração, infiltração e inclusão em resina (Kit Historesina-Jung, Alemanha). Cortes de epicarpo e mesocarpo de 4 a 5 µm de espessura foram obtidos com auxílio de um micrótomo semiautomático (Leica RM 2065, Alemanha). Em seguida, os cortes foram colocadas sobre placas de vidro e corados com azul de toluidina (TB) 0,025% (*v/v*) (pH 4) (Vidal, 1977). Foi empregada a reação com o reagente de Schiff (PAS) para a identificação de polissacarídeos neutros presentes no citoplasma e parede celular (Maia, 1979). Os cortes foram observados e fotografados com um microscópio de luz (BX41, Olympus Optical, Japão) acoplado a uma câmara digital (UC30, Olympus, Japão) usando o software CELL.

2.8 Delineamento experimental e análise estatística

Foi utilizado um delineamento experimental casualizado (2 x 2), constituído por frutos tratados pela luz pulsada e controle. As análises foram realizadas após a aplicação do tratamento (T0) de luz pulsada e decorridos 7 dias (T7) da aplicação, com 4 repetições por tratamento e quatro frutos por cada repetição, constituindo ao final 64 frutos. Análise de variância seguida de comparação de médias foi realizada usando o programa ASSISTAT v.7.7. As médias foram comparadas usando o teste de Tukey a $P \geq 0,05$. Para determinar se os antioxidantes não-enzimáticos contribuíram para a capacidade antioxidante total na casca e polpa dos frutos utilizou-se correlação de Pearson a de 1% e 5% de significância.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Efeitos da luz pulsada nas variáveis físico-químicas

Efeitos da LP nas variáveis físico-químicas de mangas armazenadas a 20 °C são apresentadas na **tabela 1**. Não foram observados efeitos significativos do tratamento de luz pulsada no conteúdo de sólidos solúveis nos frutos ($P < 0,05$). Apenas efeito do armazenamento que resultou no aumento dos SS. Como um fruto climatérico, a manga é caracterizada por apresentar um pico de etileno durante o seu desenvolvimento, o que permite o acúmulo de açúcares, ácidos orgânicos e pigmentos (Giovannoni, 2007; Karlova, 2011). Ainda, segundo Hemmaty (2007), aumento nos SS durante o amadurecimento pode estar relacionado com a inibição da inativação da ação de enzimas responsáveis pela hidrólise de polissacarídeos.

Usualmente, ácidos orgânicos declinam durante o amadurecimento dos frutos, ou ainda podem ser convertidos em açúcares. Somente na polpa, observamos influência do tratamento de LP, com um aumento de 50% após 7 dias (**Tabela 1**). Contrariamente, mangas “Tommy Atkins” tratadas com UV-C não apresentaram efeito significativo no conteúdo de ácido cítrico de acordo com González-Aguillar et al. (2001). Para Bleinroth (1992), os SS têm tendência de aumento com o avanço da maturação, enquanto a acidez titulável diminui com o amadurecimento, sendo assim, a relação SS/AT é diretamente proporcional aos SS e inversamente proporcional a acidez titulável. A relação SS/AT teve efeito significativo do tratamento apenas na polpa após 7 dias, com um aumento de 37% em relação ao controle (**Tabela 1**). A aparência global dos frutos tratados pela LP foi mantida durante o armazenamento semelhante ao controle (**Tabela 1**). Os açúcares redutores sofreram influência do tratamento na casca, onde observou-se um aumento desde o momento da aplicação do tratamento, assim como, decorridos 7 dias. Na polpa, somente após aplicação do tratamento (T0), observou-se influência do tratamento (**Tabela 1**). Açúcares apresentam uma função muitas vezes positiva na proteção das células contra as EROs, e podem ser utilizados pela NADPH no ciclo do ascorbato-glutationa para a eliminação de espécies reativas de oxigênio (Noctor, 2006).

Tabela 1. Variáveis físico-químicas em polpa e casca de mangas "Tommy Atkins" tratadas com luz pulsada e armazenadas a 20 °C.

Variáveis	Tempo (dias)	Polpa		Casca	
		Controle	LP	Controle	LP
Sólidos solúveis	0	7,6±0,2 ^{Ab}	8,2±0,18 ^{Ab}	1,8±0,2 ^{Ab}	1,7±0,1 ^{Ab}
(°BRIX)	7	14,9±0,7 ^{Aa}	14,2±0,3 ^{Aa}	2,7±0,5 ^{Aa}	3,0±0,4 ^{Aa}
Acidez titulável	0	0,74±0,10 ^{Ba}	1,05±0,10 ^{Aa}	0,62±0,06 ^{Aa}	0,72±0,15 ^{Aa}
(%) ácido cítrico	7	0,24±0,02 ^{Bb}	0,36±0,01 ^{Ab}	0,76±0,07 ^{Aa}	0,68±0,07 ^{Aa}
Ratio SS/AT	0	10,5±1,1 ^{Ab}	7,9±1,2 ^{Ab}	2,9±0,2 ^{Aa}	2,5±0,4 ^{Ab}
(%)	7	61,7±6,0 ^{Aa}	38,5±1,1 ^{Ba}	3,5±0,4 ^{Aa}	4,4±0,1 ^{Aa}
Aparência global	0	1±0 ^{Aa}	1,0±0 ^{Aa}	**	**
(escala 0-4)	7	1±0 ^{Aa}	1,0±0 ^{Aa}	**	**
Açúcares redutores	0	100±0 ^{Bb}	130±0 ^{Aa}	170±0 ^{Bb}	240±0 ^{Aa}
g kg ⁻¹	7	170±0 ^{Aa}	160±0 ^{Ab}	132±0 ^{Ba}	214±0 ^{Ab}

Letras maiúsculas indicaram diferenças significativas a $P < 0,05$ entre os tratamentos. Letras minúsculas indicaram diferenças significativas a $P < 0,05$ entre os tempos de armazenamento.

3.2 Efeitos da luz pulsada nos atributos de cor e variáveis associadas

A cor é um parâmetro crítico de qualidade e está diretamente relacionado com a concentração de pigmentos nos frutos, que no caso das mangas, é predominantemente devido à presença de carotenóides na polpa. Não foi observada diferença significativa do tratamento de LP na luminosidade nos frutos (**Tabela 2**). No entanto, um aumento significativo foi observado durante o armazenamento, com ênfase para a casca tratada que apresentou-se 7% mais luminosa que a polpa ($P < 0,05$) (**Tabela 2**).

A cromaticidade representa a intensidade da cor, e apresentou significância nos frutos tratados após 7 dias em relação ao controle, com aumentos de (65%) na casca e (46%) na polpa (**Tabela 2**). Não houve influência significativa do tratamento no ângulo Hue nos frutos. Com relação ao armazenamento, observou-se uma diminuição do ângulo na polpa e casca dos frutos, que representa uma mudança da coloração verde para amarelo, possivelmente como consequência da transformação dos cloroplastos em pigmentos amarelos como os carotenóides que são predominantes em mangas (**Tabela 2**). Na polpa, foi observado efeito significativo do tratamento e armazenamento nos carotenóides. Após a aplicação do tratamento (T0), foi verificado um aumento de 179% em relação ao controle. Após 7 dias, esse aumento alcançou 350%, corroborando os resultados de cromaticidade. Na casca verificou-se efeito significativo do tratamento, com aumento de 93% em relação controle somente no tempo (T7) (**Tabela 2**), onde provavelmente os carotenóides foram sintetizados na casca com a finalidade de conferir proteção contra agentes externos (radiação UV). O aumento dos carotenóides em mangas que receberam uma baixa dose UV-C resultou em aumento da capacidade antioxidante dos frutos, segundo resultados de González-Aguillar et al. (2010). Carotenóides exercem uma função importante nos fotossistemas, uma vez que agem como moléculas coletoras de luz protegendo o aparato fotossintético (Havaux, 1998). A estabilidade do pigmento em condições de exposição à luz é importante devido ao fato dessa exposição gerar EROs e a presença contínua da atividade antioxidante desses compostos serem necessários para limitar o acúmulo e promover a remoção das EROs. Durante o metabolismo das EROs, os carotenóides podem proteger os triacilgliceróis, lipídeos poliinsaturados e quinonas (fenóis) da fotooxidação (Merzlyak e Solovchenko, 2002). Recentemente, Poiroux-Gonord et al. (2013) evidenciou que folhas de laranja sob condição de estresse fotooxidativo pode ter influenciado no metabolismo da polpa de

laranjas. O efeito estimulante das condições estressantes impostas às folhas nas concentrações de carotenóides percebidas na polpa dos frutos próximos a essas folhas é conhecido como uma teoria chamada de “*estresse oxidativo importado*”.

As clorofilas apresentaram efeito significativo do tratamento e armazenamento (**Tabela 2**). Antocianinas totais e flavonóides amarelos apresentaram aumento significativo apenas na polpa durante o armazenamento, perfazendo 21% e 42% respectivamente, em relação ao controle após 7 dias ($P < 0,05$) (**Tabela 2**). Sugerindo com isso, neste estudo, que os carotenóides possivelmente estão mais relacionados com a intensidade da cor amarela dos frutos do que os componentes fenólicos.

Interessantemente, não foi observada uma associação entre os parâmetros de cor e enzimas chave responsáveis pelo escurecimento como a PPO e G-POD (**Tabela 2**). A atividade da PPO não foi significativamente afetada pelo tratamento na polpa durante o armazenamento, no entanto, a atividade da PPO aumentou em 22% na casca tratada no T7 (**Tabela 2**). A atividade da G-POD não foi afetada pelo tratamento durante o armazenamento em ambos os tecidos tratados, no entanto, um aumento na polpa tratada foi observado após 7 dias da aplicação do tratamento (1268%) (**Tabela 2**). Esses dados são corroborados por outros estudos no qual foi reportado que a luz UV-C pode causar inativação de diferentes enzimas, em particular a PPO em polpas de frutos (Manzocco et al., 2011). O aumento da G-POD na polpa tratada no T7 indicou uma resposta oxidativa desse tecido ao estresse contribuindo para a remoção dos peróxidos, uma vez que essa enzima tem afinidade pelo produto da reação desencadeado pela atividade da SOD (**Tabela 3**). Danos teciduais da reação de escurecimento em cada parte da planta dependem do tipo de tecido vegetal. Estudos imunohistoquímicos desenvolvidos por Ortega-García et al. (2008) mostraram que a PPO das folhas é encontrada na epiderme, parênquima e células vasculares, enquanto que no fruto é encontrado principalmente na epiderme (casca). Resultados mostrados por Zao e colaboradores (2009) sugeriram que a forte resistência da manga madura a injúria pelo estresse deve-se principalmente a sua alta capacidade antioxidante (fenólicos) envolvidos na tolerância ao estresse aliviando as injúrias nos tecidos da manga e que mudanças na atividade da PPO e no metabolismo dos compostos fenólicos não contribuem diretamente para o aparecimento de injúrias em mangas.

Tabela 2. Atributos de cor e variáveis associadas na polpa e casca de mangas "Tommy Atkins" tratadas com luz pulsada e armazenadas a 20 °C.

Variáveis	Tempo (dias)	Polpa (MF)		Casca (MS)	
		Controle	LP	Controle	LP
Luminosidade	0	66±2 ^{Ab}	67±1 ^{Ab}	44±1 ^{Ab}	43±1 ^{Ab}
(L)	7	74±2 ^{Aa}	74±2 ^{Aa}	54±2 ^{Aa}	55±1 ^{Aa}
Cromaticidade	0	44±1 ^{Aa}	43±1 ^{Aa}	24±2 ^{Ab}	26±2 ^{Ab}
(c)	7	45±1 ^{Ba}	65±0 ^{Ab}	35±1 ^{Ba}	58±1 ^{Aa}
Ângulo Hue	0	95±2 ^{Aa}	94±1 ^{Aa}	122±5 ^{Aa}	131±5 ^{Aa}
(°H)	7	75±1 ^{Ab}	74±1 ^{Ab}	72±1 ^{Ab}	71±2 ^{Ab}
Carotenóides totais	0	34±0 ^{Ba}	95±0 ^{Ab}	392±14 ^{Aa}	449±14 ^{Ab}
mg Kg ⁻¹	7	59±0 ^{Bb}	266±1 ^{Aa}	442±48 ^{Ba}	853±18 ^{Aa}
Clorofila total (a+b)	0	50±8 ^{Ab}	45±2 ^{Ba}	1857±70 ^{Ba}	2164±49 ^{Aa}
mg Kg ⁻¹	7	8±0 ^{Ba}	15±1 ^{Ab}	147±6 ^{Ab}	154±3 ^{Ab}
Antocianinas totais	0	31±3 ^{Ab}	28±3 ^{Ab}	58±8 ^{Aa}	49±8 ^{Aa}
mg Kg ⁻¹	7	47±3 ^{Ba}	57±7 ^{Aa}	53±7 ^{Aa}	47±7 ^{Aa}
Flavonóides amarelos	0	101±0 ^{Ab}	103±0 ^{Ab}	564±80 ^{Ab}	590±78 ^{Aa}
mg Kg ⁻¹	7	170±0 ^{Ba}	242±0 ^{Aa}	801±60 ^{Aa}	663±78 ^{Ba}
Atividade da PPO	0	14±2 ^{Aa}	14±2 ^{Aa}	923±39 ^{Aa}	787±34 ^{Bb}
UA mg ⁻¹ min ⁻¹ P	7	15±2 ^{Aa}	15±2 ^{Aa}	907±20 ^{Ba}	1113±43 ^{Aa}
Atividade da G-POD	0	0,0079±0,0 ^{Aa}	0,0052±0,0 ^{Ab}	0,58±0,0 ^{Aa}	0,61 ±0,0 ^{Aa}
UA mg ⁻¹ min ⁻¹ P	7	0,0076±0,0 ^{Ba}	0,104±0,0 ^{Aa}	0,59±0,0 ^{Aa}	0,64 ±0,0 ^{Aa}

Letras maiúsculas indicaram diferenças significativas a $P < 0,05$ entre os tratamentos. Letras minúsculas indicaram diferenças significativas a $P < 0,05$ entre os tempos de armazenamento.

3.3 Efeito da luz pulsada no metabolismo antioxidante/oxidativo e atividade da PAL

Houve um efeito do tratamento e do armazenamento no conteúdo de peróxidos de hidrogênio na polpa dos frutos, onde observou-se um aumento de 24% na polpa tratada em relação ao controle após 7 dias ($P < 0,05$). Durante o armazenamento, os frutos apresentaram aumentos na quantidade de peróxidos, possivelmente como consequência do processo de amadurecimento (**Tabela 3**). O ascorbato exerce um papel importante na remoção de H_2O_2 via APX. Nos frutos, o conteúdo de ascorbato depende da sua biossíntese, isto é, sua reciclagem após a oxidação mediada pela oxidase ascorbato à monodeidroascorbato (MDHA) que exerce uma função fundamental na detoxificação das EROs (Wang et al., 2012). Observamos um efeito do tratamento e do armazenamento no conteúdo vitamina C dos frutos ($P < 0,05$) (**Tabela 3**). Foi observado um aumento de 59% no conteúdo de vitamina C na polpa dos frutos tratados com LP em comparação ao controle. O elevado conteúdo de vitamina C apresentado no T0 na casca tratada pode ser explicado devido os altos níveis de ascorbato serem necessários pelas células para se prepararem para eliminação das EROs (**Tabela 3**). Em plantas submetidas à estresses ambientais, um aumento na atividade da APX é muita vezes associado com o alto nível de oxidação do *pool* de ascorbato. Fatores ambientais como estresses moderados desempenham um importante papel no estímulo da síntese e acúmulo de fitoquímicos em frutos como o ascorbato (Charles et al., 2013; Aguiló-Aguayo et al., 2013; Poiroux-Gonord et al., 2013).

O tratamento de LP com dose hormética desencadeou a via dos fenilpropanóides e biossíntese de polifenóis através da iniciação de cascatas de fosforilação mediadas pelo H_2O_2 . Condições de estresse induzem a ativação do metabolismo dos fenilpropanóides, e os fenólicos são identificados como os compostos que apresentam alta atividade antioxidante em frutos e vegetais, sendo assim considerados como os maiores contribuintes da capacidade antioxidante (Rice-Evans et al., 1997).

Foi observado um efeito significativo do tratamento de LP na atividade da PAL após 7 dias, tanto na polpa como na casca dos frutos ($P < 0,05$) (**Tabela 3**). Com relação ao armazenamento, observamos que a atividade da PAL sofreu influência significativa somente nos frutos tratados, com um aumento de 98% nas cascas tratadas (**Tabela 3**). Os efeitos do tratamento de LP na atividade da PAL reportados neste estudo foram associados a aumentos nos conteúdos de polifenóis na casca (97%) e na polpa (30%) do

fruto no final do armazenamento (**Tabela 3**). Compostos fenólicos acumulados em folhas ou cascas em resposta ao estresse podem mover-se diretamente para a polpa do fruto quando a maquinaria fotossintética é efetiva (Poiroux-Gonord et al., 2013). Pesquisadores apontam que a radiação UV resulta em acúmulo de flavonóides, que estão implicados na resistência dos frutos e vegetais aos microrganismos e a senescência e, que agem como um filtro protetor contra a radiação (Cantos et al., 2003; Shama e Alderson, 2005; González-Aguilar et al., 2007; Charles et al., 2008; Li et al., 2010; Aguiló-Aguayo et al., 2013).

Na casca da manga, a mangiferina é o composto fenólico predominante e tem sido reportado devido a sua variedade de efeitos farmacológicos e seu potencial medicinal, atraindo atenção de pesquisadores e consumidores (Mohan et al., 2013). Como um importante metabólito secundário relatado por proteger plantas contra várias formas de estresse abiótico e biótico, altas quantidades de mangiferina foram detectadas em folhas, e em cascas de *Mangifera indica* mais que em polpa (Barreto et al., 2008). O efeito da LP reportado neste estudo para o conteúdo de mangiferina mostrou um aumento de 42% na casca tratada em comparação com o controle no T7, indicando que o tratamento de LP é uma forma de estimular a síntese da mangiferina (**Tabela 3**). A resposta ao estresse do fruto sob condições de radiação depende da genética, da intensidade da radiação UV-C, assim como do período de colheita, estágio fisiológico e de maturação (González-Aguillar et al., 2010). A idéia de que a via biossintética dos compostos fenólicos estão sob controle EROs/redox é consistente com o conhecimento da função de genes que controlam o sistema redox-sensível (Potters et al., 2010; Buchanan et al., 2012).

Frutos fornecem uma grande quantidade de fitoquímicos promotores da saúde humana, dos quais metabólitos secundários, principalmente terpenóides como os carotenóides e compostos fenólicos são os maiores grupos juntamente com o ascorbato, os quais contribuem para o aumento da atividade antioxidante dos frutos (Guri et al., 2010). Neste estudo, a LP e o armazenamento influenciou a AAT na polpa ($P < 0,05$), com aumentos de 18% (T0) e 27% (T7) em relação ao controle. Já na casca tratada, um aumento de 73% na AAT foi observado em relação ao controle (**Tabela 3**). De acordo com o modelo hormético aplicado em vegetais, baixas doses UV-C, estimulam uma série de reações que levam a síntese de compostos antioxidantes e consequente aumento da atividade antioxidante (Freitas et al., 2014).

O conceito de que folhas estressadas pode ser uma fonte de estresse oxidativo ou sinalização redox nos frutos ou ainda de que as EROs podem muitas vezes ser exportadas de folhas estressadas para os frutos que estão nas proximidades dessas folhas é conhecido como aclimatação sistêmica adquirida nos casos de estresse abiótico (Karpinski et al., 1999). As observações capturadas nesse estudo mostram hipoteticamente que o metabolismo da polpa foi modificado em detrimento de uma baixa dose de luz pulsada recebida pela casca do fruto (**Tabela 3**). Nos tecidos vegetais estressados, as EROs podem originar-se da NADPH oxidase localizada na membrana plasmática, da xantina oxidase nos peroxissomos ou de perturbações da cadeia transportadora de elétrons na mitocôndria (Del Río et al., 2006; Mateos et al., 2003). As EROs formadas ($\cdot\text{O}_2^-$ e H_2O_2) sob condições de estresse exercem uma importante função na resposta das plantas ao ambiente agindo como sinalizadores que aumentam a taxa de respiração mitocondrial induzindo a formação de elevados níveis de EROs (Rhoads et al., 2006; Jacobo-Velázquez et al., 2001).

A atividade da SOD foi influenciada significativamente pelo tratamento de LP e armazenamento ($P < 0,05$) (**Tabela 3**). A SOD age na linha de frente em combate as EROs, catalizando o radical superóxido a H_2O_2 que é subsequentemente neutralizado pela ação das catalases ou peroxidases (Mittler, 2002). Nesse estudo a atividade antioxidante de enzimas como a CAT e a SOD foram produzidas imediatamente (T0) e tardiamente (T7) após o tratamento de LP em ambos os tecidos (**Tabela 3**). Houve um aumento da atividade da SOD durante o armazenamento nos frutos tratados superior aos frutos controle. Na polpa tratada pela LP no T7 a atividade da SOD foi 58% mais elevada se comparado ao controle, e consistente com essa observação, a atividade da CAT também apresentou um aumento (+109%) (**Tabela 3**). De forma contrária, o aumento da atividade da CAT como consequência do tratamento de LP foi muito menor (7%) na casca tratada no T7 (**Tabela 3**). Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos avaliados e período de armazenamento com relação a atividade da APX nos frutos (**Tabela 3**). APX e CAT apresentam diferentes afinidades pelo H_2O_2 , sugerindo que a APX muitas vezes é a responsável por uma modulação refinada das EROs durante sinalização, enquanto que a CAT pode ser atribuída à função de remoção do excesso de EROs sob estresse (Mittler, 2002). Os resultados obtidos nesse trabalho estão de acordo com outros estudos em resposta ao estresse oxidativo à radiação UV-C mostrando que a indução do sistema enzimático (SOD, CAT e APX) contrabalanceou o efeito do estresse (Jaleel et al., 2009; Jiang et al., 2010).

Tabela 3. Variáveis associadas ao metabolismo antioxidante/oxidativo e atividade da PAL em polpa e casca de mangas "Tommy Atkins" tratadas com luz pulsada e armazenadas a 20 °C.

Variáveis	Tempo (dias)	Polpa (MF)		Casca (MS)	
		Controle	LP	Controle	LP
Peróxido de hidrogênio μmol g ⁻¹	0	0,0006±0,0 ^{Ab}	0,0006±0,0 ^{Ab}	0,004±0,0 ^{Ab}	0,004±0,0 ^{Ab}
	7	0,029±0,0 ^{Ba}	0,036±0,0 ^{Aa}	0,02±0,0 ^{Aa}	0,02±0,0 ^{Aa}
Vitamina C mg Kg ⁻¹	0	8549±15 ^{Aa}	5893±40 ^{Bb}	4083±130 ^{Aa}	1240±115 ^{Bb}
	7	4412±25 ^{Bb}	7037±38 ^{Aa}	1916±188 ^{Ab}	2095±137 ^{Aa}
Fenólicos totais mg GAE Kg ⁻¹	0	6153±17 ^{Aa}	4941±22 ^{Bb}	37609±164 ^{Ba}	39912±144 ^{Ab}
	7	5832±19 ^{Bb}	7566±37 ^{Aa}	36303±113 ^{Ba}	71656±252 ^{Aa}
Mangiferina mg Kg ⁻¹	0	-	-	2746±151 ^{Aa}	3270±122 ^{Aa}
	7	-	-	2323±124 ^{Ba}	4013±149 ^{Ab}
Atividade antioxidante total μmol trolox g ⁻¹	0	57±2 ^{Bb}	67±2 ^{Ab}	49±0 ^{Aa}	47±0 ^{Ab}
	7	70±5 ^{Ba}	90±6 ^{Aa}	49±3 ^{Ba}	85±4 ^{Aa}
Atividade da PAL μmol ácido transc. h ⁻¹ mg ⁻¹ P	0	3,5±0,6 ^{Aa}	3,0±0,8 ^{Ab}	216±18 ^{Aa}	198±20 ^{Ab}
	7	2,4±0,2 ^{Ba}	5,9±0,8 ^{Aa}	245±12 ^{Ba}	487±22 ^{Aa}
Atividade da SOD UA mg ⁻¹ P	0	4,6±0,8 ^{Bb}	6,0±0,6 ^{Ab}	447±20 ^{Bb}	507±27 ^{Ab}
	7	15,5±0,5 ^{Ba}	24,5±0,2 ^{Aa}	788±7 ^{Ba}	1250±10 ^{Aa}
Atividade da CAT μmol H ₂ O ₂ mg ⁻¹ min ⁻¹ P	0	36±1 ^{Bb}	76±3 ^{Ab}	96±6 ^{Bb}	595±32 ^{Ab}
	7	278±10 ^{Ba}	568±19 ^{Aa}	717±42 ^{Ba}	790±30 ^{Aa}
Atividade da APX μmol H ₂ O ₂ mg ⁻¹ min ⁻¹ P	0	0,60±0,02 ^{Ab}	0,26±0,01 ^{Bb}	8,5±0,3 ^{Ab}	9,8±0,1 ^{Aa}
	7	1,3±0,0 ^{Aa}	1,4±0,2 ^{Aa}	10,3±0,5 ^{Aa}	10,2±0,5 ^{Aa}

Letras maiúsculas indicaram diferenças significativas a $P < 0,05$ entre os tratamentos. Letras minúsculas indicaram diferenças significativas a $P < 0,05$ entre os tempos de armazenamento.

Observamos que a atividade antioxidante total (AAT) da polpa foi correlacionada positivamente com os carotenóides totais ($R = 0,70$), flavonóides amarelos ($R = 0,88$) e antocianinas totais ($R = 0,75$). Houve uma baixa correlação da AAT na polpa com os fenólicos totais ($R = 0,57$). Na casca, a AAT foi positivamente correlacionada com os carotenóides totais ($R = 0,78$) e conteúdo de fenólicos ($R = 0,71$). Nossos resultados indicam que o efeito da LP nos frutos está correlacionado com um aumento da atividade antioxidante total (**Tabela 4**).

Tabela 4. Correlação de Pearson (**R**) entre os compostos antioxidantes e a atividade antioxidante avaliada pelo método ABTS em mangas “Tommy Atkins” tratadas com luz pulsada e armazenadas por 7 dias a 20 °C.

Variáveis	Atividade antioxidante total	
	Polpa	Casca
Vitamina C	- 0,31*	- 0,63**
Carotenóides totais	0,70**	0,71**
Flavonóides amarelos	0,88**	0,14*
Antocianinas totais	0,75**	- 0,67**
Fenólicos totais	0,57**	0,78**

**Significativo a $P < 0,01$ * Significativo a $P < 0,05$

3.4 Efeito da luz pulsada na firmeza e variáveis associadas

Para determinação da textura dos frutos alguns fatores como morfologia celular dos tecidos primários, estrutura geral, organização espacial, propriedades da cutícula e perda de água pela transpiração são considerados (Saladié et al., 2007; Aurand et al., 2012). O tratamento de luz pulsada não influenciou significativamente a firmeza dos frutos ($P < 0,05$). Resultados similares decorrentes da aplicação UV-C, foram obtidos em diferentes tecidos vegetais por outros autores (Gómez 2010; Manzocco et al., 2011). No entanto, durante o armazenamento os frutos tratados apresentaram-se 10% mais firmes que os frutos controle (**Tabela 5**). De acordo com Pilati et al. (2007), as EROs podem agir como um sinal no fruto durante o processo de amaciamento.

Mudança no conteúdo de MDA pode ser considerado um bom indicador da integridade estrutural das membranas, e é muitas vezes induzido por radicais livres (Ahmad, 2014). O tratamento de luz pulsada não influenciou significativamente a peroxidação lipídica das membranas dos frutos (**Tabela 5**). No entanto, um efeito do armazenamento foi observado nos frutos tratados, que levou a um aumento do conteúdo de MDA dos frutos (**Tabela 5**). Durante o armazenamento, um aumento do conteúdo de MDA é esperado como consequência do avanço do processo de amadurecimento, e consequente senescência dos tecidos. Lipídeos de membrana são altamente susceptíveis a oxidação pelas EROs durante o amadurecimento e senescência, uma vez que o acúmulo de produtos da peroxidação são responsáveis pela ruptura da membrana celular, uma vez que o amadurecimento e a senescência, são considerados fenômenos oxidativos devido ao aumento dos níveis de EROs como resultado do declínio do potencial antioxidante (Aguiar et al., 2010). Neste estudo, observamos que a ativação dos mecanismos de defesa enzimáticos e antioxidantes não enzimáticos, reduziram o estresse oxidativo celular prevenindo a peroxidação das membranas, e que outros fatores como a integridade da parede celular podem ter influenciado muito mais que a peroxidação lipídica na firmeza nos frutos tratados pela LP.

O tratamento de luz pulsada influenciou significativamente o extravasamento de eletrólitos na casca dos frutos imediatamente após aplicação do tratamento com um aumento de 58% em relação às cascas dos frutos não tratados ($P < 0,05$) (**Tabela 5**), que poderá hipoteticamente ter funcionado como um sinal para a produção de EROs percebido pela casca dos frutos imediatamente após a aplicação do estresse. Um efeito armazenamento no extravasamento de eletrólitos foi percebido nos frutos ($P < 0,05$) (**Tabela 5**). A diminuição da perda de eletrólitos durante o armazenamento em ambos os tecidos do fruto tratados pela LP, podem ser atribuídos ao amadurecimento, como indicado pelo aumento nos sólidos solúveis (**Tabela 1**), que podem ter levado a um maior potencial osmótico e assim ter proporcionado uma redução na perda de eletrólitos (Nyanjage et al., 1999). A fuga de eletrólitos é um indicador da perda da integridade da membrana celular e um aumento nesse parâmetro pode ser esperado no final do amadurecimento ou quando o fruto é exposto a condições estressantes (Nyanjage et al., 1999; Vicente et al., 2006). O estágio de maturação do fruto, a duração do tratamento, a temperatura de estocagem e suas interações podem influenciar grandemente na fuga desses eletrólitos (Nyanjage et al., 1999). Estudo desenvolvido por Zhao et al., (2009),

mostraram que a perda de eletrólitos foi menor em frutos de manga maduros do que em frutos verdes.

Foi observado um efeito significativo tanto do tratamento como do armazenamento na atividade das enzimas de parede celular (**Tabela 5**). Com relação à atividade da PME, após a aplicação do tratamento (T0), o que se observa é um aumento da atividade tanto na casca (10%) quanto na polpa (30%) dos frutos tratados em relação ao controle. No entanto, uma diminuição da atividade da PME, foi observada nos frutos tratados em relação ao controle no final do armazenamento. Durante o armazenamento, observamos uma maior redução na atividade da PME dos frutos tratados, perfazendo 81% e 46% na casca e polpa, respectivamente (**Tabela 5**).

A atividade da PG na polpa dos frutos tratados em comparação aos frutos controle imediatamente após a aplicação da LP (T0) e após 7 dias (T7) foram menores em -55% e -48%, respectivamente (**Tabela 5**). Durante o período de armazenamento, observamos um aumento da atividade da PG na polpa tratada 2 vezes mais maior (36%) em relação ao controle (**Tabela 5**). Barka et al. (2001) observaram uma redução na atividade de enzimas de parede celular como a PG, PME, celulase, xilanase, β -D-galactosidase em tomates tratados com baixas doses de UV-C. Outros pesquisadores concluíram que as atividades da PG, PME e endoglucanases permaneceram similares ou em níveis mais baixos em morangos não irradiados com UV-C (Pombo et al., 2009). Portanto, podemos concluir que neste estudo, as EROs foram efetivamente eliminadas pelo sistema antioxidante enzimático/não-enzimático, sendo o amaciamento mediado pela PME e PG desacelerados nos frutos tratados pela LP, mantendo-os mais firmes durante o armazenamento.

Tabela 5. Firmeza e variáveis associadas na polpa e casca de mangas "Tommy Atkins" tratadas com luz pulsada e armazenadas a 20 °C.

Variáveis	Tempo (dias)	Polpa (MF)		Casca (MS)	
		Controle	LP	Controle	LP
Firmeza	0	25,1±1,8 ^{Aa}	22,9±0,8 ^{Aa}	**	**
(N)	7	10,7±1,0 ^{Ab}	11,7±2,5 ^{Ab}	**	**
Peroxidação lipídica	0	17±2 ^{Ab}	15±3 ^{Ab}	15±1 ^{Ab}	16±1 ^{Ab}
MDA nmol g ⁻¹	7	23±4 ^{Aa}	27±1 ^{Aa}	37±2 ^{Aa}	37±1 ^{Aa}
Perda de eletrólitos	0	52±3 ^{Aa}	58±6 ^{Aa}	24 ±2 ^{Ba}	38±3 ^{Aa}
(%)	7	13±1 ^{Ab}	12±1 ^{Ab}	7±1 ^{Ab}	7±2 ^{Ab}
Atividade da PME	0	1232±31 ^{Ba}	1603±32 ^{Aa}	49629±205 ^{Ba}	54652±331 ^{Aa}
UA mg ⁻¹ min ⁻¹ P	7	1050±41 ^{Ab}	858±24 ^{Bb}	17635±125 ^{Ab}	10263±96 ^{Bb}
Atividade da PG	0	742± 23 ^{Ab}	335± 45 ^{Bb}	44410±442 ^{Bb}	60187±409 ^{Ab}
UA mg ⁻¹ min ⁻¹ P	7	886± 52 ^{Aa}	454± 35 ^{Ba}	69220±370 ^{Aa}	64560±486 ^{Ba}

Letras maiúsculas indicaram diferenças significativas a $P < 0,05$ entre os tratamentos. Letras minúsculas indicaram diferenças significativas a $P < 0,05$ entre os tempos de armazenamento.

3.5 Influência da LP na histologia dos tecidos

Observações macroscópicas e microscópicas após o coramento com azul de toluidina, após a aplicação do tratamento com $0,6 \text{ J cm}^{-2}$ revelou formatos regulares das estruturas celulares sem danos teciduais associados ao tratamento de LP. Células do epicarpo mostram-se estruturalmente mais rígidas que as da polpa, que são vacuoladas, com paredes celulares mais finas e grandes espaços intercelulares. As características morfológicas dos frutos podem influenciar na qualidade, como é o caso da aparência global dos frutos. Quando submetido à reação do ácido periódico (PAS), polpas tratadas com LP mostraram maior quantidade de grãos de amido que declinaram durante o armazenamento, indicando uma dissolução dessa estrutura (**Figure 1B**), que pode ser explicado pelo aumento da atividade da PG, que leva a despolimerização da pectina e consequente amaciamento dos tecidos.

Manzocco et al. (2011), avaliando a estrutura celular de maçãs minimamente processadas expostas à radiação UV-C, observaram que uma fluência excedendo $0,12 \text{ J cm}^{-2}$ causava a perda de compartimentalização das células da superfície de maçãs, ativando um fenômeno oxidativo, e contudo levando à desidratação, e que de acordo com os autores é uma forte evidência de que altas doses afetam a qualidade dos frutos, sendo os resultados percebidos pelos consumidores ao provarem o produto.

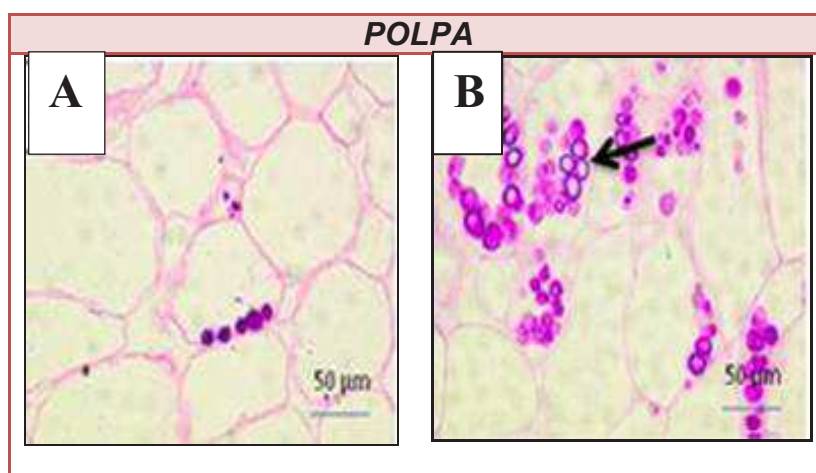


Figura 1. Polpa submetida ao teste do ácido periódico (PAS) após tratamento com LP durante armazenamento a $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$. (A) Polpa-controle (T7); (B) Polpa tratada com LP (T7). Escala: $50 \text{ }\mu\text{m}$, com objetiva $10 \times \rightarrow$ grãos de amido.

No presente estudo, a hipótese do efeito hormético (eutresse), foi positivamente observada nos compostos fitoquímicos de mangas “Tommy Atkins” durante 7 dias de armazenamento a 20 °C. A LP afetou os tecidos dos frutos de manga de maneira diferente. Estabeleceu-se nos frutos um estresse oxidativo através da superprodução de EROs, que agiram como sinal, acionando os mecanismos antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos contrabalanceando os efeitos deletérios do estresse fotoxidativo, sem afetar a integridade das membranas, assim como, a morfologia dos tecidos (**Figura 2**). Em cada tipo de tecido as variáveis estruturais foram afetadas pela LP, no entanto, os resultados mostram que a LP penetra na casca de manga alcançando a polpa e influenciando em sua fisiologia. Sugerimos que o efeito da dose hormética nos fitoquímicos pode ter sido devido à ação sinérgica do UV-A, UV-B, UV-C, visível e vermelho próximo (NIR) que compõem o espectro de luz pulsada, estando relacionada aos efeitos fototérmico ou fotoquímico, ou ainda, possivelmente pela ação dos efeitos fototérmico e fotoquímico da LP que podem atuar simultaneamente. A cultivar, o estágio de maturação, o armazenamento e a dose de LP aplicada nos frutos são fatores que vão interferir diretamente no metabolismo secundário.

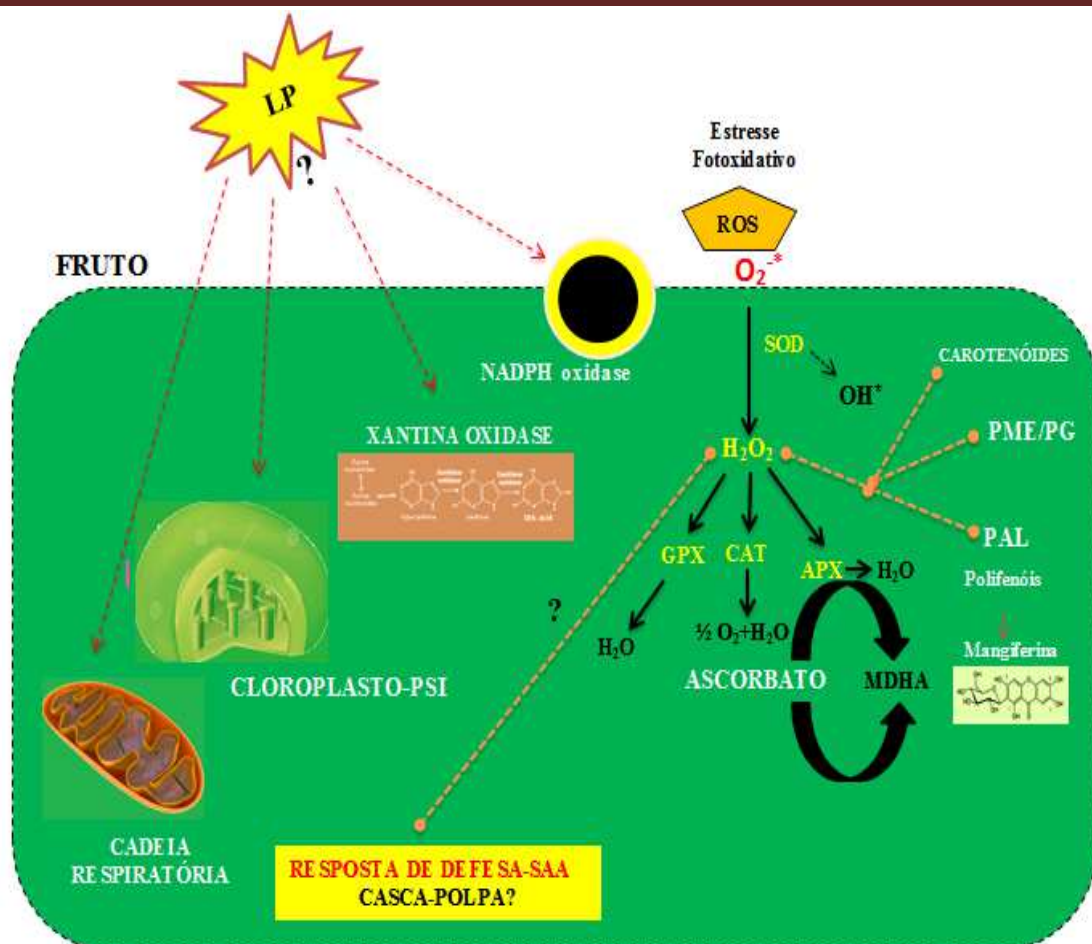


Figura 2. Modelo simplificado dos efeitos de uma baixa dose de LP no metabolismo de mangas Tommy Atkins. (- ➔) As EROs podem ter sido originadas de várias organelas presentes na célula vegetal como peroxissomos, mitocôndrias, cloroplastos e membrana plasmática. (➔) O radical superóxido é eliminado tanto pelo aparato enzimático como não-enzimático, que mantém a integridade das membranas. A ativação do sistema redox leva a ativação da via dos fenilpropanóides, carotenóides e ascorbato. (●➔●) O peróxido de hidrogênio atua como sinal transitório celular de estresse oxidativo, possivelmente mediando às respostas da casca para a polpa (aclimação sistêmica). **Fonte:** Autor.

5 CONCLUSÃO

Podemos concluir que a LP aplicada através de uma dose hormética de 0,6 J cm⁻² influenciou positivamente o conteúdo de fitoquímicos, mantendo a qualidade dos frutos de manga da cultivar Tommy Atkins durante o período de armazenamento de 7 dias a 20 °C, podendo ser usada para aumentar a vida útil dos frutos. A compreensão de como se dão as respostas do metabolismo secundário de vegetais a diferentes estresses abióticos pode ser a base para desenhar estratégias capazes de transformar frutos em biofábricas de fitoquímicos. Entretanto, muito pouco ainda se sabe sobre os mecanismos envolvidos decorrentes da aplicação do tratamento de LP nos frutos e vegetais, sendo, portanto útil a utilização de abordagens envolvendo transcriptômica e metabolômica, para melhor compreender tais efeitos e embasar de maneira sólida essa tecnologia na pós-colheita de frutos e vegetais.

6 REFERÊNCIAS

- Aguiar, R.P., Miranda, M.R.A., Lima, A. M.P., Mosca, J.L., Moreira, R. A., Filho, J. E., 2010. Effect of a galactomannan coating on mango postharvest physicochemical quality parameters and physiology. *Fruits*. 66, 269-278.
- Aguiló-Aguayo, I., Charles, F., Renard, C.M.G.C., Page, D., Carlin, F., 2013. Pulsed light effects on surface decontamination, physical qualities and nutritional composition of tomato fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 86, 26-29.
- Ahmad, P. 2014. *Oxidative damage to plants: antioxidant networks and signaling* (London, UK). Elsevier: Academic Press.
- Allende, A., Desmet, M., Vanstreels, E., Verlinden, B.E., Nicolai, B.M. 2004. Micromechanical and geometrical properties of tomato skin related to differences in puncture injury susceptibility. *Postharvest Biology and Technology*, 34, p. 131-141.
- Amanko, K., Chen, G.X., Asada, K., 1994. Separate assays specific for ascorbate peroxidase and guaiacol peroxidase and for chloroplastic and cytosolic isozymes of ascorbate peroxidase in plants. *Plant Cell Physiol.* 35, 497-504.
- Association of Official Analytical Chemistry., 2005. *Official methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemistry*. 15th ed. Washington: AOAC.
- Aurand, R., Faurobert, M., Page, D., Maingonnat, J.F., Brunel, B., Causse, M., Bertin, N., 2012. Anatomical and biochemical trait network underlying genetic variations in tomato fruit texture. *Euphytica*. 187, 99-116.
- Barka, E.A., 2001. Protective enzymes against oxygen species during ripening of tomato (*Lycopersicon esculentum*) fruits in response to low amounts of UV-C. *Australian J. Plant Physiol.* 28, 785-791.
- Barreto, J.C., Trevisan, M.T.S., Hull, W.E., Erben, G., Brito, E.S., Pfundstein, B., Wurtele, G., Spielgelhalder, B., Owen, R.W., 2008. Characterization and quantitation of polyphenolic compounds in bark, kernel, leaves, and peel of mango (*Mangifera indica* L.). *J. Agric. Food Chem.* 56, 5599-5610.
- Beauchamp, C., Fridovich, I., 1971. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biol.* 44, 276-287.
- Beers-Jr, R.F., Sizer, I.W., 1952. A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. *J. Biol. Chem.* 195, 133-140.

- Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem.* 72, 248-254.
- Bravo, S. García-Alonso, J., Martín-Pozuelo, G., Gómez, V., Santaella, M., Navarro-González, I., Periago, M.J., 2012. The influence of post-harvest UV-C hormesis on lycopene, b-carotene, and phenolic content and antioxidant activity of breaker tomatoes. *Food Res. Int.* 49, 296-302.
- Buchanan, B.B., Holmgren, A., Jacquot, J.P., Scheibe, R., 2012. Fifty years in the thioredoxin field and a bountiful harvest. *Biochem. Biophys. Acta.* 1820, 1822-1829.
- Cantos, E., Espín, J.C., Fernández, M.J., Oliva, J., Tomás-Barbéran, F.A., 2003. Postharvest UV-C-irradiated grapes as a potential source for producing stilbene-enriched red wines. *J. Agric. Food Chem.* 51, 1208-1214.
- Canuto, K. K., Neto, M.A. de S., Garruti, D. dos S., Lima, M.A.C., 2010. Evaluation of the use of ethylene inhibitors on production of volatile compounds and mangiferin in mango fruit. *Quím. Nova.* 33, 1535-1540.
- Charles, F., Vidal, V., Olive, F., Filgueiras, H., Sallanon, H., 2013. Pulsed light treatment as new method to maintain physical and nutritional quality of fresh-cut mangoes. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 18, 190-195.
- Cisneros-Zevallos, L., 2003. The use of controlled postharvest abiotic stresses as a tool for enhancing the nutraceutical content and adding-value of fresh fruits and vegetables. *J. Food Sci.* 68, 1560-1565.
- Del Río, L.A., Sandalio, L.M., Corpas, F.J., Palma, J.M., Barroso, J.B., 2006. Reactive oxygen species and reactive nitrogen species in peroxisomes. Production, scavenging, and role in cell signaling. *Plant Physiol.* 141, 330-335.
- Elmnasser, N., Guillou, S., Leroi, F., Orange, N., Bakhrouf, A., Federighi, M., 2007. Pulsed-light system as a novel food decontamination technology: a review. *Canadian J. Microbiol.* 53, 813-821.
- El-Shora, H.M., 2002. Properties of phenylalanine ammonia-lyase from Marrow cotyledons. *Plant Sci.* 162, 1-7.
- Francis, F.J., 1982. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. Anthocyanins as food color. Academic Press, New York, 181-207.

- Freitas, A., Moldão, M.M, Costa, H.S., Albuquerque, T.G., Valente, A., Sanches, S.A, 2014. Effect of UVC radiation on bioactive compounds of pineapple 896 (*Ananas comosus L. Merr*) by products. *J. Sci. Food. Agric.* 95, 44-52.
- Giannopolitis, C.N., Ries, S.K., 1977. Superoxide dismutase I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiol.* 59, 309-314.
- Giovannoni, J.J., 2007. Fruit ripening mutants yield insights into ripening control. *Curr. Opin. Plant Biol.* 10, 283-289.
- Gómez, P.L., Alzamora, S.M., Castro, M.A., Salvatori, D.M., 2010. Effect of ultraviolet-C light dose on quality of cut-apple: Microorganism, color and compression behaviour. *J. Food Eng.* 98, 60-70.
- Gómez, P.L., García-Loredo, A., Nieto, A., Salvatori, D.M., Guerrero, S., Alzamora, S.M., 2012. Effect of pulsed light combined with an antibrowning pretreatment on quality of fresh cut apple. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 16, 102-112.
- González-Aguilar, G. A., Wang, C.Y., Buta, J.G., Krizek, D.T, 2001. Use of UV-C irradiation to prevent decay and maintain postharvest quality of ripe “Tommy Atkins” mangoes. *J. Food Sci.* 36, 767-773.
- González-Aguilar, G.A., Villa-Rodriguez, J.A., Ayala-Zavala, J.F., Yahia, E.M., 2010. Improvement of the antioxidant status of tropical fruits as a secondary response to some postharvest treatments. Review. *Trends Food Sci. Technol.* 21, 475-482.
- González-Aguilar, G.A., Villegas-Ochoa, M.A., Martínez-Téllez, A.A., Gardea, A.A., Ayala-Zavala, J.F., 2007. Improving antioxidant capacity of fresh cut mangoes treated with UV-C. *J. Food Sci.* 36, 197-202.
- Guri, A.J., Misyak, S.A., Hontecillas, R., Hasty, A., Liu, D., Si, H., Bassaganya-Riera, J., 2010. Abscisic acid ameliorates atherosclerosis by suppressing macrophage and CD4+T cell recruitment into the aortic wall. *J. Nutr. Biochem.* 21, 1178-1185.
- Havaux, M. Carotenoids as membrane stabilizers in chloroplasts. 1998. *Trends in Plant Science*, 3, p. 147-151.
- Hemmaty, S., Moallemi, N., Naseri, L., 2007. Effect of UV-C radiation and hot water on calcium content and postharvest quality of apple. *Spanish J. Agric. Research*, 5, 559-568.
- Jacobo-Velázquez, D.A., Martínez-Hernández, G.B., Rodríguez, C.S., Cao, C.M., Cisneros-Zevallos, L., 2011. Plants as biofactories: physiological role of reactive oxygen species on the accumulation of phenolic antioxidants in carrot tissue under wounding and hyperoxia stress. *J. Agric. Food Chem.* 59, 6583-6593.

- Jagadeesh, K.S., Jagadeesh, D.R., 2009. Biological control of early blight of tomato caused by *Alternaria solani* as influenced by different delivery methods of *Pseudomonas gladioli* B25. *Acta Hort.* 808, 327-332.
- Jaleel, C.A., Riadh, A., Gopi, R., Manivannan, P., Inès, J., Al-Juburi, H.J., Chang-Xiang, Z., Hong-Bo, S., Pannerselvam, R., 2009. Antioxidant defence responses: physiological plasticity in higher plants under abiotic constraints. *Acta Physiol. Plant.* 31, 427-436.
- Jen, J.J., Robinson, M.L., 1984. Pectolytic enzymes in sweet bell peppers (*Capsicum annuum* L.). *J. Food Sci.* 49, 1085-1087.
- Jiang, T., Jahangir, M.M., Jiang, Z., Lu, X., Ying, T., 2010. Influence of UV-C treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and texture on postharvest Shitake (*Lentinus edodes*) mushrooms during storage. *Postharvest Biol. Technol.* 56, 209-215.
- Kalam, S., Gul, M. Z., Singh, R., Ankati, S. 2015. Free Radicals: Implications in Etiology of Chronic Diseases and Their Amelioration through Nutraceuticals. *Pharmacologia*, 6, 11-20
- Karlova, R., Rosin, F.M., Busscher-Lange, J., Parapunova, V., Do, P.T., Fernie, A.R., Fraser, P.D., Baxter, C., Angenent, G.C., Maagd, R.A., 2011. Transcriptome and metabolite profiling show that APETALA2A is a major regulator of tomato fruit ripening. *Plant Cell.* 23, 923-941.
- Karnovsky, M.J., 1965. A formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolarity for use in electron microscopy. *J. Cell Biol.* 27, 137.
- Karpinski, S., Heynolds, H., Karpinska, B., Wingsle, G., Creissen, G., Mullineaux, P., 1999. Systemic signaling and acclimation in response to excess excitation energy in *Arabidopsis*. *Science.* 284, 654-657.
- Krishnamurthy, K., Tewari, J.C., Irudayaraj, J., Demirci, A., 2008. Microscopic and spectroscopic evaluation of inactivation of *Staphylococcus aureus* by pulsed UV light and infrared heating. *Food Bioprocess Technol.* 3, 93-104.
- Larrauri, J.A., Rupérez, P., Saura-Calixto, F., 1997. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. *J. Agric. Food Chem.* 45, 1390-1393.
- Li, J., Zhang, Q., Cui, Y., Yang, J., Cao, J., Zhao, Y., Jiang, W. 2010. Use of UV-C treatment to inhibit microbial growth and maintain the quality of Yali pear. *J. Food Sci.* 75, 503-507.

- Lichtenthaler, H.K., Wellburn, A.R., 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11, 591-592.
- Maia V., 1979. Técnica histológica. São Paulo: Atheneu, Brazil. p. 246.
- Manzocco, L., Da Pieve, S., Bertolini, A., Bartolomeoli, I., Mainfreni, M., Vianello, A., Nicoli, M.C., 2011. Surface decontamination of fresh-cut apple by UV-C light exposure: effects on structure, color and sensory properties. *Postharvest Biol. Technol.* 61, 165-171.
- Mateos, R.M., León, A.M., Sandalio, L.M., Gómez, M., Del Río, L.A., Palma, J.M., 2003. Peroxisomes from pepper fruits (*Capsicum annuum* L.): purification, characterization and antioxidant activity. *J. Plant Physiol.* 160, 1507-1516.
- Merzlyak, M.N., Solovchenko, A.E., 2002. Photostability of pigments in ripening apple fruit: a possible photoprotective role of carotenoids during plant senescence. *Plant Sci.* 163, 881-888.
- Miller, G. L, 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for the determination of reducing sugars. *Analytical Chemistry*, 31, 3, 426-428.
- Mittler, R., 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Sci.* 7, 405-410.
- Mohan, C.G., Deepak, M., Viswanatha, G.L., Savinay, G., Hanumantharaju, V., Rajendra, C.E., Halemani, P.D., 2013. Anti-oxidant and anti-inflammatory activity of leaf extracts and fractions of *Mangifera indica*. *Asian Pac. J. Trop. Med.* 311-314.
- Mori, T., Sakurai, M., Sakuta, M., 2001. Effects of conditional medium on activities of PAL, CHS, DAHP synthases (DS-Co and Ds-Mn) and anthocyanin production in suspension cultures of *Fragaria ananassa*. *Plant Sci.* 160, 355-360.
- Nakano, Y., Asada, K., 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidases in spinach chloroplast. *Plant Cell Physiol.* 22, 867-880.
- Nelson, N., 1944. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. *J. Biol. Chem.* 153, 375-380.
- Noctor, G., 2006. Metabolic signaling in defense and stress: the central roles of soluble redox couples. *Plant Cell Environ.* 29, 409-425.
- Nyanjage, M.O., Wainwright, H., Bishop, C.F.H., 1999. Effects of hot-water treatment and storage temperature on electrolyte leakage of mangoes (*Mangifera indica* Linn.). *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 74, 566-572.

- Obanda, M., Owuor, P.O., Taylor, S.J., 1997. Flavonol composition and caffeine content of green leaf as quality potential indicators of Kenyan black teas. *J. Sci. Food Agric.* 74, 209-215.
- Orozco-Cardenas, M., Narváez-Vásquez, J., Ryan, C.A., 2001. Hydrogen peroxide acts as a second messenger for the induction of defense genes in tomato plants in response to wounding, systemin, and methyl jasmonate. *Plant Cell.* 13, 179-191.
- Ortega-García, F.S., Blanco, S., Peinado, M.A., Peragón, J., 2008. Polyphenol oxidase and its relationship with oleuropein concentration in fruits and leaves of olive (*Olea europaea*) cv. Picual trees during fruit ripening. *Tree Physiol.* 28, 45-54.
- Pilati, S., Perazzolli, M., Malossini, A., Cestaro, A., Demattè, L., Fontana, P., Dal Ri, A., Viola, R., Velasco, R., Moser, C., 2007. Genome-wide transcriptional analysis of grapevine berry ripening reveals a set of genes similarly modulated during three seasons and the occurrence of an oxidative burst at veraison. *BMC Genomics.* 8, 428.
- Poiroux-Gonord, F., Fanciullino, A.L., Poggi, I., Urban, L., 2013. Carbohydrate control over carotenoid build-up is conditional on fruit ontogeny in clementine fruits. *Physiol. Plant.* 147, 417-431.
- Pombo, M.A., Dotto, M.C., Marínez, G.A., Civello, P.M., 2009. UV-C irradiation delays strawberry fruit softening and modifies the expression of genes involved in cell wall degradation. *Postharvest Biol. Technol.* 1, 141-148.
- Porto-Filho, F.Q., Medeiros, J.F., Neto, E.R.S., Gheyi, H.R., Matos, J.A., 2006. Feasibility of irrigation of musk melon with salinity water in different phonological stages. *Cienc. Rural.* 36, 453-459.
- Potters, G., Horemans, N., Jansen, M.A., 2010. The cellular redox state in plant stress biology a charging concept. *Plant Physiol. Biochem.* 48, 292-300.
- Pressey, R., Avants, J.K., 1973. Separation and characterization of the exopolygalacturonase and endopolygalacturonase from peaches. *Plant Physiol.* 52, 252-256.
- Protrade. Mango: Manual de exportacion: frutas tropicales y hortalizas. Eschborn: GTZ, 1992. 34 p.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C., 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biol. Med.* 26, 1231-1237.

- Rhoads, D.M, Umbach, A.L., Chalivendra, C.S., Siedow, J.N., 2006. Mitochondrial reactive oxygen species. Contribution to oxidative stress and interorganellar signaling. *Plant Physiol.* 141, 357-365.
- Ribeiro, C., Canada, J., Alvarenga, B., 2012. Prospects of UV radiation for application in postharvest technology. *Emirates J. Food Agri.* 24, 586-597.
- Rice-Evans, C.A., Miller, N.J., Paganga, G., 1997. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biol. Med.* 20, 933-956.
- Robinson, D.S., 1987. *Food Biochemistry and nutritional value.* Logman Scientific and Technical: Essex, 320 p.
- Saladié, M., Matas, A.J., Isaacson, T., Jenks, M.A., Goodwin, S.M., Niklas, K.J., Xiaolin, R., Labavitch, J.M., Shackel, K.A., Fernie, A.R., Lytovchenko, A., O'Neill, M.A., Watkins, C.B., Rose, J.K.C., 2007. A reevaluation of the key factors that influence tomato fruit softening and integrity. *Plant Physiol.* 144, 1012-1028.
- Serek, M., Tamari, G., Sisler, E.C., Borochoy, A., 1995. Inhibition of ethylene induced cellular senescence symptoms by 1-methylcyclopropene, a new inhibitor of ethylene action. *Physiol. Plant.* 94, 229-232.
- Sergiev, A.V., Mapelli, S.I., Karanov, E., 2001. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant Cell Environ.* 24, 1337-1344.
- Shama, G., Alderson, P., 2005. UV hormesis in fruits: a concept ripe for commercialization. *Trends Food Sci. Technol.* 16, 128-136.
- Sharma, P., Jha, A.B., Dubey, R.S., Pessarakli, M., 2012. Reactive oxygen species, oxidative damage and antioxidative defense mechanisms in plants under stressful conditions. *J. Botany.* 2012, 1-28.
- Sojo, M.M., Nuñez-Delicado, E., García-Carmona, F., 1998. Partial purification of a banana polyphenol oxidase using triton X-114 and PEG 8000 for removal of polyphenols. *J. Agri. Food Chem.* 46, 4924-4930.
- Somogyi, M., 1945. A new reagent for the determination of sugars. *J. Biol. Chem.* 160, 61-68.
- Stevens, C., Khan, V.A., Lu, J.Y., Wilson, C.L., El Ghaouth, A., Chalutz, E., Droby, S., 1996. Low-dose UV-C light as a new approach to control decay of harvested commodities. *Recent Res. Devel. Pathol.* 155-169.

- Strohecker, R., Henning, H.M., 1967. *Análisis de vitaminas: métodos comprobados*. Madrid: Ed. Paz Montalvo, 428.
- Velikova, V., Yordanov, I. and Edreva, A. 2000. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. *Plant Science*, 151, 59-66.
- Vicente, A.R., Martínez, G.A., Chaves, A.R., Civello, P.M., 2006. Effect of heat treatment on strawberry fruit damage and oxidative metabolism during storage. *Postharvest Biol. Technol.* 40, 116-122.
- Vidal, B.C., 1977. Acid glycosaminoglycans and endochondral ossification: microspectrophotometric evaluation and macromolecular orientation. *Cell Molecular Biol.* 45-64.
- Wang, L.Y., Wang, Y., Meng, X., Meng, Q.W., 2012. Overexpression of tomato GDP-L-galactose phosphorylase gene enhanced tolerance of transgenic tobacco to methyl viologen-mediated oxidative stress. *Plant Physiol.* 48, 689-698.
- Zhao, Z., Cao, J., Jiang, W., Gu, Y., Zhao, Y., 2009. Maturity-related chilling tolerance in mango fruit and the antioxidant capacity involve. *J. Sci. Food Agric.* 89, 304-309.
- Zhu, S., Sun, L., Liu, M., Zhou, J., 2008. Effect of nitric oxide on reactive oxygen species and antioxidant enzymes in kiwifruit during storage. *J. Sci. Food Agric.* 88, 2324-2333.

CAPÍTULO III

*IMPACTO DA DOSE E MODO DE APLICAÇÃO DA LUZ
PULSADA NA QUALIDADE E COMPOSTOS BIOATIVOS DE
MANGAS MINIMAMENTE PROCESSADAS*

Apresentado na forma de artigo submetido à revista Fruits

ISSN: 0248-1294

1. INTRODUÇÃO

Produtos minimamente processados ajudam a remover a barreira da inconveniência da ingestão de frutos e hortaliças, tornando mais fácil desfrutar dos benefícios de uma dieta rica em frutos e vegetais, uma vez que fornecem uma variedade de vitaminas, fibras e minerais e conseqüentemente são uma fonte benéfica de fitoquímicos (Opara e Al-Ani, 2010; Yahia, 2010). O processamento mínimo é conhecido por promover uma rápida deterioração em comparação com o fruto intacto. Em particular, desenvolvimento de reações bioquímicas nos tecidos que sofreram injúria pela ação do corte é responsável por sua segurança microbiológica e diminuição da qualidade, resultando em produtos com uma curta vida de prateleira (Dijoua et al., 2009; Manzocco et al., 2011). Ferramentas limitadas, como o uso de atmosferas modificadas e refrigeração, são usadas para prolongar a vida de prateleira de produtos minimamente processados, no entanto, apresentam eficácia restrita condicionada à contaminação e parâmetros de qualidade (Soliva-Fortuny e Martín-Belloso, 2003; Manzocco et al., 2011).

Desta forma, tecnologias como a aplicação de luz pulsada (LP), emergem auxiliando na obtenção de produtos minimamente processados com elevadas concentrações de fitoquímicos e livres de riscos de contaminação química, sendo consideradas uma alternativa em comparação à aplicação de radiação UV-C contínua, e envolve a aplicação de um amplo espectro de luz de 100-1100 nm, com aproximadamente 54% de energia emitida no espectro UV (Elmanasser et al., 2007; Krishnamurthy et al., 2008; Gomez et al., 2012). Um importante fator que determina a eficiência do tratamento de LP é a fluência incidente na amostra. Adicionalmente, a composição do espectro de luz emitida, a distância entre a amostra e a fonte de luz, cor, opacidade, viscosidade e número de lâmpadas são parâmetros cruciais que podem ser otimizados para a obtenção da eficiência máxima do tratamento com o mínimo de alterações no produto (Gómez-López et al., 2007; Krishnamurthy et al., 2007; Choi et al., 2010). O grande desafio da aplicação da LP é otimizar as condições de extensão da vida de prateleira dos produtos minimamente processados, garantindo ao mesmo tempo a qualidade adequada. Apesar da FAO-Food and Drug Administration ter aprovado uma dose de tratamento cumulativa de 12 J cm^{-2} poucos estudos relevantes com manga minimamente processada tratadas com LP são reportados na literatura (FDA, 1996; Charles et al., 2013).

Para a aplicação de doses de LP ou UV-C como tratamento pós-colheita, o benefício das baixas doses é amplamente explorado, em um fenômeno conhecido como hormese

(estímulos das respostas do vegetal a um estressor ou inibidor) (Shama e Alderson, 2005). No entanto, essas respostas são fortemente dependentes da dose aplicada entre outros fatores, como a cultivar, a forma de aplicação da dose e o estágio de maturação do fruto. Mercier et al. (2001) observaram que o tratamento UV-C com uma dose de $0,088 \text{ J cm}^{-2}$ foi mais efetiva se aplicada como duas doses de $0,044 \text{ J cm}^{-2}$ na indução de resistência à doenças em pimentões. Chang-Hong e colaboradores (2012) avaliando o efeito do tratamento UV-C nos compostos fenólicos e atividade antioxidante de tomates, concluíram que a dose ótima no aumento dos fenólicos e da atividade antioxidante foi determinada como sendo $0,4$ ou $0,8 \text{ J cm}^{-2}$. Bravo et al., (2013) aplicando UV-B em tomates sugeriram que baixas doses de radiação de UV-B por um longo período tinham o mesmo efeito que altas doses aplicadas em um curto espaço de tempo, e ao final a dose era parâmetro mais importante a ser considerado. Recentemente, Charles et al., (2013) aplicando LP em mangas minimamente processadas e usando uma única dose de 8 J cm^{-2} observou uma manutenção da qualidade nutricional e das características físicas como firmeza dos cubos.

O objetivo deste estudo é avaliar o efeito de diferentes doses de LP nas características físico-químicas, assim como nos compostos bioativos e atividade antioxidante de mangas minimamente processadas “Tommy Atkins”, armazenadas durante 7 dias a $6 \text{ }^\circ\text{C}$.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Reagentes

2,2-bipiridil (PubChem CID: 1474); Ácido tricloroacético (PubChem CID: 6421); Cloreto férrico (PubChem CID: 24380); Ácido ascórbico (PubChem CID: 9888239); radical ABTS^{*+} (PubChem CID: 9570474); Trolox (PubChem CID: 40634); Ácido ortofosfórico (PubChem CID: 1004); Persulfato de potássio (PubChem CID: 24412); N-ethylmaleimide (PubChem CID: 4362);

2.2 Processamento mínimo e tratamento de luz pulsada

Mangas “Tommy Atkins” (*Mangifera indica L.*) (estádio 4 de maturação, segundo Protrade, 1992) foram adquiridas em supermercado local da cidade de Avignon (França). As mangas foram submetidas ao processamento mínimo através das operações de: descasque, corte em cubos ($\sim 3 \times 3 \text{ cm}$), higienização em solução de hipoclorito de sódio a 80 ppm, durante 10 min, e por último os cubos foram secos em papel absorvente. O tratamento de LP foi realizado em um sistema automático (Claranor S.A, Avignon, França) composto de três

lâmpadas de xenônio (18 cm cada) situadas a 10 cm de distância das amostras. Radiômetro modelo VLX-3W, foi usado para realizar a dosimetria do sistema onde um pulso gerava uma dose de $0,7 \text{ J cm}^{-2}$ com duração de $250 \mu\text{s}$ (voltagem de 2500 V, correspondendo a 400 kW). O comprimento de onda do pulso compreendeu a 200-1100 nm, com 15% de UV-C. Os cubos de mangas foram submetidos a quatro condições: controle (**C**), 1 pulso (**1P**) ($0,7 \text{ J cm}^{-2}$), 4 pulsos (**4P**) ($2,80 \text{ J cm}^{-2}$) e 1 pulso por dia durante 4 dias (**1P4D**) ($2,80 \text{ J cm}^{-2}$). Durante o tratamento de luz pulsada os cubos não foram mudados de posição e todos receberam a mesma dose somente por uma das faces do cubo. Importante ressaltar também, que os cubos estavam sob uma placa de aço inoxidável a qual não permitia a passagem da luz pulsada. Em seguida, os cubos foram distribuídos em jarras de vidro de 1160 mL (10 cubos por jarra) e armazenados a $6 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 7 dias, quando foram removidos para análises após 1, 3 e 7 dias.

2.3 Análises de qualidade

A firmeza foi mensurada através de um analisador de textura Penefel (Setop Giraud-Technologie, França). As medições foram tomadas como a força requerida para penetrar o centro geométrico da superfície do cubo através de uma sonda de aço inoxidável de 2 mm. Para cada condição foram utilizadas 4 amostras/jarra e a firmeza reportada como força em Newton (N). As medições de sólidos solúveis na polpa foram realizadas com auxílio de um refratômetro (0 a 53% de °brix) modelo (PAL-1, Atago Co., Tokyo, Japão) com compensação de temperatura (10 a $100 \text{ }^\circ\text{C}$). Para cada condição foram tomadas 4 amostras/jarra em triplicata com os resultados reportados com °brix. A cor foi mensurada através de colorímetro Konica Minolta (CR-300 com uma fonte de luz D65; Minolta Camera Co., Osaka, Japão), calibrado com uma placa de cerâmica branca ($L^*=97,53$; $a^*=0,09$; $b^*=1,78$). Os resultados foram expressos como L^* luminosidade ou brilho (0 a 100), a^* (vermelho ao verde) e b^* (azul ao amarelo). Para cada condição, 4 amostras/jarra foram analisadas em triplicata. A perda de massa fresca foi determinada através de uma balança analítica (Precisa XT 1200C, Suíça), sendo expresso como porcentagem, sendo dez amostras/jarra analisadas em quadruplicata. A taxa de respiração das amostras foi determinada através de um sistema hermeticamente fechado a $6 \text{ }^\circ\text{C}$. Para isso, 10 cubos foram colocados em jarras de 1555 L e a concentração de gás (O_2 e CO_2) determinada a cada hora, através de um analisador de gás (Checkmate 9900, PBI dansensor, Dinamarca). As amostras foram avaliadas nos tempos 0 e após 7 dias de armazenamento. A taxa de respiração foi mensurada como a emissão de O_2 e CO_2 e expressos em $\text{mmol kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (Varoquaux et al., 2002). Para cada condição as amostras foram avaliadas em triplicata.

2.4 Bioativos e atividade antioxidante

2.4.1 Determinação do conteúdo de ascorbato total

A determinação do ascorbato total e de sua forma reduzida foi realizado segundo Murshed et al. (2008), com modificações. Polpa de manga (0,1 g) foi homogeneizada em 1 mL de ácido tricloroacético 6% (*m/v*). O homogenato foi centrifugado a $15000 \times g$ a 4 °C durante 10 min. O ascorbato total (adição de ditioneitol DTT 20mM) e ascorbato reduzido (sem DTT) foram mensurados em cada amostra. 10 µL de extrato foram misturados com 10 µL de DTT 20 mM (ascorbato total) ou tampão fosfato 0,2 mM (pH 7,4) (ascorbato reduzido). A microplaca foi incubada a 42 °C por 15 min. Em seguida, 10 µL de N-ethylmaleimide (NEM, 1%) (ascorbato total) ou tampão fosfato 0,2 mM (pH 7,4) (ascorbato reduzido) foram adicionados e em seguida misturados com 150 µL de um reagente específico (50 µL TCA 10%, 40 µL de ácido fosfórico 42% (*v/v*), 40 µL de 2,2-bipiridil 4% (*w/v*) dissolvido em etanol 70% e 20 µL de cloreto férrico FeCl₃ 3%). Após incubação a 42 °C durante 40 min, a absorbância foi lida a $\lambda = 525$ nm em leitor de microplaca UV/VIS (PowerWave HT, BioTek, França). Ácido ascórbico foi usado para calibração. Os resultados foram expressos em mg 100 g⁻¹.

2.4.2 Carotenóides totais

Os carotenóides totais foram determinados segundo Lichtenthaler (1987) com base na leitura das absorbâncias a 663 nm para clorofila *a*, a 645 nm para clorofila *b* e a 480 nm para carotenóides totais. Amostras de manga (0,1 g) foram homogeneizadas em 1,5 mL de acetona 80% (*v/v*) (no escuro a 4 °C) e em seguida centrifugadas a $15000 \times g$ a 4 °C por 15 min. Em seguida, 200 µL do sobrenadante foram lidos em leitor de microplaca UV/VIS (PowerWave HT, BioTek, França). Os resultados foram reportados como mg g⁻¹.

2.4.3. Atividade antioxidante pelo método do radical ABTS^{*+}

Atividade antioxidante foi determinada através do método do radical ABTS^{*+}. Polpa de manga (5 g) foi submetida ao processo de extração com 4 mL de metanol 50% (*v/v*) e deixados descansar por 60 min (protegido da luz) e em seguida centrifugados a $25000 \times g$ a 4 °C por 15 min. O precipitado foi ressuspensão e homogeneizado em 4 mL de acetona 70% (*v/v*) e deixado sob descanso protegido da luz por 60 min. Em seguida, foi centrifugado a $25000 \times g$ a 4 °C por 15 min (Larrauri et al., 1997). O extrato obtido foi usado para determinação da atividade antioxidante de equivalentes de trolox (do inglês, TEAC) (Re et al.,

1999). Para a análise, solução de ABTS^{*+} 7 mM (Sigma) e de persulfato de potássio 140 mM (Acròs organics) foram misturadas e deixadas em repouso protegidas da luz durante 16 h para a produção do radical ABTS^{*+}. Esse radical foi diluído em metanol P.A para obtenção da absorbância $0,700 \pm 0,020$ a 734 nm. O radical ABTS^{*+} diluído (3 mL) e 30 mL do branco, padrão ou amostras foram misturados e a absorbância lida a 734 nm após 6 min da reação. A curva padrão foi construída usando uma solução de trolox (100 a 2000 mM) para cálculo da atividade antioxidante. Para cada condição, 9 amostras foram analisadas. A atividade antioxidante das amostras foi expressa como μmol de equivalentes de trolox (TE) 100 g^{-1} .

2.5 Análise estatística e delineamento experimental

Experimento foi composto de 4 jarras por tratamento, sendo cada jarra composta de 10 cubos. Análises de variância (ANOVA) foram realizadas usando o programa ASSISTAT-Statistical Assistance Software v.7.7. O desenho experimental foi inteiramente casualizado com 2 fatores sendo: 4 tratamentos (controle, 1 pulso-1P, 1 pulso por 4 dias-1P4D e 4 pulsos-4P) e 4 tempos de armazenamento (0, 1, 3 e 7 dias). Resultados significativos foram considerados a $P < 0,05$ pelo teste de Tukey.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Efeito da luz pulsada nas variáveis físico-químicas

A figura 2 mostra as mudanças na qualidade de mangas minimamente processadas tratadas com diferentes doses de LP e armazenadas durante 7 dias a 6 °C. Os parâmetros físico-químicos foram significativamente afetados pelo armazenamento, tratamento e interação entre tempo e tratamentos ($P < 0,01$). Durante o armazenamento, foi observado amaciamento das mangas minimamente processadas submetidas a todas as doses de LP (Figura 2A), no entanto, os cubos de manga tratados com 4 pulsos sucessivos (4P) foram significativamente mais firmes alcançando 2,49 N no final do armazenamento. Os frutos controle mostraram um processo de amaciamento mais evidente com 1,52 N no tempo T7. A firmeza assim como a cor são reconhecidos como os principais fatores que afetam a qualidade dos frutos. No entanto, a textura do fruto é um fator determinante na aceitação do consumidor e apresenta impacto na qualidade organoléptica, percepção do flavor, vida de prateleira e transportabilidade (Causse et al., 2003; Seymour et al., 2002). Os resultados apresentados neste estudo corroboram com estudos prévios que aplicaram a radiação UV-C contínua ou a LP em mangas minimamente processadas que resultaram em melhoria ou manutenção da firmeza (Gómez et al., 2010; Charles et al., 2013). A manutenção da firmeza por UV-C está associada à supressão da atividade de enzimas responsáveis pelo afrouxamento da parede celular como a pectinametilesterase e poligalacturonase ou ainda com o aumento do conteúdo de poliaminas que inibem a atividade dessas enzimas, além de proteínas e outras macromoléculas (Maharaj et al., 1999; Barka et al., 2000; González-Aguillar et al., 2001; Stevens et al., 2004, Hemmaty et al., 2007). Li et al., (2011) mostraram que tomates tratados com baixas doses de radiação UV-B (1 a 4 J cm⁻²) durante um período de 37 dias reteve maior firmeza se comparado com a aplicação de altas doses (8 J cm⁻²).

Um aumento dos SS foi percebido durante a estocagem de mangas minimamente processadas para todos os tratamentos ($P < 0,01$) sendo os maiores valores atribuídos no T7 para 4P e 1P4D alcançando 10,38 e 9,49, respectivamente (Figure 2B). No T7, o tratamento 4P (2,8 J cm⁻²) apresentou um aumento dos SS e firmeza (Figure 2A). Aumento no teor de SS é grandemente influenciado pela perda de umidade e hidrólise dos polissacarídeos; podendo atuar como um indicador do grau de doçura (Saltviet, 2005). Quando maçãs foram tratadas com UV-C adicionado de CaCl₂ 4% (Hemmaty et al., 2007) foi observado um decréscimo nos SS e aumento da firmeza, que foi atribuído a uma baixa atividade das enzimas hidrolíticas, contribuindo para uma menor solubilização dos açúcares. No entanto, mangas apresentam um

alto conteúdo de amido ($7 \text{ mg g}^{-1} \text{ MF}$) em relação às maçãs ($3 \text{ mg g}^{-1} \text{ MF}$), assim o aumento nos SS observado neste estudo pode ser sugerido pela ocorrência da despolimerização de outros carboidratos do que devido a ação de enzimas da parede celular (Silva et al., 2008; Marques et al., 2010; Feng et al., 2014).

Variáveis de cor, como L^* que representa a luminosidade e o parâmetro b^* que indica a mudança no espectro que vai do azul ao amarelo, foram avaliados (Figuras 2C e 2D). Ambos os parâmetros diminuíram discretamente durante o amadurecimento de mangas minimamente processadas ($P < 0,01$), enquanto que o tratamento 4P resultou em aumento da luminosidade (64,22) e no parâmetro b^* (41,90) resultando em amostras de mangas de coloração mais amarelas. Tratamentos controle e 1P4D foram afetados negativamente como observados na **Figura 1**. Escurecimento das amostras, como resultado na diminuição da luminosidade e dos valores de b^* é usualmente associado a um aumento da atividade das enzimas responsáveis pela catálise de quinonas em melaninas (pigmento escuro) dentre elas peroxidases (GPOD) e polifenoloxidasas (PPO) como as principais responsáveis (Jolivet et al., 1998). Polifenoloxidasas e peroxidases são responsáveis pelo escurecimento enzimático de mangas minimamente processadas (Charles et al., 2013) e pêras (Zou et al., 2012). De acordo com Charles et al. (2013) o tratamento de LP como um tratamento superficial deve ser aplicado diretamente sobre as amostras como forma de manter a cor de produtos minimamente processados, no entanto, nossos resultados mostram que isto depende da forma de aplicação da dose e da quantidade de dose aplicada para influenciar significativamente a cor de mangas minimamente processadas. A taxa de respiração é um indicador de atividade metabólica e fornece uma indicação da potencialidade da vida de prateleira (Church e Pearson, 1995). Observamos que mangas que receberam 1P4D apresentaram maior taxa respiratória no T7 (Figura 2F) com comportamento semelhante ao controle e que está associado à uma perda de massa (Figura 2E) e escurecimento das amostras (Figura 1C). Esses resultados indicaram que o tratamento de 1P4D diminuiu a vida de prateleira de mangas minimamente processadas. Dijoua et al., (2013) aplicando tratamento térmico com água quente em mangas minimamente processadas “Keitt” concluíram que a taxa de CO_2 não sofreu influência do tratamento. No entanto, Allende et al., (2006) mostrando a efetividade (tratamento aplicado em ambas as faces do alface) de aplicar três diferentes 3 doses de UV-C ($0,118$; $0,237$ e $0,711 \text{ J cm}^{-2}$), concluíram que doses elevadas de UV-C resultavam em elevadas taxas de CO_2 , sendo que a dose de $0,711 \text{ J cm}^{-2}$ foi associada a um maior amaciamento e escurecimento em relação às demais amostras.

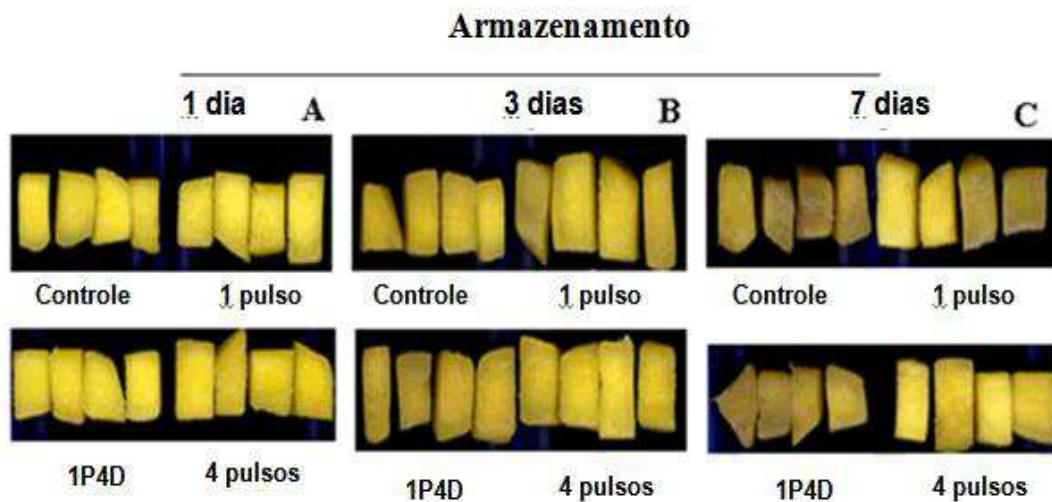


Figura 1. Alterações na coloração de mangas minimamente processadas 'Tommy Atkins' submetidas ao tratamento de LP armazenadas a 6 °C durante 7 dias. (A) 1° dia (B) 3° dia (C) 7° dia.

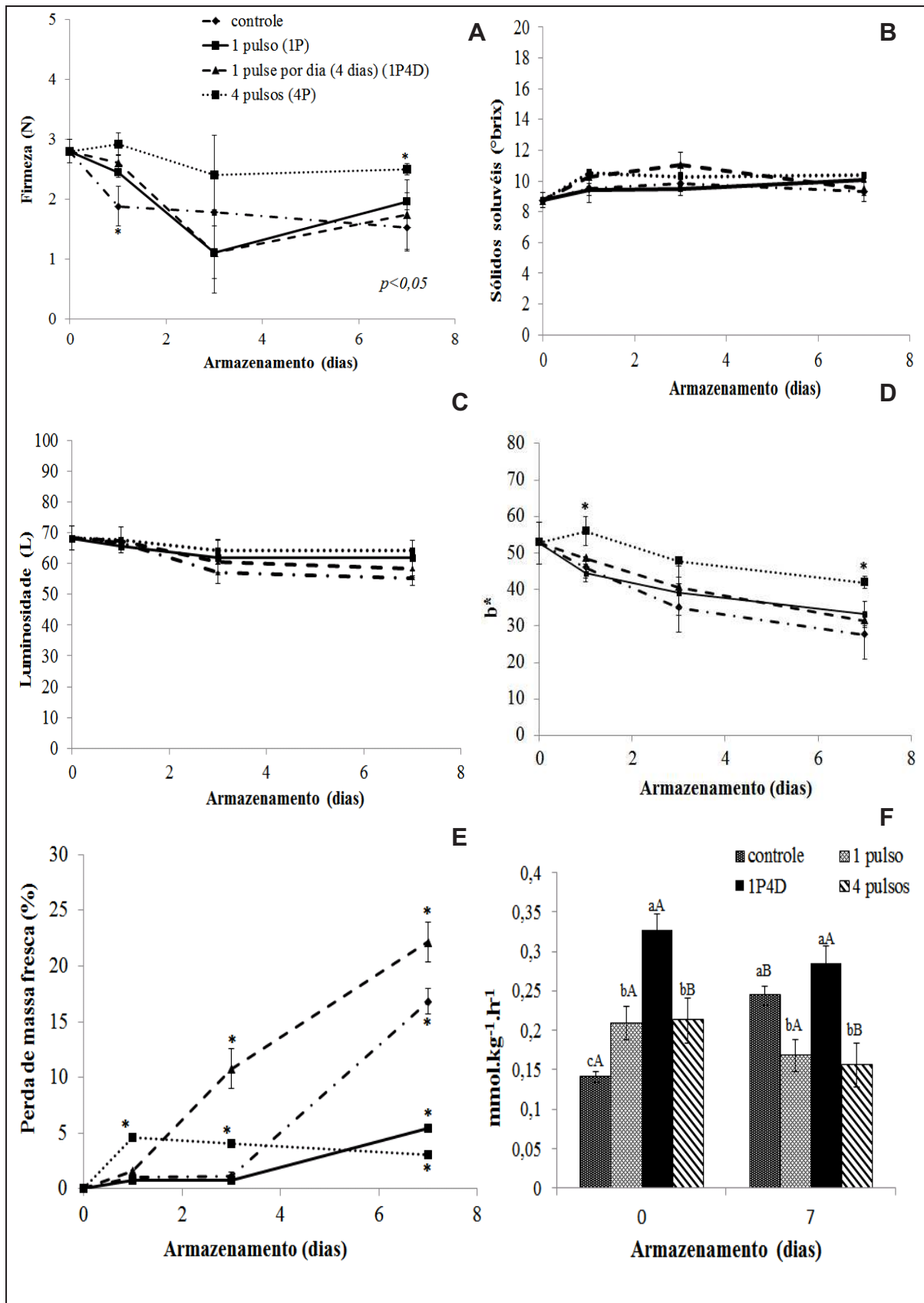


Figura 2. Variáveis físico-químicas de mangas minimamente processadas submetidas ao tratamento de LP a 6 °C durante 7 dias. (A) Firmeza, (B) Sólidos solúveis, (C) Luminosidade (D) valor "b" (E) Perda de massa (F) Taxa de respiração CO₂. (n=3; ± DP) (Barras: Letras minúsculas e maiúsculas representam diferenças significativas a 5% entre o armazenamento e tratamentos, respectivamente).

3.2 Efeito da luz pulsada nos compostos bioativos e atividade antioxidante

Mudanças nos compostos bioativos de mangas minimamente processadas são mostrados na **Figura 3**. O tratamento 4P aumentou o conteúdo de carotenóides alcançando ao final do período de armazenamento $0,89 \text{ mg g}^{-1}$ ($P < 0,01$) (**Figura 3A**). Carotenóides são pigmentos responsáveis pelo brilho da coloração amarela de mangas, e como sua síntese foi estimulada no tratamento 4P, isso pode explicar a intensidade da coloração amarela nas amostras (**Figura 2C**). Mangas são frutos climatéricos e, portanto, dependem do aumento de etileno durante a maturação para controlar a biossíntese de carotenóides que é concomitante a desintegração do aparato fotossintético com a diferenciação de cloroplastos em cromoplastos, perda da integridade celular e diminuição dos ácidos orgânicos (Giovannoni, 2007; Karlova et al., 2011). Assim, o aumento de carotenóides está intimamente relacionado com alterações nas concentrações de ácidos orgânicos e açúcares; portanto, o acúmulo de carotenóides é necessário como um sinal para melhorar o estado nutricional. A regulação da biossíntese de carotenóides parece ser bem coordenada com os processos de desenvolvimento e, além disso, o acúmulo de carotenóides poderia ser uma resposta de defesa antioxidante fotoprotetora ao estresse oxidativo causado por altas doses de UV-C (Solovchenko e Merzlyak, 2008). Para sistemas biológicos, como os alimentos, incluindo frutos e vegetais, a absorção do espectro UV (visível) é principalmente devido à presença de cromóforos, como os carotenos, clorofilas e xantofilas (Cooper et al., 1996). Castagna et al., (2013) avaliando o efeito UV pós-colheita do tratamento UV-B na qualidade nutracêutica e propriedades físicas dos frutos de tomate mostram que as respostas UV-B nos níveis de compostos carotenóides e ascorbato dependem de um gene funcional denominado LeDDB1.

Ascorbato total em todos os tratamentos aumentaram (**Figura 3B**) após um dia de armazenamento ($P < 0,01$) e continuaram a aumentar para o tratamento 1P4D ($33,76 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) valor este $\sim 40\%$ maior que o controle. O ascorbato total representa ambas as formas reduzida e oxidada e a razão ácido ascórbico/deidroascorbatato tem sido proposta como um marcador de estresse em plantas (De Gara, 2003). Os cubos que receberam tratamento com 1P4D apresentaram-se mais estressados no T7 que os demais tratamentos (**Figura 3E**). Ácido ascórbico e sua forma oxidada foram quantificados durante armazenamento de mangas minimamente processadas controle e tratados-LP (**Figuras 3C e 3D**, respectivamente). O aumento no conteúdo de ácido ascórbico foi antecipado pela LP após 1 dia no tratamentos 4P, enquanto que para o tratamento 1P4D esse comportamento se deu após o 3º dia de armazenamento. Diferentemente do padrão de acúmulo de ácido ascórbico, a síntese da forma

oxidada (DHA) foi induzida somente um dia após a aplicação do tratamento 1P4D que seguiu até o final do período de armazenamento alcançando 15,65 mg 100 g⁻¹. Os demais tratamentos apresentaram aumento menor após 3 dias de armazenamento alcançando 6,62 mg 100 g⁻¹ MF para o controle. Resultados indicaram que um aumento no ascorbato total pelo tratamento 1P4D (Figura 3B) foi devido principalmente ao aumento na forma oxidada como indicativo de uma resposta ao estresse oxidativo que foi corroborado pelo escurecimento das amostras no T7 (Figura 2). Aumento tanto da forma reduzida quanto da forma oxidada conduzem a um aumento no conteúdo de ascorbato total associado ao ciclo da ascorbato-glutationa. No ciclo ascorbato-glutationa, a catálise da APX é o primeiro passo para a eliminação de H₂O₂ através da oxidação do ascorbato produzindo MDHA, que pode dismutar espontaneamente para ácido ascórbico ou deidroascorbato ou ainda ser reduzido enzimaticamente a ascorbato pela ação da redutase do deidroascorbato (Rao et al., 1996). Estudos com mangas minimamente processadas “Kent” mostraram que o tratamento com 8 J cm⁻² não apresentou efeitos significativos no conteúdo de ácido ascórbico (Charles et al., 2013). A atividade antioxidante (AAT) total foi significativamente afetada pelo armazenamento e tratamento ($P < 0,01$) (Figura 3F). AAT aumentou após o 1º dia da aplicação do tratamento para todas as amostras e o aumento foi mais significativo para o tratamento 4P que alcançou no final do armazenamento (~145 µmol TE 100 g⁻¹). Esses resultados sugerem uma forte correlação entre AAT e conteúdo de carotenóides (Figura 3A) em ambas as amostras tratadas com quatro pulsos de dose igual a 2,80 J cm⁻². No entanto, nesse estudo a correlação entre AAT e carotenóides totais não foi significativa e uma baixa correlação foi observada com o ascorbato ($r = 0,3028$; $P < 0,05$). De acordo com outros estudos, a elevada capacidade antioxidante da manga está correlacionada positivamente com compostos fenólicos (Ma et al., 2011; Palafox-Carlos et al., 2012).

Recentemente, a atividade antioxidante tornou-se um importante parâmetro para a avaliação da qualidade, por conseguinte, várias pesquisas têm incidido sobre a influência de UV-C no metabolismo antioxidante em frutos, sugerindo que o aumento da AAT por tratamento com UV-C foi devido a um efeito combinado de estresse UV-C e armazenamento (González-Aguilar et al., 2010; Shen et al., 2013; Rivera-Pastrana et al., 2014). Em nosso estudo, não observamos benefício adicional de fragmentar a dose de quatro pulsos como um pulso por dia durante 4 dias (2,80 J cm⁻²), uma vez que as melhores respostas (carotenóides,

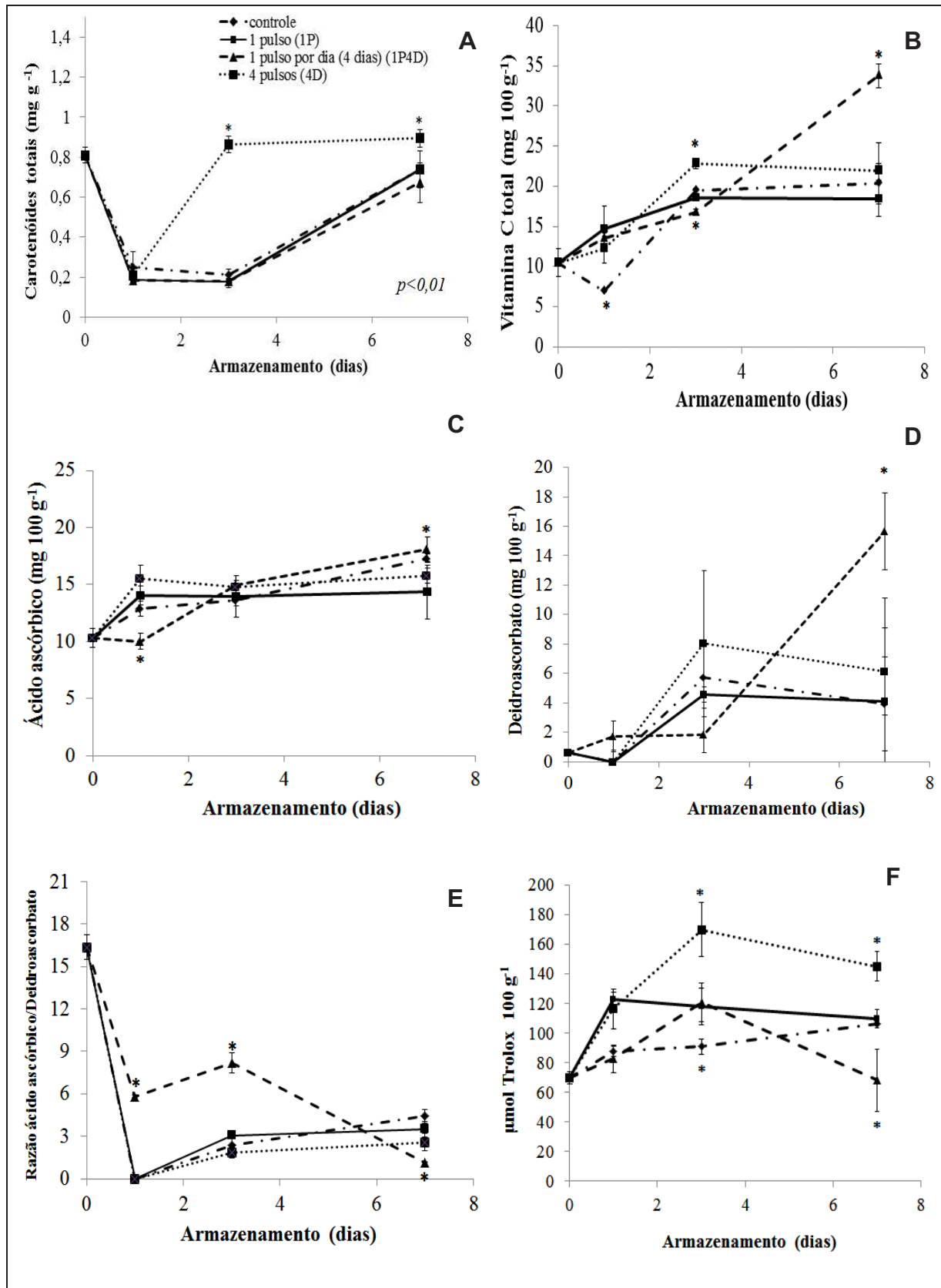


Figura 3. Mudanças nos compostos bioativos e AAT de mangas minimamente processadas submetidas ao tratamento de LP a 6 °C durante 7 dias. (n=3; ± DP) (A) Carotenóides, (B) Ascorbato total, (C) Ácido ascórbico, (D) Deidroascorbato (E) Ratio Ácido ascórbico /Deidroascorbato e (F) Atividade antioxidante total.

cor, firmeza, SS e AAT) foram induzidas por doses sucessivas de LP no final do armazenamento, o que sugere que a forma como a dose é aplicada é o parâmetro mais importante do que a fluência ou dose final recebida pelas amostras. Pode-se ressaltar ainda que as respostas à LP pelas amostras neste estudo foram sistêmicas, isto é, o fato de ter aplicado o pulso somente uma das faces do cubo não impediu do efeito ter sido transmitido para todo o cubo (**Figura 4**).

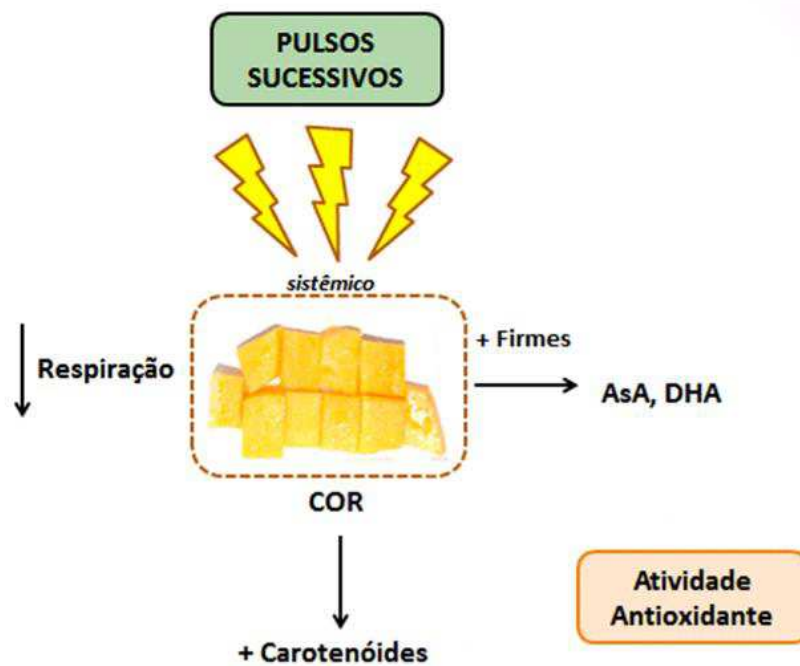


Figura 4. Efeito de uma dose de quatro pulsos sucessivos no incremento da cor e firmeza, além de aumento dos carotenóides totais, vitamina C e atividade antioxidante total de mangas minimamente processadas durante o período de armazenamento de 7 dias a 6 °C.

4. CONCLUSÃO

Nossas observações confirmam que o tratamento de LP aumentou significativamente o conteúdo de compostos bioativos resultando em aumento da atividade antioxidante total de mangas minimamente processadas “Tommy Atkins”. No entanto, esse benefício dependeu do modo de aplicação da dose, assim como, da quantidade de dose aplicada. Nossas observações sugerem que as amostras que receberam 4P com cada pulso correspondendo a $0,7 \text{ J cm}^{-2}$ mantiveram uma melhor qualidade (firmeza, cor, respiração) atrelado ao aumento de carotenóides e da atividade antioxidante total após 7 dias de armazenamento a $6 \text{ }^{\circ}\text{C}$, e que a dose aplicada pode ser usada como uma dose hormética para aumentar a vida útil de mangas minimamente processadas.

No entanto, claramente, temos de reconhecer que há uma falta geral de compreensão dos mecanismos fisiológicos envolvidos nos efeitos da LP. Certamente, seria útil no futuro a utilização de abordagens de transcriptômica e metabolômica, para tentar compreender os efeitos da LP e embasar de maneira sólida essa tecnologia na pós-colheita de frutos e vegetais.

5. REFERÊNCIAS

- Allende, A., McEvoy, J. L., Luo, Y., Artes, F, Wang, C.Y. (2006). Effectiveness of two sided UV-C treatments in inhibiting natural microflora and extending the shelf-life of minimally processed 'Red Oak Leaf' lettuce. *Food Microbiology*, 23, 241-249.
- Barka, E, A., Kalantari, S., Makhlouf, J., Arul, J. (2000). Impact of UV-C irradiation on the cell wall-degrading enzymes ripening of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruits. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 48, 667-671.
- Bravo, S.; García-Alonso, J., Martín-Pozuelo, G., Gómez, V., Santaella, M., Navarro-González, I., Periago, M. J. (2013). The influence of post-harvest UV-C hormesis on lycopene, b-carotene, and phenolic content and antioxidant activity of breaker tomatoes. *Food Research International*, 49, 296-302.
- Castagna, A., Chiavaro, E., Dall'asta, C., Rinaldi, M., Galaverna, G., Ranieri, A. (2013). Effect of Postharvest UV-B on irradiation on nutraceutical quality and physical properties of tomatoes fruits. *Food Chemistry*, 137, 151-158, 2013.
- Causse, M., Buret, M., Robini, K., Verschave, P. (2003). Inheritance of nutritional and sensory quality traits in fresh market tomato and relation to consumer preferences. *Journal of Food Science*, 68, 2342-2350.
- Chang-Hong, L., Lu-Yun, C., Xian-Ying, L., Xiao-Xu, H., Tie-Jin, Y. (2012). Effect of postharvest UV-C irradiation on phenolic compound content and antioxidant activity of tomato fruit during storage. *Journal of Integrative Agriculture*, 11, 159-165.
- Charles, F., Vidal, V., Olive, F., Filgueiras, H., Sallanon, H. (2013). Pulsed light treatment as new method to maintain physical and nutritional quality of fresh-cut mangoes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 18, 190-195.
- Choi, M. S., Cheigh, C.I., Jeong, E.A., Shin, J.K., Chung, M. S. (2010). Nonthermal sterilization of *Listeria monocytogenes* in infant foods by intense pulsed-light treatment. *Journal of Food Engineering*, 97, 504-509.
- Church, I.J., Parsons, A.L. (1995). Modified atmosphere packaging technology: a review. *Journal of Science and Food Agriculture*, 67, 143-152.
- Cooper, C. E., Elwell, E.E., Meek, J. H., Matcher, S. J., Wyatt, J.S., Cope, M., Delpy, D.T. (1996). The noninvasive measurement of absolute cerebral deoxyhaemoglobin concentration and mean optical path length in the neonatal brain by second derivative near infrared spectroscopy. *Pediatric Research*, 39, 32-38.

- De Gara, L. (2003). Ascorbate metabolism and plant growth-from germination to cell death. In: Asard, H., May, J., Smirnoff, N. eds. *Vitamin C: its function and biochemistry in animals and plants*. Oxford: BIOS Scientific Publishers Ltd, 83-95.
- Djioua, T., Charles, F., Lopez-Lauri, F., Filgueiras, H., Coudret, A., Freire-Jr, M., Ducamp-Collin, M. N., Sallanon, H. (2009). Improving the storage of minimally processed mangoes (*Mangifera indica* L.) by hot water treatments. *Postharvest Biology and Technology*, 52, 221-226.
- Elmnasser, N., Guillou, S., Leroi, F., Orange, N., Bakhrouf, A., Federighi, M. (2007). Pulsed-light system as a novel food decontamination technology: a review. *Canadian Journal of Microbiology*, 53, 813-821.
- Feng, F., Li, M., Ma, F., Cheng, L. (2014). The effects of bagging and debagging on external fruit quality, metabolites, and the expression of anthocyanin biosynthetic genes in 'Jonagold' apple (*Malus domestica* Borkh.). *Scientia Horticulturae*, 165, 123-131.
- Food and Drug Administration-FDA (1996). Code of Federal Regulations. 21CFR179. 41.
- Giovannoni, J. J. (2007). Fruit ripening mutants yield insights into ripening control. *Current Opinion in Plant Biology*, 10, 283-289.
- Gómez, P. L., Alzamora, S. M., Castro, M. A., Salvatori, D. M. (2010). Effect of ultraviolet-C light dose on quality of cut-apple: microorganism, color and compression behavior. *Journal of Food Engineering*, 98, 60-70.
- Gómez, P. L., García-Loredo, A., Nieto, A., Salvatori, D. M., Guerrero, S., Alzamora, S. M. (2012). Effect of pulsed light combined with an antibrowning pretreatment on quality of fresh cut apple. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 16, 102-112.
- Gómez-López, V. M., Ragaert, P., Debevere, J., Devlieghere, F. (2007). Pulsed light for food decontamination: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 18, 464-473.
- González-Aguilar, G. A., Villa-Rodriguez, J. A., Ayala-Zavala, J. F., Yahia, E. M. (2010). Improvement of the antioxidant status of tropical fruits as a secondary response to some postharvest treatments. *Trends in Food Science & Technology*, 21, 475-482.
- González-Aguilar, G. A., Wang, C. Y., Buta, J. G., Krizek, D. T. (2001). Use of UV-C irradiation to prevent decay and maintain postharvest quality of ripe 'Tommy Atkins' mangoes. *International Journal of Food Science and Technology*, 36, 767-773.
- González-Aguilar, G. A., Zavaleta-Gatica, R., Tiznado-Hernández, M. E. (2007). Improving postharvest quality of mango 'Haden' by UV-C treatment. *Postharvest Biology and Technology*, 108-116.

- Hemmaty, S., Moallemi, N., Naseri, L. (2007). Effect of UV-C radiation and hot water on calcium content and postharvest quality of apple. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 5, 559-568.
- Jolivet, S., Arpin, N., Wichers, H. J., Pellon, G., 1998. *Agaricus bisporus* browning: a review. *Mycology Research*, 102, 1459-1483.
- Kampfenkel, K., Van Montagu, M., Inze, D. (1995). Extraction and determination of ascorbate and dehydroascorbate from plant tissue. *Analytical Biochemistry*, 225, 165-167.
- Karlova, R., Rosin, F. M., Busscher-Lange, J., Parapunova, V., Do, P. T., Fernie, A. R., Fraser, P. D., Baxter, C., Angenent, G. C., Maagd, R. A. (2011). Transcriptome and metabolite profiling show that APETALA2A is a major regulator of tomato fruit ripening. *Plant Cell*, 23, 923-941.
- Krishnamurthy, K., Demirci, A., Irudayaraj, J. M. (2007). Inactivation of *Staphylococcus aureus* in milk using flow-through pulsed UV light treatment system. *Journal of Food Science*, 72, 233-239.
- Krishnamurthy, K., Tewari, J. C., Irudayaraj, J., Demirci, A. (2008). Microscopic and spectroscopic evaluation of inactivation of *Staphylococcus aureus* by pulsed UV light and infrared heating. *Food Bioprocess Technology*, 3, 93-104.
- Larrauri, J. A., Rupérez, P., Saura-Calixto, F. (1997). Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 1390-1393.
- Lichtenthaler, H., K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigment photosynthetic biomembranes. *Methods of Enzymology*, 148, 362-385.
- Ma, X., Wu, H., Liu, L., Yao, Q., Wang, S., Zhan, R., Xing, S., Zhou, Y. (2011). Polyphenolic compounds and antioxidant properties in mango fruits. *Scientia Horticulturae*, 129, 102-107.
- Maharaj, R., Arul, J., Nadeau, P. (1999). Effect of photochemical treatment in the preservation of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Capello) by delaying senescence. *Postharvest Biology and Technology*, 15, 13-23.
- Manzocco, L., Da Pieve, S., Bertolini, A., Bartolomeoli, I., Maifreni, M., Vianello, A., Nicoli, M. C. (2011). Surface decontamination of fresh-cut apple by UV-C light exposure: effects on structure, color and sensory properties. *Postharvest Biology and Technology*, 61, 165-171.

- Marques, A., Chicaybam, G., Araujo, M. T., Manhães, L. R., Sabaa-Srur, A. U. O. (2010). Composição centesimal e de minerais de casca e polpa de manga (*Mangifera indica* L.) cv. Tommy Atkins. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 32, 1206-1210.
- Mercier, J., Baka, M., Reddy, B., Corcuff, R., Arul, J. (2001). Shortwave ultraviolet irradiation for control of decay caused by *Botrytis cinerea* in Bell pepper: induced resistance and germicidal effects. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 126, 128-33.
- Murshed R, Lopez-Lauri F, Sallanon H. (2008) Microplate quantification of enzymes of the plant ascorbate–glutathione cycle. *Anal Biochemistry*, n. 383, p. 320-322.
- Opara, U. L., Al-Ani, M. R. (2010). Antioxidant contents of pre-packed fresh-cut versus whole fruit and vegetables. *British Food Journal*, 8, 797-810.
- Palafox-Carlos, H., Yahia, E., Islas-Osuna, M. A., Gutierrez-Martinez, P., Robles-Sánchez, M., González-Aguilar, G. A. (2012). Effect of ripeness stage of mango fruit (*Mangifera indica* L., cv. Ataulfo) on physiological parameters and antioxidant activity. *Scientia Horticulturae*, 135, 7-13.
- Protrade. Mango: Manual de exportacion: frutas tropicales y hortalizas. Eschborn: GTZ, 1992. 34 p.
- Rao, M. V., Paliyath, G., Ormrod, D. (1996). Ultraviolet-B and ozone-induced biochemical changes in antioxidant enzymes of *Arabidopsis thaliana*. *Plant Physiology*, 110, 125-136.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine*, 26, 1231-1237.
- Rivera-Pastrana D., M. Gardea, A. A., Yahia, E. M., Martínez-Tellez, M. A., González-Aguillar, G. A. (2014). Effect of UV-C irradiation and low temperature storage on bioactive compounds, antioxidant enzymes and radical scavenging activity of papaya fruit. *Journal of Food Science and Technology*, 51, 3281-3289.
- Saltveit, M. E. (2005). Influence of heat shocks on the kinetics of chilling-induced ion leakage from tomato pericarp discs. *Postharvest Biology and Technology*, 36, 87-92.
- Seymour, G. B., Manning, K., Eriksson, E. M., Popovich, A. H., King, G. J. (2002). Genetic identification and genomic organization of factors affecting fruit texture. *Journal of Experimental Botany*, 53, 2065-2071.
- Shama, G., Alderson, P. (2005). UV hormesis in fruits: a concept ripe for commercialization. *Trends in Food Science and Technology*, 16, 128-136.

- Shen, Y., Sun, Y., Qiao, L., Chen, J., Liu, D., Ye, X. (2013). Effect of UV-C treatments on phenolic compounds and antioxidant capacity of minimally processed Satsuma mandarin during refrigerated storage. *Postharvest Biology and Technology*, 76, 50-57.
- Silva, A. P. F., Nascimento, J. R. O., Lajolo, F. M., Cordenussi, B. R. (2008). Starch mobilization and sucrose accumulation in the pulp of Keitt mangoes during postharvest ripening. *Journal of Food Biochemistry*, 32, 384-395.
- Soliva-Fortuny, R. C., Martin-Belloso, O. (2003). New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 14, 341-353.
- Solovchenko, A., Merzlyak, M. (2008). Screening of visible and UV radiation as a photoprotective mechanism in plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, 55, 719-737.
- Steevens, C., Liu, J., Khan, V. A., Lu, J.Y., Kabwe, M. K., Wilson, C. L., Igwegbe, E. C. K., Chalutz., Droby, S. (2004). The effects of low-dose ultraviolet light-C treatment on polygalacturonase activity, delay ripening and *Rhizopus* soft rot development of tomatoes. *Crop Protection*, 23, 551-554.
- Varoquaux, P., Wiley, R. (1994). Biological and biochemical changes in minimally processed refrigerated fruits and vegetables. In: Wiley, R. C. (Ed.), *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables*. Chapman and Hall, New York, pp. 226-268.
- Yahia, E. M. (2010). The contribution of fruits and vegetables consumption to human health. In L. A. de la Rosa, E. Alvarez-Parilla, & G. Gonzalez-Aguilar (Eds.), *Fruit and vegetable phytochemicals: Chemistry, nutritional and stability* (pp. 3-52). Iowa: Wiley-Blackwell.
- Zou, H., Meng, G., Wei, Ran., Zhang, Y., Chen, Y., Jia, L. (2012). Biochemical properties of oxidases of Yali pear. *African Journal of Biotechnology*, 11, 11610-11619.