**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Concentração mínima de etileno para o desverdecimento e tratamento
hidrotérmico para a conservação da coloração verde da lima ácida ‘Tahiti’**

Rolando Ismael Corella Caballero

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba
2018**

Rolando Ismael Corella Caballero
Engenheiro Agrônomo em Culturas Tropicais

**Concentração mínima de etileno para o desverdecimento e tratamento
hidrotérmico para a conservação da coloração verde da lima ácida ‘Tahiti’**

Orientador:
Prof. Dr. **ANGELO PEDRO JACOMINO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Corella Caballero, Rolando Ismael

Concentração mínima de etileno para o desverdecimento e tratamento hidrotérmico para a conservação da coloração verde da lima ácida ‘Tahiti’ / Rolando Ismael Corella Caballero. -- Piracicaba, 2018.

83 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. *Citrus latifolia* Tanaka 2. Pós-colheita 3. Citros 4. Amarelecimento I. Título

AGRADECIMENTOS

Ao pai DEUS pelo presente da vida e as bênçãos que a cada dia me concede.

À Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’ e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia pela oportunidade concedida. A todos os funcionarios e professores que sempre me apoiaram e contribuíram a meu crescimento acadêmico.

Ao professor Doutor Angelo Pedro Jacomino pela orientação, a amizade oferecida, a disponibilidade e compreensão.

A minha mãe Virginia Caballero de Corella, meu pai Telesforo Corella pelo amor depositado durante toda a minha vida, pela fé em mim e em Deus, porque graças a eles tenho conseguido esse objetivo; minha noiva Dayane Littig pelo seu amor, apoio e compreensão; a toda minha família pelo amor que sempre me entregaram, irmãs Vielka C. de Coba, Sonia C. de Martinez, a todas minhas sobrinhas, meus cunhados Marco Coba e Joe Martínez, e a todas as amigas que sempre estiveram de alguma forma me apoiando e motivando, Deus as abençoe.

Ao Engenheiro Agrônomo Doutor Marcos José Trevisan pelo apoio, amizade e compreensão que sempre tive de sua parte, e a toda a equipe do Laboratório Pós-colheita de Produtos Hortícolas pela colaboração nas minhas atividades realizadas.

À secretária do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia Luciane Aparecida Lopes Toledo por me orientar, pela compreensão, amizade e apoio em geral.

À Secretaria Nacional de Educação Ciência, Tecnologia e Inovação de Panamá (SENACYT) pelo reconhecimento e confiança em minhas capacidades através da concessão da bolsa de estudos de pós -graduação.

À Universidade do Panamá-Faculdade de Ciências Agropecuárias (UP-FCA) pela formação recebida em nível de graduação, e pela oportunidade de pertencer a sua equipe visionária de relevo geracional docente.

À empresa de beneficiamento de limas ácidas ‘Tahiti’ ‘Citrus Tree’, por fornecer os frutos para a realização dessa pesquisa, especialmente a sua gerente Graziella Tagliari, pela sua colaboração excepcional e a de todos seus funcionários sempre que foi necessário.

A todos meus colegas e professores da Universidade do Panamá-Faculdade de Ciências Agropecuárias (UP-FCA), especialmente à Escola de Ciências Agrícolas, Departamento de Proteção Vegetal e Departamento de Fitotecnia, também a meu amigo e professor Rodrigo E. Cambra, ao professor e decano da FCA Eldis Barnes M., às secretárias Yuliana Saldaña e María de Atencio da FCA e funcionarios em geral, administrativos e docentes pelo apoio incondicional nesta etapa acadêmica.

A meu amigo e colega Jhoel Antonio Tuñón pelo valioso apoio que sempre me brindou, compreensão e forças transmitidas nesta etapa.

A todos meus amigos e colegas das diferentes instituições do setor agropecuário panamense, por sua amizade e ajuda.

EPÍGRAFE

*“Aquele que habita no esconderijo do Altíssimo, à sombra do Onipotente descansará.
Direi do Senhor: Ele é o meu Deus, o meu refúgio, a minha fortaleza, e nele confiarei.
Porque ele te livrará do laço do passarinho, e da peste perniciosa.
Ele te cobrirá com as suas penas, e debaixo das suas asas te confiarás; a sua verdade será o teu escudo e broquel.
Não terás medo do terror de noite nem da seta que voa de dia,,
Nem da peste que anda na escuridão, nem da mortandade que assola ao meio-dia.
Mil cairão ao teu lado, e dez mil à tua direita, mas não chegará a ti.
Somente com os teus olhos contemplarás, e verás a recompensa dos ímpios.
Porque tu, ó Senhor, és o meu refúgio. No Altíssimo fizeste a tua habitação.
Nenhum mal te sucederá, nem praga alguma chegará à tua tenda.
Porque aos seus anjos dará ordem a teu respeito, para te guardarem em todos os teus caminhos.
Eles te sustentarão nas suas mãos, para que não tropeces com o teu pé em pedra.
Pisarás o leão e a cobra; calcarás aos pés o filho do leão e a serpente.
Porquanto tão encarecidamente me amou, também eu o livrarei; pô-lo-ei em retiro alto, porque conheceu o meu nome.
Ele me invocará, e eu lhe responderei; estarei com ele na angústia; dela o retirarei, e o glorificarei.
Fartá-lo-ei com longura de dias, e lhe mostrarei a minha salvação ”*

Salmos 91:1-16

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT.....	9
1. INTRODUÇÃO.....	11
REFERÊNCIAS	12
2. REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1. ASPECTOS COMERCIAIS E IMPORTÂNCIA DA LIMA ÁCIDA ‘TAHITI’.....	15
2.2. QUALIDADE COMERCIAL DA LIMA ÁCIDA ‘TAHITI’	17
2.3. O ETILENO E O DESVERDECIMENTO PÓS-COLHEITA_.....	18
2.4. DESVERDECIMENTO DA LIMA ÁCIDA ‘TAHITI’ CAUSADO PELO ETILENO E ALTERNATIVAS UTILIZADAS NO BENEFICIAMENTO	21
2.5. O TRATAMENTO HIDROTÉRMICO COMO MÉTODO PARA CONSERVAR A QUALIDADE DA LIMA ÁCIDA ‘TAHITI’ E MANUTENÇÃO DA COLORAÇÃO VERDE.....	23
REFERÊNCIAS	24
3. CONCENTRAÇÃO MÍNIMA DE ETILENO PARA O DESVERDECIMENTO DA LIMA ÁCIDA ‘TAHITI’	29
RESUMO	29
ABSTRACT.....	29
3.1. INTRODUÇÃO.....	30
3.2. MATERIAL E MÉTODOS – EXPERIMENTO 1.....	31
3.2.1. COLETA DOS FRUTOS.....	31
3.2.2. SELEÇÃO E ESTABELECIMENTO DOS TRATAMENTOS.....	31
3.3. MATERIAL E MÉTODOS – EXPERIMENTO 2.....	32
3.3.1. COLETA E SELEÇÃO DOS FRUTOS.....	32
3.3.2. SELEÇÃO E ESTABELECIMENTO DOS TRATAMENTOS.....	33
3.4. METODOLOGIAS DAS ANÁLISES REALIZADAS	33
3.4.1. MONITORAMENTO DAS CONCENTRAÇÕES DE ETILENO E CO ₂	33
3.4.2. PERDA DE MASSA FRESCA.....	33
3.4.3. COLORAÇÃO (COLORÍMETRO).....	33
3.4.4. AVALIAÇÃO VISUAL DE COLORAÇÃO.....	34
3.4.5. SÓLIDOS SOLÚVEIS.....	35
3.4.6. ACIDEZ TOTAL TITULÁVEL.....	35
3.4.7. ÁCIDO ASCÓRBICO.....	35
3.4.8. RENDIMENTO DO SUCO.....	35
3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO - EXPERIMENTO 1	35
3.5.1. PERDA DE MASSA FRESCA.....	35
3.5.2. COLORAÇÃO (°HUE).....	36
3.5.3. COLORAÇÃO (B*).....	37

3.5.4. COLORAÇÃO (ÍNDICE DE COR)	38
3.6. RESULTADOS EDISCUSSÃO - EXPERIMENTO 2.....	40
3.6.1. PERDA DE MASSA FRESCA	40
3.6.2. COLORAÇÃO (°HUE).....	41
3.6.3. COLORAÇÃO POR NOTA DE COR.....	42
3.6.4. RENDIMENTO DO SUCO.....	45
3.6.5. ACIDEZ TOTAL TITULÁVEL.....	46
3.6.6. SÓLIDOS SOLÚVEIS.....	47
3.6.7. ACIDO ASCÓRBICO.....	47
3.7. CONCLUSÕES	48
REFERÊNCIAS	48
4. TRATAMENTO HIDROTÉRMICO PARA A CONSERVAÇÃO DA COLORAÇÃO VERDE DA LIMA ÁCIDA ‘TAHITI’	53
RESUMO	53
ABSTRACT	53
4.1. INTRODUÇÃO	54
4.2. MATERIAL E MÉTODOS	56
4.2.1. COLHEITA DOS FRUTOS.....	56
4.2.2. SELEÇÃO E ESTABELECIMENTO DOS TRATAMENTOS	56
4.3. METODOLOGIAS DAS ANÁLISES REALIZADAS	58
4.3.1. PRODUÇÃO DE ETILENO, ATIVIDADE RESPIRATÓRIA (CO ₂), E MONITORAMENTO DAS CONCENTRAÇÕES NOS TRATAMENTOS	58
4.3.2. PERDA DE MASSA FRESCA	58
4.3.3. COLORAÇÃO (COLORÍMETRO)	58
4.3.4. COLORAÇÃO POR NOTA DE COR.....	58
4.3.5. SÓLIDOS SOLÚVEIS.....	59
4.3.6. ACIDEZ TOTAL TITULÁVEL.....	59
4.3.7. ÁCIDO ASCÓRBICO.....	59
4.3.8. RENDIMENTO DO SUCO	60
4.3.9. CLOROFILA TOTAL.....	60
4.4. RESULTADOS EDISCUSSÃO	61
4.4.1. PRODUÇÃO DE ETILENO.....	61
4.4.2. ATIVIDADE RESPIRATÓRIA (CO ₂).....	61
4.4.3. PERDA DE MASSA FRESCA	63
4.4.4. COLORAÇÃO POR COLORÍMETRO (°HUE)	64
4.4.5. COLORAÇÃO POR NOTA DE COR	65
4.4.6. CLOROFILA TOTAL.....	67
4.4.7. ÁCIDO ASCÓRBICO.....	68
4.4.8. ACIDEZ TOTAL TITULÁVEL.....	69
4.4.9. SÓLIDOS SOLÚVEIS	69

4.4.10. RENDIMENTO DO SUCO	70
4.5. CONCLUSÕES	71
REFERÊNCIAS	72
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	79
ANEXOS	81

RESUMO

Concentração mínima de etileno para o desverdecimento e tratamento hidrotérmico para a conservação da coloração verde da lima ácida ‘Tahiti’

Um dos grandes desafios da citricultura brasileira, como grande produtora de lima ácida ‘Tahiti’, tem sido a conservação do fruto in natura com destino à exportação. A prevenção da mudança na coloração de verde para amarelo durante o armazenamento constitui o foco de grandes esforços na área de pesquisas em pós-colheita. O presente trabalho teve como objetivo: (1) avaliar a aplicação de concentrações de etileno visando determinar a concentração mínima necessária para ativar a mudança da cor na casca dos frutos; (2) avaliar o tratamento térmico por imersão em água quente, visando utilizá-lo como alternativa para retardar o amarelecimento. No capítulo 1 foram realizados dois experimentos, sendo avaliados 4 tratamentos no experimento 1: $0 \mu\text{L L}^{-1}$, $3 \mu\text{L L}^{-1}$, $6 \mu\text{L L}^{-1}$ e $12 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno, armazenados por 18 dias a $22 \pm 2^\circ\text{C}$ e $85 \pm 5\%$ de umidade relativa (UR), utilizando frutos beneficiados, mas não tratados com ácido giberélico (GA). Se observou baixa perda de massa fresca e uma aceleração no desverdecimento a partir do dia 10 nos tratamentos de 3, 6 e $12 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno. No experimento 2 foram avaliados seis tratamentos: 0, 1, 2, 3, 6 e $12 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno, armazenados por 21 dias a $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $85 \pm 5\%$ de UR. Foram utilizados frutos beneficiados, e tratados com ácido giberélico (GA). Os resultados mostraram pouco desverdecimento segundo análise no colorímetro, sendo esse resultado mais perceptível na análise por nota de cor para concentrações de $3 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno e baixa perda de massa fresca. O beneficiamento com GA e cera pode ter afetado a ação do etileno. No Capítulo 2 foi conduzido um experimento utilizando frutos colhidos diretamente do campo e avaliado o tratamento térmico por imersão em água quente e posterior armazenamento em presença ou ausência de $3 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno. Foram estabelecidos 6 tratamentos: controle sem etileno, controle + $3 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno, 3 minutos a $50 \pm 2^\circ\text{C}$ sem etileno, 3 minutos a $50 \pm 2^\circ\text{C}$ + $3 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno, 5 minutos a $50 \pm 2^\circ\text{C}$ sem etileno, e 5 minutos a $50 \pm 2^\circ\text{C}$ + $3 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno. Os frutos foram armazenados por 30 dias a $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $90 \pm 5\%$ UR. Foi observado que o tratamento hidrotérmico por 5 minutos a $50 \pm 2^\circ\text{C}$ ajudou na manutenção da cor verde na casca dos frutos, também houve redução significativa na taxa respiratória e na perda de massa fresca dos frutos. Esses resultados sugerem que o tratamento térmico auxilia na manutenção da qualidade de frutos de lima ácida ‘Tahiti’, uma vez que tem efeito no retardo de processos envolvidos no amadurecimento e senescência.

Palavras-chave: *Citrus latifolia* Tanaka; Pós-colheita; Citros; Beneficiamento; Amarelecimento; Térmico; Calor

ABSTRACT

Minimum ethylene concentration for the de-greening and hydrothermal treatment for the conservation of the green color of 'Tahiti' acid lime

One of the great challenges of the Brazilian citrus industry, as a major producer of 'Tahiti' acid lime, has been the conservation of the fruit in natura with destiny to export. Preventing the change in color from green to yellow during storage is the focus of great efforts in post-harvest research. The objective of the present work was: (1) to evaluate the application of ethylene concentrations in order to determine the minimum concentration necessary to activate the color change in the fruit peels; (2) to evaluate the heat treatment by immersion in hot water, in order to use it as an alternative to delay the yellowing. In Chapter 1, two experiments were carried out and four treatments were evaluated in experiment 1: 0 $\mu\text{L L}^{-1}$, 3 $\mu\text{L L}^{-1}$, 6 $\mu\text{L L}^{-1}$ and 12 $\mu\text{L L}^{-1}$ of ethylene, stored for 18 days at $22 \pm 2^\circ \text{C}$ and $85 \pm 5\%$ of relative humidity (RH), using fruits benefited, but not treated with gibberellic acid (GA). It was observed low fresh mass loss and an acceleration in de-greening from day 10 in the treatments of 3, 6 and 12 $\mu\text{L L}^{-1}$ of ethylene. In the experiment 2, six treatments were evaluated: 0, 1, 2, 3, 6 and 12 $\mu\text{L L}^{-1}$ of ethylene, stored for 21 days at $25 \pm 2^\circ \text{C}$ and $85 \pm 5\%$ RH. The fruit was benefited and treated with gibberellic acid (GA). The results showed little de-greening according to the colorimeter analysis, being this result more noticeable in the analysis by color rating for concentrations of 3 $\mu\text{L L}^{-1}$ of ethylene and low fresh mass loss. Processing with GA and wax may have affected the action of ethylene. In Chapter 2 an experiment was conducted using fruits harvested directly from the field and the heat treatment was evaluated by immersion in hot water and subsequent storage in the presence or absence of 3 $\mu\text{L L}^{-1}$ of ethylene. Six treatments were performed: control without ethylene, control + 3 $\mu\text{L L}^{-1}$ ethylene, 3 minutes at $50 \pm 2^\circ \text{C}$ without ethylene, 3 minutes at $50 \pm 2^\circ \text{C}$ + 3 $\mu\text{L L}^{-1}$ ethylene, 5 minutes at $50 \pm 2^\circ \text{C}$ without ethylene, and 5 minutes at $50 \pm 2^\circ \text{C}$ + 3 $\mu\text{L L}^{-1}$ ethylene. The fruits were stored for 30 days at $25 \pm 2^\circ \text{C}$ and $90 \pm 5\%$ RH. It was observed that the hydrothermal treatment for 5 minutes at $50 \pm 2^\circ \text{C}$ helped to maintain the green color in the fruits peel, also there was a significant reduction in the respiratory rate and the loss of fresh fruit mass. These results suggest that the hydrothermal treatment helps to maintain the quality of 'Tahiti' acid lime fruits, since it has an effect on the delay of processes involved in ripening and senescence

Keywords: *Citrus latifolia* Tanaka; Post-harvest; Citrus; Processing; Yellowing; Thermal; Heat

1. INTRODUÇÃO

A produção agrícola do Brasil representa um setor de grande importância para a economia nacional. No ano 2015, os produtos agrícolas representaram 41,9% do total das exportações segundo dados da Organização Mundial do Comércio (OMC, 2018). A agricultura brasileira é sobressaliente nos mercados internacionais. No ano 2013, 36% do total das exportações geraram mais de US\$ 86 bilhões e posicionaram o Brasil como o segundo maior exportador agrícola mundial e o maior fornecedor de açúcar, suco de laranja e café (OECD/FAO, 2015).

No ano de 2012, os três maiores produtores de frutas no mundo foram China, Índia e Brasil (ANDRADE, 2015), sendo que no período 2010-2016 o Brasil ocupou a oitava posição dentre os dez maiores produtores de frutas tropicais frescas, com média anual de 812.968,86 toneladas, depois da Índia, China Continental, Filipinas, Indonésia, Tailândia, Bangladesh e Iran (FAOSTAT, 2018). A produção de limas e limões no Brasil em 2016 ocupou a quinta posição, depois de Índia, México, China Continental e Argentina (FAOSTAT, 2018).

Nos anos 2012-2013 o Brasil produziu 1.169,370 toneladas de limas e limões (IBGE, 2013), divididas em limão ‘Siciliano’ (*Citrus limon*), limas ácidas ‘Galego’ (*Citrus aurantifolia*) e ‘Tahiti’ (*Citrus latifolia* Tanaka), sendo a maior parte da produção brasileira constituída de limas ácidas ‘Tahiti’ (HORTIBRASIL, 2013).

Embora o Brasil destine a maioria da produção da lima ácida ‘Tahiti’ para o consumo interno, têm sido amplas as janelas comerciais nos mercados internacionais para sua comercialização. No ano de 2009 os principais importadores foram Estados Unidos, Alemanha, Rússia, Holanda, França, Japão, Reino Unido, Polônia e Itália (BATISTA, 2010).

A produção e comercialização da lima ácida ‘Tahiti’ para o Brasil conta com oportunidades de crescimento que oferecem os mercados atuais. No entanto existe a necessidade de avaliar melhor as operações do uso das tecnologias existentes (CARON, 2009) para melhorar a manutenção da sua qualidade.

Geralmente os produtos como frutas e hortaliças devem ser rapidamente resfriados em condições de armazenamento e ter transporte adequado, devido à elevada marcha metabólica, a qual causa perdas na qualidade (FERREIRA, 2008). No manejo pós-colheita da lima ácida ‘Tahiti’, durante o armazenamento o manejo adequado dos fatores que incidem diretamente na sua conservação deve ser realizado eficientemente, tais como a temperatura, umidade relativa do ar e percentagem de O₂, CO₂ e etileno.

A cor é um atributo estético de grande influencia na preferencia dos frutos nos mercados. No Brasil o mercado prefere a lima ácida ‘Tahiti’ com bastante suco e casca lisa, pelo contrario o mercado externo dá preferência à fruta de cor verde intenso (SILVA et al., 2008).

Durante o armazenamento da lima ácida ‘Tahiti’ e transporte aos mercados, mesmo com a refrigeração, ocorre acúmulo de etileno nas câmaras contendoras. Nos citros, o etileno atua na clorofila acelerando o desenvolvimento da cor por meio do aumento da atividade da clorofilase e outras enzimas que estão envolvidas no processo de degradação deste pigmento (LADANIYA, 2008)(KEISHI; SEIICHI; KENTA, 1978). Tal desverdecimento da casca, induzido pelo etileno, representa um entrave para a comercialização dos frutos, principalmente nos mercados internacionais.

É conhecido que no beneficiamento de laranjas de ciclo tardio, é necessária a aplicação de etileno exógeno em concentrações controladas, dentro de câmaras de desverdecimento. Nestas operações são recomendadas as concentrações de 1-5 $\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno a 20–29°C e 90–96% UR (LADANIYA, 2008), ou 3 ppm (RITENOUR; MILLER; WARDOWSKI, 2003).

Para entender o desverdecimento da lima ácida ‘Tahiti’, este trabalho consistiu em avaliar diferentes concentrações de etileno para estudar a resposta dos frutos, monitorando principalmente a variável coloração da casca.

Os objetivos deste trabalho foram: determinar a concentração mínima necessária de etileno para ativar os processos deletérios da coloração da casca em frutos beneficiados e avaliar os efeitos do tratamento hidrotérmico para retardar o desverdecimento após a colheita.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, P. **Fruticultura.Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento - Departamento de Economia Rural**, 2015. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/2017/Fruticultura_2016_17.pdf>
- BATISTA, E. A. **Caracterização da produção e comercialização da lima ácida “Tahiti” (*Citrus latifolia* Tanaka) no município de Cruz das Almas no Estado da Bahia.Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia**, 2010. Disponível em: <<http://www.uesb.br/ppgagronomia/banco-de-dissertacoes/2010/emanuel-batista.pdf>>

CARON, V. C. **Conservação refrigerada de lima ácida ‘Tahiti’ em combinação com atmosfera modificada, ácido giberélico e permanganato de potássio.** Piracicaba. Livraria Digital USP, , 2009. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/.../Vanessa_Caron.pdf>

FAOSTAT. **Agricultural Statistics Database (FAOSTAT). Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura.** Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>>. Acesso em: 3 abr. 2018.

FERREIRA, M. D. **Colheita e beneficiamento de frutas e hortaliças.** Embrapa Instrumentação Agropecuária São Carlos, São Paulo, Brasil, 2008. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPH-2009/34981/1/LI_2008.pdf>

HORTIBRASIL. **Comercialização de lima ácida “Tahiti” na CEAGESP de São Paulo.**, 2013. Disponível em: <<http://www.hortibrasil.org.br/2016-06-03%20-49-48/comercializacao-de-lima-acida-tahiti-na-ceage-sp-de-sao-paulo.html>>

IBGE. **Produção agrícola municipal. Culturas temporárias e permanentes** Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/66/pam_2016_v43_br.pdf>

KEISHI, S.; SEIICHI, S.; KENTA, Y. Ethylene-enhanced Chlorophyllase activity during degreening of *Citrus unshiu* Marc. **Scientia Horticulturae**, v. 8, p. 129–135, 1978.

LADANIYA, M. S. **Citrus fruit biology, technology and evaluation.** (Academic Press, Ed.) **Citrus Fruit**, 2008. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/books/citrus-fruit/ladanyia/978-0-12-374130-1>>

OECD/FAO. **Perspectivas agrícolas no Brasil: desafios da agricultura brasileira 2015-2024.** Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. Paris, 2015. Disponível em: <https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-fao-agricultural-outlook-2015_agr_outlook-2015-en>. Acesso em: 6 mar. 2018

OMC. **Perfil económico do Brasil. Organização Mundial do Comercio.**, 2018. Disponível em: <<http://stat.wto.org/CountryProfile/WSDBCountryPFView.aspx?Country=BR%2CE28&Language=S>>

RITENOUR, M. A.; MILLER, W. M.; WARDOWSKI, W. W. **Recommendations for Degreening Florida Fresh Citrus Fruits.** University of Florida. Florida, US., 2003. Disponível em: <<http://edis.ifas.ufl.edu/hs195>>

SILVA, P. R. et al. O Mercado da lima ácida “Tahiti”. **Instituto de Economia Agrícola**, v. 3, p. 7, 2008.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos comerciais e importância da lima ácida ‘Tahiti’

A lima ácida ‘Tahiti’ *Citrus latifolia* Tanaka é uma espécie comumente conhecida no Brasil (STUCHI; LIMA, 1998). A sua produção no ano 1995 foi de 577.582 toneladas, aumentou sua produção no ano 2016 para 1.262.353 toneladas, contudo a área de colheita diminuiu de 50.323 para 47.279 hectares, indicando aumento significativo na produtividade (FAOSTAT, 2018).

A produção mundial de limas e limões desde o ano 2010 até o ano 2016 registrou um crescimento de 14.708.640 para 17.347.153 toneladas por ano (FAOSTAT, 2018) (Figura 1).

Figura 1 - Produção mundial e área de colheita de limas e limões no período 2010 e 2016
Fonte: adaptado de FAOSTAT (2018)

Depois de Índia, México, China, Argentina o Brasil ocupa a quinta posição dentre os maiores produtores de limas e limões no mundo, com média de produção de 1.152.810 toneladas no período 2010-2016 (FAOSTAT, 2018). Os principais estados produtores de limas e limões têm sido São Paulo, que em média produz 71,42% do total, seguido de Minas Gerais (7,97%), Bahia (7,73 %) e Pará (2,41%) (Figura 2) (IBGE, 2018).

Figura 2 - Quatro maiores produtores de limas e limões no Brasil, no período 2009-2016.

Fonte: IBGE (2018). Elaboração: Rolando Corella

As exportações de limas e limões do Brasil no ano 2007 foram de 58.250 toneladas, o que gerou uma receita de 41.715 milhões de dólares, os principais destinos da fruta foram a Holanda (63,5%), Reino Unido (16,04%), Canadá (4,82%) e Alemanha (3,63%) (SILVA et al., 2008). Nessa segunda década atingiram 658.005 toneladas, gerando uma receita de 597.026.703 milhões de dólares. Se registrou um aumento significativo ano de 2014, superando 90 milhões de toneladas. Para o ano de 2017 o volume exportado foi de 92.393 milhões de toneladas, com uma receita de US\$ 82.088.717 (Figura 3).

Como mencionado, o principal mercado de exportação de fruta “in natura” para o Brasil é a União Europeia, que historicamente vem consumindo acima de 83% do volume total exportado, e no ano de 2017 constituiu-se como destino de 93,69% do volume total das exportações (ALICE WEB, 2018) (Figura 3).

EXPORTAÇÃO BRASILEIRA DE LIMAS E LIMÕES						
Total			Consumido pela União Europeia			
Ano	Renda (USD)	Volume (Toneladas)	Renda		Volume	
			USD	% do total	Toneladas	% do total
2010	50.693.603	63.061	47.367.793	93,44	58.921	93,44
2011	65.806.140	66.458	62.053.862	94,30	62.251	93,77
2012	59.882.439	72.810	54.369.130	90,79	65.962	90,69
2013	73.923.553	78.603	66.441.637	89,88	69.495	88,41
2014	96.099.286	92.301	85.182.905	88,64	80.573	87,39
2015	78.600.751	96.632	64.979.824	82,67	80.849	83,77
2016	89.932.214	95.748	81.919.984	91,09	86.383	90,22
2017	82.088.717	92.393	77.324.445	94,20	86.469	93,69
Valor Promedio	597.026.703	658.005	539.639.580	90,39	590.904	89,80

Figura 3 - Exportação brasileira de limas e limões entre 2010 e 2017

Fonte: Adaptado de Alice Web (2018). Elaboração: Rolando Corella

2.2. Qualidade comercial da lima ácida ‘Tahiti’

Os mercados determinam os requerimentos de qualidade de um fruto segundo suas preferências. A qualidade dos frutos envolve as características e atributos de importância na aceitação do consumidor (LADANIYA, 2008).

Em citros, características de importância são a cor e textura de casca, manchas, danos por manuseio, danos por doenças, distúrbios fisiológicos, sabor, cor e aparência do suco e mistura adequada de açúcares e ácidos (Ratio) (LADANIYA, 2008). Pinto; Sousa; Ramos, (2004) indicaram que os principais requerimentos de qualidade são diâmetro mínimo do fruto, aspecto da casca, coloração uniforme e sem mancha de sombra, teor mínimo de suco, ausência de defeitos causados por agentes físicos, químicos ou biológicos.

Um volume de suco de 30% (v/v) é um padrão de qualidade interno importante para os limões com destino ao mercado de fruta “in natura” dos Estados Unidos, assim como o conteúdo de ácidos e óleo de casca para limas e limões destinados para o processamento (LADANIYA, 2008).

Nos citros, o valor estético fornecido pela coloração homogênea aumenta a sua valorização. Tal valorização se vê afetada por mudanças que são atribuídas à degradação das clorofilas e síntese de carotenoides, resultando em coloração amarela ou laranja na casca dos frutos, sendo fortemente influenciada por fatores endógenos e do ambiente (MATTOS JUNIOR et al., 2005).

A coloração deverá ser típica da variedade, pelo menos em 2/3 da superfície do fruto, tolerando a descoloração em até 1/3 da superfície, segundo as normas de classificação da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação FAO (2005) baseadas no CODEX ALIMENTARIUS STANDARD. Tais normas distinguem três categorias de frutos: Extra, Categoria I e Categoria II.

No Brasil, a Secretaria da agricultura de abastecimento do estado de São Paulo criou as Normas de Classificação de citros de mesa para membros do setor agroindustrial, com o objetivo de caracterizar os produtos e que a comercialização seja mais transparente e justa (CEAGESP - SÃO PAULO, 2011).

Na cadeia agroindustrial da lima ácida ‘Tahiti’ foram adotadas técnicas de beneficiamento pós-colheita com a finalidade de prolongar a conservação da coloração verde na casca dos frutos. Uma técnica conhecida e utilizada na atualidade nas casas de embalagens é a aplicação de ácido giberélico (GA). Com o uso de ácido giberélico a cor da casca durante o armazenamento é eficientemente mantida, sem mudanças na qualidade interna dos frutos (SPOSITO et al., 2000). Entretanto, segundo Caron (2009), o ácido giberélico é pouco eficiente na manutenção da cor verde da casca quando é usado isoladamente, sendo necessário usá-lo em associação às técnicas como refrigeração e aplicação de cera.

2.3. O etileno e o desverdecimento pós-colheita

Nas etapas de pós-colheita os frutos sofrem mudança na cor, mesmo que tenham recebido tratamentos para prolongar a conservação da sua qualidade durante o maior tempo possível. Tais mudanças ocorrem principalmente pela ação do etileno.

O etileno foi identificado no ano 1901 por Dimitry Neljubov durante experimentos realizados com ervilha crescida na ausência de luz, e foi observada alteração no estiolamento das plântulas no laboratório. Essas deformações durante o crescimento foram chamadas de resposta tríplice, devido ao etileno atuar como promotor do amadurecimento de frutos em diversos processos de desenvolvimento (TAIZ et al., 2017).

A biossíntese de etileno é iniciada com o aminoácido precursor metionina, a síntese da S-Adenosilmetionina (SAM) é catalisada pela enzima SAM sintetase. Após essa reação a enzima ACC sintetase (Ácido 1-aminociclopropano⁻¹-carboxílico) transforma a SAM em ACC (1-ácido⁻¹-aminociclopropano carboxílico). A última etapa da rota, a conversão da ACC em etileno necessita de oxigênio e é catalisada pela enzima ACC oxidase (TAIZ; ZEIGER, 2004) (Figura 4).

Figura 4 - Esquema da síntese de etileno
Fonte: (LADANIYA, 2008)

O papel que exerce o etileno é essencial na maturidade, amadurecimento e senescência de produtos hortícolas, portanto tem grande importância no manejo pós-colheita (LADANIYA, 2008).

Em geral os citros têm baixa produção de etileno. Tem se encontrado diferenças na produção de etileno em diversos citros na faixa de 0,4; 0,3 e 0,2 $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg hr}^{-1}$ para pomelo, laranja valência e laranja de umbigo, respectivamente, e no caso do limão ‘Eureca’ foram encontrados vestígios de etileno de menos de 0,01 $\mu\text{L kg h}^{-1}$ (EAKS, 1970). Nos citros, a produção típica de etileno é de $<0,1 \mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (LADANIYA, 2001). Também Gross; Wang; Saltveit (2016) indicaram que a lima tem uma produção de etileno de $<0,1 \mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ a 20 °C.

Embora a lima ácida ‘Tahiti’ apresente baixa produção de etileno, o processo de desverdecimento na casca após a colheita pode ser devido ao acúmulo progressivo desse hormônio nas câmaras durante o armazenamento. A ventilação não adequada e a baixa relação área da câmara/massa total dos frutos armazenados também é um fator que pode influenciar. Se a relação área da câmara/massa total dos frutos armazenados é menor, menor será o tempo em que o etileno chegue a concentrações suficientes para induzir o desverdecimento dos frutos.

O processo de mudança de cor na lima ácida ‘Tahiti’ abrange diversas reações na célula. Tem sido considerado o início do processo com a ligação do etileno aos sítios ativos da membrana celular por autores como Kendrick; Chang, (2008).

Com o contato do etileno na célula, ocorre a ligação aos receptores (ETR), o que provoca um sinal e interação com a proteína CTR1. Tal sinal é transferido até o núcleo, onde os genes EIN2, EIN3 e EIN5 codificaram as proteínas que irão receber o sinal. As proteínas EIN2, EIN3 e EIN5 serão as que responderão ativando fatores de transcrição a partir dos genes ERF. Seguidamente os genes ERF se unirão aos promotores da expressão gênica ativada pelo etileno (Figura 5). A mencionada expressão gênica vai significar a síntese das enzimas que depois irão catalisar as mudanças típicas e conhecidas no processo de maturação dos frutos (Figura 5) (KENDRICK; CHANG, 2008).

Figura 5 - Modelo de sinalização de etileno na célula.

Fonte: Kendricks e Chang (2008)

A enzima clorofilase é uma enzima catalisadora dos processos de maturação, e a sua ação foi explicada por Ladaniya (2008), sendo que a remoção do grupo fitol da molécula de clorofila é feita pela enzima clorofilase, resultando na formação da clorofilida. Essa enzima

está presente no cloroplasto, e esta organela sofre degradação antes e durante a maturação e mudança de cor da casca do fruto. A clivagem da cadeia de fitol da clorofila é realizada pela enzima clorofilase, resultando na formação de clorofilida (HEATON; MARANGONI, 1996). O esquema de degradação da clorofila se representa na Figura 6.

Figura 6 - Retirada da cadeia fitol da molécula de clorofila, realizada pela enzima clorofilase

2.4. Desverdecimento da lima ácida ‘Tahiti’ causado por etileno e alternativas utilizadas no beneficiamento

As aplicações de etileno exógeno ocasionam o processo de amadurecimento em frutos imaturos e funciona como indutor do processo de autocatálise (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Em tangerina Satsuma se comprovou que a aceleração da degradação da clorofila, sugerindo que o tratamento aplicado com etileno pode ter aumentado a formação de clorofilida, catalisada pela clorofilase (YAMAUCHI et al., 1997).

A degradação da clorofila, causada pela enzima clorofilase e a síntese de carotenoides, dando como resultado a manifestação visual da perda gradual da cor verde, constitui o eixo central de pesquisas orientadas para encontrar mecanismos temporários de supressão desses processos. Em laranjas doces, o etileno exógeno produz e acelera as alterações fisiológicas e

moleculares na biossíntese de carotenoides, que ocorrem naturalmente durante a maturação dos citros (RODRIGO; ZACARIAS, 2007).

Comercialmente a aplicação de etileno exógeno para o desverdecimento em citros tem sido essencialmente importante, utilizada em variedades precoces de laranjas, em regiões como Flórida e Índia (MAYUONI et al., 2011). A efetividade depende de fatores como o cultivar e sua cor externa, concentração de etileno, temperatura e umidade relativa do ar (SDIRI et al., 2012a).

Ocasionalmente, variedades de maturação tardia podem requerer desverdecimento e tal processo envolve o uso de etileno em salas de desverdecimento especialmente construídas, onde se degrada a clorofila (RITENOUR; MILLER; WARDOWSKI, 2003).

O tratamento com etileno foi eficiente em tangerinas “Clemenules” com índice de cor de -9 e -3, e em laranjas 'Navelina' com índice de cor de 0 (SDIRI et al., 2012a).

Na Florida, uma concentração de etileno adequada para o máximo desverdecimento é $5 \mu\text{L L}^{-1}$, em frutos cítricos com armazenamento a temperatura de $82 - 85^\circ\text{F}$ ($27,7 - 29,4^\circ\text{C}$) e umidade relativa de 90 - 95%; algumas embaladoras utilizaram com sucesso $3 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno (RITENOUR; MILLER; WARDOWSKI, 2003).

O etileno é usado para promover o desverdecimento de alguns citros e melhorar sua aceitação nos mercados. Porém, no caso da lima ácida ‘Tahiti’ tem se tornado um fator limitante que afeta tornando amarela a coloração da casca, e com isto reduzindo sua qualidade estética e aceitação nos mercados.

Membros da cadeia agroindustrial têm reportado que a qualidade da lima ácida ‘Tahiti’ é reduzida durante as etapas de armazenamento, transporte e comercialização; mesmo com os tratamentos aplicados durante o beneficiamento (BASSAN et al., 2015). Dentre esses tratamentos aplicados durante o beneficiamento está o uso de o ácido giberélico. Doses de ácido giberélico de 20 mg L^{-1} por meio de imersão durante 30 a 60 segundos são recomendadas para manter a cor verde escura da casca e retardar o envelhecimento dos frutos (DA SILVA; DONADIO, 1997).

As giberelinas (GAs) são consideradas hormônios vegetais, abrangendo uma grande quantidade de compostos dos quais só alguns têm atividade biológica intrínseca, principalmente GA_1 , GA_3 , GA_4 e GA_7 - numeradas em ordem cronológica de acordo a sequencia da sua descoberta (TAIZ et al., 2017). A atividade biológica das giberelinas guarda relação com a juvenildade, fato pelo qual se considera ter efeito antagônico com relação ao etileno (DILLEY, 1969).

Apesar de existirem tratamentos utilizados na linha de beneficiamento da lima ácida ‘Tahiti’ para retardar a perda da cor verde, como a refrigeração e o tratamento com ácido giberélico, têm sido necessário realizar mais pesquisas focadas em desenvolver novas tecnologias orientadas para essa finalidade.

Outro dos métodos utilizados pelos exportadores de lima ácida ‘Tahiti’ para reduzir o acúmulo de etileno durante o armazenamento é a utilização de absorvedores de etileno como o permanganato de potássio. A efetividade dessa técnica para reduzir o etileno do interior das embalagens foi indicada por Caron (2009) em experimentos com lima ácida ‘Tahiti’, e comprovou que em combinação com o uso de filme plástico, reduz a perda de massa fresca e visualmente uma maior conservação da cor verde.

O permanganato de potássio para seu uso como absorvedor de etileno é impregnado em uma superfície de óxido de alumínio ou argila e se comercializa em formato de pellets ou sachês (CHITARRA; CHITARRA, 2005). O etileno em presença de permanganato de potássio é oxidado primeiro a acetaldeído, que logo vai ser oxidado em ácido acético e esse em dióxido de carbono e água (AHVENAINEN, 2003; LADANIYA, 2008). Em adição, (SÁ et al., 2008) indicaram que também se forma óxido de manganês (MnO_4) e hidróxido de potássio (KOH) eq.(1)

Entretanto, considerando a perda da cor verde da lima ácida ‘Tahiti’, essa técnica torna-se interessante visando conhecer primeiramente o nível mínimo de etileno necessário para ativar as reações envolvidas no desverdecimento e, posteriormente, definir técnicas de manejo que não permitam atingir tais concentrações durante o armazenamento e transporte aos mercados.

2.5. O tratamento hidrotérmico como método para conservar a qualidade da lima ácida ‘Tahiti’ e manutenção da coloração verde

O tratamento hidrotérmico é um meio não químico usado para a manutenção da qualidade de frutos tropicais, e consiste na imersão em água quente ou aplicação de vapor (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Na aplicação do tratamento térmico os frutos são expostos ao calor numa faixa de temperatura de 40 a 65°C (LOBO; GONZÁLEZ, 2007). Durante o

tratamento térmico é importante o tempo de exposição dos frutos ao calor, sendo dependente da sensibilidade do fruto às elevadas temperaturas (LURIE, 1998).

Inicialmente os tratamentos hidrotérmicos foram desenvolvidos para controle de insetos (LURIE; PEDRESCHI, 2014). A temperatura de 50 °C foi usada para o controle das moscas das frutas (ARMSTRONG, 1982). Além do controle de insetos o tratamento hidrotérmico tem mostrado efeitos benéficos na fisiologia de frutos. A velocidade de maturação de frutos pode ser reduzida a traves da redução da atividade enzimática que leva à perda da qualidade (LOBO; GONZÁLEZ, 2007).

O potencial do tratamento hidrotérmico para evitar a perda da coloração verde em diversas culturas tem sido o foco de pesquisadores no mundo inteiro. Em brócolis o tratamento hidrotérmico a 50 °C durante 2 horas reduz a atividade de enzimas envolvidas na degradação da clorofila tais como a clorofilase, peroxidase e oxidase, o que decorreu na manutenção da coloração verde (FUNAMOTO et al., 2002).

Também Perini et al. (2017) observaram que o tratamento hidrotérmico não só manteve a coloração verde em brócolis, além disso, teve efeito benéfico ao atrasar a senescência contribuindo para manter a qualidade geral do produto no armazenamento.

Em Lima ácida ‘Galego’ (*Citrus aurantifolia* Swingle cv. Pan) o tratamento hidrotérmico a 50 °C por imersão durante 3 e 5 minutos manteve a coloração verde por 25, 30 e 35 dias de armazenamento, e suprimiu a atividade de enzimas relacionadas com o amarelecimento; em contraste, frutos não tratados atingiram a cor amarela no dia 5 (KAEWSUKSAENG et al., 2015).

O tratamento hidrotérmico poderia agir como uma técnica alternativa que possivelmente consiga aportar avanços visando retardar o desverdecimento da casca da lima ácida ‘Tahiti’.

REFERÊNCIAS

- AHVENAINEN, R. **Novel food packaging techniques**. Washington, DC: CRC Press, 2003.
- ALICE WEB. **Sistema de Análisis de Información de Comercio Exterior (Alice Web)**. Disponível em: <<http://comexstat.mdic.gov.br/es/home>>. Acesso em: 3 abr. 2018.
- ARMSTRONG, J. W. Development of a hot-water immersion quarantine treatment for Hawaiian-grown “Brazilian” bananas. **Journal of Economic Entomology**, v. 75, n. 5, p. 787–790, 1982.

BASSAN, M. M. et al. Beneficiamento pós-colheita de lima ácida “Tahiti” afeta sua qualidade e conservação. **Ciência Rural**, v. 46, n. 0103-8478, p. 7, 2015.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, F. O. **Introdução à química de alimentos**. São Paulo: São Paulo Varela, 2003.

CARON, V. C. **Conservação refrigerada de lima ácida ‘Tahiti’ em combinação com atmosfera modificada, ácido giberélico e permanganato de potássio**. Piracicaba. Livraria Digital USP, , 2009. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/.../Vanessa_Caron.pdf>

CEAGESP - SÃO PAULO. **Normas de classificação de citros de mesa** Secretaria da agricultura de abastecimento do estado de São Paulo. São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.ceagesp.gov.br/wp-content/uploads/2015/07/citros.pdf>>. Acesso em: 9 ago. 2018

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

DA SILVA, J. A.; DONADIO, L. C. Reguladores Vegetais na Citricultura. p. 38, 1997.

DILLEY, D. R. Hormonal control of fruit ripening. **Hormonal control of fruit ripening**, v. Summer, n. 2, p. 111–114, 1969.

EAKS, I. L. Respiratory Response , Ethylene Production , and Response Ethylene of Citrus Fruit during Ontogeny. **Plant Physiology**, v. 45, p. 334–338, 1970.

FAO. **Norma para Lima y Limon (CODEX STAN 213⁻¹999)**, 2005. Disponível em: <[http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/fr/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCODEX%2BSTAN%2B213⁻¹999%252FCXS_213s.pdf](http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/fr/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCODEX%2BSTAN%2B213%2D1999%252FCXS_213s.pdf)>

FAOSTAT. **Agricultural Statistics Database (FAOSTAT). Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>>. Acesso em: 3 abr. 2018.

FUNAMOTO, Y. et al. Effects of heat treatment on chlorophyll degrading enzymes in stored broccoli (Brassica oleracea L.). **Postharvest Biology and Technology**., v. 24, n. 2, p. 163–170, 1 mar. 2002.

GROSS, K. C.; WANG, C. Y.; SALTVEIT, M. The Commercial Storage of Fruits , Vegetables , and Florist and Nursery Stocks. **USDA Agriculture Handbook**, v. 66, 2016.

HEATON, J. W.; MARANGONI, A. G. Chlorophyll degradation in processed foods and senescent plant tissues. **Trends in Food Science & Technology**, v. 7, n. 1, p. 8–15, 1996.

IBGE. **Brasil em Síntese. Produção Agrícola - Lavoura Permanente. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/15/11863?indicador=11974&localidade1=35&localidade2=29&tipo=grafico>>. Acesso em: 3 abr. 2018.

KAWSUKSAENG, S. et al. Postharvest heat treatment delays chlorophyll degradation and maintains quality in Thai lime (*Citrus aurantifolia* Swingle cv. Pan) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 100, p. 1–7, 2015.

KENDRICK, M. D.; CHANG, C. Ethylene signaling: new levels of complexity and regulation. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 11, n. 5, p. 479–485, 2008.

LADANIYA, M. Response of “Mosambi” sweet orange (*Citrus sinensis*) to degreening, mechanical waxing, packaging and ambient storage conditions. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 71, n. 4, p. 234–239, 1 abr. 2001.

LADANIYA, M. S. **Citrus fruit biology, technology and evaluation.** (Academic Press, Ed.) **Citrus Fruit**, 2008. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/books/citrus-fruit/ladanyia/978-0-12-374130-1>>

LOBO, M. G.; GONZÁLEZ, M. **Procesado mínimo de frutas.** Canarias: Instituto Canario de Investigaciones Agrarias, 2007.

LURIE, S. Postharvest heat treatments. **Postharvest Biology and Technology**, v. 14, n. 3, p. 257–269, 1998.

LURIE, S.; PEDRESCHI, R. Fundamental aspects of postharvest heat treatments. **Horticulture Research**, v. 1, n. 14030, p. 7, 2014.

MATTOS JUNIOR, D. et al. **CITROS.FAPESP** Campinas, 2005. Disponível em: <<https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=15341&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22MATTOS JUNIOR, D. de.%22&qFacets=autoria:%22MATTOS JUNIOR, D. de.%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>>

MAYUONI, L. et al. Does ethylene degreening affect internal quality of citrus fruit? **Postharvest Biology and Technology**, v. 62, n. 1, p. 50–58, 2011.

PERINI, M. A. et al. Hot water treatments performed in the base of the broccoli stem reduce postharvest senescence of broccoli (*Brassica oleracea* L. Var italic) heads stored at 20 °C. **LWT - Food Science and Technology**., v. 77, p. 314–322, abr. 2017.

PINTO, A. D. Q.; SOUSA, E. D. S.; RAMOS, V. V. **Tecnologia de Produção e Comercialização da Lima ácida “Tahiti”, do Maracujá azedo e da Goiaba para o Cerrado.**, 2004. Disponível em: <http://bbeletronica.cpac.embrapa.br/2004/doc/doc_111.pdf>. Acesso em: 1 mar. 2018

RITENOUR, M. A.; MILLER, W. M.; WARDOWSKI, W. W. **Recommendations for Degreening Florida Fresh Citrus Fruits.** University of Florida. Florida, US., 2003. Disponível em: <<http://edis.ifas.ufl.edu/hs195>>

RODRIGO, M. J.; ZACARIAS, L. Effect of postharvest ethylene treatment on carotenoid accumulation and the expression of carotenoid biosynthetic genes in the flavedo of orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) fruit. **Postharvest Biology and Technology**., v. 43, n. 1, p. 14–22, 1 jan. 2007.

SÁ, C. R. L. et al. Métodos de Controle do Etileno na Qualidade e Conservação Pós-Colheita de Frutas. 2008.

SDIRI, S. et al. New degreening treatments to improve the quality of citrus fruit combining different periods with and without ethylene exposure. **Postharvest Biology and Technology**, v. 63, n. 1, p. 25–32, 2012.

SILVA, P. R. et al. O Mercado da lima ácida “Tahiti”. **Instituto de Economia Agrícola**, v. 3, p. 7, 2008.

SPOSITO, M. B. et al. Cold storage of “Tahiti” limes treated with gibberellic acid. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 22, n. 3, p. 345–348, 2000.

STUCHI, E. S.; LIMA, F. L. Lima Ácida ‘Tahiti’. **Boletim Citrícola**, v. 6, p. 35, 1998.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Porto Alegre Artmed, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiología Vegetal**. Porto Alegre: Porto Alegre Artmed, 2004.

YAMAUCHI, N. et al. Chlorophyll degradation in Wase satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) fruit with on-tree maturation and ethylene treatment. **Scientia Horticulturae**, v. 71, n. 1–2, p. 35–42, 1997.

3. CONCENTRAÇÃO MÍNIMA DE ETILENO PARA O DESVERDECIMENTO DA LIMA ÁCIDA ‘TAHITI’

Resumo

A lima ácida ‘Tahiti’, como cultura de importância no Brasil, demanda que o manejo na colheita e pós-colheita seja orientado a fornecer condições propícias para manter a qualidade do produto pelo maior tempo possível. Um dos atributos de importância é a coloração verde, a qual foi avaliada nesse trabalho durante o armazenamento de frutos sob concentrações de etileno, visando determinar a concentração mínima necessária para ativar a mudança de cor de verde para amarelo. Foram realizados dois experimentos: a) no primeiro experimento foram estabelecidos quatro tratamentos: 0 (controle), 3, 6 e 12 $\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno, utilizando frutos beneficiados provenientes de uma casa de embalagem, mas sem tratamento com ácido giberélico (padrão para o mercado brasileiro), selecionados e armazenados por 18 dias a $22 \pm 2^\circ\text{C}$ e $85 \pm 5\%$ de umidade relativa (UR). Avaliaram-se as variáveis perda de massa fresca e coloração (utilizando o colorímetro). Observou-se que o desverdecimento foi maior e mais acelerado a partir do dia 10 com a aplicação de 3 $\mu\text{L L}^{-1}$ ou mais de etileno e baixa perda de massa fresca; b) no segundo experimento foram utilizados frutos completamente beneficiados com ácido giberélico (padrão de exportação). Assim, estabeleceram-se seis tratamentos: 0 (controle), 1, 2, 3, 6 e 12 $\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno, foram armazenados por 21 dias a $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $85 \pm 5\%$ UR, nos quais foi avaliada a perda de massa fresca, coloração (utilizando o colorímetro), coloração por nota de cor (visual). Também foi realizada a caracterização físico-química no início e final do experimento, avaliando sólidos solúveis, acidez titulável, ácido ascórbico e rendimento do suco. Os resultados mostraram baixo desverdecimento na determinação pelo colorímetro, que foi mais perceptível na análise sensorial para concentrações de 3 $\mu\text{L L}^{-1}$ ou mais. Isso devido provavelmente ao efeito antagônico à ação do etileno, causado pelo beneficiamento com ácido giberélico, pouca perda de massa fresca e maior perda de ácido ascórbico em frutos armazenados com mais de 1 $\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno. A perda da coloração como atributo de grande importância pode significar o aceite ou rejeite do produto pelo consumidor. Sobre esse contexto é de grande importância evitar acumulação e exposição parcial ou prolongada dos frutos ao etileno durante o armazenamento e transporte aos mercados, e aplicar o beneficiamento completo, incluindo principalmente a aplicação de ácido giberélico.

Palavras-chave: *Citrus latifolia* Tanaka; Pós-colheita; Citros; Beneficiamento; Amarelecimento

Abstract

The Tahiti acid lime, as a culture of importance in Brazil, demands management in the harvest and post-harvest procedures to be oriented to provide the conditions necessary to maintain the quality of the product for the longest possible time. One of the attributes of importance is the green coloring, which was evaluated in this work during the storage of fruits under ethylene concentrations, in order to determine the minimum concentration necessary to activate the color change from green to yellow. Two experiments were performed: a) in the first experiment four treatments were established: 0 (control), 3, 6 and 12 $\mu\text{L L}^{-1}$ of ethylene, using fruits benefited in a packing house, but without treatment with gibberellic acid (standard for the brazilian market), selected and stored for 18 days at $22 \pm 2^\circ\text{C}$ and $85 \pm 5\%$ relative humidity (RH). The variables evaluated were fresh mass loss and coloring (using the

colorimeter). Was observed that the de-greening was higher and more accelerated from day 10 with the application of 3 $\mu\text{L L}^{-1}$ or more of ethylene and low fresh mass loss; b) in the second experiment were used fruits completely benefited with gibberellic acid (standard for exportation). Thus, six treatments were established: 0 (control), 1, 2, 3, 6 and 12 $\mu\text{L L}^{-1}$ of ethylene, which were stored for 21 days at $25 \pm 2^\circ \text{C}$ and $85 \pm 5\% \text{RH}$, in which it was evaluated the fresh mass loss, coloring (using the colorimeter) and the coloring by rating of color (visual). A physical-chemical characterization was also performed at the beginning and end of the experiment, evaluating soluble solids, titratable acidity, ascorbic acid and juice yield. The results show low de-greening in the determination by the colorimeter, which was more perceptible in the sensorial analysis for concentrations of 3 $\mu\text{L L}^{-1}$ or more, probably due to the antagonistic effect to the action of ethylene that is caused by the treatment with gibberellic acid; it was observed a low fresh mass loss and greater loss of ascorbic acid in fruits stored with more than 1 $\mu\text{L L}^{-1}$ of ethylene. The loss of coloring represents a very important attribute that may result in the acceptance or rejection of the product by the consumer. In this context, it is of great importance to avoid an accumulation and partial or prolonged exposure of the product to ethylene during storage and transportation to the market, as well as an adequate and complete processing of the fruits, including mainly the application of gibberellic acid.

Keywords: *Citrus latifolia* Tanaka; Processing; Post-harvest; Citrus fruit; Yellowing

3.1. Introdução

As tecnologias utilizadas em pós-colheita de citros devem estar focadas na conservação dos atributos de qualidade importantes. Com os tratamentos pós-colheita os frutos serão mais atraentes no mercado (NASCIMENTO; KLUGE; AGUILA, 2014). Na lima ácida ‘Tahiti’ existem características de importância estética, como a coloração da casca, a qual pode ser severamente afetada devido às condições de armazenamento não apropriadas, que podem acarretar em acúmulo de etileno, sendo prejudicial para prolongar a qualidade dos frutos.

A presença do etileno tem sido apontada como principal causa da mudança de cor da lima ácida ‘Tahiti’, embora seja classificada como um fruto não climatérico e com produção baixa desse hormônio. Mesmo produzindo baixas quantidades, concentrações significativas do hormônio podem ser acumuladas nas câmaras frias durante o armazenamento (LADANIYA, 2008).

O processo de amarelecimento nos citros, em nível celular, ocasionado inicialmente pela ação do etileno tem sido estudado por autores como (JACOMINO; MENDONÇA; KLUGE, 2003), que ao trabalharem com limão ‘Siciliano’ aferiram maior mudança da cor da casca de verde para amarela utilizando a dose de 6 $\mu\text{L L}^{-1}$.

A preferência dos mercados quanto a citros como a laranja valência e o limão ‘Siciliano’ cria a necessidade de aplicar etileno exógeno. Isto promove a mudança da cor, que

passa de verde para amarela ou laranja (JACOMINO; MENDONÇA; KLUGE, 2003). É aplicado em concentrações de 1-5 $\mu\text{L L}^{-1}$ para promover a quebra da clorofila (RITENOUR; WARDOWSKI; MILLER, 1999).

A mudança da coloração de verde para amarela na lima ácida ‘Tahiti’ não é desejável devido a que o mercado prefere frutos de coloração verde intensa. Em adição, as pesquisas ainda não têm sido focadas na determinação da concentração de etileno necessária para iniciar o desverdecimento dos frutos.

Esse experimento tem por objetivo a aplicação exógena de diferentes concentrações de etileno em frutos beneficiados. Assim, conhecendo o nível mínimo para ativar os processos de perda da coloração verde na casca, possam se desenvolver técnicas para evitar atingir ou ultrapassar esse nível durante o armazenamento.

3.2. Material e métodos – Experimento 1

3.2.1. Coleta dos frutos

Foram coletados frutos com padrão para o mercado interno, beneficiados sem a aplicação de ácido giberélico (GA) - provenientes do final da linha de beneficiamento de um pomar comercial estabelecido no município de Mogi Mirim-SP. Foram selecionados frutos com características padrão com diâmetro transversal aproximado de 50 - 60 mm, cor verde escuro a verde, com cálice em bom estado, casca com nível mínimo de injúrias mecânicas ou manchas. Esses frutos foram transportados por 105 km para o Laboratório de Pós-colheita de Produtos Hortícolas (LPV-ESALQ-USP) em Piracicaba, estado de São Paulo.

3.2.2. Seleção e estabelecimento dos tratamentos

Após o transporte, foi realizada uma segunda seleção, na qual foram escolhidos frutos quanto ao tamanho e coloração uniforme. Foram descartados frutos que apresentaram distúrbios como ausência de cálice, mais de 0,5 cm^2 de diâmetro de oleocelose e qualquer tipo de manchas por injúrias mecânicas. Se estabeleceu o experimento com quatro tratamentos com oito repetições de um fruto.

Os tratamentos foram 0, 3, 6 e 12 $\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno. Cada um deles foi mantido dentro de uma câmara fechada hermeticamente. A modificação da atmosfera interna da câmara foi

estabelecida mediante o uso do gás Etil-5 (95% de nitrogênio e 5% de etileno) da empresa White Martins Gases Industriais, utilizando seringa de plástico com capacidade de 1 mL para injetar o gás por meio de um septo adaptado na superfície de cada câmara. Com base no volume de ar interno de cada câmara (186 L) foi calculada a dose de gás Etil-5 a injetar para a obtenção das concentrações desejadas.

A composição gasosa (etileno e CO₂) dentro de cada tratamento foi monitorada diariamente durante todo o experimento. Foi utilizado hidróxido de cálcio (CaOH) como agente absorvente de CO₂, já que uma alta concentração desse gás inibe a ação do etileno.

A umidade relativa dentro de cada câmara foi estabelecida por meio de bandejas contendo 1 L de água, sendo monitorada utilizando um termo higrógrafo digital. Todas as câmaras contendo os tratamentos foram mantidas dentro de uma câmara maior a 22 ± 2 °C, umidade relativa de $85 \pm 5\%$. A duração do experimento foi de 18 dias, e as análises realizadas foram perda de massa fresca e coloração da casca medida por colorímetro aos 3, 6, 10, 12 e 18 dias.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com esquema fatorial (tratamento x dia de análise). Os resultados foram submetidos à análise de variância e teste de comparação de médias Tukey a 5% de significância, utilizando o software SISVAR.

3.3. Material e métodos – Experimento 2

3.3.1. Coleta e seleção dos frutos

Frutos com padrão de exportação (beneficiados completamente incluindo a aplicação de GA), provenientes do final da linha de beneficiamento de um pomar comercial no Município de Mogi Mirim-SP, foram transportados para o Laboratório de Pós-colheita de Produtos Hortícolas (LPV-ESALQ-USP) em Piracicaba, estado de São Paulo.

Procedeu-se o descarte de frutos sem presença de cálice, com injúrias mecânicas e manchas de qualquer tipo em sua superfície. Foram utilizados frutos com padrão de qualidade externa para o mercado de exportação (diâmetro da região equatorial aproximado de 45 - 50 mm, cor verde escuro uniforme, com cálice em bom estado, casca sem injúrias mecânicas e sem manchas de qualquer tipo).

3.3.2. Seleção e estabelecimento dos tratamentos

Foi realizada de maneira similar ao experimento 1, mas com duração de 21 dias. Foram estabelecidos seis tratamentos e quatro repetições de 12 frutos cada uma. Os tratamentos foram: 0, 1, 2, 3, 6, e 12 $\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno.

Todas as câmaras contendo os tratamentos foram mantidas em uma câmara maior a $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $85 \pm 5\%$.

Foram realizadas as análises de perda de massa fresca a cada 2-3 dias, coloração medida por colorímetro (no início e final do experimento), coloração por nota de cor nos dias 0, 15, 18 e 21. Foi realizada uma caracterização físico-química no início e no final do experimento, avaliando sólidos solúveis, acidez total titulável, ácido ascórbico e rendimento do suco.

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado com esquema fatorial (tratamento x dia de análise). Os resultados foram submetidos à análise de variância e teste de comparação de médias Tukey a 5% de significância, utilizando o software SISVAR.

3.4. Metodologias das análises realizadas

As análises dos experimentos 1 e 2 foram realizadas utilizando as seguintes metodologias:

- 3.4.1- Monitoramento das concentrações de etileno e CO_2 : em cada tratamento foi realizado diariamente, por cromatografia gasosa, utilizando um cromatógrafo a gás marca Thermo Science, modelo GC Trace 2000, serie 22027564. O procedimento foi realizado utilizando uma seringa de 1 mL para tomar amostras da composição gasosa da atmosfera interna de cada tratamento contido na câmara. Foram monitoradas diariamente as concentrações e, em função do valor medido, foi injetado mais gás Etil-5 para manter a concentração desejada em função do tratamento estabelecido. No tratamento com 0 $\mu\text{L L}^{-1}$ (controle) foi utilizado permanganato de potássio como agente absorvente de etileno para manter o ambiente livre desse gás.
- 3.4.2- Perda de massa fresca: foi mensurada percentualmente com base na diferença entre a massa inicial dos frutos e a massa em cada dia de análise, mediante o uso de uma balança marca Tecnal, modelo B-TEC-4100.
- 3.4.3- Coloração (colorímetro): determinada com colorímetro marca Minolta modelo CR300. Foram realizadas duas leituras na região equatorial de cada fruto. Os parâmetros de

coloração mensurados foram ângulo hue ($^{\circ}$ Hue), que expressa a coloração com base numa escala que varia de 0° a 360° , o índice de coloração (IC) com escala de -20 a +20, indicando que quanto menor o valor de IC, maior coloração verde tem uma amostra (JIMENEZ-CUESTA; CUQUERELLA CAYUELA; MARTINEZ-JAVEGA, 1983), foi calculado com base na formula $IC = 1000 \times a/(L \times b)$, parâmetro (b^*) que varia em escala de -60 (azul) a +60 (amarelo), e o parâmetro (a^*) que varia entre +60 para a coloração vermelha a -60 para o verde.

3.4.4- Avaliação visual de coloração: foi realizada uma avaliação visual por nota de cor, utilizando uma escala de coloração de 1 a 5, sendo 1 = verde escuro, 2 = verde, 3 = verde claro, 4 = verde amarelado, e 5 = amarelo. As notas 1 e 2 são as mais aceitadas nos mercados nacionais e internacionais (Figura 7).

Figura 7 - Escala de cores utilizadas para avaliação visual. Fonte: LPV - ESALQ 2017

O cálculo foi realizado ponderando cada uma das 5 notas de cor na escala da figura 7, na escala de 0 a 1, sendo 0; 0,2; 0,4; 0,7 e 1 para as notas 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente. Logo foi obtido o valor ponderado (V_p) dos frutos classificados em cada nota de cor, mediante a formula:

$V_p = ((\text{Numero de frutos classificados em cada nota de cor}) / (\text{Total de frutos da repetição})) \times \text{Ponderação dada a cada nota}$ Eq. 1

Finalmente o cálculo da porcentagem de desverdecimento (% Des.) se obteve com a somatória dos V_p dos frutos classificados em cada nota de cor, e o resultado multiplicado por 100 (Equação 2).

$$\% \text{ Des.} = V_{pf1} + V_{pf2} + V_{pf3} + V_{pf4} + V_{pf5} \times 100 \quad \text{Eq. 2}$$

3.4.5- Sólidos solúveis: amostras de suco de cada repetição foram extraídas e analisadas em duplicatas, utilizando um refratômetro digital marca Atago, modelo PR⁻¹01. O resultado foi expresso em graus brix (°Brix).

3.4.6- Acidez total titulável: cada amostra foi composta de 10 mL de água destilada e 90 mL de suco (relação 1/9). A medição foi realizada por titulação com hidróxido de sódio 1N utilizando uma bureta digital marca Jencons, modelo Digirate Pro, até atingir um pH de 8,1 (ponto de viragem da fenolftaleína). O cálculo foi realizado usando a fórmula:

$$\% \text{ de acidez} = \frac{\text{mL NaOH (N) (E)}}{10 (\text{massa em g da amostra})}$$

Onde “N” é a normalidade padrão do NaOH, “E” é o equivalente em grama do ácido predominante, “10” é o fator usado para se ter o valor em %.

3.4.7- Ácido ascórbico: método utilizado por Cunha et al. (2014). Cada amostra foi composta de 5 mL de suco e 25 mL de ácido oxálico. A análise foi baseada na titulação com 2,6 diclorofenol-indofenol sódio (DCFI), o qual reduz o ácido ascórbico da amostra. O cálculo foi realizado utilizando a fórmula:

$$\text{mg de ácido ascórbico por } 100 \text{ g de amostra} = \frac{\text{mL de DCFI (f)(100)}}{\text{massa da amostra}} \quad \text{Eq. 4}$$

Onde:

mL de DCFI = volume em mL de DCFI gasto na padronização da amostra

f = fator de correção obtido pela padronização do ácido ascórbico em ácido oxálico

100 = fator usado para ter a quantidade de ácido ascórbico em gramas/100 gramas de amostra.

3.4.8- Rendimento do suco: foram pesados todos os frutos de cada repetição e, em seguida, extraiu-se o suco dos mesmos e pesou-se em balança Gehara BG-2000. Foi calculada a relação percentual do peso do suco em relação ao peso dos frutos. O resultado foi expresso em % de suco.

3.5. Resultados e Discussão – Experimento 1

3.5.1. Perda de Massa Fresca

A maior perda de massa fresca no final do experimento foi verificada no tratamento com 0 $\mu\text{L L}^{-1}$, seguido pelos tratamentos armazenados com 12, 6 e 3 $\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno, havendo diferença significativa entre cada tratamento (Figura 8).

O tratamento com $0 \mu\text{L L}^{-1}$ atingiu 1,6% de perda de massa fresca no final do experimento e o tratamento armazenado com $3 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno alcançou 0,99%. Embora fosse esperado dentre estes dois a maior respiração no tratamento armazenado com $3 \mu\text{L L}^{-1}$, a diferença significativa no final do experimento com variação de 0,99% a 1,6%, representa uma percentagem baixa. Existem fatores que podem ter influenciado, tais como a capacidade de troca gasosa dos estômatos em função do estado fisiológico dos frutos, danos na colheita, incidência de podridões e queda do cálice.

Figura 8 - Perda de massa fresca em frutos de lima ácida 'Tahiti', armazenados durante 18 dias sob diferentes concentrações de etileno a $22 \pm 2^\circ\text{C}$ e $85 \pm 5\%$ UR. Letras maiúsculas iguais não diferem entre si, segundo teste Tukey a 5% ($0,05 < p$).

3.5.2. Coloração ($^{\circ}\text{Hue}$)

As doses de etileno utilizadas induziram mudanças na coloração da casca dos frutos de verde para amarelo. Isto foi explicado por Ladaniya (2008), que indicou a ação do etileno na clorofila na casca dos citros, acelerando o desverdecimento, e sendo afetado por fatores como a temperatura e o tempo de armazenamento.

O tratamento de $3 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno foi efetivo para induzir o desverdecimento na casca dos frutos, não obstante, foi semelhante ao tratamento com $0 \mu\text{L L}^{-1}$, mesmo apresentando a menor redução do ângulo hue dentre os tratamentos aplicados (Figura 9). Também os tratamentos de 6 e $12 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno induziram o desverdecimento, sendo iguais ao tratamento de $3 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno (Figura 9). Jacomino; Mendonça; Kluge (2003) trabalhando com limão 'Siciliano' também reportaram que a concentração de etileno de $6 \mu\text{L}$

L^{-1} foi eficiente para induzir a mudança da cor na casca de verde para amarelo, a qual é acelerada a partir de $3 \mu L L^{-1}$.

Figura 9 - Coloração (Ângulo Hue) em frutos de lima ácida ‘Tahiti’ armazenados durante 18 dias a $22 \pm 2^\circ C$ e $85 \pm 2\%$. Barras com a mesma letra maiúscula entre tratamentos no dia, e minúscula no mesmo tratamento em diferentes dias, não diferem entre si, segundo teste Tukey a 5 % ($0,05 < f$).

3.5.3. Coloração (b^*)

Foi notório o efeito da aplicação das doses de etileno na coloração dos frutos em função da avaliação do parâmetro b^* , mas em contraste com o ângulo hue, foi observada diferença significativa em todos os tratamentos em relação ao tratamento armazenado com $0 \mu L L^{-1}$ de etileno a partir do dia 12.

Nos tratamentos armazenados com 6 e $12 \mu L L^{-1}$ de etileno foi observada aceleração no desverdecimento a partir do dia 10, o mesmo efeito foi observado para o tratamento com $3 \mu L L^{-1}$ a partir do dia 12, sendo esse tratamento significativamente diferente do tratamento armazenado com $0 \mu L L^{-1}$ (Figura 10).

Figura 10 Coloração (Parâmetro b^*) em frutos de lima ácida ‘Tahiti’ armazenados durante 18 dias a 22 ± 2 °C e $85 \pm 2\%$. Barras com a mesma letra maiúscula entre tratamentos no dia, e minúscula no mesmo tratamento em diferentes dias, não diferem entre si, segundo teste Tukey a 5% ($P < 0,05$).

3.5.4. Coloração (Índice de cor)

Esse parâmetro mostrou que houve interação entre as doses de etileno e o tempo de armazenamento. Nos tratamentos de 6 e $12 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno o índice de cor apresentou-se igual ao observado no ângulo hue e o parâmetro b^* , com tendência a acelerar o desverdecimento a partir dos dias 10 e 12.

No caso dos frutos armazenados com $3 \mu\text{L L}^{-1}$ também houve desverdecimento, embora tenha ocorrido mais lentamente (Tabela 3). Considerando que o etileno tem atividade biológica ativa em baixas concentrações (ABELES; MORGAN; SALTVEIT, 1994), surge que é possível que o nível mínimo para iniciar o desverdecimento em lima ácida ‘Tahiti’ se encontre na faixa dentre 0 e $3 \mu\text{L L}^{-1}$.

Tabela 3. Coloração (índice de cor) em frutos de lima ácida ‘Tahiti’ armazenados por 18 dias sob diferentes concentrações de etileno a 22 ± 2 °C e $85 \pm 5\%$ UR.

Doses de etileno	Dias em armazenamento												DMS filas
	0		3		6		10		12		18		
0 µL L ⁻¹	-8,92	A a	-8,08	A a	-8,47	A a	-8,18	A a	-8,09	A a	-7,86	A a	1,41
3 µL L ⁻¹	-8,92	A a	-8,17	A a	-8,18	A a	-7,94	A a	-7,55	AB ab	-6,39	B b	
6 µL L ⁻¹	-8,92	A a	-8,47	A ab	-8,10	A ab	-7,36	A bc	-6,57	B cd	-5,75	B d	
12 µL L ⁻¹	-8,92	A a	-8,45	A a	-7,88	A ab	-7,57	A ab	-6,97	AB bc	-5,61	B c	

CV (%) Dia: ⁻¹4,65

DMS colunas: 1,28

CV (%) Etileno: ⁻¹2,67

Médias com a mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si, segundo teste Tukey a 5% ($P < 0,05$). CV(%): Coeficiente de variação. DMS: Diferença mínima significativa.

No final do experimento notou-se que o tratamento com etileno a $3 \mu\text{L L}^{-1}$ apresentou desverdecimento intermediário entre o tratamento armazenado com $0 \mu\text{L L}^{-1}$ e o tratamento de $6 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno nos três parâmetros de coloração avaliados ($^{\circ}\text{Hue}$, b^* e Índice de cor), sendo apenas diferente estatisticamente em relação ao tratamento com $0 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno no ângulo hue, (Figura 11).

Tais resultados podem ser indicativo para inferir que até $3 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno poderia ser encontrado o nível mínimo necessário para ativar a mudança de cor de verde para amarelo na casca de frutos de lima acida ‘Tahiti’ com padrão para o consumo nacional, e que concentrações maiores causariam um desverdecimento mais acelerado. Tais resultados são semelhantes aos obtidos por Jahn (1973), que indicou maior efetividade a concentrações dentre 5 a $10 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno com um tempo de exposição de 72 a 96 horas.

Os resultados no dia final do experimento mostram índices de cor de -7,86; -6,39; -5,75 e -5,61 para os tratamentos de 0, 3, 6 e $12 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno, sendo maiores e muito próximos para as concentrações de 6 e $12 \mu\text{L L}^{-1}$. De acordo com Carvalho et al. (2006) o desverdecimento de tangerinas ‘Oronules’ com $5 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno foi mais elevado de acordo ao tempo de exposição.

Também Jahn (1973) explicou que o desverdecimento mediante o uso do ethephon é dependente não só da concentração utilizada, senão também da variedade e temperatura de manuseio dos frutos. O ethephon libera etileno ao contato com a fruta (JOMORI, 2011), sendo que nos citros ocasiona a formação do etileno, com a consequente degradação da clorofila e síntese de carotenoides (CASAS; LLÁCER, 1989). Nesta pesquisa o etileno foi aplicado diretamente nos frutos, e o etileno exógeno nos frutos cítricos resulta na remoção da cor verde (TAIZ et al., 2017), sendo de verde para amarelo na lima ácida ‘Tahiti’.

Figura 11 - Coloração de frutos de lima ácida ‘Tahiti’ armazenados durante 21 dias sob concentrações de etileno (0, 3, 6 e 12 $\mu\text{L L}^{-1}$) a 22 ± 2 °C e $85 \pm 2\%$ UR.

3.6. Resultados e discussão – Experimento 2

3.6.1. Perda de Massa Fresca

Todos os tratamentos tiveram um comportamento similar, fato que indica que as doses de etileno não afetaram significativamente esse parâmetro.

Desde o início e ao longo do experimento todos os tratamentos foram iguais estatisticamente, a única diferença foi encontrada entre os tratamentos armazenados com 1 e 3 $\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno, no dia final do armazenamento. Poderia se inferir que as concentrações de etileno utilizadas não influenciaram na perda de massa fresca dos frutos.

No final do experimento o tratamento armazenado com 1 $\mu\text{L L}^{-1}$ teve uma perda acumulada de massa fresca de 4,92%, enquanto que no tratamento armazenado com 3 $\mu\text{L L}^{-1}$ foi de 3,90%, sendo que a variação entre estes foi de 1,2%. Tais porcentagens de perda de massa fresca não representaram uma variação importante na qualidade das frutas (Figura 12).

Figura 12 - Perda de massa fresca em frutos de lima ácida ‘Tahiti’ armazenados durante 21 dias sob diferentes concentrações de etileno a 25 ± 2 °C, $85 \pm 2\%$ UR.

Resultados similares observaram Jacomino; Mendonça; Kluge (2003) ao aplicar 0, 3, 6 e $12 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno em limão ‘Siciliano’ e não ter encontrado efeito das concentrações sobre a perda de massa fresca dos frutos.

3.6.2. Coloração ($^{\circ}\text{HUE}$)

Houve redução no ângulo hue de todos os tratamentos estudados, respectivamente 0, 1, 2, 3, 6 e $12 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno. O tratamento submetido a $0 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno apresentou o valor de ângulo hue de 113,99, e o menor valor foi de 113,01 no tratamento submetido a $12 \mu\text{L L}^{-1}$, no dia final do experimento. Estes valores mostraram variação de 0,98 entre os tratamentos, a qual é baixa no sentido prático para esse parâmetro de coloração.

Os frutos armazenados com $12 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno foram diferentes em relação aos armazenados com 0, 1, 2 e $3 \mu\text{L L}^{-1}$. Em adição, o tratamento de $6 \mu\text{L L}^{-1}$ não diferiu dos demais tratamentos (Figura 13).

Figura 13 - Coloração (Ângulo Hue) em frutos de lima ácida 'Tahiti' armazenados durante 21 dias sob diferentes concentrações de etileno, a 25 ± 2 °C e $85 \pm 2\%$ UR. Barras com a mesma letra maiúscula entre tratamentos no dia, e minúscula no mesmo tratamento em difentes dias, não diferem entre si, segundo teste Tukey a 5% ($P < 0,05$).

Esses resultados podem ter sido devido ao mascaramento causado pela aplicação de ácido giberélico (GA) durante o beneficiamento. Barros; Rodrigues; Pedras (1991) reportaram o retardamento no desverdecimento em frutos de lima ácida 'Tahiti' com a aplicação de ácido giberélico (GA) na concentração de 40 mg L^{-1} .

O fato de que os frutos do tratamento com 12 µL L^{-1} , mesmo tratados com ácido giberélico (GA), desverdeceram mais do que os demais, concorda as recomendações de Porat (2008) à concentração de etileno entre 5 e 10 µL L^{-1} para desverdecimento, dependendo da variedade em questão.

3.6.3. Coloração por Nota de cor

Observou-se que quanto maior a concentração de etileno aplicada, maior foi a tendência ao desverdecimento ao longo do tempo (Figura 14). O gradiente de cor de verde para amarelo na coloração ao longo do tempo observado foi mais notório nos frutos armazenados com 3, 6 e 12 µL L^{-1} de etileno.

Figura 14 - Desverdecimento por nota de cor da casca de frutos de lima ácida 'Tahiti' armazenados durante 21 dias a 25 ± 2 °C, $85 \pm 2\%$ de UR. No eixo 'Y' a escala em porcentagem de frutos, no eixo 'X' os tratamentos aplicados e os dias de análise.

O tratamento com $0 \mu\text{L L}^{-1}$ diferiu significativamente do tratamento de $12 \mu\text{L L}^{-1}$ ao final do experimento. Entretanto, os tratamentos armazenados com 0, 1 e $2 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno foram semelhantes, diferindo apenas dos tratamentos de 3, 6 e $12 \mu\text{L L}^{-1}$ (Tabela 4). Isto foi observado também no ângulo $^{\circ}\text{hue}$ no experimento 1, onde os tratamentos a partir de $3 \mu\text{L L}^{-1}$ diferiram do tratamento com $0 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno (Tabela 1, figura 11). Esse fato indica que o etileno em concentrações menores de $2 \mu\text{L L}^{-1}$ exerceu menor efeito na mudança da cor de verde para amarelo nos frutos.

Tabela 4. Desverdecimento (%) em frutos de lima ácida 'Tahiti' armazenados por 21 dias sob diferentes concentrações de etileno a 25 ± 2 °C e $85 \pm 5\%$ UR.

Tratamentos	Dias em armazenamento								DMS filas
	0		15		18		21		
0 µL L ⁻¹	12,50	A a	34,58	A b	38,54	A bc	47,08	A c	10,42
1 µL L ⁻¹	12,50	A a	42,50	AB b	45,21	AB b	50,63	AB b	
2 µL L ⁻¹	12,50	A a	39,38	AB b	46,46	AB bc	55,00	AB c	
3 µL L ⁻¹	12,50	A a	46,46	B b	54,38	BC bc	58,54	ABC c	
6 µL L ⁻¹	12,50	A a	49,17	B b	56,67	BC bc	60,21	BC c	
12 µL L ⁻¹	12,50	A a	50,63	B b	61,04	C bc	69,38	C c	

CV Dias: 18,95

CV Etileno: 13,65

DMS colunas: 11,61

Médias com a mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si, segundo teste Tukey a 5% ($P < 0,05$). CV(%): Coeficiente de variação. DMS: Diferença mínima significativa.

No experimento 1 o tratamento com $3 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno diferiu do tratamento com $0 \mu\text{L L}^{-1}$ ao mostrar no final do experimento uma coloração amarela mais elevada. Em

contraste, no final do experimento 2 a coloração dos frutos armazenados com 1, 2 e 3 $\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno foi semelhante à coloração dos frutos do tratamento com 0 $\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno, devido provavelmente ao fato de esses frutos receberem tratamento com ácido giberélico no beneficiamento (Figura 15).

Com isto demonstrou-se o efeito do uso do ácido giberélico (GA) no beneficiamento dos frutos, para assegurar a coloração verde por um período maior. Porat et al. (2001) usando aplicações de até 100 $\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno, observaram um leve efeito no desverdecimento de frutos de Pomelo ‘Oroblanco’ tratados com ácido giberélico.

Figura 15 - Desverdecimento em porcentagem segundo nota de cor, em frutos de lima ácida ‘Tahiti’ armazenados durante 21 dias a 25 ± 2 °C e $85 \pm 2\%$ UR. Barras com a mesma letra maiúscula entre tratamentos no dia, e minúscula no mesmo tratamento em diferentes dias, não diferem entre si, segundo teste Tukey a 5% ($P < 0,05$).

Figura 16 - Desverdecimento de frutos de lima ácida ‘Tahiti’ armazenados durante 21 dias com diferentes concentrações de etileno a 25 ± 2 °C e $85 \pm 2\%$ UR.

3.6.4. *Rendimento do suco*

O etileno exógeno não promoveu efeito significativo no rendimento do suco entre os tratamentos, mas foi observada a tendência de aumento até o 50% de suco no final do experimento em todos os tratamentos. Isto indicou que os frutos coletados cumpriam o requerimento mínimo de 42% como conteúdo de suco para o mercado externo, segundo as normas da FAO (2005) (Tabela 5).

Tabela 5. Caracterização físico-química de frutos de lima ácida 'Tahiti' armazenados com diferentes concentrações de etileno.

¹ Unidade ($\mu\text{L L}^{-1}$)	Rendimento do Suco (%)					Acidez Titulável (%)				
	DIA 0		DIA 21			DIA 0		DIA 21		
0	51,38	A a	51,51	A a		5,95	A a	5,96	A a	
1	50,60	A a	52,20	A a		6,26	A a	6,00	A b	
2	48,62	A a	50,08	A a		6,21	A a	5,99	A a	
3	47,87	A a	50,59	A a		6,15	A a	6,04	A a	
6	47,05	A a	51,84	A b		6,19	A a	5,95	A a	
12	48,19	A a	51,13	A b		6,27	A a	5,93	A b	
CV (%): 4,07					DMS: 2,95	CV (%): 2,96				
¹ Unidade ($\mu\text{L L}^{-1}$)	Sólidos Solúveis (°Brix)					Ácido ascórbico (mg 100 g ⁻¹ amostra)				
	DIA 0		DIA 21			DIA 0		DIA 21		
0	8,06	A a	8,73	A b		29,77	A a	23,44	A b	
1	7,99	A a	8,45	A b		29,33	A a	23,49	A b	
2	8,01	A a	8,50	A b		28,56	A a	20,68	B b	
3	8,16	A a	8,33	A a		29,72	A a	20,03	B b	
6	8,33	A a	8,43	A a		27,56	AB a	20,15	B b	
12	8,18	A a	8,50	A b		25,61	B a	20,08	B b	
CV (%): 2,54					DMS: 0,30	CV (%): 4,76				
						DMS: 1,70				

As letras maiúsculas na mesma coluna comparam os tratamentos no dia. As letras minúsculas após dos números na mesma fila comparam o mesmo tratamento no dia 0 e 21. Comparação de medias segundo teste Tukey a 5% ($P < 0,05$).

3.6.5. Acidez Total Titulável

Não foi observada variação no tratamento com 0 $\mu\text{L L}^{-1}$, o que pode ter sido o resultado do armazenamento em ausência de etileno, mantendo-se os frutos com uma atividade respiratória mais baixa em relação aos outros tratamentos. Em consequência, isto pode ter induzido menor consumo do ácido cítrico na respiração. O ácido orgânico predominante nos citros é o cítrico, representando aproximadamente 80 a 85% da AT do fruto (MATTOS JUNIOR et al., 2005). Todos os tratamentos reduziram minimamente o conteúdo de acidez total. Na respiração das frutas os ácidos orgânicos são utilizados como substratos respiratórios, principalmente o cítrico e o málico, tendo a oxidação destes e a formação de ATP para sintetizar novos compostos (LADANIYA, 2008).

No final do armazenamento o tratamento com 1 $\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno apenas atingiu a diferença mínima (0,26) com relação ao dia 0. Isto representa uma diferença muito leve e sem importância comercial, a mesma pode ter sido influenciada pelo beneficiamento recebido na casa de embalagem e ao grau de maturidade dos frutos.

Nos tratamentos armazenados com 2, 3 e 6 $\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno não houve redução significativa da acidez titulável, o que concorda com os resultados de Jomori (2011), que não observou diferença nos teores de acidez titulável em tangor 'Murcott' e laranja 'Valência' desverdecidos mediante aplicações de ethephon. Em contrapartida Ladaniya; Singh, (2001) encontraram redução significativa ($p < 0,05$) do ácido ascórbico após do desverdecimento de laranjas doces 'Mosambi' com concentrações de etileno de $5^{-10} \mu\text{L L}^{-1}$.

A aplicação de etileno exógeno incrementa a respiração e produção de etileno, o que reflete num consumo dos ácidos orgânicos como substrato respiratório (EAKS, 1970). Em adição existe uma variação na resposta ao etileno que é influenciada pela espécie tratada, isto explica que existam autores reportando redução significativa ou baixa no conteúdo de acidez após desverdecimento de diferentes espécies de citros.

3.6.6. *Sólidos Solúveis*

No dia final do experimento não foi observada diferença entre os tratamentos com etileno. Tal comportamento foi observado também por Artes et al. (2000) e foi explicado devido à condição de serem frutos não climatéricos que, por consequência, não respondem significativamente na qualidade interna após o desverdecimento com etileno exógeno.

Hours; Ferreyra (2005) avaliaram componentes da qualidade interna de três variedades de laranja durante semanas de maturação na planta e igualmente reportaram poucas variações. Mattos Junior et al. (2005) indicaram também que durante o processo de maturação dos frutos, as variações na concentração de açúcares e ácidos induziram que o conteúdo de sólidos solúveis totais se mantivesse constante, ou que apenas mostrasse tendência gradual a aumentar.

3.6.7. *Ácido Ascórbico*

Houve interação significativa das doses de etileno usadas e os dias de armazenamento, sendo que no final do experimento a redução no conteúdo de ácido ascórbico foi maior nos frutos dos tratamentos armazenados com 2, 3, 6 e 12 $\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno e mais baixa nos frutos dos tratamentos com 1 e 2 $\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno.

Tais dados indicam que o armazenamento sob concentrações de etileno acima de 1 $\mu\text{L L}^{-1}$ podem induzir a oxidação do ácido ascórbico, em contrapartida, os frutos armazenados sob as concentrações de 0 e 1 $\mu\text{L L}^{-1}$ tiveram menor redução. A alta capacidade anti-oxidativa do suco dos citros, conferida pela presença do ácido ascórbico, foi reportada por (GARDNER et al., 2000). Após a colheita, com a respiração, ocorrem reações essenciais para manter as

funções vitais dos frutos, tais como a oxidação de ácidos orgânicos e carboidratos, o que resulta na produção de água, dióxido de carbono e energia química (CHITARRA; CHITARRA, 2005). O processo de oxidação do ácido ascórbico no suco dos citros tem sido explicado devido à ação catalisadora das enzimas ascorbato oxidase e ascorbato peroxidase (CHITARRA; CHITARRA, 2005; MDITSHWA et al., 2017; LADANIYA, 2008).

O processo endógeno de senescência que envolve a oxidação do ácido ascórbico foi reportado por Rivero; Ruiz; Romero (2004) que observou a maior perda do conteúdo de ácido ascórbico em tomate em frutos que estavam submetidos a temperaturas mais altas.

3.7. Conclusões

Concentrações de etileno de 3 $\mu\text{L L}^{-1}$ ou mais, são suficientes para iniciar o desverdecimento em frutos beneficiados sem a aplicação de ácido giberélico.

Para frutos beneficiados com ácido giberélico e com padrão de exportação, a concentração de etileno de entre 0 a 2 $\mu\text{L L}^{-1}$ não afeta significativamente a coloração verde nos 21 primeiros dias.

Frutos beneficiados com o sem ácido giberélico, expostos ao etileno, aceleram o desverdecimento mais notoriamente a partir do décimo dia de armazenamento.

A perda de massa fresca não é significativamente afetada após o desverdecimento com aplicações de etileno em concentrações de até 12 $\mu\text{L L}^{-1}$.

É de grande importância que se evite o acúmulo e a exposição parcial ou prolongada ao etileno durante o armazenamento e transporte da lima ácida ‘Tahiti’.

REFERÊNCIAS

- ARTÉS, F. et al. “Evolución de la calidad del limón, pomelo y naranja durante la desverdización”. **Rev Iberoamericana Tecnología Postcosecha**, v. 1, p. 71–79, 1 jan. 2000.
- BARROS, D. S. A.; RODRIGUES, J. D.; PEDRAS, J. R. Efeito do ácido giberélico e do uniconazole, na fisiologia pos-colheita do limão ‘Tahiti’ (*Citrus latifolia* Tanaka). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 13, n. 0100-2945, p. 223–226, 1991.
- CARVALHO, C. P. et al. Efecto del tratamiento de desverdización en la calidad de mandarinas ‘Oronules’ con vistas a la exportación a Japón. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, v. 7, n. 2, p. 104–108, 2006.

CASAS, A.; LLÁCER, J. El color de los frutos cítricos. Modificación del color mediante tratamientos pre-recolección. **Revista de Agroquímica y Tecnología de alimentos**, v. 29, n. 2, p. 173–190, 1989.

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

CUNHA, K. D. et al. Estabilidade de ácido ascórbico em sucos de frutas frescos sob diferentes formas de armazenamento Ascorbic acid stability in fresh fruit juice under different forms of storage. **Food Technology**, v. 17, n. 2, p. 139–145, 2014.

EAKS, I. L. Respiratory Response , Ethylene Production , and Response Ethylene of Citrus Fruit during Ontogeny. **Plant Physiology**, v. 45, p. 334–338, 1970.

FAO. **Norma para Lima y Limon (CODEX STAN 213⁻¹999)**, 2005. Disponível em: <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/fr/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCODEX%2BSTAN%2B213⁻¹999%252FCXS_213s.pdf>

GARDNER, P. T. et al. The relative contributions of vitamin C, carotenoids and phenolics to the antioxidant potential of fruit juices. **Food Chemistry**, v. 68, n. 4, p. 471–474, 1 mar. 2000.

HOURS, R. A.; FERREYRA, M. M. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de jugos de naranja destinados a vinificación. **Ciencia, docencia y Tecnología/Universidad Nacional de Entre Ríos Concepción.**, v. 2005, n. January, p. 219–239, 2005.

JACOMINO, A. P.; MENDONÇA, K.; KLUGE, R. A. Armazenamento refrigerado de limões “Siciliano” tratados com etileno. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 1, p. 45–48, 2003.

JAHN, O. L. Degreening citrus fruit with postharvest applications of (2-chloroethyl)phosphonic acid (ethephon). **American Society for Horticultural Science.**, v. May, n. 3, p. 230–233, 1973.

JIMENEZ-CUESTA, M.; CUQUERELLA CAYUELA, J.; MARTINEZ-JAVEGA, J. M. **Teoría y práctica de la desverdización de los cítricos**. Instituto ed. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1983.

JOMORI, M. Métodos de desverdecimento pós- colheita de tangor “Murcott” e laranja “Valência”. p. 138, 2011.

LADANIYA, M. S. **Citrus fruit biology, technology and evaluation.** (Academic Press, Ed.) **Citrus Fruit**, 2008. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/books/citrus-fruit/ladanyia/978-0-12-374130-1>>

LADANIYA, M.; SINGH, S. S. **Use of Ethylene Gas for Degreening of Sweet Orange (*Citrus sinensis* Osbeck) cv. Mosambi.** **Journal of Scientific and Industrial Research.**, 1 ago. 2001. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/279706605_Use_of_Ethylene_Gas_for_Degreening_of_Sweet_Orange_Citrus_sinensis_Osbeck_cv_Mosambi>

MATTOS JUNIOR, D. et al. **CITROS.** FAPESP Campinas, 2005. Disponível em: <<https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=15341&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22MATTOS JUNIOR, D. de.%22&qFacets=autoria:%22MATTOS JUNIOR, D. de.%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>>

MDITSHWA, A. et al. Postharvest factors affecting vitamin C content of citrus fruits: A review. **Scientia Horticulturae**, v. 218, p. 95–104, 14 abr. 2017.

NASCIMENTO, L. M.; KLUGE, R. A.; AGUILA, J. S. **Colheita e pós-colheita de citros.** São Paulo/Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://portais.unipampa.edu.br/dompedito/index.php?view=article&catid=1%3Anoticias-unipampa&id=700%3Apesquisa-sobre-colheita-e-pos-colheita-de-citros-e-tema-de-livro&option=com_content>

PORAT, R. et al. Gibberellic acid slows postharvest degreening of “Oroblanco” citrus fruits. **HortScience**, v. 36, n. 5, p. 937–940, 2001.

PORAT, R. Degreening of Citrus Fruit. In: **Tree and Forestry Science and Biotechnology.** Israel: Global Science Books, 2008. v. 2p. 71–76.

RITENOUR, M.; WARDOWSKI, W.; MILLER, B. Degreening Florida Citrus. **Packinghouse Newsletter**, v. 187, p. 4, 1999.

RIVERO, R. M.; RUIZ, J. M.; ROMERO, L. Oxidative metabolism in tomato plants subjected to heat stress. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 79, n. 4, p. 560–564, 7 jan. 2004.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Porto Alegre Artmed, 2017.

4. TRATAMENTO HIDROTÉRMICO PARA A CONSERVAÇÃO DA COLORAÇÃO VERDE DA LIMA ÁCIDA 'TAHITI'.

Resumo

A coloração da lima ácida 'Tahiti' é um atributo de grande importância que pode determinar a aceitação do consumidor. Por isso, é necessário desenvolver tecnologias visando manter a qualidade externa do fruto pelo maior tempo possível. Neste trabalho foi avaliado o tratamento hidrotérmico por imersão, seguido de um período de armazenamento em presença ou não de etileno durante 30 dias, visando retardar o desverdecimento dos frutos. Foi realizado um experimento com 6 tratamentos: controle sem etileno, frutos imersos 3 minutos a 50 ± 2 °C sem etileno, frutos imersos 5 minutos a 50 ± 2 °C sem etileno, controle + $3 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno, frutos imersos 3 minutos a 50 ± 2 °C + $3 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno, e 5 minutos a 50 ± 2 °C + $3 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno. Os tratamentos foram armazenados durante 30 dias a 25 ± 2 °C e $90 \pm 5\%$ de UR. Foram realizadas as análises de produção de etileno, atividade respiratória, perda de massa fresca, coloração avaliada com o colorímetro, coloração avaliada por nota de cor, sólidos solúveis, clorofila total, acidez titulável, ácido ascórbico e rendimento do suco. Os resultados da análise por nota de cor revelaram que o tratamento hidrotérmico por 5 minutos a 50 ± 2 °C e armazenamento sem etileno decorreu numa manutenção da coloração verde dos frutos, também os resultados de coloração baseados no ângulo hue revelaram que a cor verde foi mantida por mais tempo em frutos tratados a 50 ± 2 °C e armazenados sem etileno. A taxa respiratória e a perda de massa fresca foram reduzidas, o que decorreu em maior turgidez dos frutos.

Palavras-chave: *Citrus latifolia* Tanaka; Desverdecimento; Amarelecimento; Tratamento térmico; Beneficiamento; Pós-colheita, Citros

Abstract

The color of the acidic 'Tahiti' lime is an attribute of great importance that can determine the acceptance of the product by the consumer. Therefore, it is necessary to develop technologies aiming to maintain the external quality of the fruit for the longest time possible. In this work, the hydrothermal treatment by immersion was evaluated, followed by a storage period in the presence or absence of ethylene for 30 days, aiming to retard the fruit de-greening. An experiment was carried out with 6 treatments: control without ethylene, fruits immersed 3 minutes at 50 ± 2 °C without ethylene, fruits immersed 5 minutes at 50 ± 2 °C without ethylene, control + $3 \mu\text{L L}^{-1}$ ethylene, immersed fruits 3 minutes at 50 ± 2 °C + $3 \mu\text{L L}^{-1}$ ethylene, and 5 minutes at 50 ± 2 °C + $3 \mu\text{L L}^{-1}$ ethylene. Treatments were stored for 30 days at 25 ± 2 °C and $90 \pm 5\%$ RH. Analyses of ethylene production, respiratory activity, fresh mass loss, staining evaluated with colorimeter, staining evaluated by color note scale, soluble solids, total chlorophyll, titratable acidity, ascorbic acid and juice yield were performed. The results of the color scale analysis revealed that the hydrothermal treatment for 5 minutes at 50 ± 2 °C and ethylene-free storage took place in the maintenance of the green coloring of the fruits for a major time, also the result based on the colorimeter revealed that the green color was maintained for longer in fruits treated at 50 ± 2 °C and stored without ethylene. The respiratory rate and the fresh mass loss were reduced, which resulted in a greater turgidity of the fruits.

Keywords: *Citrus latifolia* Tanaka; De-greening; Yellowing; Thermic treatment; Processing; Post-harvest; Citrus fruit

4.1. Introdução

A lima ácida ‘Tahiti’ é uma fruta importante para o mercado nacional e internacional, na preparação de bebidas, para temperar alimentos ou com destino à indústria (PINTO; SOUSA; RAMOS, 2004). O Brasil exportou 96.632 toneladas de limas e limões no ano 2015 (TREICHEL, 2016). As limas são os únicos citros preferidos de cor verde (RODRIGO et al., 2013) e sua demanda nos mercados é afetada ao reduzir a aceitabilidade do consumidor devido às perdas de qualidade, principalmente, na mudança da coloração (MANFROI et al., 1996).

A mudança da coloração da casca dos citros é atribuída à presença de etileno (RODRIGO; ZACARIAS, 2007), induzindo a degradação das clorofilas e resultando na mudança da cor na casca de verde para amarela (ABELES; MORGAN; SALTVEIT, 1994; GOLDSCHMIDT; HUBERMAN; GOREN, 1993). A coloração amarela que se desenvolve na casca dos citros durante a maturação ocorre devido à síntese de carotenoides (MAYUONI et al., 2011; NASCIMENTO; KLUGE; AGUILA, 2014). Foram encontrados na casca da lima ácida ‘Tahiti’ em estágio maduro altos conteúdos de violaxantina e fiteno (MATSUMOTO et al., 2007).

Devido ao problema de desverdecimento da lima ácida ‘Tahiti’ após a colheita, foram testadas diferentes alternativas. Têm se observado a manutenção da cor verde em lima ácida ‘Tahiti’ e redução dos teores de etileno com o uso de permanganato de potássio em consorciação com filmes plásticos, e também após o tratamento com ácido giberélico a 20 mg L⁻¹ (CARON, 2009). A concentração de 10 mg L⁻¹ (JOMORI et al., 2003), e dentre 10 – 160 mg L⁻¹ (SPOSITO et al., 2000) também mostraram exercer o mesmo efeito. O GA bloqueia a ação do etileno, reduzindo a degradação da clorofila e a acumulação de carotenoides (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

É importante destacar que comercialmente o único tratamento utilizado nas casas de embalagem, visando conservar por mais tempo a coloração verde, é a aplicação de ácido giberélico. Contudo, embora os frutos recebam esse tratamento para prolongar a sua conservação no período pós-colheita, tem sido observada diminuição na qualidade desta fruta (BASSAN et al., 2015), fato pelo qual é necessário orientar as pesquisas para o desenvolvimento de técnicas sem o uso de químicos, e mais adequadas à saúde humana, o que

poderia melhorar a aceitabilidade da fruta, com o consequente incremento das oportunidades de expansão dos mercados atuais.

Uma alternativa promissora na conservação da qualidade dos frutos cítricos é o uso do calor, comumente aplicado mediante o tratamento térmico em água quente. A ação do uso do calor mediante o tratamento térmico em diversas frutas resulta na redução da taxa de produção de etileno (ATTA-ALY, 1992; JOMORI, 2005; KLEIN, 1989), por meio da interrupção da ação das enzimas catalizadoras ACC sintase e ACC oxidase na sua biossíntese - evitando a sinalização do etileno nos processos de amadurecimento, incluindo a mudança da coloração. Estudos indicam que a ACC sintase é menos sensível ao calor do que a ACC oxidase (ATTA-ALY, 1992; KLEIN, 1989). A ACC oxidase é a última a agir no processo de produção de etileno (ABELES; MORGAN; SALTVEIT, 1994; GAO et al., 1992; TATSUKI, 2010).

A redução da atividade da ACC oxidase foi observada com a exposição de frutos de mamão ao calor durante algumas horas a 42-46°C (PAULL; CHEN, 1990). O tratamento térmico em tomate causou a redução do mRNA da ACC oxidase nos frutos (LURIE et al., 1996). Foi observada redução na ocorrência de podridões e dos efeitos de temperaturas muito baixas durante o armazenamento (FALLIK, 2004; PORAT et al., 1999; SCHIRRA; MULAS, 1993).

Resultados do uso do tratamento hidrotérmico em brócolis (*Brassica oleracea* L.) mostraram que promoveu a manutenção da coloração verde (ANSORENA; MACOVICH; ROURA, 2011), sendo que com o tratamento térmico poderia se encontrar esse efeito no período pós-colheita da lima ácida ‘Tahiti’ e converter-se em uma técnica benéfica para prolongar a manutenção da coloração verde deste fruto.

Em limão galego, o tratamento hidrotérmico por imersão em água a 50 °C durante 5 minutos suprimiu a atividade das enzimas de degradação da clorofila, tais como clorofilase, peroxidase, Mg-dequelatase e feofitinase, sugerindo que essa inibição poderia estar envolvida no retardamento da degradação de clorofila em frutos armazenados, decorrente da redução na produção de etileno (KAEWSUKSAENG et al., 2015).

Diante da necessidade de estudar os fatores que interferem na mudança da coloração da lima ácida ‘Tahiti’, propõe-se com esse trabalho avaliar os efeitos do tratamento hidrotérmico nos frutos, visando sua utilização no processo de beneficiamento, como alternativa para retardar o desverdecimento.

4.2. Materiais e métodos

4.2.1. Colheita dos frutos

Os frutos foram colhidos manualmente em um pomar comercial no município de Mogi Mirim-SP, selecionando frutos com características padrão para exportação, com diâmetro transversal aproximado de 50 ± 5 mm, de cor verde escuro a verde, com cálice, casca sem injúrias mecânicas ou manchas de qualquer tipo. Os frutos foram colhidos por torção e colocados numa caixa coberta com espuma e entre cada camada, para diminuir o atrito dos frutos com a superfície da caixa e entre eles, transportados por 105 km para o Laboratório de Pós-Colheita de Plantas Hortícolas da ESALQ/USP em Piracicaba, estado de São Paulo.

4.2.2. Seleção e estabelecimento dos tratamentos

No Laboratório de Pós-Colheita de Plantas Hortícolas da ESALQ/USP foi realizada uma segunda seleção escolhendo frutos de tamanho e coloração uniformes, sem oleocelose, sem injúrias mecânicas e sem manchas.

O experimento foi composto de seis tratamentos com quatro repetições de doze frutos cada uma, tendo como objetivo testar se o tratamento hidrotérmico por imersão em água quente tem efeito na manutenção da cor verde em frutos armazenados. Foi aplicada a imersão em água a 50 ± 2 °C durante 3 ou 5 minutos em dois grupos de frutos, com o posterior armazenamento por 30 dias; um grupo em $3 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno e o outro grupo armazenado sem etileno. Assim, os tratamentos foram controle sem etileno, 3 minutos a 50 ± 2 °C sem etileno, 5 minutos a 50 ± 2 °C sem etileno, controle + $3 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno, 3 minutos a 50 ± 2 °C + $3 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno e 5 minutos a 50 ± 2 °C + $3 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno.

Cada tratamento com etileno foi estabelecido dentro de uma caixa fechada hermeticamente e mantido câmara 1, os tratamentos sem etileno foram armazenados câmara 2, separados estes dois grupos para evitar contaminação com etileno (Figura 17). As duas câmaras se mantiveram sob condições controladas de 22 ± 2 °C e umidade relativa de $90 \pm 5\%$. A umidade relativa nos tratamentos com etileno foi fornecida com bandejas contendo cada uma 1L de água. O monitoramento da umidade relativa foi feito utilizando um termo-higrômetro digital.

Figura 17 - Tratamentos estabelecidos durante o experimento. Armazenados a $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $90 \pm 5\%$ de umidade relativa durante 30 dias.

A concentração de etileno em cada tratamento foi estabelecida mediante o uso do gás Etil-5 (95% de nitrogênio e 5% de etileno) da empresa White Martins Gases Industriais, utilizando uma seringa de plástico com capacidade de 1 mL, injetando-se o gás por meio de um septo adaptado na superfície de cada caixa. Com base no volume de ar interno de cada caixa (186 L) foi calculada a dose de gás Etil-5 a injetar para a obtenção das concentrações desejadas.

O armazenamento foi realizado na ausência de luz para evitar interferência no mecanismo fotossintético na pigmentação verde da casca e, pela mesma razão, as análises não destrutivas foram realizadas em luz verde. Para evitar que o CO_2 acumulado pela respiração dos frutos pudesse interferir na ação do etileno aplicado foi utilizado CaOH (hidróxido de cálcio) como agente absorvente.

O experimento teve uma duração de 30 dias. A composição gasosa (etileno e CO_2) dentro de cada tratamento foi monitorada a cada dois dias durante todo o experimento. Foram realizadas análises de perda de massa fresca, produção de etileno, atividade respiratória com base na produção de CO_2 , coloração por colorímetro, coloração por nota de cor, rendimento do suco, sólidos solúveis, acidez total titulável, ácido ascórbico e conteúdo de clorofila total.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com esquema fatorial 3×2 (tratamento hidrotérmico x etileno). Os resultados foram submetidos à análise de variância e teste de comparação de médias de Tukey a 5% de significância, utilizando-se o software estatístico SISVAR.

4.3. Metodologias das análises realizadas

4.3.1. Produção de etileno, atividade respiratória (CO_2), e monitoramento das concentrações nos tratamentos: A produção de etileno e CO_2 foi avaliada por cromatografia gasosa, utilizando um cromatógrafo a gás marca Thermo Science, modelo Trace GC 2000 e uma seringa de 1 mL com a qual foram tomadas amostras de 1 mL da composição gasosa de cada tratamento. O monitoramento das concentrações de etileno e CO_2 foi realizado também por cromatografia gasosa. Foram tomadas amostras de 1 mL da composição gasosa da atmosfera interna de cada tratamento contido na caixa, a cada dois dias e, com base no valor medido, foi injetado mais gás Etil-5 para manter a concentração desejada em função do tratamento estabelecido.

4.3.2. Perda de massa fresca: mensurada percentualmente com base na diferença entre a massa inicial dos frutos e a massa em cada dia de análise, mediante o uso de uma balança marca Tecnal, modelo B-TEC-4100.

4.3.3. Coloração (colorímetro): determinada com colorímetro marca Minolta modelo CR300. Foi realizada uma leitura na região equatorial de cada fruto. Os parâmetros de coloração mensurados foram ângulo hue ($^\circ\text{Hue}$), que expressa a coloração com base numa escala que varia de 0° a 360° , com 0° , 90° , 180° e 360° , para as cores vermelho, amarelo, verde e azul, respectivamente; o índice de coloração (IC) com escala de -20 a +20, indicando que quanto menor o valor de IC, maior coloração verde tem uma amostra (JIMENEZ-CUESTA; CUQUERELLA CAYUELA; MARTINEZ-JAVEGA, 1983), o qual foi calculado com base na fórmula $\text{IC} = 1000 \times a / (L \times b)$, parâmetro (b^*) que varia em escala de -60 (azul) a +60 (amarelo), e o parâmetro (a^*) que varia entre +60 para a coloração vermelha a -60 para o verde.

4.3.4. Coloração por nota de cor: realizada por avaliação visual por nota de cor, utilizando uma escala de coloração de 1 a 5, sendo 1 = verde escuro, 2 = verde, 3 = verde claro, 4 = verde amarelado, e 5 = amarelo (Figura 18). As notas 1 e 2 são as mais aceitas nos mercados nacional e internacional segundo a Central de abastecimento de Campinas S.A, (2018); FAO, (2005).

Figura 18 - Escala de cores utilizadas para avaliação visual. Fonte: LPV - ESALQ

O cálculo em porcentagem realizado por ponderação de cada uma das 5 notas de cor da figura 18, na escala de 0 a 1, sendo 0; 0,2; 0,4; 0,7 e 1 para as notas 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente. Logo foi obtido o valor ponderado (V_p) dos frutos classificados em cada nota de cor, mediante a fórmula:

$$V_p = \left(\frac{\text{Numero de frutos clasificados em cada nota de cor}}{\text{Total de frutos da repetição}} \right) \text{Ponderação dada a cada nota} \quad \text{Eq. 1}$$

Finalmente o cálculo da porcentagem de desverdecimento (% *Des.*) foi obtido com a somatória dos V_p dos frutos classificados em cada nota de cor e o resultado multiplicado por 100 (Equação 2).

$$\% \text{ Des.} = (V_{pf1} + V_{pf2} + V_{pf3} + V_{pf4} + V_{pf5}) * 100 \quad \text{Eq. 2}$$

4.3.5. Sólidos solúveis: amostras de suco de cada repetição foram extraídas e analisadas em duplicatas, utilizando um refratômetro digital marca Atago, modelo PR-101. O resultado foi expresso em graus brix (°Brix).

4.3.6. Acidez total titulável: cada amostra foi composta de 10 mL de água destilada e 90 mL de suco (relação 1/9). A medição foi realizada por titulação com hidróxido de sódio 1N utilizando uma bureta digital marca Jencons, modelo Digirate Pro, até atingir um pH de 8,1 (ponto de viragem da fenolftaleína). O cálculo foi realizado usando a fórmula:

$$\% \text{ de acidez} = \frac{\text{mL NaOH (N) (E)}}{10 \text{ (massa em g da amostra)}} \quad \text{Eq.3}$$

Onde: “N” é a normalidade padrão do NaOH, “E” é o equivalente em grama do ácido predominante, “10” é o fator usado para se ter o valor em %.

4.3.7. Ácido ascórbico: foi utilizado o método da AOAC (Official methods of analysis Association) de Horwitz; Latimer, (2005). Cada amostra foi composta de 5 mL de suco e 25

mL de ácido oxálico. A análise foi baseada na titulação com 2,6 diclorofenol-indofenol sódio (DCFI), o qual reduz o ácido ascórbico da amostra. O cálculo foi realizado utilizando a fórmula:

$$\text{mg de ácido ascórbico por 100 g de amostra} = \frac{\text{mL de DCFI (f)}(100)}{\text{massa da amostra}} \quad \text{Eq. 4}$$

Onde: mL de DCFI é o volume gasto na padronização da amostra, f é o fator de correção obtido pela padronização do ácido ascórbico em ácido oxálico e 100 corresponde ao fator usado para ter a quantidade de ácido ascórbico em gramas/100 gramas de amostra.

4.3.8. Rendimento do suco: foram pesados todos os frutos de cada repetição e, em seguida, extraiu-se o suco dos mesmos e pesou-se em balança Gehara BG-2000. Foi calculado a % de suco com base na relação porcentual do peso do suco em relação ao peso dos frutos.

4.3.9. Clorofila total: foram extraídos os pigmentos com a metodologia utilizada por Manfro et al. (1996). Uma porção de 1 cm² do flavedo foi extraída de cada fruto de cada repetição, registrou-se o peso e foi mantido em repouso por 72 horas imerso em 10 mL de solução extratora de acetona 80% dentro de frascos cor âmbar a 4°C. Transcorridas 72 horas foram extraídos 3 mL da solução e foi medida a absorbância nos comprimentos de onda de 645 nm e 663 nm, utilizando um espectrofotometro marca Biochrom, modelo Libra 22. Esse procedimento foi realizado após as 72 horas em repouso utilizando luz verde no ambiente da análise para não afetar os pigmentos suspensos nas amostras. O cálculo da clorofila total foi realizado mediante a equação 5 (LICHTENTHALER, 1987) e o resultado foi dividido pela massa total em gramas da amostra, obtendo assim o valor expresso em mg g⁻¹.

$$\text{Cl total} = 7,15 A_{663} + 18,71 A_{645} \quad \text{Eq. 5}$$

Onde: A₆₄₅ = absorbância a 645 nm e A₆₆₃ = absorbância a 663 nm.

4.4. Resultados e Discussão

4.4.1. Produção de etileno

Não foi detectada produção de etileno até o dia 4 de armazenamento. Foi observado efeito significativo do tratamento com 3 $\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno nos frutos ao induzir maior produção de etileno em relação aos demais tratamentos durante todo o experimento, com uma variação que, em média, foi de 0,17 a 0,77 $\mu\text{L L}^{-1}$. Os frutos armazenados sem etileno mantiveram uma produção menor do que os frutos armazenados com etileno até o dia 16 (Tabela 6). A partir desse dia tiveram aumento gradual até o final do experimento, o que pode ter sido devido à temperatura de armazenamento (25 °C) e à incidência de podridões acompanhado da queda dos cálices. Para as limas ácidas *Citrus latifolia* Tanaka e *Citrus aurantifolia* Swingle a produção típica de etileno é de $<0,1 \mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ a 20 °C (GROSS; WANG; SALTVEIT, 2016).

Tabela 6. Produção de etileno em $\mu\text{L L Kg h}^{-1}$ em frutos de lima ácida ‘Tahiti’ tratados por imersão em água a 50 °C durante 3 ou 5 minutos, armazenados por 30 dias com e sem etileno a 25 ± 2 °C e $90 \pm 5\%$ UR

Etileno**	Tratamento Hidrotérmico*	Dias em armazenamento**								Médias gerais
		0	4	8	12	16	20	25	30	
0 $\mu\text{L L}^{-1}$	Controle	0,00 Aa	0,00 Aa	0,02 Aa	0,00 Aa	0,13 Aa	0,35 Aa	0,57 Aa	0,53 Aa	0,20 A
	3 min a 50 °C	0,00 Aa	0,00 Aa	0,01 Aa	0,00 Aa	0,12 Aa	0,38 Aa	0,42 Aa	0,42 Aa	0,17 A
	5 min a 50 °C	0,00 Aa	0,00 Aa	0,01 Aa	0,00 Aa	0,14 Aa	0,47 Aa	0,55 Aa	0,37 Aa	0,19 A
3 $\mu\text{L L}^{-1}$	Controle	0,00 Aa	0,00 Aa	0,25 Aab	0,29 Aab	0,79 Abc	0,73 Aabc	1,42 Abcd	1,82 Bd	0,66 B
	3 min a 50 °C	0,00 Aa	0,00 Aa	0,21 Aab	0,07 Aa	0,86 Abc	0,52 Aabc	1,13 Ac	1,29 Ac	0,51 A
	5 min a 50 °C	0,00 Aa	0,00 Aa	0,29 Aab	0,56 Aac	1,20 Acde	0,90 Abcd	1,76 Be	1,46 Abde	0,77 C
CV(%) Tratamento hidrotérmico: 65,61 CV(%) Etileno: 83,30										DMS: 0,092

Médias com a mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si, segundo teste de Tukey a 5% ($P < 0,05$).

O aumento na produção de etileno a partir do dia 16 (tabela 6) nos frutos armazenados com 3 $\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno é consistente com a aceleração no desverdecimento e o aumento na respiração (Figuras 19, 21 e 22), devido a lima ácida ‘Tahiti’ ser um fruto não climatérico e estes geralmente respondem ao etileno exógeno (PURVIS; BARMORE, 1981), induzindo o amadurecimento e a autocatálise (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

4.4.2. Atividade respiratória (CO_2)

A atividade respiratória foi mensurada com base na produção de CO_2 e foi observado efeito significativo do tratamento hidrotérmico. Demonstrou-se que a taxa respiratória foi

reduzida de maneira imediata no dia zero após do tratamento hidrotérmico por 3 e 5 minutos a 50°C nos frutos e assim foi mantida durante todo o período de armazenamento com e sem etileno, diferenciando dos controles (Figura 19).

Figura 19 - Atividade respiratória em frutos de lima ácida 'Tahiti' tratados por imersão em água a 50 °C durante 3 ou 5 minutos, armazenadas durante 30 dias com etileno e sem etileno a 25±2 °C e 90±5% UR. A – Frutos armazenados sem etileno, B – Frutos armazenados com 3 µL L⁻¹ de etileno. CV(%): Coeficiente de variação; DMS: Diferença mínima significativa. Médias com a mesma letra não diferem entre si, segundo teste de Tukey a 5% (P<0,05).

Ao longo do experimento a respiração nos tratamentos armazenados sem etileno foi constante, com uma variação de 6,57 a 11,69 mL kg h⁻¹ de CO₂ para os tratamentos de 5 min a 50 °C e o controle. Nos tratamentos armazenados com etileno a variação ao longo do experimento foi de 5,69 a 17,79 mL Kg h⁻¹ de CO₂ nos tratamentos de 5 min a 50°C e o controle, respectivamente. A maior atividade respiratória foi observada nos frutos armazenados com etileno, sendo o etileno exógeno estimulante da atividade respiratória (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

A redução na respiração dos frutos que receberam tratamento hidrotérmico possivelmente deve-se ao efeito na estrutura da cera epicuticular na casca. A aplicação de tratamentos térmicos em manga afeta a estrutura da cera epicuticular (JIMÉNEZ et al., 2009;

KOLATTUKUDY, 1996), o que oferece resistência à difusão dos gases e permeabilidade à água (KNOCHE et al., 2004). Na superfície de tangerinas, após do tratamento por imersão em água a 50-54°C por 3 minutos, encontrou-se na cera uma textura homogênea laminar e em frutos não tratados encontrou-se textura granular com rachaduras profundas (SCHIRRA; D'HALLEWIN, 1997). Segundo estes autores esse efeito nos frutos tratados melhora a integridade da membrana.

Em limão 'Galego' foi observada redução na atividade respiratória após o tratamento hidrotérmico por 5 minutos a 50 °C (KAEWSUKSAENG et al., 2015), e foi explicado que tal observação guarda relação com o conteúdo do ácido cítrico determinado na acidez titulável, o qual se manteve devido à redução da taxa respiratória. Em contraposição, nos resultados obtidos nessa pesquisa, não foi encontrado efeito significativo do tratamento hidrotérmico sobre a acidez titulável.

4.4.3. *Perda de massa fresca*

Ao longo do experimento foi observado efeito do tratamento hidrotérmico a 50 °C; os frutos tratados por 3 e 5 minutos mostraram ser diferentes, já que perderam menos massa fresca do que os não tratados. Esse efeito foi observado nos tratamentos armazenados sem etileno e com 3 $\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno, sendo que os frutos armazenados com etileno perderam em média, 57% a mais massa fresca (Figura 20).

Durante o armazenamento a presença de etileno exógeno causa acréscimo na taxa respiratória nos citros (LADANIYA, 2008) e durante a respiração ocorre perda de água (CHITARRA; CHITARRA, 2005), o que pode ter sido um fator que explica a perda de massa fresca nos frutos armazenados com etileno.

Nos tratamentos armazenados com etileno se observou diferença entre cada um, devido à menor perda de massa fresca naqueles tratados termicamente durante 3 e 5 minutos a 50°C. O efeito do tratamento hidrotérmico na redução da perda de massa fresca pode ser devido a modificação na permeabilidade da cera epicuticular, como foi descrito em mangas por Kolattukudy (1996), tornando-a mais resistente à difusão dos gases (KNOCHE et al., 2004). Também a perda de massa fresca em brócoli foi reduzida com tratamento térmico durante 1,5 minutos a 50°C (ANSORENA; MACOVICH; ROURA, 2011; PERINI et al., 2017).

Outro fator que contribuiu para menor perda de massa fresca nos frutos armazenados com etileno foi a alta perda do cálice observada, o que promoveu maior transpiração pelo ponto de inserção do pedúnculo, e por consequência maior perda de massa fresca devido ao déficit de pressão de vapor (DPV) entre a atmosfera interna do fruto e o ar da atmosfera externa. Aplicações de etileno exógeno incrementam a abscisão precoce do cálice (BARMORE; BROWN, 1985; LADANIYA, 2008).

Figura 20 - Perda de massa fresca em frutos de lima ácida ‘Tahiti’ tratados por imersão em água a 50 °C por 3 ou 5 minutos, armazenados durante 30 dias com 3 $\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno e sem etileno a 25 ± 2 °C e $90 \pm 5\%$ UR. A– Final do experimento, CV(%): Coeficiente de variação; DMS: Diferença mínima significativa B–Durante o experimento. Médias com a mesma letra não diferem entre si, segundo teste de Tukey a 5% ($P < 0,05$).

4.4.4. Coloração por colorímetro ($^{\circ}\text{HUE}$)

A coloração teve variação marcada a partir do dia 8 nos frutos armazenados com etileno, indicando que o tratamento hidrotérmico não teve efeito significativo na manutenção da coloração verde em frutos expostos a 3 $\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno. Já em frutos armazenados sem etileno, foi observado que o tratamento hidrotérmico de 5 minutos a 50 °C promoveu a manutenção da coloração verde em relação aos demais tratamentos (Figuras 21 e 23).

Em citros, o etileno exógeno afeta a qualidade dos frutos climatéricos e não climatéricos (SÁ et al., 2008), favorecendo a degradação da clorofila e a síntese de carotenoides nos citros, o que decorre na mudança de coloração da casca (NASCIMENTO; KLUGE; AGUILA, 2014; TAIZ; ZEIGER, 2004). Com o tratamento hidrotérmico foi demonstrado que o papel bioativo do etileno na mudança da coloração pode ser interrompido pelo efeito do calor em brócoli (ANSORENA; MACOVICH; ROURA, 2011; FUNAMOTO et al., 2002; LEMOINE et al., 2008; PERINI et al., 2017) e em tomate por Lu et al. (2010).

Figura 21 - Coloração (ângulo hue) em frutos de lima ácida ‘Tahiti’ tratados por imersão em água a 50 °C por 3 ou 5 minutos, armazenados durante 30 dias com 3 µL L-1 de etileno e sem etileno a 25±2 °C e 90±5% UR. Tratamentos com a mesma letra não diferem entre si (média do último dia), segundo teste de Tukey a 5% (P<0,05).

4.4.5. Coloração por nota de cor

O tratamento hidrotérmico por 5 minutos a 50 °C aplicado nos frutos armazenados sem etileno beneficiou a manutenção da coloração verde durante o armazenamento, segundo as avaliações de nota de cor, visto que, ao final do armazenamento esse tratamento foi diferente, apresentando 40,42 % de desverdecimento, e sendo menor em relação ao controle e ao tratamento de 3 minutos a 50 °C, os quais atingiram 50,84 e 55,21% de desverdecimento, respectivamente (Figura 22).

Neste caso, o tratamento auxiliou na manutenção da coloração verde, uma vez que reduz a degradação da clorofila, como observado em pesquisa realizada com Lima ácida ‘Galego’ (KAEWSUKSAENG et al., 2015). O mesmo efeito benéfico na retenção da coloração verde foi encontrado em brócolis (PERINI et al., 2017), e em tomate (LU et al., 2010). A retenção da coloração verde resulta importante para manter o valor comercial

(PRANAMORNKITH; MAWSON; HEYES, 2010), e o tratamento hidrotérmico não só auxilia na retenção da coloração verde, pois têm sido demonstrados seus efeitos fisiológicos na tolerância a injúrias pelo frio (JOMORI, 2005).

Figura 22 - Coloração (Nota de cor) em frutos de lima ácida ‘Tahiti’ tratados por imersão em água a 50 °C por 3 ou 5 minutos, armazenados durante 30 dias com 3 μ L L⁻¹ de etileno e sem etileno a 25 $\pm$ 2 °C e 90 $\pm$ 5% UR. Barras com a mesma letra maiúscula entre tratamentos no dia, e minúscula no mesmo tratamento em diferentes dias, não diferem entre si, segundo teste de Tukey a 5% (P<0,05).

Figura 23 - Coloração de frutos de lima ácida ‘Tahiti’ tratados por imersão em água a 50 °C por 3 ou 5 minutos, armazenados durante 30 dias com 3 μ L L⁻¹ de etileno e sem etileno, a 25 $\pm$ 2 °C e 90 $\pm$ 5% UR.

4.4.6. Clorofila Total

As condições de armazenamento com etileno provocaram desverdecimento em todos os tratamentos, o que mostra que o tratamento hidrotérmico aplicado não exerceu nenhum efeito, visto que, a partir do dia 7, esses tratamentos mostraram redução acelerada no conteúdo de clorofila total. A redução do conteúdo de clorofila foi no controle de 6,73 para 0,24 mg g⁻¹, no tratamento de 3 min a 50°C de 6,96 para 0,27 mg g⁻¹, e no tratamento de 5 min a 50°C de 8,08 para 0,22 mg g⁻¹, com uma variação muito baixa entre estes (Figura 24). Nas frutas cítricas aplicações de etileno exógeno induz a degradação da clorofila (FUJII et al., 2008; IGLESIAS et al., 2007), devido a sua ação ativadora da enzima clorofilase (YAMAUCHI; HASHINAGA; SABURO, 1990), acompanhado do acúmulo de carotenoides de cor amarelo ou laranja (RODRIGO; ZACARIAS, 2007).

Em ausência de etileno houve menor degradação da clorofila, visto que com 30 dias de armazenamento o conteúdo nos frutos tratados por 5 min a 50°C foi de 4,96 mg g⁻¹, o qual foi maior em relação aos tratamentos controle e 3 min a 50°C, onde os valores foram de 4,77 e 4,01 mg g⁻¹, respectivamente. Aparentemente o tratamento com calor de 5 min a 50°C promoveu menor degradação da clorofila, como relatado por (KAEWSUKSAENG et al., 2015). Tratamentos com éster laurato de sacarose e calor durante 3 e 5 minutos a 50 °C também reduziram o desverdecimento na casca de *Citrus nagato-yuzikichi* Tanaka (YAMAUCHI et al., 2003).

Figura 24 - Clorofila Total em frutos de lima ácida 'Tahiti' tratados por imersão em água a 50 °C por 3 ou 5 minutos, armazenados durante 30 dias com 3 µL L⁻¹ de etileno e sem etileno a 25±2 °C e 90±5% UR.

4.4.7- Ácido ascórbico

Houve redução nos teores de ácido ascórbico de todos os tratamentos, sem diferença significativa entre eles, e com valores próximos no final do experimento (Figura 25).

Resultados similares obtiveram Mayuoni et al. (2011) ao medirem os teores de ácido ascórbico em laranja de umbigo, pomelo e tangerina ‘Satsuma’ expostas ao etileno durante o armazenamento. Em citros o tratamento com etileno não tem efeito no conteúdo de ácido ascórbico (SDIRI et al., 2012b). O decréscimo do conteúdo de ácido ascórbico no sucos cítricos durante o desenvolvimento do fruto e posterior amadurecimento no período de armazenamento após a colheita, deve-se ao processo de oxidação catalisado pelas enzimas ascorbato oxidase e ascorbato peroxidase (CHITARRA; CHITARRA, 2005; LADANIYA, 2008; MDITSHWA et al., 2017; SILVA et al., 2016).

Figura 25 - Ácido ascórbico em frutos de lima ácida ‘Tahiti’ tratados por imersão em água a 50 °C por 3 ou 5 minutos, armazenados durante 30 dias com 3 μ L L-1 de etileno e sem etileno a 25 $\pm$ 2 °C e 90 $\pm$ 5% UR. Barras com a mesma letra maiúscula entre tratamentos no dia, e minúscula no mesmo tratamento em diferentes dias, não diferem entre si, segundo teste de Tukey a 5% ($P < 0,05$).

Em contraposição com os resultados obtidos, Bassal; El-Hamahmy (2011) encontraram altos teores de ácido ascórbico em laranja de umbigo tratadas por imersão em água a 50 $\pm$ 1 °C por 5 min, em relação a frutos não tratados, e baixa atividade da ascorbato oxidase. As variações no conteúdo de ácido ascórbico em espécies de citros podem ser atribuídas hipoteticamente às características morfológicas na estrutura externa do flavedo, especificamente as que regulam a entrada de oxigênio e, em consequência, facilitam a oxidação do ácido ascórbico (MDITSHWA et al., 2017).

4.4.8. Acidez total titulável

Não foi observado efeito significativo do tratamento hidrotérmico sobre os tratamentos, mas sim do armazenamento com etileno, sendo que só com 14 dias de armazenamento dos frutos sem etileno, a porcentagem de acidez foi maior (Tabela 7). O principal ácido orgânico representado dentro da acidez titulável dos citros é o ácido cítrico (MATTOS JUNIOR et al., 2005; SIQUEIRA; SALOMÃO, 2017), sendo que na respiração dos frutos os ácidos orgânicos são decompostos para produzir ATP e este, por sua vez, utilizado para a realização das funções metabólicas das células (SAMPAIO, 2010).

Pode se observar que a partir dos 14 dias de armazenamento, os tratamentos com etileno mostraram um menor conteúdo de acidez em relação aos tratamentos sem etileno. Tais resultados são concomitantes com os resultados da respiração (figura 19), devido ao fato da maior respiração ter ocorrido nos frutos armazenados com etileno. Nos citros o etileno exógeno eleva a taxa respiratória (AHARONI, 1968; EAKS, 1970) e, em consequência dessa maior taxa respiratória, ocorre um maior consumo de ácidos orgânicos.

Tabela 7. Acidez titulável (%) em frutos de lima ácida ‘Tahiti’ tratados por imersão em água a 50 °C durante 3 ou 5 minutos, armazenados durante 30 dias com e sem etileno a 25 ± 2 °C e 90 ± 5% UR

Tratamentos	Dias em armazenamento					DMS filas 0,23	Médias gerais
	0	7	14	21	30		
0 µL L ⁻¹	5,58 A a	5,97 A b	6,91 B e	6,30 A c	6,61 A d	0,23	6,27 A
3 µL L ⁻¹	5,64 A a	6,03 A b	6,64 A c	6,25 A b	6,55 A c		6,22 A
CV(%) Etileno: 3,19 CV (%) Dias: 3,01	DMS colunas: 0,16						DMS: 0,73

Médias com a mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si, segundo teste de Tukey a 5% (P<0,05). CV: Coeficiente de variação, DMS: Diferença mínima significativa.

4.4.9. Sólidos solúveis

Houve pequena variação no conteúdo de sólidos solúveis, sendo de 8,86 a 9,39 graus brix (°Brix), apresentando tendência de aumento (Tabela 8). No final do experimento o tratamento controle armazenado com etileno apenas mostrou um decréscimo em relação aos demais tratamentos, o que pode ser explicado devido à maior taxa respiratória desse tratamento e, por consequência, um maior consumo de sólidos solúveis em relação ao resto dos tratamentos (Tabela 8).

Tabela 8. Sólidos solúveis (°Brix) em frutos de lima ácida ‘Tahiti’ tratados por imersão em água a 50 °C durante 3 ou 5 minutos, armazenados por 30 dias com 3 $\mu\text{L L}^{-1}$ ou sem etileno a 25 $\pm$ 2 °C e 90 $\pm$ 5% UR.

Etileno	Tratamento hidrotérmico	Dias em armazenamento						Médias gerais
		0	7	14	21	30		
0 $\mu\text{L L}^{-1}$	Controle	9,08 A a	9,09 A a	9,19 A a	9,15 A a	9,16 A a	DMS filas 0,49	9,13 A
	3 min a 50 °C	8,91 A ab	8,86 A a	9,05 A ab	9,11 A ab	9,39 A b		9,07 B
	5 min a 50 °C	8,86 A a	9,14 A a	8,93 A a	9,18 A a	9,20 A a		9,06 B
3 $\mu\text{L L}^{-1}$	Controle	9,16 A a	8,91 A a	9,09 A a	9,31 A a	8,89 B a		9,07 B
	3 min a 50 °C	9,10 A a	9,05 A a	9,05 A a	8,99 B a	9,21 A a		9,08 B
	5 min a 50 °C	9,06 A a	8,98 A a	9,08 A a	8,83 B a	9,19 A a		9,03 B
CV(%) Etileno: 1,82 CV (%) Tratamento Hidrotérmico: 1,93		DMS colunas: 0,28						DMS: 0,06

Médias com a mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si, segundo teste de Tukey a 5% ($P < 0,05$).
CV: Coeficiente de variação, DMS: Diferença mínima significativa.

Os sólidos solúveis podem ser utilizados como substrato respiratório (KLUGE et al., 2002; MATTIUZ; DURIGAN, 2001) e são compostos por 75-80% de sacarose, glicose e frutose, também de proteínas, vitaminas e aminoácidos (KLUGE et al., 2002).

A tendência a pouca variação no conteúdo de sólidos solúveis em citros foi reportada por Artés et al. (2000); Hours; Ferreyra (2005); Mattos Junior et al. (2005).

4.4.10. *Rendimento do suco*

Os frutos armazenados com 3 $\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno tiveram um maior rendimento do suco no dia final do experimento, sendo de 53,54 %; 50,24 % e 53,20 % para o controle, 3 min a 50 °C e 5 min a 50 °C, respectivamente. Em todos os tratamentos a tendência foi aumentar durante o armazenamento (Figura 26). O rendimento do suco é um parâmetro importante nos mercados da lima ácida ‘Tahiti’ e deve ser superior a 40% (SIQUEIRA; SALOMÃO, 2017). Segundo a FAO (2005), o rendimento mínimo de suco para o mercado europeu é de 42%, sendo que os frutos utilizados tinham o tamanho padrão para exportação e cumpriram esse requisito.

Figura 26 - Rendimento do suco em frutos de lima ácida ‘Tahiti’ tratados por imersão em água a 50 °C por 3 ou 5 minutos, armazenados durante 30 dias com 3 $\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno e sem etileno a 25 ± 2 °C e $90\pm 5\%$ UR. Barras com a mesma letra maiúscula entre tratamentos no dia, e minúscula no mesmo tratamento em diferentes dias, não diferem entre si, segundo teste de Tukey a 5% ($P < 0,05$).

4.5. CONCLUSÕES

Em frutos de lima ácida ‘Tahiti’ armazenados com 3 $\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno os tratamentos hidrotérmicos por imersão em água a 50 °C durante 3 ou 5 minutos não exerceram efeito visualmente perceptível na manutenção da coloração verde da casca durante os primeiros 30 dias de armazenamento.

Frutos de lima ácida ‘Tahiti’ que recebem tratamento hidrotérmico por imersão em água a 50 °C durante 3 ou 5 minutos e armazenados sem etileno, apresentam um menor desverdecimento baseado no ângulo hue, e mantendo a coloração verde por mais tempo, em relação a frutos não tratados termicamente.

O armazenamento com 3 $\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno acelera o desverdecimento, mesmo em frutos tratados termicamente por imersão em água a 50 °C durante 3 ou 5 minutos.

O tratamento hidrotérmico por imersão em água a 50 °C reduz significativamente a atividade respiratória.

A imersão de frutos de lima ácida ‘Tahiti’ em água a 50 °C durante 3 ou 5 minutos induz menor perda de massa fresca, o que pode influenciar na turgidez durante os primeiros 30 dias de armazenamento, o que mostra seu potencial como tecnologia utilizável nas linhas de beneficiamento das casas de embalagem.

A qualidade interna de frutos tratados termicamente durante 3 ou 5 minutos a 50°C, e armazenados sem ou com 3 $\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno nos primeiros 30 dias não foi significativamente afetada, a não ser no rendimento do suco, o qual aumentou em frutos armazenados com etileno.

REFERÊNCIAS

ABELES, F.; MORGAN, P.; SALTVEIT, M. **Ethylene in Plant Biology**. San Diego, New York: Sigma Xi, The Scientific Research Society, 1994. v. 82.

AHARONI, Y. Respiration of Oranges and Grapefruits Harvested at Different Stages of Development'. **Plant Physiol**, v. 43, p. 99–102, 1968.

ANSORENA, M. R.; MACOVICH, N. E.; ROURA, S. I. Impact of edible coatings and mild heat shocks on quality of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* L.) during refrigerated storage. **Postharvest Biology and Technology**., v. 59, n. 1, p. 53–63, 2011.

ARTÉS, F. et al. “Evolución de la calidad del limón, pomelo y naranja durante la desverdización”. **Rev Iberoamericana Tecnología Postcosecha**, v. 1, p. 71–79, 1 jan. 2000.

ATTA-ALY, M. A. Effect of high temperature on ethylene biosynthesis by tomato fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 2, p. 19–24, 1992.

BARMORE, C. R.; BROWN, E. G. Influence of Ethylene on Increased Susceptibility of Oranges to *Diplodia natalensis*. **Plant disease**., v. 69, p. 228–230, 1985.

BASSAL, M.; EL-HAMAHMY, M. Hot water dip and preconditioning treatments to reduce chilling injury and maintain postharvest quality of Navel and Valencia oranges during cold quarantine. **Postharvest Biology and Technology**, v. 60, n. 3, p. 186–191, 1 jun. 2011.

BASSAN, M. M. et al. Beneficiamento pós-colheita de lima ácida “Tahiti” afeta sua qualidade e conservação. **Ciência Rural**, v. 46, n. 0103-8478, p. 7, 2015.

CARON, V. C. **Conservação refrigerada de lima ácida ‘Tahiti’ em combinação com atmosfera modificada, ácido giberélico e permanganato de potássio**. Piracicaba. Livraria Digital USP, , 2009. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/.../Vanessa_Caron.pdf>

CENTRAL DE ABASTECIMENTO DE CAMPINAS S.A. **Norma de Classificação, Padronização e Identidade do Limão (Lima Ácida) Tahiti (*Citrus latifolia*), para o Programa Brasileiro para a Melhoria dos Padrões Comerciais e Embalagens de Hortogranjeiros.** Disponível em:

<http://www.ceasacampinas.com.br/novo/Serv_Frutas_Limao.asp>. Acesso em: 2 mar. 2018.

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

EAKS, I. L. Respiratory Response , Ethylene Production , and Response Ethylene of Citrus Fruit during Ontogeny. **Plant Physiology**, v. 45, p. 334–338, 1970.

FALLIK, E. Prestorage hot water treatments (immersion, rinsing and brushing). **Postharvest Biology and Technology**., v. 32, n. 2, p. 125–134, 2004.

FAO. **Norma para Lima y Limon (CODEX STAN 213⁻¹1999)**1999, , 2005. Disponível em: <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/fr/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCODEX%2B213%2D1999%252FCXS_213s.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2018

FUJII, H. et al. Profiling gibberellin (GA3)-responsive genes in mature mandarin fruit using a citrus 22K oligoarray. **Scientia Horticulturae**., v. 116, n. 3, p. 291–298, 2008.

FUNAMOTO, Y. et al. Effects of heat treatment on chlorophyll degrading enzymes in stored broccoli (*Brassica oleracea* L.). **Postharvest Biology and Technology**., v. 24, n. 2, p. 163–170, 1 mar. 2002.

GAO, J. P. et al. Biosynthesis of Trace-Ethylene in Some Fruits. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**., v. 61, n. 1, p. 199–204, 1992.

GOLDSCHMIDT, E.; HUBERMAN, M.; GOREN, R. Probing the role of endogenous ethylene in the degreening of citrus fruit with ethylene antagonists. **Plant Growth Regulation**, v. 12, n. 3, p. 325–329, 1993.

GROSS, K. C.; WANG, C. Y.; SALTVEIT, M. The Commercial Storage of Fruits , Vegetables , and Florist and Nursery Stocks. **USDA Agriculture Handbook**, v. 66, 2016.

HORWITZ, W.; LATIMER, G. W. **Official methods of analysis of AOAC International**. Gaithersburg, Md: Gaithersburg, Md AOAC International, 2005.

HOURS, R. A.; FERREYRA, M. M. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de jugos de naranja destinados a vinificación. **Ciencia, docencia y ...**, v. 2005, n. January, p. 219–239, 2005.

IGLESIAS, D. J. et al. Physiology of citrus fruiting. **Braz. J. Plant Physiol**, v. 19, n. 4, p. 333–362, 2007.

JIMÉNEZ, D. P. et al. Effect of hydrothermal treatment on the ultrastructure of cuticle of mango fruit. **Revista UDO Agrícola**, v. 9, n. 1, p. 96–102, 2009.

JOMORI, M. L. et al. Conservação refrigerada de lima ácida ‘tahiti’: uso de 1-metilciclopropeno, ácido giberélico e cera. **Rev. Bras. Frutic**, v. 25, n. 3, p. 406–409, 2003.

JOMORI, M. L. L. **Resistência de lima ácida ‘Tahiti’ à baixa temperatura : Tratamentos térmicos e envolvimento do etileno.**, 2005. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11144/tde-09092005-145944/pt-br.php>>

KAWSUKSAENG, S. et al. Postharvest heat treatment delays chlorophyll degradation and maintains quality in Thai lime (*Citrus aurantifolia* Swingle cv. Pan) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 100, p. 1–7, 2015.

KLEIN, J. D. Ethylene biosynthesis in heat-treated apples. In: **Biochemical and Physiological Aspects of Ethylene Production in Lower and Higher Plants**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1989. p. 181–189.

KLUGE, R. A. et al. **Fisiologia e manejo pós-colheita de frutas de clima temperado**. Campinas: Campinas Livraria e Editora Rural, 2002.

KNOCH, M. et al. Changes in strain and deposition of cuticle in developing sweet cherry fruit. **Physiologia Plantarum**, v. 120, n. 4, p. 667–677, abr. 2004.

KOLATTUKUDY, P. **Plant Cuticle and Suberin**. Encyclopedia of Life Sciences, , 1996.

LADANIYA, M. S. **Citrus fruit biology, technology and evaluation**. (Academic Press, Ed.) **Citrus Fruit**, 2008. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/books/citrus-fruit/ladanyia/978-0-12-374130-1>>

LEMOINE, M. L. et al. Effect of combined treatment with hot air and UV-C on senescence and quality parameters of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* L. var. Italica). **Postharvest Biology and Technology**, v. 48, n. 1, p. 15–21, 2008.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**, v. 148, p. 350–382, 1 jan. 1987.

LU, J. et al. Effect of heat treatment uniformity on tomato ripening and chilling injury. **Postharvest Biology and Technology**, v. 56, n. 2, p. 155–162, 1 maio 2010.

LURIE, S. et al. Reversible Inhibition of Tomato Fruit Gene Expression at High Temperature. **Plant Physiology**, v. 110, n. 1 996, p. 1207–1214, 1996.

MANFROI, V. et al. Efeito do 2,4-D na Frigoconservação de Limão “Tahiti” (*Citrus latifolia* Tanaka). **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos - UFRP**, p. 77–88, 1996.

MATSUMOTO, H. et al. Quantification of Carotenoids in Citrus Fruit by LC-MS and Comparison of Patterns of Seasonal Changes for Carotenoids among Citrus Varieties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 6, p. 2356–2368, 1 mar. 2007.

MATTIUZ, B.-H.; DURIGAN, J. F. Efeito de injúrias mecânicas no processo respiratório e nos parâmetros químicos de goiabas “Paluma” e “Pedro Sato”. **Rev. Bras. Frutic**, v. 23, n. 2, p. 282–287, 2001.

MATTOS JUNIOR, D. et al. **CITROS.FAPESP**Campinas, 2005. Disponível em: <<https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=15341&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22MATTOS JUNIOR, D. de.%22&qFacets=autoria:%22MATTOS JUNIOR, D. de.%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>>

MAYUONI, L. et al. Does ethylene degreening affect internal quality of citrus fruit? **Postharvest Biology and Technology**, v. 62, n. 1, p. 50–58, 2011.

MDITSHWA, A. et al. Postharvest factors affecting vitamin C content of citrus fruits: A review. **Scientia Horticulturae**, v. 218, p. 95–104, 14 abr. 2017.

NASCIMENTO, L. M.; KLUGE, R. A.; AGUILA, J. S. **Colheita e pós-colheita de citros**. São Paulo/Rio de Janeiro, 2014. Disponível em:

<http://portais.unipampa.edu.br/dompedito/index.php?view=article&catid=1%3Anoticias-unipampa&id=700%3Apesquisa-sobre-colheita-e-pos-colheita-de-citros-e-tema-de-livro&option=com_content>

PAULL, R. E.; CHEN, N. J. Heat Shock Response in Field-grown , Ripening Papaya Fruit. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 115, n. 4, p. 623–631, 1990.

PERINI, M. A. et al. Hot water treatments performed in the base of the broccoli stem reduce postharvest senescence of broccoli (*Brassica oleracea* L. Var italic) heads stored at 20 °C. **LWT - Food Science and Technology**., v. 77, p. 314–322, abr. 2017.

PINTO, A. D. Q.; SOUSA, E. D. S.; RAMOS, V. V. **Tecnologia de Produção e Comercialização da Lima ácida “Tahiti”, do Maracujá azedo e da Goiaba para o Cerrado**., 2004. Disponível em: <http://bbeletronica.cpac.embrapa.br/2004/doc/doc_111.pdf>. Acesso em: 1 mar. 2018

PORAT, R. et al. Effects of ethylene and 1-methylcyclopropene on the postharvest qualities of ‘Shamouti’ oranges. **Postharvest Biology and Technology**, v. 15, n. 2, p. 155–163, 1 fev. 1999.

PRANAMORNKITH, T.; MAWSON, A. J.; HEYES, J. A. Effects of Ca and alternative postharvest treatments on quality of lime (*Citrus latifolia* Tanaka) fruit. **Acta Horticulturae**., n. 857, p. 305–312, abr. 2010.

PURVIS, A. C.; BARMORE, C. R. Involvement of Ethylene in Chlorophyll Degradation in Peel of Citrus Fruits’. **Plant Physiol**, v. 68, p. 854–856, 1981.

RODRIGO, M. J. et al. Biochemical bases and molecular regulation of pigmentation in the peel of Citrus fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 163, p. 46–62, 2013.

RODRIGO, M. J.; ZACARIAS, L. Effect of postharvest ethylene treatment on carotenoid accumulation and the expression of carotenoid biosynthetic genes in the flavedo of orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) fruit. **Postharvest Biology and Technology**., v. 43, n. 1, p. 14–22, 1 jan. 2007.

SÁ, C. R. L. et al. Métodos de Controle do Etileno na Qualidade e Conservação Pós-Colheita de Frutas. 2008.

SAMPAIO, E. **Fisiologia vegetal teoria e experimentos**. Ponta Grossa: Ponta Grossa Editora UEPG, 2010.

SCHIRRA, M.; D’HALLEWIN, G. Storage performance of Fortune mandarins following hot water dips. **Postharvest Biology and Technology**, v. 10, n. 3, p. 229–238, 1 mar. 1997.

SCHIRRA, M.; MULAS, M. Keeping quality of “Oroblanco” grapefruit-type as affected by hot dip treatments. **Advances in Horticultural Science.**, v. 7, n. 2, p. 73–76, 1993.

SDIRI, S. et al. **Antioxidant activity and vitamin c are not affected by degreening treatment of clementine mandarins**. Acta Horticulturae. **Anais...International Society for Horticultural Science (ISHS)**, Leuven, Belgium, 30 jun. 2012Disponível em: <<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.934.119>>

SILVA, S. R. DA et al. POSTHARVEST OF IRRADIATED TAHITI LIME FRUITS. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, n. 4, 2016.

SIQUEIRA, D. L. DE; SALOMÃO, L. C. C. **Citros do plantio à colheita**. Viçosa: Viçosa Editora da UFV, 2017.

SPOSITO, M. B. et al. Cold storage of “Tahiti” limes treated with gibberellic acid. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 22, n. 3, p. 345–348, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiología Vegetal**. Porto Alegre: Porto Alegre Artmed, 2004.

TATSUKI, M. Ethylene Biosynthesis and Perception in Fruit. **J. Japan. Soc. Hort. Sci**, v. 79, n. 4, p. 315–326, 2010.

TREICHEL, M. ET AL. **Anuário Brasileiro da Fruticultura**. Editora Gazeta Santa Cruz do Sul, 2016. Disponível em: <<http://www.editoragazeta.com.br/produto/anuario-brasileiro-da-fruticultura-2016/>>

YAMAUCHI, N. et al. Control of degreening by sucrose laurate ester and heat treatment of *Citrus nagato-yuzukichi* fruit. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 78, n. 4, p. 563–567, 7 jan. 2003.

YAMAUCHI, N.; HASHINAGA, F.; SABURO, I. Chlorophyll Degradation with Degreening of Kabosu (*Citrus sphaerocarpa* Hort . ex Tanaka) Fruits. **Japanese Society for Horticultural Sciences**, v. 59, n. 4, p. 869–875, 1990.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desverdecimento causado por concentrações de etileno de até $2 \mu\text{L L}^{-1}$ sobre a coloração de frutos de lima ácida ‘Tahiti’ pode ser minimizada, uma vez que tenham sido completamente beneficiados em packing-house. Mas não é recomendável a acumulação de etileno durante o armazenamento.

A ação do etileno aplicado constantemente sobre a casca de limas ácidas ‘Tahiti’ acelera seu efeito a partir do dia 10, mas não afeta consideravelmente a qualidade interna dos frutos.

Existe a necessidade de estudar com maior precisão o papel bioativo do etileno sobre a coloração da lima ácida ‘Tahiti’. Em adição, o nível de receptividade dos frutos ao etileno também deveria ser estudado, com foco na sua fisiologia e nas diferentes ômicas em relação à variável coloração.

A manutenção da coloração verde de frutos de lima ácida ‘Tahiti’ mediante o uso do tratamento hidrotérmico ocorre em frutos armazenados em ausência de etileno. Porém, não tem efeito em frutos expostos a $3 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno.

Com a aplicação do tratamento hidrotérmico em frutos de lima ácida ‘Tahiti’ é obtida uma redução significativa na respiração e perda de massa fresca, o que pode oferecer aportes na conservação dos frutos durante o transporte e a comercialização, de ser aplicado a nível comercial. Em adição, atributos de importância da qualidade interna dos frutos não são afetados.

ANEXOS

Anexo A - Concentrações de etileno e CO₂ monitoradas durante o experimento:
Concentração mínima de etileno para o desverdecimento da lima ácida ‘Tahiti’
(Experimento 1, com 4 concentrações de etileno aplicadas).

Monitoramento do etileno nos tratamentos, armazenados a $22 \pm 2^\circ\text{C}$ e $85 \pm 5\%$ UR durante o experimento.

Monitoramento do CO₂ nos tratamentos, armazenados a $22 \pm 2^\circ\text{C}$ e $85 \pm 5\%$ UR durante o experimento.

ANEXO B - Concentrações de etileno e CO₂ monitoradas durante o experimento:
Concentração mínima de etileno para o desverdecimento da lima ácida ‘Tahiti’
(Experimento 2, com 6 concentrações de etileno aplicadas).

Monitoramento do etileno nos tratamentos, armazenados a 25 ± 2 °C e $85 \pm 5\%$ UR, em presença de CaOH como agente absorvente de CO₂.

Monitoramento do CO₂ nos tratamentos, armazenados a 25 ± 2 °C e $85 \pm 5\%$ UR, em presença de CaOH como agente absorvente de CO₂.

**ANEXO C - Concentrações de etileno e CO₂ monitoradas durante o experimento:
Tratamento Hidrotérmico para a conservação da coloração verde da lima ácida ‘Tahiti’**

Monitoramento do etileno nos tratamentos armazenados a 25 ± 2 °C e $90 \pm 2\%$ UR. A linha vermelha indica 3 $\mu\text{L L}^{-1}$ de C_2H_4 aplicados a cada dois dias após a ventilação adequada.

Monitoramento do CO₂ nos tratamentos, durante a exposição a 3 $\mu\text{L L}^{-1}$ de C_2H_4 , armazenados a 25 ± 2 °C e $90 \pm 5\%$ UR.