**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’**

**Estudo da relação entre o amolecimento precoce de mamões ‘Golden’ e
aspectos climáticos, nutricionais e hormonais**

Vanessa Cristina Caron

Tese apresentada para obtenção de título de Doutora
em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba
2014**

**Vanessa Cristina Caron
Engenheira Agrônoma**

**Estudo da relação entre o amolecimento precoce de mamões ‘Golden’ e aspectos
climáticos, nutricionais e hormonais**

Orientador:

Prof. Dr. **ANGELO PEDRO JACOMINO**

Co-orientador:

Prof. Dr. **EDUARDO PURGATTO**

Tese apresentada para obtenção de título de Doutora
em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba
2014**

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

Caron, Vanessa Cristina

Estudo da relação entre o amolecimento precoce de mamões 'Golden' e aspectos climáticos, nutricionais e hormonais / Vanessa Cristina Caron. - - Piracicaba, 2014.
101 p: il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2014.

1. *Carica papaya* L. 2. Distúrbio fisiológico 3. Estresse hídrico 4. Fatores pré-colheita 5. Hormônio vegetal I. Título

CDD 634.651
C293e

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte -O autor"

Ao meu amado e eterno pai

In memoriam Fernando Adelino Caron

Com certeza está vibrando com mais uma conquista na minha vida!!!

À minha querida e amada mãe,

Carmen Sílvia Botelho

Amiga, conselheira, sempre torcendo e auxiliando nesta minha caminhada!!

À minha avó carinhosa e atenciosa,

Zelza Mendes da Silveira Botelho

Sempre com o pensamento pertinho de mim!!

Aos meus avós já desencarnados

In memoriam Maria Aparecida Ferreira e Silvio Botelho

Que partilham sempre, mesmo não fisicamente, a minha trajetória!!

Ao meu único e grandioso irmão

Fernando Adelino Caron Jr.

Que, apesar da distância, sempre esteve presente mesmo que em pensamento.

Ao meu querido sobrinho

Murilo Caron

Que sem saber me deu muita alegria e ainda mais força para finalizar mais esta etapa.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Deus, em primeiro lugar, agradeço por ter traçado este caminho que hoje vivo. Trajetória esta cheia de desafios, dificuldades, oportunidades, alegrias, tristezas, amizades verdadeiras. Sem tudo isso não teria crescido tanto, profissional e pessoalmente.

À minha família, em especial a minha querida mãe, que sempre esteve disposta a me ajudar e me tranquilizar diante de todas as dificuldades que enfrentei. E ao meu pai, que mesmo não mais presente, esteve sempre me aconselhando a desenfrear um pouco o meu ritmo, me tranquilizando...

Ao professor Dr. Angelo Pedro Jacomino, pela orientação não só no desenvolvimento deste trabalho mas, principalmente, na minha formação como profissional dentro da área acadêmica e de pesquisa. Levo dele a paciência e a atenção em ensinar sempre considerando as limitações de cada um.

Ao professor Dr. Eduardo Purgatto, pela coorientação, dedicação e disponibilidade em auxiliar nas análises bioquímicas. Dele levo a dedicação e precisão no desenvolvimento das análises laboratoriais e, ainda, a atenção e paciência em ensinar o que realmente é necessário.

À professora Dra. Diolina Moura, que mesmo informalmente, esteve inteira no auxílio das avaliações a campo no Espírito Santo. Com ela aprendi o quão importante é estar sempre presente na orientação do aluno.

Ao Dr. Sargent pela orientação, receptividade, atenção, paciência e dedicação durante o período que realizei o doutorado sanduiche na Universidade da Flórida em Gainesville/FL. Além dele, agradeço também toda sua equipe de trabalho, sempre disposta a me auxiliar.

Ao professor Dr. Ricardo Kluge por disponibilizar, como sempre, o seu laboratório para o desenvolvimento de diversas análises bioquímicas.

À USP/ESALQ com o fornecimento de toda infraestrutura necessária ao desenvolvimento do presente trabalho.

À UFES (Universidade Federal do Espírito Santo) que junto à profa. Diolina me disponibilizou espaço para desenvolvimento de parte do trabalho.

À Caliman Agrícola S.A. e a todos os seus colaboradores, em especial agradeço a Jeane que me auxiliou com dedicação nos momentos que estava ausente da empresa. Ao engenheiro agrônomo Geraldo Ferregueti e todos os demais que de alguma forma me ajudaram. Agradeço imensamente, pois sem eles o projeto não teria sido finalizado.

À empresa Rohm and Haas Química LTDA fornecedora da molécula 1-MCP que auxiliou no desenvolvimento do projeto, seja pelo fornecimento de amostras seja pelo apoio financeiro.

Ao CNPq pela bolsa concedida durante o doutorado.

À secretária do PPG em Fitotecnia Luciana Aparecida Lopes Toledo pela atenção, dedicação e amizade infinitas. Muito obrigada por todo auxílio e também pela companhia nos cafezinhos da tarde.

À secretária do PPG em Fisiologia e Bioquímica de Plantas Solizete pelo carinho e atenção sempre e pelo agradável convívio durante os lanches da tarde.

Ao Marcos José Trevisan pelo auxílio no laboratório, na realização das análises, nas dicas e sugestões, conversas e amizade.

Aos funcionários e professores do Departamento de Produção Vegetal, em especial ao Aparecido, Chico, Éder, David, Cleusa, Bete e Célia pelo auxílio em diversos momentos, mesmo que somente com um “Bom dia!” sorridente...

A todos os estagiários do Laboratório de Pós-colheita de produtos hortícolas, em especial à Rebeca e ao Kminão (Bruno) que me auxiliaram dedicadamente no desenvolvimento de boa parte das análises laboratoriais, principalmente, quando da minha ausência em função das viagens ao Espírito Santo.

Aos meus eternos amigos que estarão sempre no meu coração, mesmo com a distância e que com eles aprendi ser uma pessoa e um profissional melhor. Pati, Meire, Rafa, Ana, Camilla, Tati Tokairin, Tati Souza Moraes, Carol, Yuri muito obrigada pelo convívio, pelo companheirismo, pela compreensão, pela ajuda, e por todo carinho!!! Tati Souza Moraes, em especial te agradeço por toda ajuda neste momento que eu estava distante de Piracicaba.

Aos meus queridos colegas e amigos, em especial Sofia, Léo, Anne, Aline, Miriam, Mega, Gabi, Lilian, que, direta ou indiretamente, me deram muita força nesta caminhada...

À Sociedade Espírita Casa do Caminho e à Caminho da Paz e, em especial, à Doutrina Espírita, que me ensina a viver esta vida com olhos de amor e caridade!!! Obrigada Paschoal, André, Juca, Márcia, Cássia, Ramirez, Marcelo, Socorro pela amizade e ensinamentos.

Ao Instituto Federal Catarinense – Rio do Sul que neste final do doutorado me deu a oportunidade de crescimento profissional como docente de ensino superior e médio. Agradeço a todos amigos que fiz e que me ajudaram com apoio, alegrias, e até auxílios na elaboração da tese. Em especial agradeço aos professores Marcos Vinícius, Vinícius, Clovisson, Joice, Alexandra, Laércio, Hugo, Renata, Rosana, que me trouxeram muito aprendizado e alegrias. Ainda quero agradecer muito a todos os alunos que lá conheci e que com eles troquei uma experiência enorme. Com eles aprendi que cada dia precisamos ser melhores e que a maior importância do professor é a educação, seja pelo exemplo, seja pelo ensino.

A todos que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho.

Muito obrigada!!!

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	11
1 INTRODUÇÃO	13
Referências	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Aspectos gerais da cultura do mamoeiro	17
2.2 Estresse	18
2.3 Auxina	19
2.4 Parede celular	20
Referências	22
3 RESPOSTAS FOTOSSINTÉTICAS E NUTRICIONAIS ÀS VARIAÇÕES CLIMÁTICAS EM MAMOEIROS DA REGIÃO NORTE DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO	25
Resumo.....	25
Abstract.....	25
Glossário.....	26
3.1 Introdução.....	27
3.2 Material e Métodos	30
3.3 Resultados.....	32
3.4 Discussão.....	40
3.5 Conclusões.....	45
Referências	46
4 ALTERAÇÕES FÍSICAS, FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DE MAMÕES ‘GOLDEN’ APÓS ESTRESSE HÍDRICO EM PLANTIO COMERCIAL DO NORTE DO ESPÍRITO SANTO.....	51
Resumo.....	51
Abstract.....	51
4.1 Introdução.....	52
4.2 Material e Métodos	53
4.3 Resultados.....	59
4.4 Discussão	66
4.5 Conclusões.....	74
Referências	74

5 INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO PRÉ-COLHEITA DE REGULADORES VEGETAIS, NA FISIOLOGIA DO AMADURECIMENTO DE MAMÕES 'GOLDEN'	79
Resumo.....	79
Abstract.....	79
5.1 Introdução	80
5.2 Material e Métodos	82
5.3 Resultados	88
5.4 Discussão	93
5.5 Conclusões	97
Referências.....	97
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	101

RESUMO

Estudo da relação entre o amolecimento precoce de mamões ‘Golden’ e aspectos climáticos, nutricionais e hormonais

Mamões ‘Golden’ possuem importância econômica e social no Brasil com destaque dentre as frutas mais exportadas e consumidas. Porém, possuem curta vida útil e distintos comportamentos pós-colheita, bem como distúrbio do amolecimento precoce (DAP) com ocorrência esporádica. Isso culmina na dificuldade em alavancar as pesquisas de tecnologias de conservação. A hipótese de que o DAP tenha como causa fatores pré-colheita e o desbalanço hormonal, envolvendo a auxina (AIA), implicou no desenvolvimento deste estudo. Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi investigar o comportamento dos mamoeiros ‘Golden’ diante de adversidades climáticas, simuladas com excesso de irrigação, e diante do desbalanço hormonal, induzido pela aplicação pré-colheita de reguladores vegetais. Para tal propósito o projeto foi desenvolvido em três etapas. A primeira foi com a avaliação do comprometimento fotossintético e nutricional de mamoeiros ‘Golden’ em função de condições climáticas e estresse hídrico. A segunda foi com a avaliação física, química, fisiológica e níveis de AIA dos mesmos mamões ‘Golden’ da primeira etapa. E a terceira foi com análise dos frutos na pós-colheita após aplicação de reguladores vegetais na pré-colheita [1-metilciclopropano (1-MCP), etefon e ácido 2,3,5-triiodo benzoico (TIBA)]. Na primeira e segunda etapa os mamoeiros foram conduzidos na região norte do Espírito Santo durante os meses de maio e outubro de 2012. Os tratamentos com lâminas de irrigação foram: controle = 33 mm de água e excesso = 70,6 mm de água durante 5 a 7 dias aplicados mensalmente. A atividade fotossintética e a nutrição mineral foram avaliadas logo após os tratamentos. Os frutos para avaliação na segunda etapa foram colhidos após 5 ou 7, 20 e 30 dias. As avaliações dos frutos foram durante 12 dias a $10 \pm 1^\circ\text{C}$ e $85 \pm 5\%$ de UR. Na terceira etapa os mamoeiros foram conduzidos entre abril de 2012 e maio de 2013 em área experimental da ESALQ/USP em Piracicaba/SP. Os reguladores vegetais foram aplicados quando os frutos atingiram 120 dias após a antese. Os frutos foram colhidos quando a cor da casca atingiu o estágio 1 e foram analisados no estágio 5. Diante das duas primeiras etapas foi possível observar que as plantas e os frutos dos mamoeiros não apresentaram o DAP pelo excesso de água isoladamente, mas sim por um conjunto de fatores como temperaturas elevadas, altos índices pluviométricos, alto déficit de pressão de vapor e desbalanço nutricional. Porém, houve comprometimento do aparato fotossintético identificado, principalmente, pelo teste transiente da clorofila *a*, redução dos níveis de AIA e de 1-aminociclopropano-1-ácido carboxílico (ACC) naqueles frutos com excesso de irrigação. Os resultados da terceira etapa demonstraram que a formação fisiológica dos frutos tem relação com os graus dias acumulados e que as mudanças no comportamento pós-colheita, possivelmente, ocorrem em maior proporção em função dos teores de etileno endógeno do que dos teores de AIA livre.

Palavras-chave: *Carica papaya* L.; Distúrbio fisiológico; Estresse hídrico; Fatores pré-colheita; Hormônio vegetal

ABSTRACT

Study of relationship between early softening ‘Golden’ papaya and climatic, nutritional and hormonal aspects

‘Golden’ papayas have economic and social importance in Brazil, especially among the most exported and consumed fruit. However, have a short shelf life and postharvest distinct behaviors, as well as sporadic occurrence of “early softening disorder” (ESD). This culminates in difficulty leveraging research conservation technologies. The hypothesis that ESD has a cause preharvest factors and hormonal imbalance involving auxin (IAA) resulted in the development of this study. Within this context, the aim of this study was to investigate the behavior of papaya ‘Golden’ before climatic adversities, simulated with excessive irrigation, and before the hormonal imbalance induced by preharvest application of plant growth regulators. For this purpose the project was developed in three stages. The first was to review the photosynthetic and nutritional impairment of papaya ‘Golden’ due to climatic conditions and drought stress. The second was with the physical, chemical, and physiological assessment of these levels IAA ‘Golden’ papaya the first step. And the third was to analyze the fruits after application of plant growth regulators on preharvest [methylcyclopropane - 1 (MCP - 1), ethephon and 2,3,5 - triiodo benzoic acid (TIBA)]. In the first and second stage, papayas were conducted in the northern region of the Espírito Santo during the months of May and October 2012. The irrigation treatments were: control = 33 mm and excess water = 70.6 mm water for 5 or 7 days applied monthly. Photosynthetic activity and mineral nutrition were evaluated after treatments. Fruit for evaluation in the second stage were harvested after 5 or 7, 20 and 30 days. The fruits of the reviews were storage for 12 days at 10 ± 1 °C and 85 ± 5 % RH. In the third stage, papayas were conducted between April 2012 and May 2013 in an experimental field of ESALQ/USP in Piracicaba/SP. Growth regulators were applied when fruit reached 120 days after anthesis. Fruit were harvested when the color of the shell reached the stage 1 and were analyzed in stage 5. Given the first two stages was observed that plants and fruit did not show ESD by excess water alone, but by a set of factors such as high temperatures, heavy rainfall, high vapor pressure deficit and nutritional imbalance. However, there was impairment of the photosynthetic apparatus identified mainly by the transient testing chlorophyll a reduction in the levels of IAA and a 1-aminocyclopropane-carboxylic acid 1 (ACC) in fruit over- irrigation. Third stage showed that physiological fruit formation is related to accumulated growing degree days and those changes in post-harvest behavior, possibly occur to a greater extent depending on the levels of endogenous ethylene than IAA free.

Keywords: *Carica papaya* L.; Physiological disorder; Water stress; Pre-harvest factors; Plant hormone

1 INTRODUÇÃO

A cultura do mamoeiro tem grande importância para o agronegócio brasileiro, pois é uma das frutas mais produzidas e consumidas, estando, ainda entre as 10 mais exportadas pelo país, com um volume em 2010 de 27.057 toneladas (INSTITUTO BRASILEIRO DE FRUTAS - IBRAF, 2014). A cultura cresceu em importância econômica desde 1976 nos Estados da Bahia e do Espírito Santo, devido, principalmente, à introdução de cultivares havaianas do grupo ‘Solo’ e de híbridos do grupo ‘Formosa’ (MARIN; GOMES; SALGADO, 1987). A União Europeia é a maior importadora e chega a comprar 85% do mamão exportado (EXPORT HELPDISK, 2014). O Brasil também exporta para os Estados Unidos, maior importador mundial de mamão. O país é o segundo maior produtor mundial (em 2012 produziu 1.517.696 mil toneladas, FAO, 2014), seguindo da Índia. Porém exporta menos de 2% da produção, estando em 3º lugar no ranking dos maiores exportadores de papaia. A região do Nordeste com 48%, representada pela Bahia e a do Sudeste com 36%, representada pelo Estado do Espírito Santo em 2009 (FNP, 2013), são os polos de produção e exportação de mamão brasileiro. Nestes Estados estão localizadas as principais empresas exportadoras de mamão do Brasil.

O mamoeiro ocupa considerável destaque entre as pesquisas realizadas no Brasil, porém ainda há necessidade de mais conhecimento sobre o comportamento da sua fruta durante seu desenvolvimento e amadurecimento. O fruto do mamoeiro é considerado do tipo climatérico, pois suas transformações bioquímicas de amadurecimento continuam no período de pós-colheita. No entanto, possui comportamento muito variável entre frutos da mesma planta, com mesmo estágio fisiológico e armazenado nas mesmas condições. Tem-se observado logo após a colheita que alguns frutos apresentam um rápido amolecimento da polpa acompanhado parcialmente pela evolução da coloração da casca, enquanto outros frutos têm a evolução da perda da firmeza proporcional a da coloração da casca, permanecendo firmes por várias semanas a 10 °C (GALLON, 2010; JACOMINO et al., 2010).

O amolecimento precoce de mamões ‘Golden’ após a colheita é um distúrbio que diminui seu poder de mercado e resulta em grandes perdas na pós-colheita, já que afeta consideravelmente sua comercialização por ocorrer de forma generalizada em frutos de um mesmo lote e sem possível identificação prévia. Este distúrbio, identificado em estudos recentes, tem sido chamado de Distúrbio do Amolecimento Precoce (DAP) (JACOMINO et al., 2010). Apesar de pouco estudado, já existem hipóteses de uma provável relação entre a perda de firmeza dos frutos na pós-colheita, o excesso de água na planta e baixos níveis do hormônio auxina no momento da colheita (GALLON, 2010).

A ocorrência do DAP em frutos colhidos em épocas com maior índice pluviométrico foi verificada não só por produtores, mas também em estudos feitos por Gallon (2010) e Jacomino et al. (2010). O excesso de água em pomares pode ter provocado estresse nas plantas, resultando em alterações fisiológicas que antecipam a perda de firmeza dos frutos. A hipótese levantada é de que existem interações hormonais e enzimáticas que são induzidas pelo estresse levando a modificações da parede celular nos frutos.

Apesar de o etileno ser responsável por diversas alterações fisiológicas e bioquímicas durante o amadurecimento dos frutos e existir certa relação da atividade das enzimas modificadoras da parede celular com a produção de etileno, nos estudos de Gallon (2010) foi detectado o envolvimento da auxina (na forma de ácido indol 3-acético) com o DAP. Esta autora identificou que frutos com DAP possuem níveis de auxina em concentrações consideravelmente menores que os frutos sem o distúrbio, logo após a colheita.

Estudos envolvendo interação entre a pluviosidade durante o cultivo de mamão e a qualidade dos frutos na pós-colheita demonstraram uma relação positiva entre eles (SOUZA et al., 2005; SILVA et al., 2005; GALLON, 2010). Essa observação sugere que, possivelmente, o estresse por excesso de água ou apenas um aumento considerável da água no solo de algum modo possa levar a transformações metabólicas que desestruturam antecipadamente a parede das células e, por conseqüência, promove o amolecimento da polpa destes frutos poucos dias após a colheita ou mesmo já na pré-colheita.

Além das mudanças visíveis deste distúrbio nos frutos, algumas alterações fisiológicas nas plantas em função do estresse por excesso de água podem ocorrer e seriam indicativas das mudanças no produto final. Avaliações da troca gasosa em folhas de mamoeiro, assim como, da fluorescência transiente da clorofila *a* são ferramentas chaves na identificação de um desbalanço metabólico em função do estresse ambiental. A resposta fotossintética das plantas às adversidades climáticas muitas vezes são mais rápidas do que aquelas que ocorrem nos frutos.

Muitos estudos demonstram alterações no aparato fotossintético em função de alguns tipos de estresse, como déficit hídrico e altas temperaturas médias. Estes podem levar as plantas à fotoinibição implicando na atividade fotoquímica e, conseqüentemente, na qualidade final dos produtos. Estas alterações desencadeadas pelo estresse podem levar a mudanças não sintomáticas, como nos aparatos fotossintéticos, no desbalanço hormonal, e até sintomáticas, resultantes de mudanças bioquímicas na parede celular, da composição de carboidratos e ácidos orgânicos, que comprometem a qualidade de conservação dos frutos na pós-colheita.

A avaliação dos efeitos do fornecimento de água em excesso e das condições climáticas durante o desenvolvimento dos frutos, auxiliado pelas transformações fisiológicas, bioquímicas e hormonais nas plantas e nos frutos proporcionará uma investigação mais precisa das respostas aos estresses abióticos no mamoeiro.

Referências

- EXPORT HELPDESK. **Estatísticas de comércio**. Disponível em: <http://exporthelp.europa.eu/thdapp/display.htm?page=st%2fst_TradeStatistics.html&docType=main&languageId=en> Acesso em: 08 jan. 2014.
- FAO. **FAOSTAT**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 08 jan. 2014.
- FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. Mamão. In: _____. **AGRIANUAL 2012**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo, 2013. p. 329-331.
- GALLON, C.Z. **Amolecimento precoce de polpa e sua relação com as modificações da parede celular em mamões ‘Golden’**. 2010. 111 p. Tese (Doutorado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE FRUTAS. **Estatísticas, frutas frescas, comparativo das exportações brasileiras de frutas frescas 2009-2010**. Disponível em: <<http://www.ibraf.org.br/estatisticas/Exportação/ComparativoExportacoesBrasileiras2009-2010.pdf>>. Acesso em: 08 jan. 2014.
- JACOMINO, A.P.; GALLON, C.Z.; DIAS, I.S.; PEREIRA, W.S.P. Characterization and occurrence of early softening disorder in ‘Golden’ papaya fruits. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 1261-1266, 2010.
- MARIN, S.L.D.; GOMES, J.A., SALGADO, J.S. **Recomendações para a cultura do mamoeiro cv. Solo no Estado do Espírito Santo**. 3. ed. Vitória: EMCAPA, 1987. 65 p.
- SILVA, M.M. da; BROETTO, S.G.; FONTES, R.V.; BALBINO, J.M.S.; SILVA, D.M. Influência dos fatores pré-colheita na perda de firmeza em frutos do mamoeiro (*Carica papaya* L.) cv. Golden e Gran Golden. In: PAPAYA BRASIL: mercado e inovações tecnológicas para o mamão, 2005, Vitória. **Resumos...** Vitória: INCAPER, 2005. p. 568-571.
- SOUZA, M.S. de; GIOVANINNI, K.F.R.; GOMES FILHO, A.; OLIVEIRA, J.G. de. Alterações na qualidade de frutos de mamão (*Carica papaya* L. cvs Tainung 01 e Golden) submetidos a diferentes épocas de colheita no norte do Espírito Santo. In: PAPAYA BRASIL: mercado e inovações tecnológicas para o mamão, 2005, Vitória. **Resumos...** Vitória: INCAPER, 2005. p. 564-567.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos gerais da cultura do mamoeiro

O mamoeiro é uma fruteira típica de clima tropical, exigindo temperaturas entre 20 e 28 °C, alta luminosidade e irrigação nos períodos secos do ano, para que resulte em frutos de alta qualidade. As regiões com maior produção de mamão estão distribuídas a em áreas dentro da faixa que compreende os trópicos de Câncer e de Capricórnio, com no máximo 400 metros de altitude. Regiões com invernos rigorosos e geadas não são aptas para o mamoeiro, pois inibem a produção de grão-de-pólen e não há presença de insetos polinizadores (MANICA; MARTINS; VENTURA, 2006). Esta cultura é sensível ao déficit de umidade do solo exigindo pelo menos 1.500 mm de precipitação por ano, por outro lado o encharcamento também dificulta o seu desenvolvimento (SILVA; COELHO, 2003).

As exigências nutricionais do mamoeiro são pouco conhecidas, mas sabe-se que os macronutrientes nitrogênio, potássio e cálcio são os mais absorvidos, sendo o potássio o mais requerido, principalmente na fase de florescimento (OLIVEIRA; CALDAS, 2004), dada sua importante função na regulação do potencial osmótico e também como co-fator de diversas enzimas (ARAÚJO, 2007).

A cultura do mamoeiro é bem conduzida em solos de textura areno-argilosa, rica em matéria orgânica, bem drenados e com pH entre 5,5 e 6,7 (OLIVEIRA et al., 2004). O nitrogênio é muito importante para o mamoeiro durante todo o seu ciclo, pois está diretamente relacionado com o transporte dos assimilados da planta para os frutos e, por isso, influencia nos teores de açúcares totais e não redutores. O fósforo, apesar de ser pouco exigido, tem importância nas fases de reprodução e fertilização (ARAÚJO, 2007). Dentre os micronutrientes, importante destacar o zinco, que é um elemento essencial para as plantas, pois participa diretamente da síntese do triptofano, precursor do hormônio auxina (CORRÊA et al., 2005).

O mamão é caracterizado pelo amadurecimento do tipo climatérico. Seu processo de amadurecimento continua após a sua retirada da planta com acentuada atividade respiratória e produção de etileno num determinado período que determina o pico climatérico (BRON; JACOMINO, 2006). Neste período as mudanças bioquímicas são intensificadas, como alterações da coloração da casca, da firmeza da polpa, síntese de compostos voláteis e de pigmentos. Estas transformações ocorrem poucos dias após a colheita dos frutos, o que o leva a uma vida útil pós-colheita curta. Por isso, o mamão é considerado sensível e precisa de cuidado durante sua colheita e seu manuseio na pós-colheita, com aplicação de técnicas que

tornem o seu período de comercialização maior. O transporte é um dos principais fatores que implicam em perdas significativas. Os mamões, quando transportados em caminhões com lona e em caixas de madeira, têm a vida pós-colheita reduzida por ter seu amadurecimento acelerado, maior perda de firmeza e maior índice de podridões em comparação com aqueles transportados em caixas de papelão e em caminhão refrigerado (CERQUEIRA-PEREIRA, 2009).

A falta de uniformidade e qualidade dos frutos na pós-colheita aliados com sua vida útil curta são um dos motivos do baixo volume exportado pelo país. O mamão, por ser um fruto sensível, durante o processo de beneficiamento e armazenamento, está vulnerável a perdas pelo ataque de patógenos, por injúrias mecânicas e por outros fatores abióticos.

2.2 Estresse

As respostas fenotípicas desencadeadas pelo estresse são estudadas, principalmente, em relação ao estresse pela disponibilidade de nutrientes, de água e de luz (PUIJALON; BORNETTE, 2006). Geralmente, estas mudanças fenotípicas são caracterizadas como distúrbios fisiológicos, que são respostas metabólicas dos tecidos vegetais causadas por desequilíbrio nutricional ou hídrico, temperatura ou atmosfera de armazenamento (CHITARRA; CHITARRA, 2005; KLUGE, 2001).

O mamoeiro é uma cultura exigente em água e o estresse pode ocorrer pelo excesso ou pelo déficit hídrico durante sua produção. As exigências de água durante o ciclo de produção são variáveis, sendo as fases de floração, frutificação e maturação as mais exigentes, com uma evapotranspiração média de 6 mm dia⁻¹ e em todo o ciclo em torno de 3,0 mm dia⁻¹ (MONTENEGRO; BEZERRA; LIMA, 2004). Além disso, esta necessidade varia de acordo com as condições climáticas da região e a variedade cultivada. Em média, há necessidade de mais de 1500 mm de água durante o ano para garantir uma boa produção, sendo 70 a 90 mm no inverno, 110 a 170 mm no outono e na primavera e de 180 a 270 mm de água durante o verão, somando-se chuva e irrigação (MANICA; MARTINS; VENTURA, 2006). Apesar de a cultura exigir irrigação nos períodos mais secos do ano, o fechamento dos estômatos do mamoeiro tem resposta diretamente relacionada com o déficit de pressão de vapor de água, ou seja, mesmo em condições com irrigação controlada, a baixa umidade do ar promove o fechamento estomático nas plantas de mamão, resultando em menor atividade fotossintética (CAMPOSTRINI, 2005). Os estresses abióticos também podem comprometer os aparatos fotossintéticos iniciais do fotossistema II e I, levando a falhas no processo final fotoquímico,

com ausência ou redução na formação de compostos essenciais para a manutenção da vitalidade das plantas, como o NADPH e o ATP (SILVA et al., 2011).

O excesso de água pode levar ao encharcamento do solo e, por consequência, criar um ambiente anaeróbico para a raiz. Este estresse pela ausência de O₂, normalmente, resulta em morte celular. Porém, existem alguns mecanismos das plantas que lhes permite se adaptar a esse tipo de estresse. Existem plantas, como o tomateiro, que nestas situações de estresse, tem maior produção de ACC (1-aminociclopropano-1-ácido carboxílico) o qual é levado da raiz, através do xilema, para a parte aérea, onde, em contato com o oxigênio, por intermédio da ACC oxidase, é convertido em etileno, resultando em epinastia dos pecíolos foliares, devido às altas concentrações deste hormônio (TAIZ; ZEIGER, 2006). No mamoeiro, este processo, possivelmente, pode ocorrer e com diferentes respostas na fisiologia da planta.

Apesar de o etileno ser responsável por diversas alterações fisiológicas e bioquímicas durante o amadurecimento dos frutos e, ainda, existir certa relação das enzimas da parede celular com a produção de etileno, nos estudos de Gallon (2010) frutos com distúrbio do amolecimento precoce (DAP) apresentaram menores teores de auxina logo após a colheita, indicando que existe alguma relação entre estes dois fatores.

2.3 Auxina

A auxina foi o primeiro hormônio vegetal relacionado com o crescimento encontrado em plantas e, por isso, tem considerável importância quanto a sua necessidade para a viabilidade dos vegetais (TAIZ; ZEIGER, 2006). Os meristemas apicais, as folhas jovens, os frutos e as sementes em desenvolvimento são os principais locais de síntese deste hormônio, que é translocado para outras partes da planta participando do seu crescimento e diferenciação celular (CASTRO, 2010; TAIZ; ZEIGER, 2006). A auxina está envolvida em diversas regulações metabólicas de vegetais e, ainda, tem grande relação com a atividade de outros hormônios. O principal precursor do ácido indol 3-acético (AIA), com ação auxínica, é o triptofano e a conversão deste aminoácido em auxina nos vegetais ocorre por diversas rotas.

As auxinas também estão envolvidas na regulação do desenvolvimento dos frutos. Como ela é produzida também no pólen, no endosperma e no embrião de sementes, o estímulo inicial para o crescimento do fruto também pode resultar da polinização. No estágio inicial de formação do fruto, o endosperma é a principal fonte de auxina e depois, nos estádios seguintes, o embrião em desenvolvimento pode ser a fonte principal (TAIZ; ZEIGER, 2006).

Existem estudos que demonstram a presença das auxinas em plantas sob estresse e sua influência direta ou indireta em diferentes transformações bioquímicas e de desenvolvimento,

como mudanças na firmeza de frutos. O estresse oxidativo, por exemplo, em níveis moderados, induzem a maior atividade auxínica na divisão celular e na formação de um conglomerado de células morfogênicas em raízes (PASTERNAK et al., 2005). Da mesma forma, quando os níveis de auxina foram aumentados em frutos de tomate por meio da superexpressão gênica, houve modificação na estrutura da pectina e da arquitetura do pericarpo, devido a um acréscimo incomum da divisão celular deste tecido, levando a um aumento da largura da região com uma grande quantidade de pequenas células (GUILLON et al., 2008). Diante de um estresse, ocorre aumento dos teores de auxina, promovendo aumento da célula, diminuindo o estresse da parede celular pelo seu afrouxamento (YAMAMOTO, 1996). A ligação da auxina com seu receptor induz certos genes definidos como tardios e precoces. Alguns dos genes estão relacionados à adaptação ao estresse e codificam as enzimas glutatona S-transferase e a ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) sintase, enzima-chave da biossíntese de etileno (TAIZ; ZEIGER, 2006).

Outros estudos comprovam a relação da auxina com a produção de etileno pela indução da enzima ACC sintase. Os autores Puschmanni e Romani (1983) quando estudaram o comportamento de células de frutos de pêra quanto à produção de etileno, verificaram que os níveis deste hormônio aumentavam consideravelmente e proporcionalmente com os níveis de auxina, assim como quando aplicavam a auxina exógena (ácido naftalenoacético - NAA e ácido 2,4 diclofenóxiacético - 2,4-D). Da mesma forma frutos de pessegueiro com aplicações exógenas de substâncias com ação auxínica apresentaram aumento dos teores de etileno, resultando em aceleração dos processos de amadurecimento destes frutos (TRAINOTTI; TADIELLO; CASADORO, 2007).

Contudo há evidências de que a auxina em níveis elevados inibe o amadurecimento de frutos, sendo que em alguns casos isso se daria sem a influência do hormônio na produção de etileno como no caso de fatias de banana tratadas com ácido indol 3-acético (AIA), que apresentaram o pico climatérico normalmente, mas sofreram atraso significativo na degradação de amido e síntese de açúcares solúveis (PURGATTO et al., 2002).

2.4 Parede celular

A intensidade das mudanças na parede celular pode ser diferente de acordo com a sensibilidade do fruto a algum fator de sinalização hormonal, podendo, desta forma, determinar se o fruto possui ou não o distúrbio de amolecimento precoce. Com isso, é possível que o estresse pelo excesso de água seja um fator de sinalização hormonal,

provavelmente envolvendo a auxina que, por consequência, leva à indução do amolecimento da polpa.

A parede celular é composta de celulose, hemicelulose, substâncias pécicas, proteínas, lignina, água, substâncias incrustantes como cutina e suberina e certos compostos inorgânicos (CHITARRA; CHITARRA, 2005). As funções da parede celular incluem a reorganização dos componentes da parede e, provavelmente, a transdução de sinal em resposta ao estresse ambiental e ao ataque de patógenos (SARKAR et al., 2009).

As modificações catalisadas por enzimas, principalmente as pectinolíticas como as pectinametilesterases (PME), as poligalacturonases (PG), xilanases e celulases (PAULL; GROSS; QIU, 1999), sobre a estrutura e a composição da parede celular de mamão são consideradas um importante fator do amolecimento do fruto. As modificações que ocorrem na parede celular envolvem alterações na composição e na organização das pectinas, hemiceluloses e polissacarídeos (DUAN et al., 2008). Estas mudanças podem estar associadas com a atividade da PME, que retira os grupos metil éster dos resíduos do ácido α -D-galacturônico das cadeias dos polissacarídeos pécicos (ASSIS et al., 2004), favorecendo o acesso da PG, e modificando a porosidade da parede celular (ALI; CHIN; LAZAN, 2004). A PG promove o aumento da despolimerização, com consequente aumento da solubilidade da parede celular em água, o que proporciona o amaciamento dos frutos (RESENDE et al., 2004). Da mesma forma, os autores Sañudo-Barajas et al. (2009) observaram que a solubilização de pectinas e a despolimerização de poliuronídeos sobre as mudanças da parede celular ocorreram simultaneamente ao amaciamento da polpa do mamão. Estes autores também apontaram uma correlação direta entre a solubilização de poliuronídeos, a redução da adesão celular e o amaciamento da polpa do fruto. Fontes et al. (2008) observaram em mamão cv. Sunrise Solo a correlação entre o aumento da atividade da PME após a colheita dos frutos com a perda de firmeza da polpa.

De acordo com Manrique e Lajolo (2004) a PME participa do processo de amolecimento dos frutos, desesterificando o polímero de ácido galacturônico (pectina), enquanto a PG catalisa a hidrólise das ligações β -1,4 entre os resíduos de ácido galacturônico no interior da cadeia de pectina. Além disso, durante o amadurecimento do mamão os polímeros da pectina são degradados em moléculas menores (PAULL; GROSS; QIU, 1999).

Diante da possível existência de uma ligação entre estresse por excesso de irrigação, alterações no balanço hormonal com consequentes modificações na parede celular de frutos, o objetivo deste trabalho foi analisar o distúrbio do amolecimento precoce (DAP) de mamões 'Golden' através de estudos bioquímicos e fisiológicos da planta e do fruto durante o seu

desenvolvimento e amadurecimento, considerando aspectos edafoclimáticos, hormonais, nutricionais e fisiológicos.

Referências

ALI, Z.M.; CHIN, L.H.; LAZAN, H. A comparative study on wall degrading enzymes, pectin modifications and softening during ripening of selected tropical fruits. **Plant Science**, Amsterdam, v. 167, p. 317-327, 2004.

ARAÚJO, F.A.R. de. **Biofertilizante bovino e adubação mineral no mamoeiro e na fertilidade do solo**. 2007. 103 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2007.

ASSIS, S.A. de; FERREIRA, B.S.; FERNANDES, P.; TREVISAN, H.C.; CABRAL, J.M.S.; OLIVEIRA, O.M.M.F. Gelatin immobilized pectinmethylesterase for production of low methoxyl pectin. **Food Chemistry**, Washington, v. 86, p. 333-337, 2004.

BRON, I.U.; JACOMINO, A.P. Ripening and quality of ‘Golden’ papaya fruit harvested at different maturity stages. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 18, n. 3, p. 389-396, 2006.

CAMPOSTRINI, E. Interação planta ambiente: o processo fotossintético e os distúrbios fisiológicos em *Carica papaya* L. In: PAPAYA BRASIL: mercado e inovações tecnológicas para o mamão, 2005, Vitória. **Resumos...** Vitória: INCAPER, 2005. p. 129-144.

CASTRO, P.R.C. **Hormônios vegetais**. Disponível em: <<http://docentes.esalq.usp.br/lazaropp/FisioVegGrad/Hormonios.html#i2>>. Acesso em: 06 mar. 2010.

CERQUEIRA-PEREIRA, E.C. **Caracterização e comparação de sistemas de embalagem e transporte de mamão ‘Solo’ destinado ao mercado nacional**. 2009. 114 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

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

CORRÊA, M.C.M.; NATALE, W.; PRADO, R.M.; OLIVEIRA, I.V.M.; ALMEIDA, E.V. Adubação com zinco na formação de mudas de mamoeiro. **Caatinga**, Mossoró, v. 18, n. 4, p. 245-250, 2005.

DUAN, X.; CHENG, G.; YANG, E.; YI, C.; RUENROENGKLIN, N.; LU, W.; LU, Y.; JIANG, Y. Modification of pectin polysaccharides during ripening of postharvest banana fruit. **Food Chemistry**, Washington, v. 111, p. 144-148, 2008.

FONTES, R.V.; SANTOS, M.P.; FALQUETO, A.R.; SILVA, D.M. Atividade da pectinametilesterase e sua relação com a perda de firmeza da polpa de mamão cv. Sunrise Solo e Tainung. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 54-58, 2008.

GALLON, C.Z. **Amolecimento precoce de polpa e sua relação com as modificações da parede celular em mamões ‘Golden’**. 2010. 111 p. Tese (Doutorado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

GUILLON, F.; PHILIPPE, S.; BOUCHET, B.; DEVAUX, M.; FRASSE, P.; JONES, BRIAN, BOUZAYEN, M.; LAHAYE, M. Down-regulation of an auxin response factor in the tomato induces modification of fine pectin structure and tissue architecture. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 59, n. 2, p. 273-288, 2008.

KLUGE, R.A. **Distúrbios fisiológicos em frutos**. Piracicaba: FEALQ, 2001. 58 p.

MANICA, I.; MARTINS, D.S.; VENTURA, J.A. **Mamão: tecnologia de produção pós-colheita, exportação, mercados**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2006. 361 p.

MANRIQUE, G.D.; LAJOLO, F.M. Cell-wall polysaccharide modifications during postharvest ripening of papaya fruit (*Carica papaya*). **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 33, p. 11-26, 2004.

MONTENEGRO, A.A.T.; BEZERRA, F.M.L.; LIMA, R.N. de. Evapotranspiração e coeficientes de cultura do mamoeiro para a região litorânea do Ceará. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 464-472, 2004.

OLIVEIRA, A.M.G.; CALDAS, R.C. Produção de mamoeiro em função de adubação com nitrogênio, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 160-163, 2004.

OLIVEIRA, A.M.G.; SOUZA, L.F.S.; RAIJ, B. van; MAGALHÃES, A.F.J.; BERNARDI, A.C.C. **Nutrição, calagem e adubação do mamoeiro irrigado**. Cruz das Almas: EMBRAPA, 2004. 10 p. (Circular Técnica, 69).

PASTERNAK, T.; POTTERS, G.; CAUBERGS, R.; JANSEN, M.A.K. Complementary interactions between oxidative stress and auxins control plant growth responses at plant, organ, and cellular level. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 56, n. 418, p. 1991-2001, 2005.

PAULL, R.E.; GROSS, K.; QIU, Y. Changes in papaya cell walls during fruit ripening. **Postharvest Biology and Technology**, Alexandria, v. 16, p. 79-89, 1999.

PUJALON, S.; BORNETTE, G. Phenotypic plasticity and mechanical stress: biomass partitioning and clonal growth of an aquatic plant species. **American Journal of Botany**, St. Louis, v. 93, n. 8, p. 1090-1099, 2006.

PURGATTO, E.; NASCIMENTO, J.R.O.; LAJOLO, F.M.; CORDENUNSI, B.R. The onset of starch degradation during ripening is concomitant to changes in the content of free and conjugated forms of indole-3-acetic acid. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 159, p. 1105-1111, 2002.

PUSCHMANNI, R.; ROMANI, R. Ethylene production by auxin-deprived, suspension-cultured pear fruit in response to auxins, stress, or precursor. **Plant Physiology**, Rockville, v. 73, p. 1013-1019, 1983.

RESENDE, J.M.; CHITARRA, M.I.; MALUF, W.R.; CHITARRA, A.B.; SAGGIN JUNIOR, O.J. Atividade de enzimas pectinametilesterase e poligalacturonase durante o amadurecimento de tomates do grupo multilocular. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, p. 206-201, 2004.

SAÑUDO-BARAJAS, J.A.; LABAVITCH, J.; GREVE, C.; OSUNA-ENCISO, T.; MUUYRANGEL, D.; SILLER-CEPEDA, J. Cell wall disassembly during papaya softening: role of ethylene in changes in composition, pectin-derived oligomers (PDOs) production and wall hydrolases. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 51, p. 158-167, 2009.

SARKAR, P.; BOSNEAGA, E.; AUER, M. Plant cell walls throughout evolution: towards a molecular understanding of their design principles. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 60, n. 3, p. 3615-3635, 2009.

SILVA D.M.; SANTOS, K.T. dos.; DUARTE, M.M. Eficiência fotoquímica em folhas do mamoeiro (*Carica papaya* L.) cv. Golden durante o estágio reprodutivo e caracterização da ontogenia dos frutos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 4, p. 1066-1073, 2011.

SILVA, J.G.F. da; COELHO, E.F. Irrigação do mamoeiro. In: MARTINS, D.S.; COSTA, A.F.S. da. **A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção**. Vitória: INCAPER, 2003. p. 161-197.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Tradução de E.R. Santarém et al. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 719 p.

TRAINOTTI, L.; TADIELLO, A.; CASADORO, G. The involvement of auxin in the ripening of climacteric fruits comes of age: the hormone plays a role of its own and has an intense interplay with ethylene in ripening peaches. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 58, n. 12, p. 3299-3308, 2007.

YAMAMOTO, R. Stress relaxation property of the cell wall and auxin-induced cell elongation. **Journal of Plant Research**, Tokyo, v. 109, p. 75-84, 1996.

3 RESPOSTAS FOTOSSINTÉTICAS E NUTRICIONAIS ÀS VARIAÇÕES CLIMÁTICAS EM MAMOEIROS DA REGIÃO NORTE DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

Resumo

Diante da ocorrência de excessos hídricos logo após dias progressivos de seca em pomares de mamoeiros no norte do Espírito Santo, este trabalho objetivou analisar alterações no aparato fotossintético e as alterações nutricionais destas plantas diante da simulação das variações climáticas. O experimento foi desenvolvido em área comercial do norte do Espírito Santo sob dois sistemas e lâminas de irrigação (controle: gotejamento 33 mm de água e excesso: micro aspersor 70,6 mm de água). O excesso foi aplicado durante 5 a 7 dias seguidos, mensalmente (junho, julho, agosto e outubro de 2012), e o controle de acordo com a necessidade da cultura. O delineamento foi inteiramente casualizado com 15 plantas por tratamento. As plantas foram avaliadas, de maio a outubro de 2012, quanto ao índice de clorofila, fluorescência transiente da clorofila *a*, trocas gasosas pelas folhas e composição mineral. Os teores de macro e micro nutrientes nas plantas não foram afetados pelos tratamentos de irrigação, porém variaram de acordo com a época de avaliação. A fotossíntese líquida e a eficiência do uso da água foram menores nas plantas sob estresse hídrico. O maior déficit de pressão de vapor de ar registrado em agosto resultou em menor condutância estomática. O estresse hídrico associado com as alterações de temperatura e de déficit de pressão de vapor afetou os processos fotoquímicos com alterações significativas na variação da fluorescência relativa (curva OJIP) e nos valores absolutos dos parâmetros do teste JIP das plantas dos meses de julho e outubro. Estas apresentaram menores valores do índice de desempenho potencial para a conservação de energia dos fótons absorvidos pelo FSII (PI_{ABS}), do índice de desempenho potencial para a conservação de energia dos fótons absorvidos pelo FSII para a redução dos aceptores finais do FSI (PI_{TOTAL}) e em maior fluxo específico de energia dissipada por centro de reação ativo (DI_0/RC). Os sucessivos estresses decorrentes da irrigação em excesso resultaram na queda do desempenho fotossintético e, conseqüentemente, comprometeram a qualidade da produção, visualizada pela menor produtividade e maior incidência de meleira (Papaya Sticky Disease Virus – PSDV).

Palavras-chave: *Carica papaya* L.; Estresse fisiológico; Fluorescência; Teste JIP

Abstract

The occurrence of excess water after progressive drought day in papaya orchards in northern Espírito Santo suggest this study that aimed to analyze changes in the photosynthetic apparatus and nutritional changes of these plants on the simulation of climate changes. The experiment was conducted in a commercial area north of the Espírito Santo under two systems and irrigation (control: 33 mm drip water and over: 70.6 mm micro sprinkler water). The excess was applied for 5 to 7 consecutive days each month (June, July, August and October of 2012), and control according to the needs of the crop. The completely randomized design was with 15 plants per treatment. Plants were evaluated, from May to October, in the rate of chlorophyll, chlorophyll *a* fluorescence transient, gas exchange by leaves and mineral composition. Levels of macro and micro nutrients in plants were did not affect by irrigation treatments, but varied according to the time of evaluation. The net photosynthesis and water use efficiency were lower in plants under water stress. Higher vapor pressure deficit of the air recorded in August resulted in lower stomatal conductance. Water stress associated with changes in temperature and vapor pressure deficit affected the photochemical processes with

significant changes in the variation of the relative fluorescence (curve OJIP) and the absolute parameters of the JIP test plants for the months of July and October values. These showed lower values for the performance potential for the conservation of the photon energy absorbed by PSII (PI_{ABS}), the performance index for the conservation potential of the photon energy absorbed by PSII to the reduction of end acceptors FSI (PI_{TOTAL}) and in higher specific flow of energy dissipation per active reaction center (DI_0/RC). Successive stress resulting from excess irrigation resulted in fall of photosynthetic performance and, consequently, affected the quality of production, visualized by lower productivity and higher incidence of meleira (Papaya Sticky Disease Virus - PSDV).

Keywords: *Carica papaya* L.; Physiological stress; Fluorescence; JIP test

Glossário

FSI = FOTOSISTEMA I

FSII = FOTOSISTEMA II

PQ = plastoquinona

PC = plastocianina

Q_A = quinona A

PI_{ABS} = Índice de desempenho (potencial) para a conservação de energia dos fótons absorvidos pelo FSII

PI_{TOTAL} = Índice de desempenho (potencial) para a conservação de energia dos fótons absorvidos pelo FSII para a redução dos aceptores finais do FSI.

RC/ABS = absorção da energia luminosa pelas antenas

ϕP_0 = rendimento quântico máximo do FSII ($=F_V/F_M$ ou TR_0/ABS)

ϕE_0 = rendimento quântico máximo de transporte de elétrons entre o FSII e o FSI ($=ET_0/ABS$)

δR_0 = eficiência com que um elétron pode mover-se dos aceptores de elétrons reduzidos do intersistema para o FSI ($=RE_0/ET_0$)

ϕR_0 = rendimento quântico para a redução dos aceptores finais do FSI

ϕD_0 = rendimento quântico de energia dissipada

ABS/RC = fluxo específico de energia absorvida por centro de reação ativo

TR_0/RC = fluxo específico de energia capturada por centro de reação ativo

ET_0/RC = fluxo específico de energia para o transporte de elétron por centro de reação ativo

DI_0/RC = fluxo específico de energia dissipada por centro de reação ativo;

3.1 Introdução

Alterações nos padrões do clima vêm ocorrendo nos últimos tempos e vêm trazendo perdas da ordem econômica e pessoal em diversas regiões do mundo. Estas alterações, indentificadas por modificações na intensidade e na frequência, podem prejudicar as produções agrícolas (BLAIN, 2011). Granizos, geadas, ventos fortes, secas e excessos de chuvas, aumento ou redução nas temperaturas médias são exemplos de causas prejudiciais a inúmeras áreas da produção agrícola. Zullo et al. (2006) apontam que o aquecimento global é uma das principais causas destas mudanças climáticas. Segundo pesquisas do IPCC (Intergovernmental Painel on Climate Change) de 2007 nos últimos 50 anos houve aumento de 0,13 °C por década e o principal fator foi o incremento nos teores de gás carbono. Além disso, foi apontado que há uma tendência de no verão os dias serem excessivamente quentes e com menor amplitude térmica, já que está havendo aumento das temperaturas médias noturnas (ALEXANDRE et al., 2006). Já no inverno, a cada 100 anos, foram constatadas reduções de 0,6 °C (SANSIJOLO; KAYANO, 2010).

As culturas agrícolas possuem diferentes mecanismos de tolerâncias a essas adversidades, porém algumas delas como o mamoeiro, por serem de clima tropical, não toleram baixas temperaturas assim como déficit e excesso hídrico. Diante destas situações as plantas passam por um período de estresse, o que resulta em alterações fisiológicas e bioquímicas, podendo comprometer, por fim, a qualidade da produção. No sudeste do Brasil, Blain (2009) verificou variações nas precipitações anuais principalmente no contexto de atraso do período chuvoso, resultando em meses extremamente secos com consequentes meses extremamente chuvosos. Este desequilíbrio pode resultar em estresse fisiológico nas plantas, principalmente pelo fato da ocorrência de secas e/ou chuvas extremas ser em épocas não apropriadas ao estágio fenológico da cultura em questão.

Estresse é um fator externo que exerce influência desvantajosa sobre a planta, promovendo mudanças no ciclo e divisão celulares, nos sistemas de endomembranas e vacuolização, assim como na arquitetura da parede celular (TAIZ; ZEIGER, 2006). O estresse hídrico pode ser caracterizado pela depreciação da produção em função do excesso ou déficit de água durante um período. O mamoeiro tem a característica de tolerar a falta de água e de se recuperar morfológica e fisiologicamente após uma reidratação (STOKES; STOKES, 2000; MAHOUACHI; SOCORRO; TALON, 2006). A falta de água resulta em aumento de íons K^+ , Na^+ , Cl^- , que participam da regulação osmótica das folhas, evitando grandes perdas de água por evapotranspiração (MAHOUACHI; SOCORRO; TALON, 2006). No entanto, responde fotossinteticamente com a redução dos níveis de CO_2 assimilado. O estresse por excesso de

água é pouco explorado, já que normalmente a falta deste recurso é mais comum. No entanto, alterações climáticas com aumento do índice pluviométrico, em especial nas épocas mais quentes do ano e, após longos períodos secos, têm sido registradas no sudeste, incluindo regiões produtoras de mamão no Brasil, como o Norte do Espírito Santo, nos últimos anos. Este excesso é prejudicial à cultura, pois o mamoeiro não tolera solos encharcados, devido ao seu sistema radicular pouco profundo e superficial. O excesso de água pode levar a anaerobiose das raízes e, por consequência, redução do seu metabolismo, seja por falta de oxigênio ou pela diminuição da translocação de nutrientes (TAIZ; ZEIGER, 2006). A lixiviação de nutrientes do solo também ocorre com o excesso de chuvas, o que pode levar a alterações que depreciam a produtividade e a qualidade do pomar.

O trabalho de Gallon (2010) hipotizou que algumas alterações na qualidade pós-colheita de mamões ‘Golden’ podem ter relação com o excesso de água durante períodos quentes. Porém, alterações fisiológicas e bioquímicas das plantas diante destas condições ambientais podem ocorrer antecipadamente às modificações da qualidade final do produto.

O estresse que é desenvolvido na planta em função de adversidades climáticas pode resultar em mudanças no aparato fotossintético. Variações na temperatura, luminosidade e déficit de pressão de vapor podem levar a alterações na assimilação fotossintética de CO_2 , na condutância estomática (ELSHARKAWY et al., 1985; MARLER; MICKELBART, 1998; MACHADO FILHO et al., 2006), assim como na redução do rendimento quântico do FSII (CRITCHLEY; RUSSELL, 1994).

Danos e/ou reparos no aparato do sistema fotossintético podem ser medidos pela transferência de gases nas folhas, por meio de um analisador de gás de infravermelho (IRGA), pela quantificação de clorofila, pelo índice de cor verde determinada pelo clorofilômetro e, ainda, pela análise da emissão da fluorescência transiente da clorofila *a* usando um fluorômetro.

A análise de trocas gasosas de folhas de mamoeiro pode contribuir para a investigação de respostas desta cultura às variações edafoclimáticas, assim como da nutrição mineral das plantas. Um aumento dos níveis de nitrogênio, por exemplo, pode levar ao aumento da taxa fotossintética ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-2}$), revelando a proporcionalidade destes atributos (CRUZ et al., 2007).

O índice de clorofila, que indica a cor verde refletida pelas clorofilas *a* e *b* nas folhas, também é usado como ferramenta indicativa de estresse. À medida que as plantas vão envelhecendo, ocorre degradação da clorofila e, consequentemente amarelecimento, indicado

pela análise não destrutiva da clorofila (MOREIRA et al., 2011). A relação deste índice com os teores de N também é positiva (CANCELIER et al., 2013; MOREIRA et al., 2011).

É bem sabido que a fluorescência transiente da clorofila *a* é uma ferramenta eficaz, não invasiva, rápida e sensível para detectar as condições estruturais bem como as condições funcionais do aparelho fotossintético (STRASSER et al., 2004; TÓTH, 2006; CHEN et al., 2012). De toda energia luminosa absorvida pelas clorofilas, parte é usada nas reações fotoquímicas da fotossíntese, parte é liberada como calor e parte é emitida como fluorescência. A fluorescência emitida pelas clorofilas está associada ao FSII e é bastante variável em função do estado fisiológico da planta, já que tem relação com o estado redox da quinona A (Q_A). Quando Q_A está no estado oxidado, a fluorescência é baixa e quando está no estado reduzido, é alta (KALAJI et al., 2011). A atividade fotoquímica do FSII depende da quantidade de luz recebida. O mínimo de fluorescência é iniciado quando a luz é recebida, já que Q_A está no estado oxidado e todos os centros de reação estão abertos (CORTLEVEN; VALCKE, 2011; KALAJI et al., 2011). As clorofilas deste sistema podem usar 95% dos fótons nas reações fotoquímicas, resultando em 0,5% de fluorescência e 4,5% de calor ou dissipar 95% como calor, gerando de 2,5 a 5% de fluorescência. Neste último caso, a fluorescência é máxima já que a iluminação é forte o suficiente para fechar todos os centros reativos, mantendo a Q_A reduzida (CORTLEVEN; VALCKE, 2011).

A eficiência com que os fótons são absorvidos e utilizados nas reações fotoquímicas que ocorrem ao longo da cadeia transportadora de elétrons pode ser analisada indiretamente pelos dados da intensidade da fluorescência fornecidos pela curva polifásica OJIP e pelo teste JIP, desenvolvido por Strasser e Strasser (1995). A fase rápida da curva OJIP, de indução da fluorescência, representa a atividade do transporte de elétrons no FSII, incluindo a funcionalidade do complexo envolvendo o oxigênio (MORALES FLORES et al., 2013). A cinética transiente OJIP é determinada principalmente pelas mudanças no estado redox do primeiro acceptor de elétrons do FSII (a quinona A), isto é, redução da QA pelo FSII e re-oxidação pelo FSI (CORTLEVEN; VALCKE, 2011). Desta forma, qualquer dano nesta sequência é possivelmente detectado por este teste. Os parâmetros calculados pelo Teste JIP permitem, ainda, avaliar a eficiência no transporte de elétrons na membrana dos tilacoides e, por conseguinte, o funcionamento da ferredoxina redutase e o ciclo de Calvin (SCHANSKER et al., 2003).

As respostas fisiológicas da cultura do mamão ao estresse ambiental podem ser evidenciadas num estudo das trocas gasosas, da fotossíntese líquida e da nutrição mineral das plantas. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi identificar alterações fotossintéticas e

nutricionais em mamoeiros ‘Golden’ em função de mudanças climáticas somadas ao excesso hídrico aplicado em área produtiva do norte do Espírito Santo.

3.2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido em pomar comercial da empresa Caliman Agrícola S/A no norte do Espírito Santo (latitude sul 19°23’28’’ e longitude oeste 40°04’20’’) entre maio e outubro de 2012. A região é caracterizada por clima do tipo tropical quente úmido com chuvas no verão e seco no inverno sendo, segundo classificação de Köppen, do tipo Af. A região apresenta índice médio pluviométrico anual de 1.193 mm, temperatura média de 23,4 °C, máxima de 32 °C e mínima de 19,6 °C (INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL –INCAPER, 2014).

Os mamoeiros ‘Golden’ da área experimental apresentavam idade aproximada de 1 ano e 6 meses. Em maio de 2012 foram realizadas avaliações de caracterização das plantas. A partir de junho de 2012 as plantas foram conduzidas com dois manejos de irrigação: um com sistema de gotejamento com volume definido pela empresa para condução da cultura (33 mm de lâmina bruta) e outro em sistema de micro aspersor com volume em excesso de água para a cultura (70,6 mm de lâmina bruta). O excesso de irrigação foi previamente definido por meio de experimentos realizados nos anos de 2010 e 2011. Este excesso foi aplicado em 4 épocas entre o período de junho a outubro de 2012. Após 5 a 7 dias com aplicação das lâminas de água, medições dos índices de clorofila, parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* e das trocas gasosas foram realizadas no horário entre 8 e 11h da manhã, utilizando a mesma folha jovem, totalmente expandida contendo uma flor aberta na base de quinze (15) plantas de cada tratamento. Os teores de clorofila foram estimados usando um medidor portátil de clorofila (Mod.CL-01, Hansatech Instruments Ltd., King’s Lynn Norfolk, UK), conforme metodologia descrita por Cassol et al. (2008), expressos como índice de clorofila. As trocas gasosas nas folhas foram estimadas em sistema aberto, sob temperatura ambiente e luz artificial de cerca de 1.300 $\mu\text{moles de f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, com um analisador de gás no infravermelho, portátil, (IRGA, modelo LCI Pro+ System, ADC BioScientific Ltd., England). Para indução da fluorescência da clorofila *a*. As medições foram realizadas com um fluorômetro portátil (Modelo Handy PEA, Hansatech Instruments, King’s Lynn, Norfolk, UK). As folhas, não destacadas, foram previamente adaptadas ao escuro por, no mínimo, 30 minutos para oxidação completa do sistema fotossintético de transporte de elétrons. A emissão de fluorescência foi induzida em uma área de 4 mm de diâmetro da folha pela exposição da amostra a um pulso de luz vermelha (pico 650 nm) numa intensidade de cerca

de $3.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. As intensidades de fluorescência foram medidas entre 20 μs e 1 s. A partir destas intensidades de fluorescência medidas em: 50 μs (F_0 – fluorescência inicial), 100 μs , ($F_{100\mu\text{s}}$), 300 μs , ($F_{300\mu\text{s}}$), 2 ms ($F_{2\text{ms}}$ - ponto J), 30 ms ($F_{30\text{ms}}$ - ponto I) e F_M (fluorescência máxima) foram calculados os parâmetros do Teste JIP (STRASSER; STRASSER, 1995). O Teste JIP permite calcular os fluxos específicos por centro de reação, a eficiência ou rendimentos quânticos e os índices de desempenho dos fotossistemas II e I, utilizando o software Biolyzer (cedido pelo Dr. Reto Strasser, Universidade de Genebra) (STRASSER et al., 2004; TSIMILLI-MICHAEL; STRASSER, 2008).

Além destas avaliações, foram determinados os teores de nutrientes minerais em pecíolos das folhas dos mamoeiros e a fertilidade do solo quanto aos macro e micronutrientes. Para avaliação da nutrição mineral das plantas, para cada tratamento foram utilizadas 3 repetições com 12 pecíolos cada. Estes foram coletados de folhas totalmente expandidas contendo uma flor aberta na base. Em seguida, foram refrigerados a $15 \pm 2^\circ \text{C}$ e avaliados no laboratório de Análise Foliar do Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP) quanto aos macro e micro nutrientes. As amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0 a 20 e 21 a 40 cm da superfície. Foram avaliadas 3 repetições de cada área de tratamento quanto aos macro e micro nutrientes antes do início do experimento (maio de 2012) e em 3 épocas durante a aplicação dos tratamentos (agosto, outubro e novembro de 2012) pela Empresa Fullin – Laboratório de Análise Agronômica e Ambiental Ltda da cidade de Linhares/ES.

Durante o período de janeiro a outubro de 2012 dados meteorológicos diários (temperaturas médias do ar, máximas e mínimas, umidade relativa do ar, precipitação) foram fornecidos pela estação meteorológica do INMET no INCAPER/Sooretama-ES, aproximadamente 5 km da área experimental. Ainda foi determinada a lâmina de água bruta acumulada num período de 30 dias antecedentes às avaliações nas áreas com e sem excesso de irrigação. O déficit de pressão de vapor foi calculado de acordo com a equação (1) e (2) descrita por Jones (1992).

$$\text{DPVar (kPa)} = 0,61137 e^t * (1 - \text{UR}/100) \quad \text{Eq. (1)}$$

Em que o t é calculado pela equação:

$$t = 17,502 * (\text{Tar}) / (240,97 + \text{Tar}) \quad \text{Eq. (2)}$$

O delineamento estatístico foi inteiramente aleatorizado em esquema fatorial 2 x 5 (2 lâminas de irrigação e 5 períodos de coleta). Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

3.3 Resultados

De acordo com os dados meteorológicos de precipitação ocorrida, temperatura e umidade relativa do ar coletados de janeiro a outubro de 2012 (Figura 1), é possível observar que em meados de agosto foram registrados mais de 200 mm de água. As menores precipitações ocorreram entre fevereiro e maio, com média de 40 mm (Figura 1A). Na figura 1B, nota-se que as maiores temperaturas médias em torno de 25 °C foram registradas entre os meses de janeiro e abril, e as menores, em torno de 15 °C, entre julho e setembro de 2012. A maior variação da umidade relativa do ar, de 90 a 65%, foi registrada entre julho e setembro (Figura 1C).

Ao observar os dados médios registrados dentro de 30 dias antecedentes as avaliações (Tabela 1), nota-se que a maior média de temperatura máxima foi no período do mês de maio (12/04 a 17/05) e a menor média de temperatura mínima foi no período do mês de agosto (26/07 a 30/08). Além disso, a precipitação média ocorrida, assim como a lâmina de água média na área do controle e na área com excesso foram maiores ($P < 0,05$) no período correspondente ao mês de agosto (26/07 a 30/08) que as ocorridas nos demais períodos.

Figura 1 - Precipitação ocorrida (A), temperaturas médias, máximas e mínimas (B) e umidade relativa do ar (C) registrados diariamente entre os meses de janeiro a outubro de 2012, durante a formação dos frutos de mamoeiros 'Golden' do norte do Espírito Santo avaliados quanto à atividade fotossintética

Tabela 1 - Dados médios de temperatura do ar (Tar), temperatura mínima (Tmin) e máxima (Tmax), umidade relativa do ar (UR), precipitação ocorrida (Po), lâmina de água bruta da área controle (Lbc) e lâmina de água bruta da área tratada (Lbt) registrados durante 30 dias antecedentes às medidas de fisiologia das plantas de mamoeiro 'Golden' da área experimental do norte do Espírito Santo em 2012

Período de registro	Tar (°C)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	UR (%)	Po (mm)	Lbc (mm)	Lbt (mm)
12/04 – 17/05	23,9 a	30,5 a	19,9 a	77,6 b	22,7 b	33,8 b	33,8 c
17/05 – 23/06	22,8 b	29,5 ab	18,5 b	81,2 a	30,9 b	42,7 b	51,3 bc
23/06 – 26/07	21,4 c	28,1 c	17,3 bc	80,8 ab	35,5 b	48,2 b	69,3 b
26/07 – 30/08	21,1 c	27,3 c	16,7 c	81,4 a	85,8 a	91,9 a	105,5 a
30/08 – 03/10	22,0 bc	28,5 bc	17,7 bc	77,8 b	23,6 b	37,8 b	44,3 c

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Houve acréscimo dos valores de déficit de pressão de vapor do ar (DPVar) no horário das avaliações fisiológicas dos mamoeiros 'Golden' do mês de agosto, entre 8 e 11 horas (Figura 2) em relação às demais épocas de avaliação. Este acréscimo deve-se à redução da umidade relativa do ar neste período entre 8 e 11 horas no dia da avaliação. Entre 15 e 18 horas o aumento do DPVar ocorrido nos outros meses é esperado, já que nestas horas do dia, há uma redução considerável da umidade relativa do ar. Em agosto este aumento não ocorreu em função de registro de chuvas, aumentando, com isso a umidade do ar.

Figura 2 - Déficit de pressão de vapor do ar (DPV ar) em área experimental de mamão 'Golden' do Norte do Espírito Santo em função das épocas de avaliações fisiológicas da cultura no ano de 2012

O tratamento com excesso de irrigação resultou em alterações na fertilidade do solo (Tabela 2). Menores teores de K, S, Fe, P, Na e Mg foram registrados em amostras de solo do tratamento com excesso de água ($P < 0,05$).

Houve variação de alguns nutrientes minerais no solo da área experimental ao longo das avaliações de maio a outubro de 2012, independente dos tratamentos com e sem excesso de irrigação (Tabela 2). A quantidade de K foi menor em outubro, mas sem diferença para o encontrado em junho na profundidade de 20-40 cm. As quantidades de S foram maiores em julho e as de Mn foram maiores em outubro, mas sem diferença para o encontrado em julho. Os teores de Zn foram menores em junho e outubro e os de Na menores em outubro. Já com relação ao cobre, de 0-20 cm, em maio foram registradas as maiores quantidades, em média $2,8 \text{ mg dm}^{-3}$. Os teores de Ca e de Mg foram maiores em maio ($P < 0,05$). Não houve variação significativa para os teores de Fe e de P entre os meses de maio a novembro de 2012.

Tabela 2 - Teores médios de nutrientes minerais presentes em amostras de solo em área de mamoeiro 'Golden' do norte do Espírito Santo em função das épocas de coleta do ano de 2012 e dos tratamentos com e sem excesso de irrigação

Época de	K	Ca	Mg	S		P	Mn		Zn		Cu	Na	Fe
Coleta	20-40 ¹	0-20	0-20	0-20	20-40	0-20	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20 ²	20-40	0-20
	mg dm ⁻³	cmol		mg dm ⁻³		cmol	*****mg dm ⁻³ *****						cmol
17/mai	**	3,6 a	0,9 a	12,8 b	**	160,0 ^{n.s.}	38,8 c	**	8,0 a	**	2,8 a	**	60,7 ^{n.s.}
30/ago	95,8 ab	2,5 b	0,5 b	13,6 b	19,8 b	128,3 ^{n.s.}	75,5 b	61,7 b	4,0 b	3,2 b	1,1 b	47,8 ab	49,8 ^{n.s.}
03/out	129,8 a	2,7 b	0,6 b	26,6 a	33,8 a	96,2 ^{n.s.}	92,7 ab	85,2 ab	8,1 a	5,5 a	1,4 b	62,5 a	56,0 ^{n.s.}
11/nov	89,3 b	3,0 ab	0,6 b	9,5 b	13,2 b	114,5 ^{n.s.}	110,2 a	91,3 a	5,0 ab	3,5 b	1,2 b	41,2 b	49,0 ^{n.s.}
Sem excesso	122,8 a	3,1 ^{n.s.}	0,6 a	20,6 a	28,8 a	143,1 a	82,5 ^{n.s.}	83,3 ^{n.s.}	6,0 ^{n.s.}	4,1 ^{n.s.}	1,6 ^{n.s.}	58,2 a	60,1 a
Com excesso	87,2 b	2,8 ^{n.s.}	0,4 b	10,7 b	15,8 b	106,4 b	76,1 ^{n.s.}	75,4 ^{n.s.}	6,5 ^{n.s.}	4,1 ^{n.s.}	1,7 ^{n.s.}	42,8 b	47,7 b

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ¹ Profundidade do solo de 20 a 40 cm; ² profundidade do solo de 0 a 20 cm. ^{n.s.} Diferença não significativa ao nível de 5%. ** Não foram realizadas coletas de amostras de 20-40 cm do solo na data de 17 de maio de 2012

Entre junho e outubro de 2012 (Figura 3), constatou-se que, com exceção dos teores de ferro, a nutrição mineral das plantas não sofreu influência dos tratamentos com e sem excesso de irrigação. Porém, ocorreram diferenças entre as épocas de avaliação das plantas quanto aos teores de N, P, K, Ca, S, Cu e Fe. Entre as épocas de avaliação os teores de P foram maiores nas plantas de agosto e, ainda, os de S foram menores apenas nas plantas de outubro (Figura 3B). Nestas plantas também foram encontrados os menores teores de N e de K (Figura 3A), enquanto que os menores teores de Ca foram encontrados nas plantas avaliadas em junho (Figura 3A). Nestas de junho, ainda, foram encontrados maiores teores de Fe que as das demais épocas ($197,07 \text{ mg kg}^{-1}$ contra em média 42 mg kg^{-1}) (Figura 3D). Os teores de Cu foram menores nas plantas de julho (Figura 3C).

Os teores de ferro encontrados nas plantas do controle, sem excesso de água, em média foram de $107,26 \text{ mg kg}^{-1}$, maiores que aqueles encontrados nas plantas com excesso de água, $60,97 \text{ mg kg}^{-1}$.

Figura 3 - Teores médios de macro (N, K, Ca (A); P, S (B)) e micronutrientes (Cu (C); Fe (D)) em pecíolos de folhas de mamoeiro 'Golden' do norte do Espírito Santo em função de épocas de coleta no ano de 2012. Médias com letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Diante dos resultados de trocas gasosas pelas plantas de mamoeiros 'Golden', é possível observar que entre as plantas que apresentaram maior condutância estomática (g_s) (maio e julho), a maior fotossíntese líquida (A) foi registrada para aquelas de julho, que foram mais eficientes quanto à carboxilação (A/C_i). As plantas de maio, mesmo com alta condutância estomática, não resultaram em alta A , devido à baixa A/C_i (Tabela 3). O mesmo ocorreu entre as plantas sem e com excesso de irrigação, aquelas com excesso apresentaram menor A que as sem excesso, uma vez que apresentaram menor eficiência da carboxilação e menor eficiência do uso da água (A/E).

O contrário foi observado nas plantas de agosto que com baixa condutância estomática (g_s) refletiram em menor A que as plantas de julho, sem diferir das demais avaliações. Além disso, apresentaram menor eficiência do uso da água (A/E) e menor relação carbono interno e ambiente que as demais plantas avaliadas (Tabela 3).

As plantas de junho apresentaram menor índice de clorofila que aquelas de maio e maior A/E que as demais épocas de avaliação das plantas ($p < 0,05$).

Tabela 3 - Valores médios de índice de clorofila, condutância estomática (g_s), taxa de fotossíntese líquida de CO_2 (A), razão entre a concentração interna e ambiente de CO_2 (C_i/C_a), eficiência da carboxilação (A/C_i) e eficiência do uso da água (A/E) em folhas de mamoeiros 'Golden' da região norte do Estado do Espírito Santo em função das épocas de avaliação do ano de 2012 e dos tratamentos com e sem excesso de irrigação

Época	Índice de clorofila	g_s ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	C_i/C_a	A/C_i	A/E
17/mai	40,74 a	0,21 a	6,48 b	0,55 ab	0,038 ab	4,16 b
23/jun	36,74 b	0,16 ab	7,59 ab	0,59 a	0,035 b	6,68 a
26/jul	35,77 b	0,17 a	9,19 a	0,54 ab	0,049 a	4,36 b
30/ago	35,63 b	0,05 c	6,11 b	0,44 c	0,047 ab	2,99 c
Sem excesso	34,04 ^{n.s.}	0,13 ^{n.s.}	8,52 a	0,50 b	0,05 a	5,35 a
Com excesso	33,98 ^{n.s.}	0,15 ^{n.s.}	7,54 b	0,56 a	0,04 b	4,34 b

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ^{n.s.} Diferença não significativa ao nível de 5%

Ao avaliar os resultados das curvas OJIP obtidas a partir da fluorescência transiente da clorofila *a* (Figura 4A), nota-se que apenas no mês de maio o aparelho fotossintético das plantas não sofreu alterações provocadas pelos estresses ambientais. O efeito das variações ambientais provocou estresses nos demais meses, fato evidenciado pelos valores positivos obtidos pela diferença da fluorescência variável relativa (V_t) (Figura 4B).

Na figura 4B, percebe-se que durante os meses de julho e outubro houve maiores diferenças positivas na fluorescência variável relativa. Essas diferenças positivas fortalecem a ideia de que as condições ambientais nestes meses somadas ao excesso de irrigação aplicado alteraram a atividade fotoquímica das plantas. Maiores diferenças positivas identificadas nestas plantas demonstram menor eficiência de uso da energia absorvida. O passo J indica um bloqueio no transporte de elétrons de Q_A para Q_B resultando no acúmulo de Q_A reduzida. Enquanto que a maior diferença positiva na etapa O-I, observada no mês de outubro, indica a inibição do transporte dos excitons do FSII até a redução do 'pool' de plastoquinonas nas membranas dos tilacóides. Também a etapa I-P positiva sugere inibição na transferência de elétrons desde a plastoquinona reduzida (PQH_2) até os aceptores de elétrons do FSI. Nesta etapa, nota-se que houve influência das condições ambientais somadas ao excesso hídrico nas plantas avaliadas em junho e em agosto. Somente durante o mês de maio foram registrados menores valores da fluorescência da clorofila *a* e consequentemente maior eficiência fotoquímica, pois foram registrados valores negativos na ΔV_t (Figura 4B).

Figura 4 - Fluorescência transiente da clorofila *a* de folhas adaptadas ao escuro de mamoeiros ‘Golden’ do norte do Espírito Santo em épocas com e sem excesso de lâminas de água do ano de 2012. A = fluorescência variável relativa; B = diferença cinética de V_{OJ} [$\Delta_{OJ} = V_{OJ}(\text{excesso}) - V_{OJ}(\text{controle})$]

A relação entre os parâmetros do Teste JIP e as épocas de aplicação das lâminas de água (Figura 5) confirma a curva OJIP (Figura 4). Estes parâmetros que foram expressos como a fração relativa dos valores absolutos das plantas controle tomados como referência e igual à unidade mostram que as plantas tratadas e avaliadas em julho e outubro foram as que apresentaram maiores variações em relação aquelas do controle. Nestes meses, as plantas responderam com inibição relativa do transporte de elétrons para o FSI, o que foi evidenciado pela redução dos parâmetros ϕR_0 (evidencia a transferência de elétrons da PQH_2 para o complexo citocromo *b_6f*); δR_0 (evidencia a transferência de elétrons da PC para o FSI); ϕP_0

(representa o rendimento quântico máximo do FSII); PI_{ABS} (representa o índice de desempenho (potencial) para a conservação de energia dos fótons absorvidos pelo FSII); PI_{TOTAL} (representa o índice de desempenho (potencial) para a conservação de energia dos fótons absorvidos pelo FSII para a redução dos aceptores finais do FSI). A confirmação desta baixa eficiência pôde ser notada pelo aumento do rendimento quântico de dissipação de energia (ϕD_0) e do fluxo de energia dissipada por centro de reação ativo do FSII (DI_0/RC) (Figura 5). As plantas tratadas avaliadas em agosto, quando comparadas com aquelas sem tratamento, apresentaram maior desempenho total (PI_{TOTAL}) e maior eficiência no transporte de elétrons no intersistema (ϕE_0 , ϕR_0 e δR_0). Além disso, estas plantas resultaram em menor eficiência quântica máxima do FSII (PI_{ABS}), não diferindo das plantas dos meses de julho e outubro, assim como para os parâmetros DI_0/RC e ϕD_0 (Figura 5). Já as plantas de julho não sofreram alteração em relação as do controle quanto aos parâmetros PI_{TOTAL} , ABS/RC , TR_0/RC e ET_0/EC , porém, quanto ao PI_{ABS} , apresentou maior valor que as demais plantas (Figura 5).

Figura 5 - Parâmetros do Teste-JIP obtidos em plantas de mamoeiro 'Golden' do norte do Espírito Santo em função de épocas do ano de 2012 com e sem excesso de lâminas de água. Cada parâmetro é expresso como fração relativa dos valores do controle tomado como referência e igual à unidade. O asterisco (*) indica diferença significativa entre as épocas de avaliação para cada parâmetro $p < 0,05$

Além destes resultados apresentados, durante o desenvolvimento do experimento, foi notado, visualmente, que as plantas tratadas com excesso hídrico apresentaram maior queda das folhas e maior susceptibilidade ao Papaya Sticky Disease Virus – PSDV, motivo pelo qual muitas plantas foram erradicadas. E, ainda, a menor produtividade destas plantas tratadas foi evidenciada pela dificuldade de obtenção de número ideal de frutos para as análises.

3.4 Discussão

De acordo com os resultados obtidos, é provável que as maiores alterações fisiológicas nos mamoeiros ‘Golden’ ocorreram em função das variações climáticas ao longo das avaliações de maio a outubro de 2012 somadas ao excesso de água aplicado via irrigação.

O excesso de água no mamoeiro refletiu principalmente em menores teores de nutrientes no solo e nas plantas. Um maior acúmulo de água no solo possibilita a perda de nutrientes por lixiviação, diminui a aeração quando próxima à região radicular da planta, debilitando seu processo de absorção de nutrientes, promovendo, ainda, maior incidência de doenças (MARIN et al., 1995). Isso comprometeu a vitalidade das plantas, indicada pelo menor desempenho fotoquímico (PI_{TOTAL}), que sintomaticamente refletiu, ao longo do tempo, em maior incidência de meleira (Papaya Sticky Disease Virus – PSDV) e menor produtividade.

Além de haver variações de nutrientes no solo entre as avaliações, os conteúdos encontrados na profundidade de 0 a 20 cm, segundo Costa e Costa (2003), indicam que, independente das épocas de avaliação, os teores de K e de Cu estavam abaixo das recomendações para o mamoeiro, que são de 30 a 60 mg dm⁻³ para o K e de 1,6 a 5,0 mg dm⁻³ para o Cu. Assim como os teores de Zn que, nos meses de junho e outubro, foram registrados com teores abaixo dos recomendados, que variam de 7 a 10 mg dm⁻³. Já o fósforo e o manganês apresentaram teores acima dos recomendados, que variam de 10 a 20 mg dm⁻³ para o P e de 5 a 10 mg dm⁻³ para o Mn. Os teores de Ca, Mg e S estavam dentro dos valores estabelecidos para a cultura.

Com exceção do Ca, os demais nutrientes encontrados em solos com excesso de irrigação e em proporções diferentes daqueles da área controle ($P < 0,05$) estavam abaixo do recomendado para a cultura. Isso refletiu, em partes, na nutrição mineral das plantas tratadas (Figura 3), já que apresentaram teores dos macronutrientes N, P, K e S abaixo dos recomendados por Reuther e Robinson (1986) e Costa (1995) e abaixo dos encontrados em plantas do controle. Estes macronutrientes são essenciais para a manutenção da atividade fotossintética, pois participam da atividade carboxilativa da RubisCO e quando deficientes

podem comprometer a atividade de algumas enzimas do Ciclo de Calvin (CRUZ, 2001; CRUZ et al., 2004).

De acordo com Costa (1995), os teores ideais de Fe para o mamoeiro variam de 45 a 51 mg kg⁻¹. Isso demonstra que as plantas submetidas ao tratamento com excesso de água não apresentaram deficiência deste nutriente. Porém, aquelas do controle estavam com teores em excesso, em especial as avaliadas em junho, e, aquelas de outubro foram registradas com teores menores que os recomendados (Figura 3D). Por ser um micronutriente, o Fe em excesso pode promover toxicidade.

Considerando os demais nutrientes e as épocas de avaliações, com exceção do Ca, os teores médios registrados nas plantas estavam abaixo dos recomendados para uma cultura com boa produtividade (Figura 3). Os teores de N devem variar de 13 a 25 g kg⁻¹ (AWADA, 1977; AWADA; LONG, 1980; PEREZ; CHILDERS, 1982; PEREZ-LOPEZ; REYES, 1984), os de P de 2 a 4 g kg⁻¹ (AWADA, 1977; AWADA; LONG, 1978), os de K entre 30 e 60 g kg⁻¹, os de S entre 3 e 9 g kg⁻¹ (REUTHER; ROBINSON, 1986) e os de Mg de 5,3 a 5,7 g kg⁻¹ (COSTA, 1995). As plantas avaliadas em outubro apresentaram os menores teores de N, P, K, S e Fe (P<0,05). Estas últimas plantas podem ter apresentado esta deficiência nutricional em função do estresse causado pela frequência de 4 meses com excesso de irrigação. A redução de N e de Fe, com aumento de lâmina de água, também foi registrado em pecíolos de mamoeiros ‘Sunrise’ por Almeida et al. (2002). Os mesmos autores relataram ainda, que, apesar desta possível deficiência apresentada nos dados, a produtividade da cultura é o que melhor responde ao balanço nutricional, pois as recomendações citadas podem variar entre as regiões produtoras do país.

Os reflexos na atividade fotossintética diante destes resultados foram evidentes em alguns fatores. O menor índice de clorofila em plantas avaliadas em outubro pode ser reflexo dos menores teores de K e de Fe encontrados nestas plantas. Assim como a redução da condutância estomática (g_s), que depende da eficiência do mecanismo de abertura estomática cujo elemento, potássio, é fundamental para o seu completo funcionamento. O potássio é responsável também pela manutenção da turgescência e osmorregulação celular, comprometendo, quando deficiente, a atividade fotossintética e a expansão celular. Já o fósforo, outro nutriente essencial para o desempenho fotossintético e metabólico das plantas, é exigido no armazenamento e transferência de energia, no transporte de elétrons, na atividade enzimática e na regulação da síntese e transporte de carboidratos, pois faz parte da constituição dos ácidos nucleicos (COSTA; COSTA, 2003). A redução dos teores de Fe e P podem também ter refletido na diminuição dos parâmetros relacionados com o desempenho

do fotossistema I (δR_0 e ϕR_0). A participação do ferro neste processo é determinante na síntese de clorofila e em reações de oxido-redução, sendo, ainda componente, junto ao enxofre, da ferredoxina, complexo envolvido diretamente na redução final do NADP a NADPH (TAIZ; ZEIGER, 2004; SILVA et al., 2011).

Como o N é constituinte das moléculas de clorofila pode ser que seus teores nas folhas sejam proporcionais aos índices de clorofila registrados pelo SPAD. Esta relação foi evidenciada nas avaliações ao longo dos 5 meses avaliados. As plantas com menores teores de N, avaliadas em outubro de 2012 (Figura 3), apresentaram o menor índice de clorofila (Tabela 3) e, consequentemente, menores eficiências quanto aos parâmetros ϕP_0 , δR_0 , ϕR_0 , PI_{ABS} e PI_{TOTAL} (Figura 4) e maiores diferenças positivas na etapa O-I da curva OJIP (Figura 4B). A proporcionalidade dos teores de N com o índice de clorofila também foram registrados em estudo com materiais propagativos de batata e diferentes doses de N (MOREIRA et al., 2011). Com o aumento destes teores, ocorre aumento do índice de clorofila, porém com possíveis influências abióticas e bióticas. Além desta relação, a fluorescência transiente da clorofila *a* também teve relação com os teores de N em avaliação de folhas de cafeeiro do Estado do Rio de Janeiro (NETTO et al., 2005). Este estudo demonstrou que maiores índices de clorofila (em torno de 40) refletiram em eficiência quântica máxima dos centros de reação do FSII ($\phi P_0 = F_V/F_M$).

A falta de oxigênio provocada pelo excesso de água por mais de 48h em solo pode promover redução da produtividade e até morte da cultura do mamoeiro (KHONDAKER; OZAWA, 2007). Estes autores identificaram que a falta de oxigênio para as raízes promove efeitos significativos no aparato fotossintético. Ao submeterem mamoeiros ‘Tai N2’ a baixas concentrações de oxigênio no solo, simulando o efeito do estresse por excesso de água, identificaram menores taxas fotossintéticas e menores índices de clorofila nas plantas, além da redução considerável da produtividade desta cultura. O maior acúmulo de água registrado no mês de agosto de 2012 pode ter promovido este comportamento nas plantas avaliadas, já que estas apresentaram menores taxas fotossintéticas líquidas (A) (Tabela 3).

Além do excesso de irrigação e do acúmulo de água terem resultado em alterações fisiológicas em função de deficiências nutricionais e debilitação da planta, o aumento do déficit de pressão de vapor do ar no período da avaliação, entre 8 e 11 h, das plantas no mês de agosto (Figura 1) reduziu a condutância estomática (g_s) e a taxa fotossintética líquida (A) (Tabela 3). A correlação negativa entre os fatores DPVar e g_s é comprovada em estudos com mamões do grupo ‘Solo’ e ‘Formosa’ em região nordeste do Brasil (MACHADO FILHO et al., 2006). Apesar de ter havido maior acúmulo de água neste mês de agosto (Tabela 1), as

respostas do mamoeiro quanto a g_s podem ter sido em função do maior DPV_{ar}. Esta cultura tem uma sensibilidade maior à umidade do ar do que ao volume hídrico no solo, comportamento comprovado em estudos com mamoeiro ‘Red Lady’ (MARLER; MICKELBART, 1998) e ‘Formosa’ (REIS et al., 2004) cultivados em condições com boa disponibilidade de água.

Normalmente, o fechamento dos estômatos favorece o uso da água, já que há menores perdas por transpiração. Este comportamento ocorre em plantas sob déficit hídrico, como relatado por Reis et al. (2004) em estudos com mamoeiros do grupo ‘Formosa’. No entanto, comportamento oposto ocorreu nas plantas do presente estudo, em situações de excesso hídrico. As plantas avaliadas no mês de agosto, caracterizado com maior DPV_{ar} e maior acúmulo de água (Tabela 1 e Figura 1), apresentaram menor eficiência do uso da água e menor remoção do carbono pela fotossíntese (Tabela 3). Mesmo com baixa condutância estomática, o excesso de água pode ter resultado em menor eficiência do uso deste recurso pela planta, já que não existiu necessidade de conservá-lo.

Os resultados da curva OJIP (Figura 4) refletiram também no efeito que as variações climáticas e o excesso de irrigação, ocorridos entre os meses de junho e outubro, promoveram nas plantas avaliadas. Nota-se que as condições destes meses resultaram em menor eficiência do uso da energia pelas plantas avaliadas, já que estas apresentaram diferença positiva na fluorescência variável relativa entre as etapas O-P. Condições de excesso de água em plantas de arroz evidenciaram forte correlação com o funcionamento das antenas do FSII, representadas pelas alterações da etapa O-J, e a sensibilidade a este tipo de estresse (PANDA et al., 2008). A diferença positiva na fluorescência variável relativa da etapa O-J reflete deficiência na transferência de elétrons entre as unidades do FSII, que são formadas pelas pilhas de tilacoides (STRASSER, 1981). Com isso, é possível que a membrana dos tilacoides tenha sido desestruturada e, conseqüentemente, comprometido o desempenho fotossintético das plantas avaliadas. Segundo Morales-Flores et al. (2013), a etapa O-J, quando positiva, é indicativa de um provável dano no sistema intermembranas dos tilacoides, evidenciado pelo acúmulo de Q_A^- . Isso ocorre devido à deficiência na capacidade de Q_A^- se reoxidar (SILVA et al., 2011), implicando na evolução do complexo oxidativo (YUSUF, 2010). Como a área acima da curva O-J-I-P tem relação direta com a transferência de elétrons dos centros de reação ativos do FSII para o ‘pool’ da plastoquinona (PQ), quanto menor for esta área, menor será a eficiência na capacidade de reoxidação de Q_A^- (MEHTA et al., 2010). Por consequência, o acúmulo de Q_A^- reduz a transferência de elétrons para os aceptores do intersistema e em seguida dos aceptores do FSI e, assim a eficiência fotoquímica fica

comprometida (OUKARROUM et al., 2009). Estudos com plantas de canola, submetidas ao estresse por excesso de água durante 6 dias também mostraram diferenças positivas nas etapas O-J em plantas sensíveis a este excesso (PERDONI et al., 2012).

A etapa I-P, definida como a etapa mais lenta da fluorescência transiente da clorofila a , e caracterizada pela transferência de elétrons desde a plastoquinona reduzida (PQH_2) até os aceptores finais de elétrons do FSI, quando positiva, demonstra também a desestruturação da membrana dos tilacoides nesta fase. O reflexo desta desestabilização no transporte de elétrons é a redução da eficiência do sistema fotossintético na formação de NADPH e ATP (SILVA et al., 2011). As plantas tratadas e avaliadas em agosto apresentaram esta diferença positiva na fluorescência variável relativa (Figura 4B). Este resultado pode ter sido devido ao maior fluxo de energia dissipado por centro de reação ativo do FSII (DI_0/RC) em função, provavelmente, da menor eficiência quântica máxima do FSII (PI_{ABS}). Apesar disso, estas plantas apresentaram maior desempenho total (PI_{TOTAL}), que pode ter sido em função da maior eficiência no transporte de elétrons no intersistema (ϕE_0 , ϕR_0 e δR_0).

Apesar de as plantas de junho terem apresentado maiores PI_{ABS} e PI_{TOTAL} , e aquelas tratadas não diferirem das plantas controle quanto aos parâmetros ABS/RC , TR_0/RC e ET_0/EC (Figura 5), a fase de transferência de elétrons do FSII (PQH_2) para os aceptores de elétrons do FSI, fase I-P, foi afetada (Figura 4B). Este resultado pode ter levado à menor eficiência de carboxilação (Tabela 3). O excesso de Fe encontrado nos pecíolos destas plantas (200 mg kg^{-1}) pode ter influenciado nestes resultados. Este micronutriente excedente nas plantas pode desencadear na formação de radicais livres tóxicos, principalmente as hidroxilas (HALLIWELL; GUTTERIDGE apud BEAUVALET, 2010), que são responsáveis pela oxidação de macromoléculas como proteínas, ácidos nucleicos e lipídeos das membranas (BERRA; MENCK, 2006) e, ainda, de clorofilas (MONTEIRO; WINTERBOURN apud BEAUVALET, 2010). A desestruturação destes componentes é o que poderia ter desencadeado ineficiência da fase I-P nestas plantas.

Em outubro e em julho as plantas apresentaram maiores diferenças positivas na fluorescência variável entre as etapas O-P, provavelmente, por estarem em situações climáticas com excesso hídrico e maiores temperaturas máximas e mínimas (Tabela 1). As variáveis relacionadas com os processos de transporte de elétrons (δR_0 ; ϕR_0) e de eficiência quântica máxima do FSII (ϕP_0), do índice de desempenho do FSII com base na absorção (PI_{ABS}) e do índice de desempenho total (PI_{TOTAL}) foram afetadas pelas condições climáticas destes meses (Figura 5). Silva et al. (2010) destacaram estas variáveis do teste JIP como caracterizadoras da deficiência do processo reoxidativo de Q_A^- em folhas de mamoeiro nos

seus diferentes estágios fenológicos. A eficiência quântica máxima do FSII ($\phi P_0 = F_v/F_m$), como relatado em diversos estudos (PUKACKI; KAMINSKA-ROZEK, 2005; OHASHI et al., 2006), pode ser um reflexo de respostas ao estresse. Mamoeiros submetidos ao déficit hídrico de 25% da capacidade de campo apresentaram a ϕP_0 reduzida, variando de 0,72 para 0,63 (FONTES et al., 2008). Assim como plantas de canola (PERDONI et al., 2010) e de arroz (PANDA et al., 2008) quando submetidas ao excesso de água no solo. Porém, apesar dos valores de ϕP_0 ter diferido estatisticamente entre as épocas de tratamento com excesso de irrigação, não apresentou a mesma variação encontrada para outros parâmetros, como PI_{ABS} e PI_{TOTAL} , indicando que pode não ser o melhor indicador de estresse. Em alguns trabalhos com avaliação de estresse em plantas, foi comprovada a falta de relação precisa entre os valores de ϕP_0 e o estresse abiótico (MARTINAZZO et al., 2013; OUKARROUM et al., 2007; NAR et al., 2009). Plantas de meloeiro apresentaram menores valores absolutos dos parâmetros de fluorescência quando submetidos a 60 e 120% da evapotranspiração, indicando que tanto o déficit como o excesso de água pode desencadear um desequilíbrio nos aparatos fotossintéticos (SUASSUNA et al., 2011).

O menor efeito do estresse nas plantas avaliadas em junho e um maior efeito nas plantas de outubro pode indicar que as respostas ao estresse podem ser mais evidentes após um período de repetidas alterações climáticas. Martinazzo et al. (2013) também verificaram maiores alterações dos valores absolutos dos parâmetros do teste JIP em relação as plantas controle ao longo do estresse com alagamento de plantas de ameixeira ‘América’. Após 10 dias de alagamento valores de PI_{ABS} , PI_{TOTAL} reduziram e os de ABS/RC , TR_0/RC , ET_0/RC e DI_0/RC aumentaram em relação ao primeiro dia de alagamento.

O índice de desempenho da etapa inicial fotoquímica, isto é, do desempenho do FSII (PI_{ABS}), segundo Strasser et. al. (2004), está relacionado com a vitalidade da planta, e o PI_{TOTAL} indica a capacidade da planta em superar os estresses. Desta forma, nestas condições, as plantas com estes parâmetros baixos refletem desempenho e produtividade comprometidos.

3.5 Conclusões

Considerando os resultados nutricionais e fisiológicos de plantas de mamoeiro ‘Golden’ submetidas ao estresse por excesso de água e alterações climáticas entre os meses de maio a outubro de 2012, é possível verificar que a reunião dos fatores excesso de água no solo, alterações no déficit de pressão de vapor e nas temperaturas diárias colaboraram com a redução do desempenho fotossintético realizado por estas plantas. O excesso de água pode

resultar em menor disponibilidade de nutrientes para as plantas, seja pelo fato de promover lixiviação no solo, seja pela redução de oxigênio próximo às raízes. Estas duas consequências podem comprometer diretamente os aparatos fotossintéticos, principalmente nas fases iniciais da etapa fotoquímica. O déficit de pressão de vapor de ar implica consideravelmente na condutância estomática de mamoeiros ‘Golden’, mesmo quando há disponibilidade de água no solo. E a menor condutância estomática leva ao desbalanço fotossintético da planta, com redução da taxa fotossintética líquida.

Todas estas respostas podem ter colaborado com a maior incidência de doenças, como meleira (Papaya Sticky Disease Virus – PSDV), assim como queda de folhas e baixa produtividade nos mamoeiros ‘Golden’ cultivados na área experimental no ano de 2012.

Referências

ALEXANDER, L.V.; ZHANG, X.; PETERSON, T.C.; CAESAR, J.; GLEASON, B.; TANK, A.M.G.; HAYLOCK, M.; COLLINS, D.; TREVIN, B.; RAHIMZADEH, F.; TAGIPOU, A.; RUPA KUMAR, K.; REVADEKAR, J.; GRIFFITHS, G.; VINCENT, L.; STEPHENSON, D.; BURN, J.; AGUILLAR, E.; TAYLOR, M.; NEW, M.; ZHAI, P.; RUSTICUCCI, M.; VASQUEZ-AGUIRRE, J.L. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 111, D05109, 2006.

ALMEIDA, F.T.de; BERNARDO, S.; MARINHO, C.S.; MARIN, S.L.D.; SOUSA, E.F.de. Teores de nutrientes do mamoeiro 'Improved Sunrise Solo 72/12' sob diferentes lâminas de irrigação, no norte fluminense. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 547-551, 2002.

AWADA, M. Relation of nitrogen and phosphorus, and potassium fertilization to nutrient composition of the petiole and growth of papaya. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 102, p. 413-418, 1977.

AWADA, M.; LONG, C.R. Relation of nitrogen and phosphorus fertilization to fruiting and petiole composition of ‘Solo’ papaya. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 103, p. 217-219, 1978.

_____. Nitrogen and potassium fertilization effects on fruiting and petiole composition of 24 to 48 month old papaya plants. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 105, p. 505-507, 1980.

BEAUVALET, C.S. **Susceptibilidade do cultivo do arroz irrigado às condições múltiplas de estresse: desbalanço de ferro e temperatura**. 2010. 29 p. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

BLAIN, G.C. Considerações estatísticas relativas a oito séries de precipitação pluvial da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 24, n. 1, p. 12-23, 2009.

_____. Mudanças climáticas na fruticultura. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. especial, E. 007-012, 2011.

BOLLÀR-NORDENKAMPF, H.R.; OQUIST, G. Chlorophyll fluorescence as a tool in photosynthesis research. In: HALL, D.O.; SCURLOCK, J.M.O.; BOLLÀR-NORDENKAMPF, H.R.; LEEGOOD, R.C.; LONG, S.P. (Ed.). **Photosynthesis and production in a changing environment: a field and laboratory manual**. London: Chapman and Hall, 1993. chap. 12, p. 193-206.

CASSOL, D.; SILVA, F.S.P.; FALQUETO, A.R.; BACARIN, M.A. An evaluation of non-destructive methods to estimate total chlorophyll content. **Photosynthetica**, Prague, v. 46, p. 634-636, 2008.

CHEN, S.; YIN, C., STRASSER, R. J., GOVINDJEE, YANG, C., QIANG, S. Reactive oxygen species from chloroplasts contribute to 3-acetyl-5-isopropyltetramic acid-induced leaf necrosis of *Arabidopsis thaliana*. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 52, p. 38-51, 2012.

COSTA, A.N. **Uso do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS), na avaliação do estado nutricional do mamoeiro (*Carica papaya* L.) no Estado do Espírito Santo**. 1995. 93 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

COSTA, A.F.S. da; COSTA, A.N. da. Nutrição e adubação. In: MARTINS, D.S.; COSTA, A.F.S. da. **A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção**. Vitória: INCAPER, 2003. cap. 8, p. 199-227.

CRITCHLEY, C.; RUSSELL, W. Photoinhibition of photosynthesis in vivo: the role of protein turnover in photosystem II. **Physiologia Plantarum**, New York, v. 92, p. 188-196, 1994.

CRUZ, J.L. **Efeitos de níveis de nitrato sobre o metabolismo do nitrogênio, assimilação do CO₂ e fluorescência da clorofila *a* em mandioca**. 2001. 87 p. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

CRUZ, J.L.; PELACANI, C.R.; CARVALHO, J.E.B.de; SOUZA FILHO, L.F.S.; QUEIROZ, D.C. Níveis de nitrogênio e a taxa fotossintética do mamoeiro ‘Golden’. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 1, p. 64-71, 2007.

CRUZ, J.L.; COELHO, E.F.; PELACANI, C.R.; COELHO FILHO, M.A.; DIAS, A.T.; SANTOS, M.T. dos. Crescimento e partição de matéria seca e de carbono no mamoeiro em resposta à nutrição nitrogenada. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 3, p. 351-361, 2004.

EL-SHARKAWY, M.A.; COCK, M.J.H.; HERNANDEZ, A.D.P. Stomatal response to air humidity and its relation to stomatal density in a wide range of warm climate species. **Photosynthesis Research**, New York, v. 7, p. 137-149, 1985.

EULLAFFROY, P.; FRANKART, C.; AZIZ, A.; COUDERCHET, M.; BLAISE, B. Energy fluxes and driving forces for photosynthesis in *Lemna minor* exposed to herbicides. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 90, p. 172-178, 2009.

FONTES, R.V.; SANTOS, M.P.; FALQUETO, A.R.; SILVA, D.M.; BACARIN, M.A. Alterações fotossintéticas e de crescimento em plantas de mamoeiro em resposta a diferentes regimes hídricos. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 14, n. 3/4, p. 182-187, 2008.

GALLON, C.Z. **Amolecimento precoce de polpa e sua relação com as modificações da parede celular em mamões ‘Golden’**. 2010. 111 p. Tese (Doutorado Fisiologia e Bioquímica de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. **Programa de Assistência Técnica e Extensão Rural Proater 2011- 2013**. Disponível em: <<http://www.incaper.es.gov.br/proater/municipios/Nordeste/Linhares.pdf>>. Acesso em: 03 jan. 2014.

KHONDAKER, N.A.; OZAWA, K. Papaya plant growth as affected by soil air oxygen deficiency. **Acta Horticulturae**, Genting Highlands, n. 740, p. 225-232, 2007. Apresentado no INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PAPAYA, 1., 2005, Genting Highlands.

MACHADO-FILHO, J.A.; CAMPOSTRINI, E.; YAMANISHI, O.K.; FAGUNDES, G.R. Efeito da umidade do ar nas trocas gasosas em folhas de mamoeiro (*Carica papaya* L.) cultivado em condições de campo. **Bragantia**, Campinas, v. 65, p. 185-196, 2006.

MAHOUACHI, J.; SOCORRO, A.R.; TALON, M. Responses of papaya seedlings (*Carica papaya* L.) to water stress and re-hydration: growth, photosynthesis and mineral nutrient imbalance. **Plant and Soil**, The Hague, v. 281, p. 137–146, 2006.

MARIN, S.L.D.; GOMES, J.A.; SALGADO, J.S.; MARTINS, D.S.; FULLIN, E.A. **Recomendações para a cultura do mamoeiro dos grupos Solo e Formosa no Estado do Espírito Santo**. Vitória: EMCAPA, 1995. 57 p. (Circular Técnica, 3).

MARLER, T.E.; MICKELBART, M.V. Drought, leaf gas exchange, and chlorophyll fluorescence of field grown papaya. **Journal of the American Society of the Horticultural Science**, Alexandria, v. 123, n. 4, p. 714-718, 1998.

MEHTA, P.; JAJOO, A.; MATHUR, S.; BHARTI, S. Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of high salt stress on photosystem II in wheat leaves. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 48, p. 16-20, 2010.

MORALES-FLORES, F.; AGUILAR, M.I.; KING-DÍAZ, B.; LOTINA-HENNSSEN, B. Derivatives of diterpen labdane-8 α ,15-diol as photosynthetic inhibitors in spinach chloroplasts and growth plant inhibitors. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, Quebec, v. 125, p. 42–50, 2013.

NAR, H.; SAGLAM, A.; TERZI, R.; VÁRKONYIZ.; KADIOGLU, A. Leaf rolling and photosystem II efficiency in *Ctenanthe setosa* exposed to drought stress. **Photosynthetica**, Prague, v. 47, p. 429-436, 2009.

NETTO, A.T.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J.G. de; BRESSAN-SMITH, R.E. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 104, p. 199–209, 2005.

OHASHI, Y.; NAKAYAMA, N.; SANEOKA, H.; FUJITA, K. Effects of drought stress on photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and stem diameter of soybean plants. **Biologia Plantarum**, Prague, v. 50, p. 138-141, 2006.

OUKARROUM, A.; SCHANSKER, G.; STRASSER, R.J. Drought stress effects on photosystem I content and photosystem II thermotolerance analyzed using Chl a fluorescence kinetics in barley varieties differing in their drought tolerance. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 137, p. 188-199, 2009.

OUKARROUM, A.; MADIDI, S. E.; SCHANSKER, G.; STRASSER, R.J. Probing the responses of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) by chlorophyll a fluorescence OLKJIP under drought stress and re-watering. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 60, p. 438-446, 2007.

PERBONI, A.T.; CASSOL, D.; SILVA, F.S.P.de; SILVA, D.M.; BACARIN, M.A. Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of flooding in canola hybrids. **Biologia**, Bratislava, v. 67, n. 2, p. 338-346, 2012.

PUKACKI, P.M.; KAMINSKA-ROZEK, E. Effect of drought stress on chlorophyll a fluorescence and electrical admittance of shoots in Norway spruce seedlings. **Trees - Structure and Function**, Vancouver, v. 19, p. 539-544, 2005.

SANSIGOLO, C.A.; KAYANO, M.T. Trends of seasonal maximum and minimum temperatures and precipitation in Southern Brazil for the 1913–2006 period, **Theoretical and Applied Climatology**, Amsterdam, v. 101, p. 209–216, 2010.

SILVA D.M.; SANTOS, K.T. dos; DUARTE, M.M. Eficiência fotoquímica em folhas do mamoeiro (*Carica papaya* L.) cv. Golden durante o estágio reprodutivo e caracterização da ontogenia dos frutos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 4, p. 1066-1073, 2011.

SCHANSKER, G; SRIVASTAVA, A; GOVINDJEE; STRASSER, R. Characterization of the 820 nm transmission signal paralleling the chlorophyll a fluorescence rise (OJIP) in pea leaves. **Functional Plant Biology**, Dordrecht, v. 30, p. 785-796, 2003.

SMIT, M.F.; VAN HEERDEN, P.D.R.; PIENAAR, J.J.; WEISSFLOG, L.; STRASSER, R.J.; KRÜGER, G.H.J. Effect of trifluoroacetate, a persistent degradation product of fluorinated hydrocarbons, on *Phaseolus vulgaris* and *Zea mays*. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 47, p. 623-634, 2009.

STOKES, A., STOKES, A. Water conductance and osmotic potential of papaya (*Carica papaya* L.) roots as influenced by drought. **The-supporting-roots-of-trees-andwoody-plants: form, function and physiology**. Dordrecht: Kluwer Academic, 2000. p. 239–244.

STRASSER, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; SRIVASTAVA, A. Analysis of the fluorescence transient. In: PAPAGEORGIOU, G.C. (Ed.). **Chlorophyll fluorescence: a signature of photosynthesis**. Dordrecht: Kluwer Academic, 2004. p. 321–362. (Advances in Photosynthesis and Respiration, 19).

STRASSER, B.J.; STRASSER, R.J. Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: the JIP-test. In: MATHIS, P. (Ed.). **Photosynthesis: from light to biosphere**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1995. p. 977- 980.

SUASSUNA, J.F.; MELO, A.S. de; COSTA, F.S.; FERNANDES, P.D.; FERREIRA, R.S.; SOUSA, M.S.S. Eficiência fotoquímica e produtividade de frutos de meloeiro cultivado sob diferentes lâminas de irrigação. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1251-1262, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Tradução de E.R. Santarém et al. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 719 p.

TÓTH, S.Z. **Analysis and applicaion of the fast chl-a fluorescence (OJIP) transiente complemented with simultaneous 820 nm transmission measurements**. 2006. 153 p. Thesis (Doctoral in Botanique et Biologie Végétale) - University of Geneva, Geneva, 2006.

YUSUF, M.A.; KUMAR, D.; RAJWANSHI R.; STRASSER R.J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; GOVINDJEE, N.; SARIN, N. B. Overexpression of γ -tocopherol methyl transferase gene in transgenic *Brassica juncea* plants alleviates abiotic stress: physiological and chlorophyll a fluorescence measurements. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics**, Oeiras, v. 1797, p. 1428–1438, 2010.

ZULLO JR., J.; PINTO, H.S.; ASSAD, E.D. Impact assessment study of climate change on agricultural zoning. **Meteorological Applications**, Cambridge, v. 13, p. 69-80, 2006.

4 ALTERAÇÕES FÍSICAS, FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DE MAMÕES ‘GOLDEN’ APÓS ESTRESSE HÍDRICO EM PLANTIO COMERCIAL DO NORTE DO ESPÍRITO SANTO

Resumo

Distúrbios fisiológicos em mamões vêm sendo evidenciados durante a pós-colheita e tem como principais causas fatores pré-colheita. O distúrbio do amolecimento precoce (DAP) tem sido estudado tendo como possíveis causas o alto índice pluviométrico, altas temperaturas e o envolvimento do hormônio auxina. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar mamões ‘Golden’ quanto à ocorrência do DAP, colhidos de plantas submetidas ou não ao excesso de irrigação e identificar sua relação com os níveis de auxina. Mamoeiros ‘Golden’ foram submetidos a duas lâminas de irrigação (controle = 33 mm de água e excesso = 70,6 mm de água) por 5 a 7 dias entre os meses de junho e outubro de 2012, na região norte do Espírito Santo. Após 5 ou 7, 20 e 30 dias das irrigações, os frutos foram colhidos, armazenados a 10 ± 1 °C e $85 \pm 5\%$ durante 12 dias e avaliados quanto à coloração da casca, firmeza da polpa, atividade respiratória, produção de etileno, teores de sólidos solúveis (SS) e de ácido ascórbico (AA), atividade da enzima ACC oxidase, quantificação de ácido indol 3-acético (AIA) livre e de 1-aminociclopropano-1-ácido carboxílico (ACC) livre. A ocorrência do DAP foi evidenciada em frutos colhidos após 30 dias dos tratamentos aplicados nos meses de junho e de agosto, independente das lâminas de irrigação. A atividade respiratória e a produção de etileno foram maiores naqueles frutos colhidos em junho. Os teores de SS e de AA não sofreram influência dos tratamentos, porém frutos de junho e de agosto apresentaram maiores teores de AA. Frutos com excesso de irrigação apresentaram menores teores de ACC a partir do oitavo dia de armazenamento e menores de AIA durante o período pós-colheita. O excesso de irrigação somado ao aumento da temperatura durante a formação dos frutos de junho e de agosto pode ter promovido o DAP. A auxina respondeu ao estresse por excesso de água com redução dos seus teores nos frutos, porém não houve interferência na produção de etileno pelos frutos.

Palavras-chave: *Carica papaya* L.; Amolecimento precoce; Pós-colheita; Fatores pré-colheita; Auxina

Abstract

Physiological disorders in papayas have been evidenced during postharvest and its main causes preharvest factors. “Early softening disorder” (ESD) has been studied as possible causes having high rainfall, high temperatures and involvement of the hormone auxin. In this context, the aim of this study was to evaluate ‘Golden’ papaya for the occurrence of ESD, collected from plants subjected or not to excess irrigation and identify their relationship to levels of auxin. ‘Golden’ papayas were submitted to two irrigation levels (control = 33 mm of water and excess = 70.6 mm of water) for 5-7 days between June and October of 2012 in the northern region of the Espírito Santo. After 5 or 7, 20 and 30 days of irrigation, fruit were harvested, stored at 10 ± 1 °C and $85 \pm 5\%$ for 12 days and evaluated for peel color, flesh firmness, respiration, ethylene production, soluble solids (SS) and ascorbic acid (AA), the enzyme ACC oxidase activity, quantification of 3 - acetic acid (IAA) and indole free carboxylic acid 1 - aminocyclopropane - 1 - acid (ACC) free. The occurrence of ESD was observed in fruits harvested after 30 days of treatments applied in June and August, regardless of irrigation. Respiration rate and ethylene production were higher in fruits harvested in June. Treatments did not affect SS and AA contents, but fruit in June and August

showed higher levels of AA. Fruits with excessive irrigation had lower levels of ACC from the eighth day of storage, under IAA during the postharvest period. Excess irrigation coupled with the increase in temperature during the formation of fruits in June and August may have promoted the ESD. Auxin responded to stress by excess water to reduce its content in the fruit, but there was no interference in the production of ethylene by the fruit.

Keywords: *Carica papaya* L.; Early softening; Postharvest; Preharvest factors; Auxin

4.1 Introdução

Distúrbios fisiológicos em frutos na fase de pós-colheita, são causados, na maior parte, por fatores pré-colheita. Alterações na temperatura ambiente, no balanço hídrico e, ainda, na disponibilidade de nutrientes influem na formação e na maturação dos frutos, podendo muitas vezes promover alterações como distúrbios pós-colheita.

O mamoeiro é uma cultura tropical e prefere ambientes com temperaturas entre 20 e 28 °C com 1.500 mm de índice pluviométrico anual (SILVA; COELHO, 2003). Alterações climáticas no ambiente de cultivo podem levar a mudanças metabólicas nas plantas e consequentemente nos frutos. Existem alguns distúrbios fisiológicos em frutos de mamoeiro como a mancha fisiológica e a gelificação que vem sendo estudados e suas causas foram elucidadas parcialmente. A mancha fisiológica é um distúrbio para o qual estudos apontam uma relação entre a alta amplitude térmica e altos índices pluviométricos antecedentes à colheita (GOMES FILHO et al., 2008). Já a gelificação, encontrada principalmente em mamões ‘Golden’, é caracterizada pelo mesocarpo translúcido e aspecto encharcado. Este distúrbio, segundo Oliveira et al. (2002), pode ser causado pela deficiência de potássio e magnésio, o que comprometeria a atividade das H^+ ATPases e, consequentemente, levaria ao maior acúmulo de água no apoplasto. Existem também distúrbios que ocorrem em mamões devido ao armazenamento refrigerado inadequado na pós-colheita, com temperaturas abaixo das recomendadas por longo período, que resultam em rupturas na casca e endurecimento de partes da polpa (OLIVEIRA; VITÓRIA, 2011).

O distúrbio do amolecimento precoce (DAP), recentemente definido em estudos realizados por Jacomino et al. (2010) e Gallon (2010), não tem sua causa ainda definida. Este distúrbio é caracterizado pelo amolecimento rápido da polpa de mamões ‘Golden’ com pouca ou nenhuma alteração da coloração da casca, quando armazenados em ambiente refrigerado. De acordo com observações dos autores e de produtores da região norte do Espírito Santo, o DAP ocorre de forma esporádica ao longo do ano e existe a hipótese de que sua causa tenha relação com altos índices pluviométricos durante um período prévio à colheita. Para a caracterização deste distúrbio os autores utilizaram uma ferramenta que chamaram de índice

de amolecimento (IA) a qual é determinada pela equação linear formada pelos pontos correspondentes às medidas de firmeza da polpa dos frutos, ao longo de pelo menos 10 dias a 10 °C. Gallon (2010) identificou frutos com DAP e os diferenciou dos frutos sem distúrbio quanto a alguns parâmetros físicos, químicos, fisiológicos e hormonais. Porém, não foi possível diagnosticar uma causa provável, apenas que o hormônio auxina está envolvido de alguma forma com este distúrbio.

O ácido indol 3-acético (AIA) é um regulador vegetal que participa do amadurecimento dos frutos de forma antagônica ao etileno. Este, considerado o principal regulador do processo de amadurecimento dos frutos, tem sua síntese aumentada quando os níveis de AIA se reduzem, desencadeando diversas reações de síntese e degradação que caracterizam o amadurecimento de frutos climatéricos. Além de fazer parte deste balanço hormonal, o AIA tem sua produção comprometida em situações de estresse, refletindo na indução precoce de genes como os da síntese de ACC sintase (TAIZ; ZEIGER, 2004), enzima limitante para biossíntese de etileno, por sintetizar o aminoácido 1-aminociclopropano-1-ácido carboxílico, precursor deste regulador vegetal.

Estudos tem apontado o AIA como um fator de inibição para o amadurecimento de frutos, de modo que para que sejam desencadeados os processos do amadurecimento, os seus níveis devem diminuir para um limiar mínimo que varia de fruto para fruto. Exceção a esta observação é o pêssego no qual o AIA parece induzir o amadurecimento ao estimular a síntese de etileno (TRAINOTTI; TADIELLO; CASADORO, 2007).

A hipótese de que alterações climáticas, principalmente as decorrentes de excesso hídrico, somadas à auxina participam da desregulação do amadurecimento destes frutos com a formação do distúrbio do amolecimento precoce, propõe investigação do DAP em mamões ‘Golden’ em função de estresse por excesso de água na pré-colheita.

Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar mamões ‘Golden’ após a colheita quanto à ocorrência do DAP, colhidos de plantas submetidas ou não ao estresse hídrico pelo excesso de irrigação e identificar sua relação com os níveis do hormônio auxina.

4.2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido em pomar comercial da empresa Caliman Agrícola S/A no norte do Espírito Santo (latitude sul 19°23’28’’ e longitude oeste 40°04’20’’) de junho a outubro de 2012. A região apresenta índice médio pluviométrico anual de 1.193 mm, temperatura média de 23,4 °C, máxima de 32 °C e mínima de 19,6 °C (INCAPER, 2014).

Os mamoeiros ‘Golden’ da área experimental apresentavam idade de 1 ano e 6 meses. A partir de junho de 2012 as plantas foram conduzidas com dois manejos de irrigação: um com sistema de gotejamento com volume definido pela empresa para condução da cultura (33 mm de lâmina bruta) e outro em sistema de micro aspersor com volume em excesso de água para a cultura (70,6 mm de lâmina bruta). O excesso de irrigação foi definido por meio de experimentos preliminares realizados nos anos de 2010 e 2011. Para isso foi realizada análise física do solo, determinadas a curva de retenção e a eficiência do sistema de irrigação e, assim feitos os cálculos de lâmina bruta e do tempo de irrigação para o sistema por gotejamento e por micro aspersão. A identificação da saturação do solo pelo excesso de irrigação foi feita com uso de tensiômetros a 20 e 40 cm da superfície do solo.

O excesso de irrigação foi aplicado em 4 épocas no período de junho a outubro de 2012, durante 5 a 7 dias. Após 5 ou 7, 20 e 30 dias após o início da aplicação das lâminas de água, frutos no estágio 1 (15% de coloração da casca amarela) foram colhidos, lavados, secos e acondicionados em câmara fria na empresa Caliman Agrícola S.A. com temperatura de 10 ± 1 °C e umidade relativa de $85 \pm 5\%$. No mesmo dia ou no dia seguinte à colheita, os frutos foram transportados em caminhão refrigerado a 10 ± 1 °C para o CEASA de Campinas, no Estado de São Paulo. O tempo médio de transporte foi de 14 horas. Em seguida foram transportados até o Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Hortícolas do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ/USP em Piracicaba, SP, em carro com ar condicionado (aproximadamente 20 °C) durante 1 hora. No laboratório foram armazenados a 10 ± 1 °C e $85 \pm 5\%$ até completarem 12 dias na câmara fria desde a colheita. Logo após a colheita e a cada 2 dias, durante o armazenamento refrigerado, os frutos foram avaliados quanto a atividade respiratória, produção de etileno, cor da casca e firmeza da polpa. Os teores de sólidos solúveis e de ácido ascórbico foram quantificados no início e final do armazenamento, quando também foram coletadas amostras da polpa para determinação da atividade da enzima ACC oxidase, dos teores de ácido 1-aminociclopropano-1-ácido carboxílico (ACC) livre e dos teores do ácido indol 3-acético (AIA) livre.

4.2.1 Metodologia das análises

4.2.1.1 Metodologia do Índice de Amolecimento (IA)

O índice de amolecimento (IA), definido em trabalho de Jacomino et al. (2010), é uma metodologia que permite identificar frutos com o distúrbio do amolecimento precoce (DAP). Neste trabalho foi possível caracterizar frutos com DAP os quais permanecendo com a casca verde, apresentavam uma rápida diminuição da firmeza da polpa num período de 12 dias a 10

°C, chegando a 20 N. Este índice é definido pela medida da firmeza da polpa dos frutos durante o armazenamento refrigerado. Com base nos dados coletados são gerados gráficos de firmeza da polpa em função do tempo (dias após a colheita) assumindo o comportamento linear, representado pela equação “ $y = ax + b$ ”, onde o valor “a” é chamado de Índice de Amolecimento (IA). Frutos com $IA \geq -10$ são considerados sem o distúrbio do amolecimento precoce (DAP) e frutos com $IA < -10$ são considerados com o distúrbio, pois nestes o amolecimento da polpa ocorre em poucos dias.

4.2.1.2 Análises físicas e químicas

Coloração da casca

A coloração da casca do mamão foi avaliada visualmente com uma escala de notas que varia de 0 a 5 (Figura 1), sendo nota 0 = frutos com a casca totalmente verde, 1 = frutos com até 15% da casca de cor amarela; 2 = frutos com 15 a 25% da coloração da casca amarela; 3 = frutos com 25 a 50% da coloração da casca amarela; 4 = frutos com 50 a 75% da cor da casca amarela e 5 = frutos com mais de 75% da cor da casca amarela.

Figura 1 - Escala de notas de 0 a 5 da cor da casca para mamão ‘Golden’

Firmeza da polpa

As determinações de firmeza da polpa foram realizadas com penetrômetro digital (53200-Samar TR Turoni, Forli, Itália) na região equatorial do fruto. A firmeza da polpa foi medida com ponteira de 8 mm de diâmetro com ponta plana, após a remoção de uma película da casca. Em cada fruto foram feitas 2 medições em lados opostos da região de maior diâmetro. Os dados foram expressos em Newton (N).

Sólidos solúveis

Parte do mesocarpo localizada na região equatorial de cada fruto foi triturado com Mixer Philips Walita RI1341 e o líquido resultante foi avaliado em refratômetro digital (Atago PR-101, Japão) para a obtenção do teor de sólidos solúveis. Os resultados foram expressos em °Brix.

Ácido ascórbico

A determinação do teor de ácido ascórbico foi por titulação através da redução do indicador 2,6-diclorofenol-indofenol-sódio (DCFI) pelo ácido ascórbico segundo metodologia descrita para AOAC (1995). 10 g da amostra foram adicionadas em 50 ml de ácido oxálico 1%. A titulação foi efetuada com DCFI 0,02% até atingir a coloração rosada persistente por 15 segundos. Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico por 100 g de polpa, através da equação: $[\text{volume DCFI (ml) gasto} \times f \times 100] / \text{massa da amostra}$, onde f é o fator de correção para padronização do DCFI e é obtido através da equação $f = \text{massa de ácido ascórbico} / 10 \times \text{volume de DCFI}$.

4.2.1.3 Análises fisiológicas

Atividade respiratória e produção de etileno

Os frutos foram colocados em recipientes herméticos de vidro com capacidade de 1700 mL, previamente expostos às condições de temperatura e umidade do experimento. Após 1 h, 1 mL de gás foi coletado do recipiente através de um septo de silicone, com auxílio de uma seringa (Hamilton, Gastight, EUA). As amostras de gases foram analisadas em cromatógrafo Thermo Finnigan Trace 2000GC. O cromatógrafo é equipado com coluna Porapak N, com 2 m de comprimento, regulada para 80 °C, com hidrogênio como gás de arraste (40 mL min⁻¹). Para as análises de atividade respiratória (CO₂) foi utilizado metanador a 350 °C. As amostras de gases foram analisadas por um detector de ionização de chama a 250 °C. A respiração e a produção de etileno foram determinadas pela diferença entre a concentração gasosa inicial e final no interior do recipiente, sendo expressas, respectivamente, em mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ e μL C₂H₄kg⁻¹h⁻¹.

4.2.1.4 Análise bioquímica e hormonal

Extração e quantificação do ácido indol 3-acético (AIA)

O método de extração e purificação parcial do AIA livre nos frutos com e sem o distúrbio do amolecimento precoce foi baseado no método de Ludwig-Müller et al. (2008), com algumas modificações.

Foram homogeneizados 0,5 g das amostras previamente trituradas em nitrogênio líquido, juntamente com 500μL de mistura extratora composta de isopropanol:ácido acético 95:5. Adicionou-se em seguida 1 μg de padrão marcado [¹³C₆] ácido indol-3-acético (C-IAA) (Cambridge Isotopes). A mistura foi agitada em vortex por aproximadamente 1 min., seguida de agitação (600 rpm) a 4 °C por 2 horas. O homogenato foi centrifugado durante 10

min. a 14000 x g a 4 °C. O sobrenadante foi transferido para novo microtubo, e o volume foi reduzido a aproximadamente 20-50 µL. O pH foi verificado e ajustado entre 3,5 e 2,5 utilizando HCl 1N. Foram adicionados 500 µL de acetato de etila, seguido de agitação e centrifugação durante 5 min a 14000 x g a 4 °C. A fase superior foi coletada e transferida para novo microtubo, sendo esta etapa repetida duas vezes. As frações orgânicas foram combinadas e secas completamente em fluxo de nitrogênio. A amostra foi ressuspensa em 100µL de metanol e transferida para vial, no qual foram adicionados 50 µL de trimetilsil-diazometano. O frasco foi fechado imediatamente permanecendo em temperatura ambiente por 30 min. A amostra foi seca novamente em fluxo de nitrogênio, ressuspensa com 20 µL de acetato de etila e levada para análise de CG-MS

As análises por CG-EM-MSI foram realizadas em cromatógrafo a gás Hewlett-Packard modelo 6890 acoplado a detector por espectrometria de massa modelo 5973. A coluna utilizada para a separação foi HP1701 (30 mts, 0,25 mm diam. interno, 0,25 µm de espessura de filme) tendo hélio como gás carreador com fluxo de 1 mL/min. As injeções foram feitas automaticamente pelo injetor Hewlett-Packard LS-1100 e o volume injetado foi de 1 µl, sem utilização do divisor de amostras (splitless) com fluxo de ventilação de 30 mL/min após meio minuto da injeção. A coluna foi mantida a 160 °C por 2 minutos, seguida de rampa de temperatura de 4 °C/min até 200 °C. Foram monitorados os íons com relação massa/carga (m/z) em 130 e 136 correspondentes ao AIA endógeno e 186 e 195 correspondentes ao padrão interno de $[^{13}C_6]$ -AIA. A concentração de AIA endógena foi obtida pela relação entre as áreas dos picos de AIA nos cromatogramas extraídos em m/z 130 e 136. Os resultados foram expressos em ng de AIA g^{-1} de massa fresca.

Determinação da atividade da ACC oxidase

ACC oxidase foi extraída e analisada conforme metodologia descrita por Karakurt e Huber (2003) com algumas alterações. 1 g da polpa de mamão, macerada em nitrogênio líquido, foi homogeneizada em 6 mL de solução de extração contendo 0,1 M Tris (pH 7,4), 10% de glicerol e 30 mM de ascorbato de sódio. Esta solução com o extrato foi centrifugada a 10.000 rpm por 30 minutos a 4 °C. 1 mL do sobrenadante foi adicionado a 2 mL da mistura de reação contendo 0,4 mL do extrato enzimático, 30 mM ascorbato de sódio, 0,1 mM $FeSO_4$, 1 mM ACC e solução de extração em frascos herméticos de 10 mL. A mistura de reação foi incubada a 30 °C por 30 minutos e amostras de 1 mL de gás foram coletadas dos frascos com auxílio de uma seringa (Hamilton, Gastight, Nevada, EUA). As amostras foram injetadas e

analisadas para etileno em cromatógrafo Thermo Finnigan, modelo Trace 2000GC. A atividade da ACC oxidase foi expressa em ppm de C_2H_4 .

Determinação de 1-aminociclopropano-1-ácido carboxílico (ACC) livre

As determinações de ACC livre foram feitas com base no método descrito por Liu et al. (2012). Aproximadamente 0,5 g da polpa congelada dos frutos submetidos ou não ao excesso de irrigação foram trituradas em gral de porcelana na presença de N_2 líquido. O pó resultante foi transferido para um tubo de centrífuga contendo 5 ml de metanol a 60% em água ultrapura. O material foi mantido sob agitação por 1 hora a temperatura ambiente e, em seguida, centrifugado a 14000 x g por 10 minutos a 25 °C. O sobrenadante foi transferido para outro tubo e seco completamente em corrente de nitrogênio. O resíduo foi retomado em 200 μ L de água ultrapura e transferido para tubo de microcentrífuga de 1,5 mL, ao qual foi adicionado 300 μ L de tampão borato 200 mM, pH 8,0 e 360 μ L de fluorescamina 1 mM dissolvida em acetona. A mistura foi agitada em vórtex e mantida a 25 °C por 10 minutos, sendo em seguida filtrada através de membrana de 0,45 μ m de poro para um frasco de vidro de 2,0 mL. Uma alíquota de 20 μ L da mistura filtrada foi injetada em um cromatógrafo à líquido acoplado a um detector de fluorescência (Agilent 1100). A amostra foi eluída através de uma coluna Luna C18 (5 μ m, 300 x 4 mm, Supelco, Sigma-Aldrich, USA) e o efluente monitorado em comprimento de onda de excitação de 378 nm e de emissão de 475 nm. Os resultados foram calculados por padronização externa utilizando curva-padrão de ACC (Sigma-Aldrich, USA) no intervalo de 0,1 a 10 ug.

4.2.1.5 Dados meteorológicos

Durante o período do experimento dados meteorológicos (temperaturas médias do ar, máximas e mínimas, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, precipitação) foram fornecidos pela estação meteorológica do INMET no INCAPER/Sooretama-ES, aproximadamente 5 km da área experimental.

4.2.1.6 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido com delineamento inteiramente aleatorizado em esquema fatorial (2 x 4), sendo 2 tratamentos e 4 épocas de colheita. Foram utilizados 10 frutos por tratamento, sendo 1 fruto por repetição. Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

4.3 Resultados

Os resultados a seguir são relacionados aos frutos colhidos após 30 dias da aplicação das lâminas de água, uma vez que aqueles colhidos após 5 ou 7 e 20 dias não expressaram os sintomas de DAP.

A figura 2 reflete as temperaturas máximas, mínimas e médias registradas durante a formação dos frutos (período de 150 dias a partir da antese) colhidos entre os meses de junho a outubro de 2012. Estes dados, coletados na estação experimental do INCAPER demonstraram que as maiores temperaturas médias foram registradas durante a formação dos frutos colhidos em junho (Figura 2A), enquanto que as menores ocorreram durante a formação dos frutos colhidos em agosto e outubro (Figuras 2 C e D). Durante quase metade do tempo de formação dos frutos colhidos em junho, a temperatura média do ar foi de 25,4 °C. Para a formação dos demais frutos a média registrada foi de 22,4 °C.

Durante a formação dos frutos colhidos em junho houve maior amplitude térmica média em relação às demais épocas, em torno de 11,2 °C, sendo que com menor variação de 4,9 °C no dia 16 de maio e maior amplitude em 22 de abril, com 16,9 °C. Já para os frutos de julho e de outubro a média de amplitude térmica foi de 10,9 °C. Para aqueles colhidos em agosto, a média de variação de temperatura foi de 10,6 °C. Em outubro a maior variação foi de 16,1 °C e ocorreu em 04 de setembro de 2012.

Figura 2 - Dados de temperatura durante a formação de mamões 'Golden' coletados em junho (A), julho (B), agosto (C) e outubro (D) de 2012 no norte do Espírito Santo

Com relação ao acúmulo de lâmina de água registrado tanto pela precipitação como pela irrigação aplicada por gotejamento (sem excesso) e microaspersão (com excesso), as plantas cujos frutos foram colhidos em julho passaram por um acúmulo de 2194,4 mm de água registrados na área com excesso de irrigação. Em agosto de 2012 receberam a maior quantidade de água (2787,3 mm de precipitação ocorrida no período) (Figura 3 e Tabela 1). Este acúmulo foi maior durante 30 dias antecedentes à colheita dos frutos (Tabela 1) (3009,4 mm de lâmina de água acumulada na área controle e 3213,1 mm de lâmina de água acumulada na área tratada). O menor acúmulo de água foi registrado no período de 30 dias antecedentes à colheita dos frutos de outubro (1358,6 mm na área com excesso de irrigação). No entanto, analisando a Figura 3D, é possível observar que estes frutos receberam as quatro aplicações de lâminas de água em excesso durante a sua formação, podendo, por consequência ter sofrido um maior estresse.

Figura 3 - Dados de lâmina de água resultante do índice pluviométrico e irrigações em área experimental de mamões 'Golden' do norte do Espírito Santo, colhidos após 30 dias de excesso de irrigação durante 5 ou 7 dias nos meses de junho (A), julho (B), agosto (C) e outubro (D) de 2012

Tabela 1 - Dados médios de temperaturas máxima (Tmax), mínima (Tmin) e média do ar (Tar), umidade relativa do ar (UR), precipitação ocorrida no período (Po), lâmina bruta controle acumulada (Lbc), lâmina bruta do tratamento acumulada (Lbt) e pressão atmosférica (Patm) registrados durante 30 dias antecedentes a colheita de mamões ‘Golden’ do norte do Espírito Santo em 2012

Período de registro	Tar (°C) média	Tmax (°C) média	Tmin (°C) média	UR (%) média	Po (mm) acumulada	Lbc (mm) acumulada	Lbt (mm) acumulada	Patm (atm) média
25/05 - 23/06	23,1	30,1	18,7	80,5	917,6	1360,0	1672,5	1010,5
27/06 - 26/07	21,3	28,0	16,9	81,4	1106,8	1512,6	2194,4	1012,5
01/08 - 30/08	21,1	27,1	16,9	81,8	2787,3	3009,4	3213,1	1015,4
04/09 - 03/10	22,0	28,5	17,7	77,8	667,7	1139,2	1358,6	1011,4

Lbc = irrigação controle + Po; Lbt = irrigação em excesso + Po

Após a colheita dos frutos, a avaliação do distúrbio do amolecimento precoce se iniciou com as determinações de firmeza externa durante 12 dias de armazenamento a 10 ± 1 °C e $85 \pm 5\%$ de umidade relativa (UR), segundo metodologia descrita por Jacomino et al., 2010 quanto ao índice de amolecimento precoce. Os tratamentos com excesso de irrigação não afetaram a firmeza dos frutos ($P > 0,05$), porém foi observado efeito das épocas de colheita (Figura 4A), sendo que os frutos colhidos em junho (IA = -11,7) e em agosto (IA = -14,2) amoleceram mais rapidamente que os demais (Figura 4A). Frutos colhidos em outubro apresentaram pouca perda da firmeza, resultando em IA de -0,11 e aqueles colhidos em julho apresentaram IA = -7,54 (Figura 4A).

A coloração da casca também não sofreu influência das lâminas de água. Houve mudança ao longo do armazenamento a 10 ± 1 °C de 0 para 15% da coloração da casca amarela (Figura 4B). As épocas de colheita influenciaram neste atributo de qualidade, pois em outubro os frutos apresentaram menores notas de cor, 100 a 90% de coloração verde, enquanto que em junho e agosto os frutos possuíam 15% de coloração da casca amarela (nota 1,0).

Figura 4 - Índice de amolecimento (IA) (A) e coloração da casca (B) de mamões 'Golden' durante armazenamento a 10 ± 1 °C e $85 \pm 5\%$ de UR, colhidos no norte do Espírito Santo após 30 dias dos tratamentos com e sem excesso de irrigação nos meses de junho, julho, agosto e outubro de 2012. Barras verticais indicam erro padrão da média

As lâminas de irrigação, assim como as épocas de colheita dos frutos não influenciaram nos teores de sólidos solúveis (Tabela 2). A média destes teores foi de 10,9 °Brix. Já os teores de ácido ascórbico variaram entre as épocas de colheita ($P < 0,05$), mas não foram influenciados pelas lâminas de irrigação (Tabela 2). Frutos colhidos em junho

apresentaram maiores teores médios, enquanto aqueles de outubro menores teores ($P < 0,05$). Frutos de julho e de agosto não diferiram quanto a estes teores.

Tabela 2 - Teores médios de sólidos solúveis e de ácido ascórbico em mamões ‘Golden’ armazenados a 10 ± 1 °C e $85 \pm 5\%$ de UR por 12 dias, colhidos no norte do Espírito Santo após 30 dias da aplicação de lâminas de irrigação nos meses de junho, julho, agosto e outubro de 2012

Mês de colheita	Teores de Sólidos Solúveis	Teores de Ácido Ascórbico
	(°Brix)	(mg 100 g ⁻¹)
Junho	10,3 ^{n.s.}	93,6 b
Julho	10,9 ^{n.s.}	107,66 a
Agosto	11,2 ^{n.s.}	84,90 b
Outubro	11,1 ^{n.s.}	64,14 c

Médias seguidas de distintas letras na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey. n.s. = não diferem ao nível de 5% de probabilidade

Não houve interferência significativa dos tratamentos, mas sim das épocas de colheita na atividade respiratória determinada durante o armazenamento refrigerado dos frutos (Figura 5A). Frutos colhidos em junho apresentaram maior pico de CO₂ no sexto dia de armazenamento e, no geral, resultaram em maior atividade respiratória. Já os frutos colhidos em julho, agosto e outubro, apresentaram comportamento respiratório semelhante entre si, não diferindo estatisticamente ($P > 0,05$), porém menor que os frutos de junho ($P < 0,05$).

Quanto à produção de etileno, junho implicou em maiores produções pelos frutos, diferindo da produção realizada pelos demais frutos ($P < 0,05$) (Figura 5B). Houve aumento da produção de etileno a partir do quarto dia de armazenamento refrigerado pelos frutos de junho. Nos frutos colhidos em julho, agosto e outubro houve pico de produção no sexto dia de armazenamento (Figura 5B).

Figura 5 - Atividade respiratória (A) e produção de etileno (B) de mamões 'Golden' armazenamento a 10 ± 1 °C e $85 \pm 5\%$ de UR, colhidos no norte do Espírito Santo após 30 dias dos tratamentos com lâminas de irrigação nos meses de junho, julho, agosto e outubro de 2012. Barras verticais indicam erro padrão da média

Quanto à atividade da enzima ACC oxidase, o excesso de água nos mamoeiros não influenciou na atividade desta enzima. Porém, as épocas nas quais os frutos foram colhidos influenciaram nestes teores médios. Em julho os frutos colhidos apresentaram maior atividade enzimática (0,155 ppm de etileno) que aqueles de agosto (0,057 ppm de etileno). Porém ambos não diferiram dos frutos de outubro (0,089 ppm de etileno).

Frutos provindos de plantas com excesso de irrigação apresentaram maiores teores de ACC que aqueles de plantas sem excesso, no quarto dia de armazenamento (Figura 6A). Resultados inversos foram encontrados a partir do oitavo dia pós-colheita, no qual os frutos de plantas com excesso de água resultaram em menores teores de ACC ($P < 0,05$). No segundo e sexto dia não houve diferença destes conteúdos entre as lâminas de irrigação (Figura 6A). Além disso, a análise de ACC livre em pecíolos dos mamoeiros tratados (dados não mostrados) demonstrou maior acúmulo deste aminoácido em plantas submetidas ao estresse por excesso de água ($2933,59 \text{ ng de ACC g}^{-1}$ de massa fresca). Os teores em pecíolos de plantas sem excesso de água foi de $2768,37 \text{ ng de ACC g}^{-1}$ de massa fresca.

A influência dos tratamentos nestes teores foi evidente até o sexto dia a $10 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e $85 \pm 5\%$ de UR. Após o oitavo dia, não houve diferença significativa.

As épocas nas quais os frutos foram colhidos não implicaram em diferença significativa para os teores de ACC e de AIA.

Quanto aos teores de AIA livre, o maior acúmulo em frutos de plantas sem excesso de irrigação ocorreu no quarto dia de armazenamento, seguindo com redução, após o sexto dia, nos mesmos níveis encontrados nos frutos de plantas com excesso de irrigação. Estes frutos mantiveram os teores de AIA em torno de 40 ng g^{-1} de massa fresca durante o armazenamento refrigerado (Figura 6B).

Figura 6 - Evolução dos teores médios de 1-aminociclopropano-1-ácido carboxílico (ACC) (A) e ácido indol 3-acético (AIA) (B) livres na polpa de mamões 'Golden' armazenados a $10 \pm 1^\circ\text{C}$ e $85 \pm 5\%$ de UR por 12 dias colhidos após 30 dias dos tratamentos com lâminas de irrigação no norte do Espírito Santo entre os meses de julho e outubro de 2012

4.4 Discussão

De acordo com os resultados obtidos de índice de amolecimento (IA) e coloração da casca (Figura 4), foi possível observar que o distúrbio do amolecimento precoce (DAP) ocorreu em frutos colhidos em junho e em agosto, independente das lâminas de irrigação. A presença deste distúrbio ficou caracterizada pela rápida perda de firmeza durante o

armazenamento refrigerado sem alterações significativas na cor da casca ($10 \pm 1^\circ\text{C}$ e $85 \pm 5\%$ de UR) (Figura 4A). Os frutos mantiveram-se com 15 a 20 % de coloração amarela na casca (Figura 4B).

As maiores temperaturas médias diárias registradas durante os primeiros 70 dias de formação dos frutos colhidos em junho e a presença de picos de temperatura em torno de 35°C até a sua formação total (Figura 2A), podem ter gerado estresse nas plantas, como fotoinibição, que resultou em uma resposta fisiológica nos frutos. Temperaturas próximas aos 40°C podem gerar estresse térmico nas plantas, resultando em falhas no desempenho fotossintético (YAN et al., 2012). Os distúrbios fisiológicos, de modo geral, têm suas causas principais nos fatores pré-colheita. Dentre estes, a temperatura e a disponibilidade de água para as plantas são os principais responsáveis (FERGUSON; VOLZ; WOOLF, 2000). Além disso, a alta amplitude térmica durante a formação dos frutos, também pode ter contribuído com as alterações nos frutos dos mamoeiros 'Golden'. Nos períodos com 34 e $36,5^\circ\text{C}$ foram registrados temperaturas mínimas de 17 e 19°C , promovendo uma variação térmica diária de 17°C . Apesar de ser uma cultura tropical, tolerando temperaturas entre 21 e 33°C (CRANE, 2005; YADAVA; BURRIS; Mc CRARY, 2010), temperaturas maiores que 30°C e menores que 15°C , por longo período, podem alterar a estrutura dos tecidos dos frutos. Temperaturas médias em torno de 20°C favorecem formação de frutos mais firmes, pois ocorre redução do tamanho das células resultando em um tecido mais denso (SAMS, 1999). Já temperaturas médias maiores podem resultar em menor firmeza, como observado por Silva et al. (2005), que ao avaliarem a relação entre temperatura média do ar e perda de firmeza de mamões 'Golden' e 'Gran Golden' do norte do Espírito Santo, verificaram que a ocorrência de temperaturas entre 25 e 27°C , nos quatro meses anteriores a colheita, resultou em frutos com menor firmeza. As alterações que as altas temperaturas médias promovem na qualidade dos frutos podem ser decorrentes do aumento de temperatura do fruto, seja pela incidência luminosa ou mesmo pela transferência de calor. A temperatura da casca de mamões pode chegar aos 45°C quando a temperatura ambiente é de 30°C (WOOLF; FERGUSON, 2000).

As desordens fisiológicas dos frutos podem ocorrer em função de alterações climáticas como o aumento da temperatura e da luminosidade durante sua formação. Diversos estudos demonstram que a formação de substâncias reativas ao oxigênio é uma das respostas de proteção das plantas e frutos aos estresses abióticos. Avaliações de mangas sob diferentes incidências luminosas e temperaturas na pré-colheita demonstraram aumento de compostos antioxidantes naqueles frutos que receberam maior intensidade luminosa e temperatura mais alta durante sua formação (LÉCHAUDEL et al., 2013). Em tomates do tipo cereja o aumento

de compostos indicadores de estresse oxidativo, como enzimas lipoxigenase, catalase, ácido ascórbico também foi constatado quando plantas destes tomateiros foram submetidas à altas temperaturas, alta radiação solar e alto déficit de vapor de ar (ROSALES et al., 2009). Não só os frutos, mas também as flores respondem ao estresse por altas temperaturas. Estudos com mamoeiros ‘Golden’ demonstraram que durante os meses com maiores adversidades climáticas (temperaturas elevadas e altos índices pluviométricos) ocorreu maior porcentagem de anomalias nas flores, tornando aquelas hermafroditas em estéreis (DAMASCENO JUNIOR et al., 2008).

Não só estes fatores citados anteriormente, mas também, altos índices pluviométricos podem desencadear distúrbios nos frutos. Os frutos colhidos em agosto apresentaram IA menor ($IA = -14,2$) (Figura 4A), cuja causa pode ter sido o maior acúmulo de água na área pela precipitação e pelo tratamento com excesso de irrigação durante 30 dias antecedentes à colheita (Tabela 1), independente dos tratamentos com lâminas de irrigação. O excesso de água no solo pode promover lixiviação de nutrientes, diminuindo sua disponibilidade para a planta, e, ainda, anaerobiose na área radicular, desencadeando diversas mudanças metabólicas. Dentre estas, o desbalanço hormonal, o enzimático e, por fim o físico e o químico podem resultar na alteração da qualidade final dos frutos (MARIN et al., 1995; TAIZ; ZEIGER, 2006).

Alterações do comportamento de mamões ‘Golden’ na pós-colheita em função das épocas de colheita do ano também foram relatadas em estudos na região norte do Espírito Santo (JACOMINO et al., 2010; SOUZA et al., 2005; SILVA et al., 2005). Silva et al. (2005) observaram o mesmo comportamento de rápida perda de firmeza em frutos de épocas com maiores temperaturas e maior índice pluviométrico, de outubro a dezembro de 2004 e de janeiro a fevereiro de 2005. Praticamente o mesmo foi observado por Jacomino et al. (2010), que relataram a ocorrência do IA em mamões ‘Golden’ no final de 2004 e entre os meses de março a maio de 2005.

A hipótese de que as variações climáticas entre as épocas de formação de mamões ‘Golden’, determinadas principalmente pela temperatura e índice pluviométrico em excesso nos períodos anteriores à colheita, desencadeia o DAP, também foi relatada por Gallon (2010) e por produtores da região do norte do Espírito Santo. Esta autora observou este comportamento esporadicamente em frutos colhidos nesta região, e pôde constatar a coincidência com períodos mais chuvosos e quentes.

A ausência do DAP em frutos colhidos em julho e outubro pode ter sido decorrente das menores temperaturas médias e do menor acúmulo de água registrados nestes períodos

(Tabela 1). Apesar dos frutos colhidos em julho também terem recebido um elevado excesso de água (2350,5 mm nas plantas tratadas) não apresentaram o distúrbio. Isso pode ter ocorrido devido às menores temperaturas mínimas registradas durante os 30 dias antecedentes a colheita (Tabela 1) e as menores amplitudes térmicas ocorridas durante a formação destes frutos. Durante a formação dos frutos colhidos em outubro, o menor índice pluviométrico de 667,7 mm registrado no período de 30 dias antecedentes a colheita, em relação ao ocorrido nos demais meses, pode ter sido o principal motivo que levou ao não comprometimento na qualidade pós-colheita dos frutos (Tabela 1). No período de formação destes frutos as maiores temperaturas foram de 34 °C em meados de julho e as menores de 12,5 °C nos últimos 15 dias de formação dos frutos.

O reflexo destes fatores pré-colheita puderam ser observados também nos teores de ácido ascórbico dos frutos. Os maiores teores foram registrados em frutos colhidos em julho e agosto e os menores teores em outubro, independente da lâmina de água aplicada (Tabela 2). Este composto pode ser um indicativo da tolerância dos frutos ao estresse. Como os frutos não possuem o mesmo desempenho fotossintético que as folhas sob estresse tendem a formar maiores quantidades de espécies reativas de oxigênio. Com isso, o seu mecanismo de fotoproteção é a fotoredução oxidativa e, conseqüentemente, desintoxicação destas espécies usando moléculas e enzimas antioxidantes (TORRES; ANDREWS; DAVIES, 2006; LI et al., 2008). Dentre estas moléculas há as hexoses, que podem favorecer o mecanismo de defesa por serem precursoras na síntese de compostos antioxidantes como o ácido ascórbico e os carotenoides (COUÉ et al., 2006). O aumento dos teores de hexose e, por consequência, de ácido ascórbico, ocorre, em muitos casos, pelo estresse decorrente do excesso de luminosidade e de altas temperaturas durante a formação dos frutos (ROSALES et al., 2007). Os níveis de ácido ascórbico encontrados nos frutos do presente estudo são comumente determinados em mamões do grupo Solo, variando de 50 a 100 mg 100g⁻¹ (SANTANA; MATSUURA; CARDOSO, 2004; WALL, 2006; BRON; JACOMINO, 2006; SOUZA et al., 2008). Trabalhos com tomates *cherry* evidenciaram o aumento de carotenoides e de ácido ascórbico em condições ambientais com maior temperatura média e maior incidência luminosa, confirmando a relação positiva entre estes fatores (RAFFO et al., 2006; ROSALES et al., 2009). Estudos ainda indicam a formação destes compostos antioxidantes em respostas a estresse abiótico pelo déficit ou excesso hídrico (LÉCHAUDEL et al., 2013), pela toxicidade de nutrientes minerais (HALLIWELL, 2006) e pelo aumento do déficit de pressão de vapor do ar (LÉCHAUDEL et al., 2013).

Em outubro, o teor médio de ácido ascórbico registrado de 64,14 mg 100 g⁻¹ indica que o metabolismo destes frutos pode ter sido afetado em menor intensidade pelas condições climáticas durante sua formação em relação aos demais frutos. No entanto, importante destacar que os teores de ácido ascórbico em mamões também variam em função do estágio de maturação e aumentam ao longo do armazenamento após a colheita (BRON; JACOMINO, 2006). Esse fato explica os menores teores encontrados nos frutos de outubro, já que estes estavam com estágio de maturação, indicado pela coloração da casca, em torno de 0,5 (Figura 4B), menor que os demais frutos.

Quanto aos teores de sólidos solúveis, a ausência de variação significativa tanto entre as épocas de colheita como entre os tratamentos com lâminas de irrigação (Tabela 2) demonstrou que a perda de firmeza característica dos frutos com DAP não influenciou nestes teores. Mamões apresentam nenhuma ou muito pouca variação nos teores de sólidos solúveis após a colheita, visto que esta se deve à degradação da parede celular e à hidrólise de sacarose. Como este polissacarídeo é acumulado no fruto, em sua maior parte, quando ainda está na planta (CHAN; HIBBARD; GOO, 1979) e os mamões possuem menos de 0,5% de amido (PAULL, 1996; SELVARAJ et al., 1982; GOMEZ et al., 1999), o aumento de açúcares solúveis vindos da degradação deste polímero não é significativo. O aumento expressivo ocorre principalmente em função da hidrólise da sacarose concomitante ao pico climatérico. A perda de firmeza colabora também com o aumento dos teores de sólidos solúveis pela solubilização das pectinas após a degradação da parede celular. A ausência de elevação nos teores de sólidos solúveis nos mamões do presente estudo, independente de apresentarem o DAP, pode ser decorrente do armazenamento refrigerado que provocaria um possível retardo na hidrólise da sacarose, assim como em todo o metabolismo respiratório dos frutos. Diversos trabalhos com amadurecimento de mamões ‘Golden’ após a colheita registram teores em torno de 11 °Brix (BRON; JACOMINO, 2006; JAYATHUNGE et al., 2011; ONG et al., 2013), equivalentes aos encontrados nos frutos avaliados no presente estudo e sem variações ao longo do amadurecimento.

As maiores taxas de atividade respiratória e de etileno produzidas pelos frutos colhidos em junho (Figura 5) demonstraram que as condições de pré-colheita durante sua formação promoveram aceleração dos seus processos metabólicos. A técnica de refrigeração para conservação de frutos climatéricos permite prolongamento da sua vida útil em função da redução da atividade respiratória e, consequentemente, da produção de etileno (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Mamões ‘Golden’ sob refrigeração (10 °C) produzem de 2 a 4 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ e de 0,05 a 2,0 µL C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹ e, quando armazenados a 25 °C, passam a produzir 10

vezes mais CO_2 e quase o dobro de etileno (ARPAIA; KADER, 1997; FONSECA et al., 2006). Os frutos colhidos em junho apresentaram o dobro das concentrações padrões de CO_2 e produziram seis vezes mais etileno que os frutos das demais colheitas (Figura 5). Nas demais colheitas, os frutos resultaram em concentrações de CO_2 e de C_2H_4 equivalentes às encontradas em literatura, demonstrando que não sofreram interferência das condições climáticas quanto a estes atributos.

Além das maiores atividade respiratória e produção de etileno dos frutos de junho, houve ainda um pico em ambos no sexto dia de armazenamento (Figura 5). Normalmente, este pico ocorre em condição ambiente após o quarto dia da colheita (FONSECA et al., 2006). Os frutos dos demais meses também apresentaram um pico nos mesmos momentos do armazenamento refrigerado, porém com menores concentrações que as produzidas pelos mamões colhidos em junho (Figura 5). A presença deste pico, no entanto, não parece temporalmente correlacionada com as mudanças de firmeza dos frutos (Figura 4A), já que esta decresceu a partir do segundo dia nos frutos colhidos em junho e a partir do quarto dia naqueles de agosto. Contudo, não se pode descartar a possibilidade de que as maiores produções iniciais de etileno, no início do armazenamento ($0,063 \mu\text{l C}_2\text{H}_4 \text{ Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$), realizada pelos frutos de junho, possam ter desencadeado esta rápida perda de firmeza (Figuras 5B e 4A).

As principais enzimas responsáveis pela degradação da parede celular, pectinametilesterase, poligalacturonase e celulase são sintetizadas em função do aumento de etileno. Este regulador vegetal controla a expressão de genes que codificam estas enzimas (WAKABAYASHI, 2000). Quando há aplicação de etileno exógeno em frutos climatéricos, o amolecimento ocorre em função do acúmulo de hidrolases da parede celular (KARAKURT; HUBER, 2003). Desta forma, as maiores concentrações de etileno produzidas pelos frutos de junho no início do armazenamento podem ter desencadeado o aparecimento do DAP. Esta maior produção pode ter sido em função do estresse térmico que estes frutos sofreram durante sua formação. Já nos frutos colhidos em agosto, o DAP pode ter decorrido de outros fatores, provavelmente relacionados com excesso de água acumulada previamente a sua colheita (Tabela 1).

As determinações da atividade da ACC oxidase confirmaram os resultados de produção de etileno pelos frutos. Além de não terem sofrido influência dos tratamentos e sim das épocas de avaliação, demonstraram maior atividade nos frutos com maior produção de etileno, colhidos em junho e julho de 2012. E, ainda, maior atividade no sexto dia de avaliação, o que coincide com o pico de etileno produzido por estes frutos. A ACC oxidase é

uma enzima que catalisa o aminoácido ACC em etileno, etapa considerada limitante da produção de etileno em frutos (DUNKLEY; GOLDEN, 1998). A sua atividade é diretamente proporcional à produção de etileno.

Ao contrário do que as análises físicas, fisiológicas e químicas demonstraram com relação ao comportamento dos frutos em função dos tratamentos com lâminas de irrigação, as determinações dos teores de 1-aminociclopropano-1-ácido carboxílico livre (ACC) e do ácido indol 3-acético livre (AIA) revelaram diferenças nos frutos avaliados. Frutos formados em plantas com excesso de irrigação resultaram, de modo geral, em menores teores de ACC livre durante o armazenamento refrigerado. O estresse hídrico, preferencialmente a inundação, por promover anaerobiose no sistema radicular, resulta em aumento dos teores de ACC nas raízes (TAIZ; ZEIGER, 2004). Estudos envolvendo mamoeiros sob estresse hídrico por 20 dias demonstraram aumento significativo de ACC nas raízes em relação àquelas condicionadas a um controlado sistema de irrigação (CRUZ; ISHII; KADOYA, 2000). Resultado distinto foi observado nos frutos do presente estudo. Isso se deve, provavelmente, ao fato de que o ACC, acumulado nas raízes, deve ter sido translocado para os frutos via xilema e neles havido sua catalisação pela ACC oxidase e o transformando em etileno. Como esta enzima tem alta afinidade a este aminoácido, com K_m em torno de 30 μM (DUNKLEY; GOLDEN, 1998), e com a presença de oxigênio para sua ativação na parte aérea da planta, a redução deste composto livre nos frutos pode ter sido em função da sua rápida utilização pelas enzimas.

Este comportamento pode ser comprovado pelo maior acúmulo de ACC encontrado em pecíolos de mamoeiros submetidos ao excesso de irrigação e em frutos com 4 dias de colheita. Como a ACC oxidase tem maior atividade durante o amadurecimento dos frutos (DUNKLEY; GOLDEN, 1998), o ACC acumulado teria sido oxidado entre o quarto e o sexto dia de armazenamento, desencadeando, por conseguinte, a desestruturação da parede celular evidenciada pelo IA encontrado nos frutos colhidos em agosto e junho.

Os menores teores de AIA em frutos tratados com excesso de irrigação podem estar relacionados com a adaptação ao estresse desenvolvido pelas plantas. O AIA, em situações de estresse, induz genes precoces para adaptação da planta e estes codificam a glutathione S-transferase (GST) e uma forma específica de ACC sintase, que ainda não tem sua função definida. A regulação do conteúdo endógeno de AIA é realizada pelo gene *WES1*, que em situações de estresse, seja biótico ou abiótico, reduz os níveis de AIA, que leva à adaptação da planta (PARK, 2007), já que pelo balanço hormonal, pode resultar em aumento de etileno, seguido de um antecipado amadurecimento dos frutos. Esta resposta pode ter relação com a função ecológica de garantir a dispersão da espécie frente a um estresse (GOULAO;

OLIVEIRA, 2008). Diante disso, os menores teores de AIA encontrados nos frutos de plantas tratadas com excesso de água poderiam ter relação com a adaptação da planta. Isso demonstra que houve necessidade de uma alteração da programação do amadurecimento para que a planta garantisse sua continuidade. Outro estudo com plantas submetidas ao estresse pelo frio também revelou alterações na auxina, com inibição do seu transporte na planta e alteração no seu gradiente intracelular (RAHMAN, 2013)

O balanço hormonal de AIA e etileno nos frutos é determinante para o desencadeamento dos processos metabólicos de síntese e degradação em frutos típicos climatéricos após a colheita. A participação do regulador vegetal auxina em níveis altos nas fases de formação e de amadurecimento (pré e climatérico) em pêssegos foi observada em estudo realizado por Trainotti, Tradiello e Casadoro (2007). Estes autores relataram que alguns genes são regulados pelo AIA, assim como outros pelo etileno e, ainda, diversos por ambos. Além disso, destacaram que a maior participação da auxina ocorreu nos estádios iniciais de amadurecimento com indução de genes da ACC sintase. Contudo, em outros estudos, a auxina em altas concentrações nos frutos reprimiu a expressão de genes relacionados com as modificações da parede celular, com redução da síntese de poligalacturonase, pectato liase (BENÍTEZ-BURRACO et al., 2003; VILLAREAL; MARTÍNEZ; CIVELLO, 2009) e expansinas (FIGUEROA et al., 2009) e, ainda com diminuição da degradação de amido em bananas (PURGATTO et al., 2001). Esta regulação da auxina também foi observada em estudo realizado com morangos em estágio verde (FIGUEROA et al., 2012). Apesar destes autores não observarem diferença de firmeza entre os morangos tratados com ácido naftaleno acético (ANA) e aqueles do controle, a expressão dos genes da síntese de enzimas responsáveis pela degradação da parede celular foi reprimida nos frutos tratados. Mesmo que o estudo atual não tenha avaliação destes genes, provavelmente o mesmo ocorreu nos mamões avaliados.

Embora a firmeza não tenha sido diferente entre os frutos com e sem excesso de irrigação, houve alteração nos níveis de AIA e de ACC. Também é importante destacar que aqueles frutos que passaram por período com maior acúmulo de água, os colhidos em agosto, foram os que apresentaram maior índice de amolecimento, ou seja, foram os que melhor representaram o distúrbio do amolecimento precoce em função do estresse hídrico. Resultados semelhantes foram encontrados em estudo de Gallon (2010) com mamões 'Golden' do norte do Espírito Santo. Esta autora ao avaliar frutos com e sem o distúrbio do amolecimento precoce (DAP) verificou menores teores de AIA naqueles com DAP e maiores teores iniciais naqueles sem o distúrbio, quando armazenados por 10 dias nas mesmas condições do atual

estudo. Neste trabalho também não foi observada diferença de produção de etileno entre frutos com e sem DAP, indicando que provavelmente o sinal de amadurecimento dos frutos com DAP tenha ocorrido na pré-colheita. Isso implica que a redução dos níveis de AIA nos frutos não necessariamente reflete num aumento da síntese de etileno. Estudos comprovam que com a redução dos níveis de AIA na polpa dos frutos ocorre aceleração do processo de amadurecimento sem aumento dos teores de etileno (YUAN et al., 2001; PURGATTO et al., 2002; MEIR et al., 2006). Isso se deve à ação independente da auxina em alguns processos do amadurecimento, pela indução de genes nos estádios entre o pré-climatérico e o climatérico (TRAINOTTI; TRADIELLO; CASADORO, 2007).

É possível, portanto, que o AIA tenha sido degradado antes da colheita dos frutos em função da adaptação da planta ao estresse. Isso levou ao estímulo do amadurecimento precoce, que foi evidenciado pela rápida perda de firmeza nos frutos colhidos em agosto, desenvolvidos por plantas submetidas ao alto acúmulo hídrico.

4.5 Conclusões

O estudo apresentado leva as seguintes conclusões:

- alterações climáticas somadas ao acúmulo de água por irrigação e precipitação podem ter levado ao aparecimento do DAP em mamões ‘Golden’ colhidos em junho e agosto;
- o estresse provocado em mamoeiros ‘Golden’ pelas condições climáticas, nos meses de junho e agosto, desencadeou em desbalanço hormonal e bioquímico, causas possíveis do aparecimento do DAP;
- A auxina, determinada pelos teores de ácido indol 3-acético, teve relação direta com o estresse e a antecipação do amolecimento dos mamões ‘Golden’, independente da ação do etileno.

Referências

ARPAIA, M.L.; KADER, A.A. **Papaya**: recommendations for maintaining postharvest quality, 1997. Disponível em: <<http://postharvest.ucdavis.edu/PFfruits/Papaya/>>. Acesso em: 14 dez. 2013.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Food composition, additives, natural contaminants. In: _____. **Official methods of analysis of AOAC International**. Washington: AOAC International, 1995. chap. 37, p. 1-23.

BRON, I.U.; JACOMINO, A.P. Ripening and quality of ‘Golden’ papaya fruit harvested at different maturity stages. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 18, n. 3, p. 389-396, 2006.

- BENÍTEZ-BURRACO, A.; BLANCO-PORTALES, R.; REDONDO-NEVADO, J.; BELLIDO, M. L.; MOYANO, E.; CABALLERO, J. L.; MUÑOZ-BLANCO, J. Cloning and characterization of two ripening-related strawberry (*Fragaria x ananassa* cv. Chandler) pectate lyase genes. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 54, p. 633-645, 2003.
- CHAN JR., H.T.; HIBBARD, K.L.; GOO, T. Sugar composition of papayas during fruit development. **Hortscience**, Alexandria, v. 14, n. 3, p. 140-141, 1979
- CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.
- CRANE, J. H. **Papaya growing in the Florida home landscape**. IFAS Extension: University of Florida, p. 8, 2005
- CRUZ, A.F.; ISHII, T.; KADOYA, K. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on tree growth, leaf water potential, and levels of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid and ethylene in the roots of papaya under water-stress conditions. **Mycorrhiza**, Beaune, v.10, p. 121-123, 2000.
- DAMASCENO JUNIOR, P.C.; PEREIRA, T.N.S.; SILVA, F.F. da.; VIANA, A.P.; MESSIAS, G.P. Comportamento floral de híbridos de mamoeiro (*Carica papaya* L.) avaliados no verão e na primavera. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 55, n. 4, p. 310-316, 2008
- DUNKLEY, H.M.; GOLDEN, K.D. ACC oxidase from *Carica papaya*: isolation and characterization. **Physiologia Plantarum**, New York, v.103, p.225-232, 1998.
- EDLUND, A.; EKLÖF, S.; SUNDBERG, B.; MORITZ, T.; SANDBERG, G. A microscale technique for gas chromatography-mass spectrometry measurements of picogram amounts of indole-3-acetic acid in plant tissues. **Plant Physiology**, Rockville, v. 108, p. 1043-1047, 1995.
- FERGUSON, I.; VOLZ, R.; WOLF, A. Preharvest factors affecting physiological disorders of fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 15, p. 255-262, 1999.
- FIGUEROA, C.R.; OPAZO, M.C.; VERA, P.; ARRIAGADA, O.; DÍAZ, M.; MOYA-LEÓN, M.A. Effect of postharvest treatment of calcium and auxin on cell wall composition and expression of cell wall-modifying genes in the Chilean strawberry (*Fragaria chiloensis*) fruit. **Food Chemistry**, Washington, v. 132, p. 2014–2022, 2012.
- FIGUEROA, C.R.; PIMENTEL, P.; DOTTO, M.C.; CIVELLO, P.M.; MARTÍNEZ, G.A.; HERRERA, R.; MOYA-LEÓN, M.A. Expression of five expansin genes during softening of *Fragaria chiloensis* fruit: effect of auxin treatment. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 53, p. 51–57, 2009.
- FONSECA, M.J.O.; LEAL, N.R.; CENCI, S.A.; CECON, P.R.; BRESSAN-SMITH, R.E.; SOARES, A.G. Emissão de etileno e de CO₂ em mamão ‘Sunrise Solo’ e ‘Golden’. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 322-324, 2006.
- GALLON, C.Z. **Amolecimento precoce de polpa e sua relação com as modificações da parede celular em mamões ‘Golden’**. 2010. 111 p. Tese (Doutorado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

GOMES FILHO, A.; OLIVEIRA, J.G. de; VIANA, A.P.; PEREIRA, M.G. Mancha fisiológica e produtividade do mamão 'Tainung 01': efeito da lâmina de irrigação e cobertura do solo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1161-1167, 2008.

GOULAO, L.F.; OLIVEIRA, C.M. Cell wall modifications during fruit ripening: when a fruit is not the fruit. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 19, p. 4-25, 2008.

HALLIWELL, B. Reactive species and antioxidants. Redox biology is a fundamental theme of aerobic life. **Plant Physiology**, Rockville, v. 141, p. 312-322, 2006

JACOMINO, A.P.; GALLON, C.Z.; DIAS, I.S.; PEREIRA, W.S.P. Characterization and occurrence of early softening disorder in 'Golden' papaya fruits. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 1261-1266, 2010.

JAYATHUNGE, K.G.L.R.; PRASAD, H.U.K.C.; FERNANDO, M.D.; PALIPANE, K.B. Prolonging the postharvest life of papaya using modified atmosphere packaging. **Journal of Agricultural Technology**, El Monte, v. 7, n. 2, p. 507-518, 2011.

KARAKURT, Y.; HUBER, D.J. Activities of several membrane and cell-wall hydrolases, ethylene biosynthetic enzymes, and cell wall polyuronide degradation during low-temperature storage of intact and fresh-cut papaya (*Carica papaya*) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 28, p. 219-229, 2003.

LÉCHAUDELA, M.; LOPEZ-LAURIB, F.; VIDALB, V.; SALLANONB, H.; JOASC, J. Response of the physiological parameters of mango fruit (transpiration, water relations and antioxidant system) to its light and temperature environment. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 170, p. 567- 576, 2013

LI, M.J.; MA, F.W.; ZHANG, M.; PU, F. Distribution and metabolism of ascorbic acid in apple fruits (*Malus domestica* Borkh cv. Gala). **Plant Science**, Amsterdam, v. 174, p. 606-612, 2008.

LIU, M.; ZHU, S.; ZHOU, J. Determination of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid in apple and peach extracts by high performance liquid chromatography coupled to a fluorescence detector. **Analytical Letters**, Yokahama, v. 45, p. 2324-2333, 2012.

LUDWIG-MÜLLER, J.; GEORGIEV, M.; BLEY, T. Metabolite and hormonal status of hairy root cultures of Devil's claw (*Harpagophytum procumbens*) in flasks and in a bubble column bioreactor. **Process Biochemistry**, Kansas, v. 43, n. 1, p. 15-23, 2008.

MARIN, S.L.D.; GOMES, J.A.; SALGADO, J.S.; MARTINS, D.S.; FULLIN, E.A. **Recomendações para a cultura do mamoeiro dos grupos Solo e Formosa no Estado do Espírito Santo**. Vitória: EMCAPA, 1995. 57 p. (Circular Técnica, 3).

MEIR, S.; HUNTER, D.A.; CHEN, J.C.; HALALY, V.; REID, M.S. Molecular changes occurring during acquisition of abscission competence following lowering auxin depletion in *Mirabilis jalapa*. **Plant Physiology**, Rockville, v. 141, p. 1604-1616, 2006.

OLIVEIRA, J.G. de; VITORIA, A.P. Papaya: nutritional and pharmacological characterization, and quality loss due to physiological disorders. An overview. **Food Research International**, Caribbean, v. 44, p. 1306–1313, 2011.

OLIVEIRA, J.G.; CAMPOSTRINI, E.; BRESSAN-SMITH, R.; CUNHA, M. da ; TORRES NETTO, A; COSTA, E.S.; COUTINHO, K.S.; GOMES, M.M.A; PEREIRA, M.G. Gelificação da polpa de frutos de mamão (*Carica papaya* L.) da variedade ‘Golden’: caracterização de uma anomalia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 17., 2002, Belém. **Resumos...** Belém: SBF, 2002. p. 1-5.

ONGA, M.K; FORNEYB, C.F.; ALDERSONA, P.G.; ALI, A. Postharvest profile of a Solo variety ‘Frangi’ during ripening at ambient temperature. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 160, p. 12-19, 2013.

PARK, C.M. Auxin homeostasis in plant stress adaptation response. **Plant Signaling and Behavior**, Salt Lake City, v. 24, p. 306-307, 2007.

PURGATTO, E.; LAJOLO, F.M.; NASCIMENTO, J.R.O.; CORDENUNSI, B.R. Inhibition of b-amylase activity, starch degradation and sucrose formation by indole-3-acetic acid during banana ripening. **Planta**, Berlin, v. 212, p. 823-828, 2001.

PURGATTO, E.; NASCIMENTO, J.R.O.; LAJOLO, F.M.; CORDENUNSI, B.R. The onset of starch degradation during ripening is concomitant to changes in the content of free and conjugated forms of indole-3-acetic acid. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 159, p. 1105-1111, 2002.

RAHMAN, A. Auxin: a regulator of cold stress response. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 147, p. 28-35, 2013.

ROSALES, M.A.; RUBIO-WILHELMI, M.M.; CASTELLANO, R.; CASTILLA, N.; RUIZ, J.M.; ROMERO, L. Sucrolytic activities in cherry tomato fruits in relation to temperature and solar radiation. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 113, p. 244–249, 2007.

ROSALES, M.A.; RÍOS, J.J.; CERVILLA, L.M.; RUBIO-WILHELMI, M.M.; BLASCO, B.; RUIZ, J.M.; ROMERO, L. Environmental conditions in relation to stress in cherry tomato fruits in two experimental Mediterranean greenhouses. **Journal of Science Food Agriculture**, New York, v. 89, p. 735–742, 2009.

SAMS, C.E. Preharvest factors affecting postharvest texture. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 15, p. 249–254, 1990.

SANTANA, L.R.R.; MATUSUURA, F.C.A.U.; CARDOSO, R.L. Genótipos melhorados de mamão (*Carica papaya* L.): avaliação sensorial e físico-química dos frutos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 2, p. 217-222, 2004.

SILVA, M.M. da; BROETTO, S.G.; FONTES, R.V.; BALBINO, J.M.S.; SILVA, D.M. Influência dos fatores pré-colheita na perda de firmeza em frutos do mamoeiro (*Carica papaya* L.) cv. Golden e Gran Golden. In: PAPAYA BRASIL: mercado e inovações tecnológicas para o mamão, 2005, Vitória. **Resumos...** Vitória: INCAPER, 2005. p. 568-571.

SOUZA, M.L.de; FERREIRA, K.S.; CHAVES, J.B.P.; TEIXEIRA, S.L. L-ascorbic acid, β -carotene and lycopene content in papaya fruits (*Carica papaya*) with or without physiological skin freckles. **Science Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 3, p. 246-250, 2008.

SOUZA, M.S. de; GIOVANINNI, K.F.R.; GOMES FILHO, A.; OLIVEIRA, J.G. de. Alterações na qualidade de frutos de mamão (*Carica papaya* L. cvs Tainung 01 e Golden) submetidos a diferentes épocas de colheita no norte do Espírito Santo. In: PAPAYA BRASIL: mercado e inovações tecnológicas para o mamão, 2005, Vitória. **Resumos...** Vitória: INCAPER, 2005. p. 564-567.

TRAINOTTI, L.; TADIELLO, A.; CASADORO, G. The involvement of auxin in the ripening of climacteric fruits comes of age: the hormone plays a role of its own and has an intense interplay with ethylene in ripening peaches. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 58, n. 12, p. 3299–3308, 2007.

TORRES, C.A.; ANDREWS, P.K.; DAVIES, N.M. Physiological and biochemical responses of fruit exocarp of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) mutants to natural photooxidative conditions. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 57, p. 1933-1947, 2006.

VILLAS-BÔAS, S.G.; DELICADO, D.G.; AKESSON, M.; NIELSEN, J. Simultaneous analysis of amino and non-amino organic acids as methyl chloroformate derivatives using gas chromatography-mass spectrometry. **Analysis Biochemistry**, v. 322, p.134-138, 2003.

VILLARREAL, N.M.; MARTÍNEZ, G.A.; CIVELLO, P.M. Influence of plant growth regulators on polygalacturonase expression in strawberry fruit. **Plant Science**, Amsterdam, v. 176, p. 749-757, 2009.

YADAVA, U. L., BURRIS, A.J.; MCCRARY, D. Papaya: a potential annual crop under middle Georgia conditions. In: JANICK, J.; SIMON, J.E. (Ed.). **Advances in new crops**. Oregon: Timber Press, 1990. p. 364–366.

YAN, K.; CHEN, P.; SHAO, H.; ZHAO, S.; ZHANG, L.; XU, G.; SUN, J. Responses of photosynthesis and photosystem II to higher temperature and salt stress in Sorghum. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Madison, v. 198, p. 218–225, 2012

YUAN, R.; HARTMOND, U.; KENDER, W.J. Physiological factors affecting response of mature ‘Valencia’ oranges to CMN-pyrazole. II. Endogenous concentrations of indole-3-acetic acid, abscisic acid and ethylene. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 126, p. 420-426, 2001.

WALL, M.M. Ascorbic acid, vitamin A, and mineral composition of banana (*Musa sp.*) and papaya (*Carica papaya*) cultivars grown in Hawaii. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v.19, p. 434–445, 2006.

WOOLF, A.B.; FERGUSON, I.B. Postharvest responses to high fruit temperatures in the field. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 21, p. 7–20, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Tradução de E.R. Santarém. et al. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 719 p.

5 INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO PRÉ-COLHEITA DE REGULADORES VEGETAIS, NA FISIOLOGIA DO AMADURECIMENTO DE MAMÕES ‘GOLDEN’

Resumo

Mamões ‘Golden’ muitas vezes apresentam diferenças físicas, fisiológicas e químicas entre frutos colhidos com mesmo estágio de coloração durante a pós-colheita. Isso leva a uma dificuldade de padronização do seu armazenamento assim como na inovação de tecnologias de conservação. Com intuito de entender as causas destas diferenças, mamões ‘Golden’ foram analisados após a colheita em função do uso de reguladores vegetais na pré-colheita. Mamoeiros ‘Golden’ foram conduzidos em área experimental da ESALQ/USP em Piracicaba/SP em duas etapas, entre abril e novembro de 2012 e entre dezembro de 2012 e maio de 2013. Os reguladores vegetais (1-MCP, etefon, TIBA) foram aplicados após 120 dias da antese. Frutos controle não receberam regulador vegetal. Os frutos foram colhidos no estágio 1 (15% da coloração da casca amarela) e armazenados a 22 ± 2 °C e 85 ± 5 % de umidade relativa até atingirem o estágio 5 (>75% da coloração da casca amarela). O tempo e os graus dias acumulados para os frutos atingirem o estágio 1 foram contabilizados durante a sua formação. Após a colheita, os frutos foram avaliados quanto à composição endógena de etileno e a coloração da casca e quanto atingiram o estágio 5 foram avaliados também quanto aos teores de sólidos solúveis (SS), ácido ascórbico (AA) e ácido indol 3-acético (AIA). Foram observadas distintas respostas dos frutos em função das épocas de aplicação dos reguladores vegetais. O 1-MCP na primeira etapa prorrogou a data da colheita dos frutos, assim como, conservou por 8 dias a firmeza da polpa, 2 dias a mais que os demais tratamentos. O etefon na primeira etapa promoveu maior perda de firmeza da polpa, maior composição endógena de etileno e menor de AIA. Frutos com TIBA resultaram em menores teores de AIA, porém não diferiram quanto à firmeza da polpa e nem quanto à composição endógena de etileno dos frutos controle. Não houve interferência dos reguladores vegetais nos teores de SS e de AA. A resposta dos mamões ‘Golden’ quanto à firmeza da polpa foi evidenciada em função das concentrações endógenas de etileno. Os teores de auxina endógeno não refletiram na firmeza da polpa dos frutos.

Palavras-chave: *Carica papaya* L.; Hormônio vegetal; Pré-colheita; Amadurecimento

Abstract

‘Golden’ papayas often have physical, physiological and chemical differences between fruits harvested with the same level of color during postharvest. This leads to a difficulty in standardizing the storage as well as innovation technologies conservation. In order to understand the causes of these differences, ‘Golden’ papayas were analyzed after harvest due to use of plant growth regulators on preharvest. ‘Golden’ papayas were conducted in an experimental field of ESALQ/USP in Piracicaba/SP in two stages between april and november of 2012 and between december of 2012 and may of 2013. Vegetables regulators (1 - MCP, ethephon, TIBA) were applied 120 days after anthesis. Control specimens were not given growth regulator. Fruit were harvested at stage 1 (15% of yellow skin coloring) and stored at 22 ± 2 °C and 85 ± 5 % relative humidity until they reach stage 5 (> 75% staining of yellow skin). Time and accumulated degree days for fruits reach the stage 1 were recorded during their training. After harvest, fruits were evaluated for endogenous ethylene composition and coloration of the skin and the reached stage 5 were also evaluated for the levels of soluble solids (SS), ascorbic acid (AA) and 3 - indole acetic acid (IAA). Different responses depending on fruits of application dates of plant growth regulators were observed. 1

- MCP in first stage extended the date of harvest, as well as kept for 8 days flesh firmness, two days longer than other treatments. First step in ethephon promoted greater loss of flesh firmness, increased endogenous composition of ethylene and low IAA. Fruits with TIBA resulted in lower IAA level, but did not differ in firmness and composition of either the endogenous ethylene control fruit. There was no effect of plant growth regulators in SS and AA. The response of 'Golden' papaya pulp firmness as was evidenced in function of endogenous ethylene concentrations. Levels of endogenous auxin did not reflect the firmness of the fruit.

Palavras-chave: *Carica papaya* L.; Plant hormone; Preharvest; Ripening

5.1 Introdução

O Mamão 'Golden' apresenta importância no agronegócio brasileiro, estando entre as frutas mais produzidas e exportadas pelo país (IBRAF, 2014). Alterações durante a sua fisiologia pós-colheita podem desencadear perdas de ordem econômica durante a sua comercialização para os mercados interno e externo, além de dificultar a aplicação de tecnologias de conservação.

Como fruto climatérico, apresenta diversas alterações físicas e químicas durante a pós-colheita, em função de reações de síntese e degradação desencadeadas, na maior parte, pela ação do etileno. Frutos climatéricos exibem um aumento da produção de etileno e da atividade respiratória durante o amadurecimento (ABELES; MORGAN; SALVEIT, 1992). Este regulador vegetal, considerado um dos principais envolvidos no processo de amadurecimento dos frutos, é sintetizado logo após ou concomitantemente à atividade respiratória, identificada pelo aumento dos teores de CO₂ liberados pelos frutos. Durante este aumento, a biossíntese de etileno é acelerada, levando a um incremento considerável dos seus teores endógenos no fruto. Esta elevação é determinada pelo pico climatérico, caracterizado por mudanças físicas e químicas nos frutos, como amolecimento da polpa, alteração da coloração da polpa e da casca, síntese de açúcares e degradação de ácidos orgânicos, entre outros (MOYA-LEÓN; MOYA; HERRERA; 2004). É possível que estas mudanças não ocorram de forma padronizada e nem uniforme entre os frutos de um mesmo lote, principalmente considerando a firmeza determinada no mesocarpo de mamões, que pode ter grande variação entre os frutos, segundo estudo de Vitorazi et al. (2011).

Fatores pré-colheita podem influenciar no comportamento pós-colheita, já que alterações na temperatura, nos índices pluviométricos e na umidade relativa do ar podem promover mudanças fisiológicas, morfológicas, anatômicas e até bioquímicas nas plantas e nos frutos (CALDWELL et al., 2003; MORETTI et al., 2010), dependendo da época e estágio fisiológico do fruto que ocorrem. Em estudo com avaliação das modificações da parede celular de mamões 'Golden', Cavalari (2010) identificou que aos 120 dias após a antese

ocorrem as mais intensas mudanças na estrutura dos frutos. No entanto, estas mudanças sofrem influência direta da temperatura do ambiente, uma vez que, o tempo para formação, desenvolvimento e maturação dos frutos depende em especial dos graus-dias acumulados e não necessariamente dos dias após a antese (BERILLI et al., 2007).

O comportamento dos frutos de mamoeiros ‘Golden’ durante a pós-colheita ainda possui incógnitas a serem desvendadas. Existem registros de respostas pós-colheita distintas entre mamões colhidos de mesmo local, no mesmo estágio de amadurecimento (JACOMINO et al., 2010; GALLON, 2010). É possível que a resposta para estas evidências tenha relação com os fatores pré-colheita. Amolecimento precoce da polpa dos frutos é um exemplo de um distúrbio que tem tido como provável fator o alto índice pluviométrico somado à altas temperaturas em períodos prévios à colheita (SILVA et al., 2005; ZAMPERLINI et al., 2007; JACOMINO et al., 2010; GALLON, 2010).

Reguladores vegetais como giberelinas e auxinas, que estão diretamente relacionados processos de germinação, florescimento, fertilização e formação dos frutos, quando em condições ambientais desfavoráveis tem suas funções alteradas ou bloqueadas, como identificados em estudos com videiras (BOTELHO; PIRES; TERRA, 2002; ALBUQUERQUE; MOUCO; ALBUQUERQUE NETO, 2008). Outros reguladores como o ácido abscísico e o etileno, em condições de estresse, também respondem com alterações no comportamento fisiológico e bioquímico da planta e do fruto (WAHID et al., 2007). O provável envolvimento do amolecimento precoce com o hormônio auxina foi identificado em estudo de Gallon (2010). Mudanças nos teores deste regulador vegetal podem levar a um desbalanço hormonal, com aumento ou redução dos teores de etileno, já que ambos são antagonistas. Estudos recentes apontam o aumento dos teores de etileno em função de maiores teores de auxina em frutos de pessegueiro (TRAINOTTI; TADIELLO; CASADORO, 2007), exceção ao que a maioria dos frutos revela, isto é, retardo dos eventos de amadurecimento em função de altos níveis de AIA (PURGATTO et al., 2001; BENÍTEZ-BURRACO et al., 2003; VILLAREAL; MARTÍNEZ; CIVELLO, 2009; FIGUEROA et al., 2009, 2012). Nestes estudos o envolvimento da auxina foi avaliado com aplicação exógena deste hormônio. Porém, para um estudo do envolvimento de baixos níveis de auxina no desenvolvimento e amadurecimento dos frutos, o bloqueio de sua entrada pode ser realizado com uso do ácido 2, 3, 5 – triiodo benzoico (TIBA), que impede o transporte polar, evitando o efluxo da auxina (TAIZ; ZEIGER, 2009). Este hormônio pode influenciar diversos processos que envolvem o crescimento e a abscisão dos frutos. O seu fluxo via floema quando em concentrações elevadas impede a abscisão de frutos, porém com a redução dos seus níveis, associado ao

amadurecimento dos frutos, este evento é antecipado (BLANUSA et al., 2005). Estudo com uso de TIBA em citros, apesar de não ter reduzido os níveis de AIA, aumentou os teores de ácido abscísico no pedúnculo dos frutos após 7 dias da aplicação, antecipando, por consequência, a abscisão (YUAN et al., 2003).

Há possibilidade do envolvimento de outros reguladores vegetais nas alterações do amadurecimento de mamões ‘Golden’. O etileno, por ser um hormônio ligado ao estresse fisiológico, pode ter relação com este distúrbio, uma vez que em situações de estresse tem sua biossíntese acelerada. O 1-MCP, competidor molecular do mesmo sítio ativo do etileno, bloqueia sua ação com consequente retardo do amadurecimento em frutos climatéricos (BLANKENSHIP; DOLE, 2003; ZENCIRKIRAN, 2010). Esta molécula tem sido usada como ferramenta na pós-colheita de frutas e hortaliças não só com objetivo de aumentar o período de conservação dos frutos, mas também como instrumento para estudo do envolvimento do etileno no metabolismo de alguns frutos. Sua aplicação, apesar de ocorrer em maior parte na pós-colheita dos frutos, quando aplicado na pré-colheita de ameixas, na concentração de $70 \mu\text{g L}^{-1}$ foi eficaz na manutenção da firmeza da polpa (STEFFENS et al., 2009). O etefon (ácido 2-cloroetil fosfônico) é também uma ferramenta de auxílio na pesquisa e na tecnologia pós-colheita, pois atribui aumento dos teores endógenos de etileno nos frutos e, consequentemente leva à produção autocatalítica de etileno. Sua aplicação em maçãs ‘Fuji’ levou a maior produção de etileno pelos frutos com consequente perda antecipada da firmeza (STEFFENS; BRACKMANN, 2006).

Como faltam ainda conhecimentos sobre o amadurecimento de mamões ‘Golden’ e os fatores que a ele estão ligados, este trabalho tem como propósito o estudo do amadurecimento dos mamões em resposta à ação de reguladores vegetais como etileno e auxina durante o desenvolvimento e a formação dos frutos na pré-colheita.

5.1 Material e Métodos

Mamoeiros ‘Golden’ foram conduzidos em área experimental do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), em Piracicaba/SP (latitude sul $22^{\circ}43'31''$ e longitude oeste $47^{\circ}38'57''$). As mudas dos mamoeiros foram formadas na própria ESALQ com sementes produzidas pela empresa Caliman Agrícola S.A. O plantio das mudas foi realizado em dezembro de 2011, no espaçamento de 4 m entre linhas e 2 m entre plantas, com 3 mudas por cova. Em março de 2012 foi realizada a sexagem, mantendo-se 105 plantas hermafroditas. As práticas culturais adotadas foram aquelas preconizadas de acordo com Martins e Costa (2003).

Também foram realizadas vistorias periódicas para vírus do mosaico do mamoeiro e as plantas contaminadas eliminadas imediatamente, de tal modo que o número inicial de plantas foi 105 e 95 no final dos experimentos.

O estudo foi conduzido em duas etapas, sendo a primeira entre abril e novembro de 2012 e a segunda entre dezembro de 2012 e maio de 2013.

Em abril de 2012 foram identificadas 200 flores no momento da antese e 120 dias após a antese (dpa) foi realizada a aplicação dos reguladores vegetais nos frutos. A colheita foi realizada quando os frutos atingiram estágio 1 de amadurecimento, segundo escala de notas de cor (Figura 1). Foram utilizados pelo menos 38 frutos para cada tratamento, distribuídos aleatoriamente nas plantas da área experimental.

Figura 1 - Escala de notas de 0 a 5 da cor da casca para mamão 'Golden' (nota 0 = frutos com a casca totalmente verde, 1 = frutos com até 15% da casca de cor amarela; 2 = frutos com 15 a 25% da coloração da casca amarela; 3 = frutos com 25 a 50% da coloração da casca amarela; 4 = frutos com 50 a 75% da cor da casca amarela e 5 = frutos com mais de 75% da cor da casca amarela)

Os tratamentos foram compostos pela aplicação de reguladores vegetais, conforme descritos a seguir, em aplicação única:

- TIBA (ácido 2,3,5-triiodo benzoico): pasta de lanolina com TIBA na concentração de 500 mg L⁻¹ aplicado no pedúnculo dos frutos (Figura 2A);
- ETEFON (ácido 2-cloroetil fosfônico): solução de etefon (100 mg L⁻¹) (Ethrel 24%; Bayer CropScience Ltda) aplicado em toda a superfície do fruto com uma esponja de espuma sintética (Figura 2B);
- 1-MCP (1-metilciclopropeno): solução de 1-MCP aplicado na forma líquida diretamente na casca do fruto na concentração de 0,1 mg L⁻¹ (Figura 2B);
- Controle: aplicação de água com auxílio de uma esponja (Figura 2B).

Em dezembro de 2012 foi iniciada a identificação das flores no momento da antese, definindo a segunda etapa. Foram marcadas 150 flores e 120 dpa foi realizada a aplicação dos reguladores vegetais nos frutos. A colheita foi realizada quando os frutos atingiram estágio 1 de amadurecimento, segundo escala de notas de cor (Figura 1). Foram utilizados pelos menos

12 frutos para cada tratamento, distribuídos aleatoriamente nas plantas da área experimental. Esta variação ocorreu em função da eliminação de plantas para o controle do vírus do mosaico do mamoeiro.

Os tratamentos foram compostos pela aplicação de reguladores vegetais, conforme descritos a seguir, em aplicação única:

- TIBA (ácido 2,3,5-triiodo benzoico): pasta de lanolina com TIBA na concentração de 500 mg L⁻¹ aplicado no pedúnculo dos frutos (Figura 2A);

- ETEFON (ácido 2-cloroetil fosfônico): solução de etefon (240 mg L⁻¹) (Ethrel 24%; Bayer CropScience Ltda) aplicado em toda a superfície do fruto com uma esponja de espuma sintética (Figura 2B);

- 1-MCP (1-metilciclopropeno): solução de 1-MCP aplicado na forma líquida diretamente na casca do fruto na concentração de 1 mg L⁻¹ (Figura 2B);

- Controle: aplicação de água com auxílio de uma esponja (Figura 2B).

Durante o desenvolvimento dos frutos foi contabilizado o tempo e os graus dias para atingirem o estágio 1. Após a colheita os frutos foram acondicionados em ambiente controlado (22 ± 2 °C e 85 ± 5% de umidade relativa) até atingirem o estágio 5 segundo escala de notas de cor (Figura 1). Durante este período os frutos foram avaliados quanto a composição endógena de etileno, coloração da casca e o número de dias necessários para atingirem o estágio 5. Neste estágio os frutos foram avaliados quanto à firmeza da polpa, teor de sólidos solúveis, teor de ácido ascórbico e teor de ácido indol 3-acético (AIA) livre na polpa.

Figura 2 - Aplicação de TIBA no pedúnculo (A) e de outros reguladores vegetais com esponja na epiderme (B) de mamões 'Golden' aos 120 dpa cultivados em área experimental da ESALQ/USP entre abril de 2012 e maio de 2013

5.1.1 Metodologia das análises

Graus dias acumulados

Os cálculos foram realizados através das equações propostas por Villa Nova et al. (1972):

$$GD = (T_m - T_b) + (T_M - T_m)/2, \text{ para } T_m > T_b \quad (1)$$

$$GD = (T_M - T_b) * 2/2 * (T_M - T_m), \text{ para } T_m < T_b \quad (2)$$

$$GD = 0, \text{ para } T_M < T_b \quad (3)$$

Em que GD = graus-dia; TM = temperatura máxima diária (°C); Tm = temperatura mínima diária (°C); e Tb = temperatura base (°C). Utilizou-se a temperatura base igual a 15 °C (Nakasone, 1988).

Os dados meteorológicos foram obtidos em uma estação meteorológica automática instalada na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” à aproximadamente 400 metros da área experimental.

Coloração da casca

A coloração da casca do mamão foi avaliada visualmente com uma escala de notas do estágio de maturação (Figura 1).

Composição endógena de etileno

Para a estimativa da concentração endógena de etileno foi fixado um tubo de silicone no epicarpo dos frutos (adaptado de SALTVEIT, 1993) utilizando massa para calafetar. Os tubos foram confeccionados com mangueira de silicone, diâmetro interno de 1,0 cm, comprimento de 6,5 cm e volume de 5 mL. Uma das extremidades do tubo foi vedada com silicone, para a coleta das amostras gasosas, e a outra foi fixada no fruto (Figura 4). Nessa metodologia, assumiu-se que a atmosfera do interior do fruto entrou em equilíbrio com a atmosfera do interior do tubo após 2 horas da fixação.

Figura 4 - Mamões 'Golden' com tudo de silicone utilizados para coleta de amostras de gás e estimativa da concentração endógena de etileno (adaptado de SALTVEIT, 1993)

Firmeza da polpa

As determinações de firmeza da polpa foram realizadas com penetrômetro digital (53200-Samar TR Turoni, Forli, Itália) na região equatorial do fruto. A firmeza da polpa foi medida com ponteira de 8 mm de diâmetro com ponta plana, após a remoção de uma película da casca. Em cada fruto foram feitas 2 medições em lados opostos da região de maior diâmetro. Os dados foram expressos em Newton (N).

Sólidos solúveis

Parte do mesocarpo localizada na região equatorial de cada fruto foi triturado com Mixer Philips Walita RI1341 e o líquido resultante foi avaliado em refratômetro digital (Atago PR-101, Japão) para a obtenção do teor de sólidos solúveis. Os resultados foram expressos em °Brix.

Ácido ascórbico

O teor de ácido ascórbico foi determinado por titulação com redução do indicador 2,6-diclorofenol-indofenol-sódio (DCFI) pelo ácido ascórbico segundo metodologia descrita pela AOAC (1995). 10 g da amostra foram adicionadas em 50 ml de ácido oxálico 1%. A titulação foi efetuada com DCFI 0,02% até atingir a coloração rosada persistente por 15 segundos. Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico por 100 g de polpa, através da equação: $[\text{volume DCFI (ml) gasto} \times f \times 100] / \text{massa da amostra}$, onde f é o fator de correção para

padronização do DCFI e é obtido através da equação $f = \text{massa de ácido ascórbico} / 10 \times \text{volume de DCFI}$.

Extração e quantificação do ácido indol 3-acético (AIA)

O método de extração e purificação parcial do AIA livre nos frutos com e sem o distúrbio do amolecimento precoce foi baseado no método de LUDWIG-MÜLLER et al. (2008), com algumas modificações.

Foram homogeneizados 0,5 g das amostras previamente trituradas em nitrogênio líquido, juntamente com 500 µL de mistura extratora composta de isopropanol:ácido acético 95:5. Adicionou-se em seguida 1 µg de padrão marcado [¹³C₆] ácido indol-3-acético (C-IAA) (Cambridge Isotopes). A mistura foi agitada em vortex por aproximadamente 1 min., seguida de agitação (600 rpm) a 4 °C por 2 horas. O homogenato foi centrifugado durante 10 min. a 14000 x g a 4 °C. O sobrenadante foi transferido para novo microtubo, e o volume foi reduzido a aproximadamente 20-50 µL. O pH foi verificado e ajustado entre 3,5 e 2,5 utilizando HCl 1N. Foram adicionados 500 µL de acetato de etila, seguido de agitação e centrifugação durante 5 min a 14000 x g a 4 °C. A fase superior foi coletada e transferida para novo microtubo, sendo esta etapa repetida duas vezes. As frações orgânicas foram combinadas e secas completamente em fluxo de nitrogênio. A amostra foi ressuspensa em 100 µL de metanol e transferida para vial, no qual foram adicionados 50 µL de trimetilsilil-diazometano. O frasco foi fechado imediatamente permanecendo em temperatura ambiente por 30 min. A amostra foi seca novamente em fluxo de nitrogênio, ressuspensa com 20 µL de acetato de etila e levada para análise de CG-MS

As análises por CG-EM-MSI foram realizadas em cromatógrafo a gás Hewlett-Packard modelo 6890 acoplado a detector por espectrometria de massa modelo 5973. A coluna utilizada para a separação foi HP1701 (30 mts, 0,25 mm diam. interno, 0,25 µm de espessura de filme) tendo hélio como gás carreador com fluxo de 1 mL/min. As injeções foram feitas automaticamente pelo injetor Hewlett-Packard LS-1100 e o volume injetado foi de 1 µL, sem utilização do divisor de amostras (splitless) com fluxo de ventilação de 30 mL/min após meio minuto da injeção. A coluna foi mantida a 160 °C por 2 minutos, seguida de rampa de temperatura de 4 °C/min até 200 °C. Foram monitorados os íons com relação massa/carga (m/z) em 130 e 136 correspondentes ao AIA endógeno e 186 e 195 correspondentes ao padrão interno de [¹³C₆]-AIA. A concentração de AIA endógena foi obtida pela relação entre as áreas dos picos de AIA nos cromatogramas extraídos em m/z 130 e 136. Os resultados foram expressos em ng de AIA g⁻¹ de massa fresca.

5.2 Resultados

Os reguladores vegetais não influenciaram no tempo de formação dos frutos que se desenvolveram entre abril e novembro de 2012 (primeira etapa), os quais apresentaram tempo médio de 179 dias entre a antese e o estágio 1 (até 15% de coloração da casca amarela) (Tabela 1). Porém, na segunda etapa, entre dezembro de 2012 e maio de 2013, houve interferência dos reguladores vegetais. Frutos com aplicação de etefon na concentração de 240 mg L⁻¹ aos 120 dpa atingiram o estágio 1 antes que os demais frutos tratados. Frutos com etefon foram colhidos com 126 dias da antese, enquanto que aqueles do controle com 135 dpa (Tabela 1).

Houve, ainda, diferença entre as épocas de formação dos frutos. Frutos que se desenvolveram entre abril e novembro de 2012 necessitaram de 179 dpa, em média, para atingirem o estágio 1, enquanto aqueles formados entre dezembro de 2012 e maio de 2013 precisaram em média de 132 dpa (Tabela 2). Ao analisar a quantidade de graus dias necessários para o seu desenvolvimento, ou seja, para atingirem estágio 1 após a antese, não houve variação entre as etapas. Para atingirem o estágio 1, a quantidade de graus dias desde a antese foi de 996,7 GD para aqueles formados na primeira etapa e 1087,5 GD para aqueles da segunda etapa (Tabela 2). Isso demonstra que o mamões ‘Golden’ precisam em torno de 1000 GD após a antese para atingirem o estágio 1.

Tabela 1 - Tempo de formação dos frutos da antese até o estágio 1 (até 15% de coloração da casca amarela) em função do uso de reguladores vegetais na pré-colheita de mamões ‘Golden’ produzidos em área experimental da ESALQ/USP entre abril de 2012 e maio de 2013, em Piracicaba/SP

Reguladores Vegetais	Dias da antese até colheita	
	Etapa 1*	Etapa 2*
Controle	180 a A	135 a B
1-MCP	181 a A	132 ab B
Etefon	178 a A	126 b B
TIBA	177 a A	134 a B

Médias seguidas de distintas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. *Etapa 1: Abril a Novembro de 2012; Etapa 2: Dezembro de 2012 a Maio de 2013

Tabela 2 - Etapas do experimento, temperatura média (T med) durante o período de formação dos frutos, total de dias e graus dias acumulados (GD acumulados) necessários para formação de mamões ‘Golden’ da antese até o estágio 1 no período entre abril de 2012 e abril de 2013 em área experimental da ESALQ/USP, em Piracicaba/SP

Etapas do experimento*	T med (°C)	Total de dias	GD acumulados
		Média de 4 tratamentos	
1	14,3	179	996,7
2	19,5	132	1087,5

*Etapa 1: Abril a Novembro de 2012; Etapa 2: Dezembro de 2012 a Maio de 2013

Ao quantificar os graus dias mensais e acumulados durante a formação dos mamões ‘Golden’ (Tabela 3), nota-se que os frutos que se desenvolveram entre abril e novembro de 2012 passaram por um período com menor número de graus dias mensais que aqueles desenvolvidos entre dezembro de 2012 e maio de 2013. Isso implica, portanto, no menor tempo em dias de formação dos frutos na segunda etapa (Tabela 1), uma vez que a temperatura média na primeira etapa foi menor que na segunda (Tabela 2).

Tabela 3 - Graus dias dos meses de abril de 2012 a maio de 2013, referentes ao período de desenvolvimento de mamões ‘Golden’, produzidos em Piracicaba/SP, na área experimental da ESALQ/USP

Meses	Graus dias mensal	Graus dias acumulado
Primeira Etapa – Abril a Novembro de 2012		
14 de Abril	114,7	114,7
Maio	146,3	261,0
Junho	123,6	384,6
Julho	133,4	518,0
Agosto	167,7	685,7
Setembro	215,1	900,8
Outubro	270,6	1171,4
Novembro	233,3	1404,7
Segunda Etapa – Dezembro de 2012 a Maio de 2013		
Dezembro	276,7	276,7
Janeiro	225,5	502,2
Fevereiro	234,2	736,4
Março	241,6	978,0
Abril	191,0	1169,0
Maio	171,1	1340,1

Os reguladores vegetais aplicados na primeira etapa influenciaram no tempo de amadurecimento dos frutos após a colheita (Tabela 4). Frutos que receberam o 1-MCP atingiram o estágio 5 ($> 75\%$ de coloração da casca amarela) 8 dias após a colheita e armazenados a 22 ± 2 °C e $85 \pm 5\%$ de UR. Frutos da segunda etapa atingiram este estágio aos 6 dias pós-colheita, independente dos tratamentos (Tabela 4).

Tabela 4 - Período em dias para mamões ‘Golden’ atingirem o estágio 5 durante armazenamento a 22 ± 2 °C e $85 \pm 5\%$ de umidade relativa em função da aplicação pré-colheita de reguladores vegetais em área experimental da ESALQ/USP entre abril de 2012 e maio de 2013

Reguladores Vegetais	Dias até atingir estágio 5	
	Etapla 1	Etapla 2
Controle	6 b	5 a
1-MCP	8 a	5 a
Etefon	6 b	5 a
TIBA	6 b	5 a

Médias seguidas de distintas letras na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

De acordo com os dados de composição endógena de etileno, os frutos avaliados após a colheita (Figura 2) na primeira etapa apresentaram valores menores que aqueles avaliados na segunda etapa.

Os frutos da primeira etapa apresentaram variação entre 0,2 e 1,6 ppm de etileno. Frutos com 1-MCP apresentaram um pico de etileno no sexto dia após a colheita, enquanto que aqueles com etefon, o pico ocorreu no terceiro dia pós-colheita (Figura 2A). Já aqueles que receberam o TIBA resultaram em menores teores médios que aqueles do controle ($P < 0,05$).

Os frutos da segunda etapa apresentaram variação entre 1 e 7 ppm de etileno. A aplicação de TIBA resultou em menores teores médios que os demais, porém não diferindo da composição dos frutos controle a partir do segundo dia da colheita (Figura 2B). Já o etefon resultou em pico de etileno no terceiro dia pós-colheita dos frutos, com concentrações maiores que os demais, porém sem diferir dos frutos com 1-MCP, com exceção do terceiro dia pós-colheita (Figura 2B).

Figura 2 - Composição endógena de etileno em mamões 'Golden' armazenados a 22 ± 2 °C e $85 \pm 5\%$ de umidade relativa até atingirem estágio 5 (> 75% de coloração da casca amarela) em função da aplicação pré-colheita de reguladores vegetais aos 120 dpa cultivados em área experimental da ESALQ/USP entre abril e novembro de 2012 (A) e de dezembro de 2012 a maio de 2013 (B). Barras verticais indicam o erro padrão da média

Na tabela 5 nota-se que na primeira etapa houve diferença de firmeza da polpa entre os frutos tratados com 1-MCP e etefon, porém os teores de sólidos solúveis e ácido ascórbico não foram influenciados.

Na segunda etapa nem a firmeza e nem os teores de ácido ascórbico sofreram efeito dos reguladores. No entanto, quanto aos teores de sólidos solúveis, aqueles frutos com 1-MCP e etefon apresentaram menores teores que os frutos do controle, sem diferir daqueles com TIBA (Tabela 5).

Tabela 5 - Firmeza da polpa (N), teor de sólidos solúveis (°Brix) e teor de ácido ascórbico (mg g⁻¹) em mamões ‘Golden’ no estágio 5, após armazenamento a 22 ± 2 °C e 85 ± 5% de umidade relativa, em função da aplicação de reguladores vegetais na pré-colheita, aos 120 dpa, cultivados em área experimental da ESALQ/USP entre abril de 2012 e maio de 2013

Reguladores Vegetais	Firmeza		Sólidos solúveis		Ácido ascórbico	
	Etapa 1*	Etapa 2*	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 1	Etapa 2
Controle	5,27 ab A	3,99 a B	10,3 a B	11,8 a A	87,11 ^{n.s}	87,67 ^{n.s}
1-MCP	8,45 a A	6,13 a AB	9,9 a A	10,3 b A	88,17 ^{n.s}	83,48 ^{n.s}
Etefon	3,78 b A	4,63 a A	10,3 a A	10,2 b A	89,26 ^{n.s}	70,45 ^{n.s}
TIBA	6,27 ab A	6,52 a A	10,1 a B	11,1 ab A	87,11 ^{n.s}	81,61 ^{n.s}

Médias seguidas de distintas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. n.s. = não significativo ao nível de 5% de probabilidade. * Etapa 1: abril a novembro de 2012; Etapa 2: dezembro de 2012 a maio de 2013

Mamões tratados com etefon ou com TIBA apresentaram menores teores de AIA que aqueles do controle ou tratados com 1-MCP. Na primeira etapa o mesmo foi observado, porém sem diferença para aqueles que receberam 1-MCP (Tabela 6).

Frutos do controle nas duas etapas resultaram nos maiores teores de AIA, sem diferirem daqueles frutos com 1-MCP. Comparando-se as etapas de avaliação dos frutos, para cada tratamento, nota-se que estas não interferiram quanto às concentrações de AIA nos frutos.

Tabela 6 - Teores médios de ácido indol 3-acético (AIA) livre na polpa de mamões ‘Golden’ após atingirem estágio 5 ($> 75\%$ de coloração da casca amarela) a 22 ± 2 °C e $85 \pm 5\%$ de umidade relativa e em função da aplicação de reguladores vegetais aos 120 dpa quando cultivados em área experimental da ESALQ/USP em Piracicaba/SP entre abril de 2012 e maio de 2013

Reguladores Vegetais	AIA (ng g ⁻¹)	
	Etapas 1*	Etapas 2*
Controle	26,98 a A	19,05 a A
1-MCP	15,04 ab A	15,76 a A
Etefon	7,79 b A	3,94 b A
TIBA	2,51 b A	3,02 b A

Médias seguidas de distintas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. *Etapas 1: abril a novembro de 2012; Etapas 2: dezembro a maio de 2013

5.3 Discussão

Considerando os resultados apresentados é possível que, apesar da aplicação dos reguladores vegetais em ambas as etapas ter ocorrido aos 120 dias pós-antese, o efeito nos mamões ‘Golden’ foi diferente entre as etapas. De acordo com os dados referentes aos graus dias, o estado fisiológico dos frutos da segunda etapa, provavelmente, estava mais adiantado aos 120 dpa que aqueles avaliados na primeira etapa. Segundo estudo de Berilli et al. (2007) a quantidade de graus dias para os mamões do grupo Solo atingirem o completo desenvolvimento na região norte do Espírito Santo foi de 800 GD e, a partir deste ponto, para atingirem o estágio 1 (até 15% de coloração da casca amarela) quanto maior a temperatura média, mais rápida é esta fase. Os frutos avaliados por estes autores atingiram este estágio de maturação com 1080 GD e 112 dias quando marcados na antese em março de 2005. Assim sendo, no presente estudo, aos 120 dpa, na segunda etapa, os frutos já haviam passado 55 dias do seu completo desenvolvimento e, provavelmente, já estavam no processo de amadurecimento. Enquanto que os frutos da primeira etapa, quando receberam os reguladores vegetais aos 120 dpa, faltavam 35 dias para atingirem o completo desenvolvimento, correspondente aos 800 GD.

As fases de desenvolvimento dos frutos são classicamente divididas em quatro, segundo Watada et al. (1984): crescimento, maturidade fisiológica, amadurecimento e senescência. As transições de uma fase para outra não são muito claras, havendo certa sobreposição entre uma fase e a subsequente. Além disso, as alterações morfológicas e fisiológicas de cada fase podem variar de fruto para fruto. No entanto, é consenso que a fase de maturidade fisiológica, no caso dos frutos climatéricos, é aquela na qual mesmo que o fruto

seja destacado da planta, este progride para a fase seguinte, o amadurecimento. Diante disso, a fase de maturidade fisiológica é a que pode ser considerada como a que necessita de 800 GD para ser atingida, no caso do mamoeiro. Como nesta fase ocorrem diversas mudanças bioquímicas e fisiológicas, a presença dos reguladores vegetais pode permitir mudanças significativas durante este processo. Porém, pode ser que quando aplicados de forma exógena e em época inadequada não interfiram no metabolismo dos frutos significativamente. Cavalari (2009) aponta que as principais mudanças na estrutura celular de mamões ocorrem aos 120 dpa. No entanto, o momento em que estas variações ocorrem pode variar de acordo com as condições climáticas.

O estágio em que os reguladores vegetais foram aplicados promoveu respostas diferentes entre as etapas na pós-colheita destes frutos. Na primeira etapa foi possível observar que o 1-MCP implicou em aumento do tempo para os frutos atingirem estágio 5, assim como, na produção endógena de etileno e na firmeza da polpa destes frutos. O uso do 1-MCP, competidor direto dos receptores de etileno, teve seu efeito esperado nos frutos, com aumento da vida útil na pós-colheita em 2 dias e, ainda, maior preservação da firmeza da polpa (Tabelas 4, 5), quando aplicado na primeira etapa. O uso do 1-MCP na pré-colheita de outras frutas como ameixa (STEFFENS et al., 2009), ou ainda, o uso de outros reguladores com a mesma função de interferir na síntese ou na ação do etileno, como o aminoetoxivinilglicina (AVG) e o ácido giberélico (GA_3) em caqui, maçã e pessegueiro (FERRI et al., 2002; AMARANTE et al., 2002; AMARANTE et al., 2005; STEFFENS et al., 2005) também trouxeram resultados positivos tanto na prorrogação da data da colheita, como no aumento da vida útil destas frutas na pós-colheita, devido à conservação de atributos de qualidade como a firmeza. Porém, na segunda etapa o efeito do 1-MCP não foi significativo em relação aos demais reguladores vegetais e nem em relação ao controle, uma vez que pode ter sido aplicado após a fase fisiológica de desenvolvimento dos frutos, na qual transformações bioquímicas e fisiológicas ocorrem com maior intensidade. O etileno também possui um papel nos eventos que ocorrem durante o desenvolvimento do fruto, uma vez que alterações na sensibilidade deste hormônio, durante o desenvolvimento, levam a consequências no amadurecimento. Como o desenvolvimento é contínuo, as perturbações (mudanças climáticas, alterações na nutrição, entre outros) em uma fase podem gerar consequências nas fases subsequentes, mesmo que estejam temporalmente distantes. O efeito disto será mais ou menos pronunciado e dependerá da intensidade da perturbação e do tempo pelo qual se prolongue.

Os reguladores vegetais atuam nos frutos regulando eventos no início do amadurecimento, após um determinado período de desenvolvimento (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Auxina, citocinina e ácido giberélico atuam como antagonistas do etileno. À medida que frutos climatéricos vão amadurecendo, níveis de auxina vão decrescendo, como destacado em estudos com tâmara (ABBAS et al., 2000) e banana (PURGATTO et al., 2002). Isso implica que um indicativo do amadurecimento de frutos poderia ser o decréscimo dos níveis de auxina (PURGATTO et al., 2002; BÖTTCHER et al., 2010). No entanto, este comportamento não foi observado no presente estudo quando frutos receberam a aplicação de TIBA, inibidor do transporte de auxina. Apesar de ter havido redução dos teores de AIA na polpa dos mamões, não houve aumento da produção endógena de etileno (Figura 2), assim como não houve interferência na conservação pós-colheita destes frutos, seja pelo tempo de vida útil (Tabela 4), seja pelas características físicas e químicas (Tabela 5).

É possível que o processo de amadurecimento destes frutos como a perda de firmeza, por exemplo, tenha sido provocado pelo aumento de etileno, que também levou a níveis mais baixos de auxina (Tabela 6). O aumento de etileno via etefon, promoveu, nos frutos da primeira etapa, maior concentração endógena de etileno e menor firmeza da polpa (Figura 2A e Tabela 4). Comportamento semelhante de aumento da produção de etileno e perda de firmeza da polpa ocorreu em maçãs ‘Gala’ tratadas na pré-colheita com etefon (STEFFENS et al., 2006). O envolvimento do etileno neste processo de amadurecimento pode ser comprovado com o efeito da aplicação pré-colheita de 1-MCP que aumentou a vida útil e reduziu a produção de etileno pelos frutos da primeira etapa (Tabela 4 e Figura 2A), com consequente retardo da perda de firmeza (Tabela 5). Com isso, o intuito da aplicação de TIBA em reduzir os níveis de AIA e, consequentemente, acelerar os processos de amadurecimento dos frutos, principalmente pelo balanço hormonal entre auxina e etileno, não ocorreu. A provável causa pode ser os níveis de AIA que estavam dentro dos limiares, os quais evitam este desbalanço hormonal, ou pelo fato destas reações bioquímicas e fisiológicas de amadurecimento apresentarem maior relação com o aumento do etileno do que com redução dos níveis de AIA. O uso do TIBA em tomates *cherry*, por exemplo, implicou na antecipação da abscisão em 30% dos frutos tratados (BLANUSA et al., 2005). Este efeito não ocorreu nos mamões ‘Golden’ deste estudo, evidenciando, portanto, a provável ineficiência da concentração do TIBA em reduzir, consideravelmente, os níveis de AIA. Apesar disso, ao observar as produções endógenas de etileno pelos frutos tratados com TIBA, na primeira etapa, percebe-se que estas produções iniciaram mais cedo que os demais, mesmo em relação

aos frutos com etefon. Porém não adiantaram o ponto de colheita. Provavelmente o decréscimo de AIA tenha maior importância de tornar o fruto apto para responder ao etileno que levar ao seu amadurecimento.

A composição endógena de etileno nos frutos avaliados demonstrou que apenas na primeira época foi possível identificar interferência dos tratamentos, uma vez que os frutos tratados com 1-MCP apresentaram retardo do pico do etileno. A diferença principal encontrada foi entre as etapas, uma vez que dentre os frutos do controle aqueles da segunda etapa resultaram em maiores produções de etileno que aqueles da primeira etapa. Apesar de ainda não existirem estudos com a composição endógena de etileno em mamões, a produção de etileno em mamões 'Golden' colhidos no estágio 1 e armazenados a 23 °C entre o primeiro e o nono dia após a colheita foi de 0,25 a 1,25 $\mu\text{L de C}_2\text{H}_4 \text{ Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, com pico climatérico no sexto dia, em estudo de Bron e Jacomino (2006). Isso demonstra que há uma diferença significativa entre a composição de etileno liberada pelos frutos e aquela presente no seu interior. No presente estudo, as concentrações endógenas de etileno variaram de 0,2 a 6 ppm, ou seja, de 200 $\mu\text{L de C}_2\text{H}_4 \text{ Kg}^{-1}$ a 6000 $\mu\text{L de C}_2\text{H}_4 \text{ Kg}^{-1}$. Em estudo que analisou a composição endógena de etileno durante a pós-colheita de maracujá e goiaba, obteve-se concentrações entre 0,5 e 10 ppm de etileno em maracujás colhidos no estágio verde-amarelo e armazenados a 23 °C por 20 dias e de 0 a 8 ppm de etileno em goiabas colhidas no estágio verde-claro e armazenadas a 23 °C por 15 dias (BELTRAME, 2013). Isso indica que as composições endógenas encontradas no presente estudo, em mamões 'Golden', equivalem às encontradas nos frutos descritos no estudo de Beltrame (2013).

A variação entre uma época e outra de coleta dos frutos pode ser decorrente de fatores climáticos distintos pelos quais os frutos dos mamoeiros, durante seu desenvolvimento, são submetidos. Considerando que na segunda etapa houve menor tempo para formação dos frutos devido às maiores temperaturas médias ocorridas no período, é possível que tenha ocorrido um avanço no metabolismo destes frutos, e, conseqüentemente, promovido maiores produções de etileno durante a pós-colheita, independente dos reguladores vegetais aplicados na pré-colheita. Apesar da ausência de estudos sobre produção de etileno em mamões em função de fatores pré-colheita, estudo de Silva et al. (2005) demonstrou que o aumento de temperaturas durante a formação dos frutos desencadeou a redução da firmeza. Este comportamento também foi observado no grupo controle e com 1-MCP avaliados na segunda etapa, que apresentaram menores valores de firmeza comparados aos da primeira etapa (Tabela 5).

A ausência de alterações nos teores de sólidos solúveis e de ácido ascórbico tanto entre os tratamentos como entre as épocas de avaliação pode ter sido em função das avaliações terem ocorrido quando os frutos atingiram estágio 5. Mesmo que houvesse alguma interferência dos tratamentos na pré-colheita, como os frutos estavam todos no mesmo estágio, possivelmente, apresentavam mesmo comportamento fisiológico. Os teores médios de sólidos solúveis de 10,3 e 10,9 °Brix e de ácido ascórbico de 87,9 e 80,8 mg g⁻¹ na primeira e segunda etapa, respectivamente, coincidem com os encontrados em diversos trabalhos com mamões ‘Golden’ ou do grupo Solo nas mesmas condições de armazenamento (SANTANA; MATSUURA; CARDOSO, 2004; BRON; JACOMINO, 2006; SOUZA et al., 2008).

5.4 Conclusões

Diante dos resultados apresentados, é possível concluir que:

- Os reguladores vegetais e os fatores climáticos interferem nos processos de desenvolvimento e de amadurecimento dos frutos na pré e pós-colheita;
- 1-MCP aplicado na pré-colheita pode prorrogar a colheita e, ainda, conservar por mais tempo características físicas dos frutos;
- A época de uso de tecnologias na pré-colheita de mamões ‘Golden’ precisa ser melhor definida, e esta deve ser baseada no acúmulo de graus dias e não nos dias após a antese;
- A perda de firmeza como um dos atributos do amadurecimento de mamões ‘Golden’, provavelmente, responde mais ao acréscimo de etileno do que ao decréscimo de AIA.

Referências

ABBAS, M.F.; ABBAS, M.J.; ABDEL-BASIT, O.I. Indole-3-acetic acid concentration during fruit development in date palm (*Phoenix dactylifera* L. cv. Hillawi) fruit. **CODEN Frias**, Les Ulis, v. 55, p. 115–118, 2000.

ABELES, F.B., MORGAN, P.W., SALVEIT, M.E. **Ethylene in plant biology**. 2nd ed. London: Academic Press, 1992. 414 p.

ALBUQUERQUE, T.C.S. de; MOUCO, M.A.C.; ALBUQUERQUE NETO, A.A. de. Reguladores de crescimento vegetal na concentração de macronutrientes em videira Itália. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 3, p. 553-561, 2008.

AMARANTE, C.V.T. do; DREHMER, A.M.F.; SOUZA, F. de; FRANCESCOTTO, P. A pulverização pré-colheita com ácido giberélico (GA₃) e aminoetoxivinilglicina (AVG) retarda a maturação e reduz as perdas de frutos na cultura do pessegueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.27, n.1, p.1-5, 2005.

AMARANTE, C.V.T. do; SIMIONI, A.; MEGGUER, C.A.; BLUM, L.E.B. Effect of aminoethoxyvinylglycine (AVG) on preharvest fruit drop and maturity of apples. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 661-664, 2002.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Food composition, additives, natural contaminants. In: _____. **Official methods of analysis of AOAC International**. Washington: AOAC International, 1995. p. 1-23.

BENÍTEZ-BURRACO, A.; BLANCO-PORTALES, R.; REDONDO-NEVADO, J.; BELLIDO, M.L.; MOYANO, E.; CABALLERO, J.L.; MUÑOZ-BLANCO, J. Cloning and characterization of two ripening-related strawberry (*Fragaria x ananassa* cv. Chandler) pectate lyase genes. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 54, p. 633-645, 2003.

BERILLI, S.S.; OLIVEIRA, J.G. de; MARINHO, A.B.; LYRA, G.B.; SOUSA, E.F. de; VIANA, A.P.; BERNARDO, S.; PEREIRA, M.G. Avaliação da taxa de crescimento de frutos de mamão (*Carica papaya* L.) em função das épocas do ano e graus-dias acumulados. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 11-14, 2007.

BLANKENSHIP, S.M., DOLE, J.M. 1-Methylcyclopropene: a review. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 28, p. 1-25, 2003.

BLANUSA, T.; ELSE, M.A.; ATKINSON, C.J.; DAVIES, W.J. The regulation of sweet cherry fruit abscission by polar auxin transport. **Plant Growth Regulation**, Quebec, v. 45, p. 189-198, 2005.

BÖTTCHER, C.; HARVEY, K.; FORDE, C.G.; BOSS, P.K.; DAVIES, C. Auxin-treatment of pre-veraison grape (*Vitis vinifera* L.) berries both delays ripening and increases the synchronicity of sugar accumulation. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, Adelaide, v. 17, p. 1-8, 2010.

BRON, I.U.; JACOMINO, A.P. Ripening and quality of 'Golden' papaya fruit harvested at different maturity stages. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 18, n. 3, p. 389-396, 2006.

CALDWELL, M.M.; BALLARÉ, C.L.; BORNMAN, J.F.; FLINT, S.D.; BJÖRN, L.O.; TERAMURA, A.H.; KULANDAIVELU, G.; TEVINI, M. Terrestrial ecosystems, increased solar ultraviolet radiation and interactions with other climatic change factors. **Photochemistry Photobiology Science**, London, v. 2, p. 29-38, 2003.

EDLUND, A.; EKLÖF, S.; SUNDBERG, B.; MORITZ, T.; SANDBERG, G. A microscale technique for gas chromatography-mass spectrometry measurements of picogram amounts of indole-3-acetic acid in plant tissues. **Plant Physiology**, Rockville, v. 108, p. 1043-1047, 1995.

FERRI, V.C.; RINALDI, M.M.; DANIELI, R.; LUCHETTA, L.; ROMBALDI, C.V. Controle da maturação de caquis 'Fuyu', com o uso de aminoetoxivinilglicina e ácido giberélico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 344-347, 2002.

FIGUEROA, C.R.; OPAZO, M.C.; VERA, P.; ARRIAGADA, O.; DÍAZ, M.; MOYA-LEÓN, M.A. Effect of postharvest treatment of calcium and auxin on cell wall composition and expression of cell wall-modifying genes in the Chilean strawberry (*Fragaria chiloensis*) fruit. **Food Chemistry**, Washington, v. 132, p. 2014–2022, 2012.

FIGUEROA, C.R.; PIMENTEL, P.; DOTTO, M.C.; CIVELLO, P.M.; MARTÍNEZ, G.A.; HERRERA, R.; MOYA-LEÓN, M.A. Expression of five expansin genes during softening of *Fragaria chiloensis* fruit: effect of auxin treatment. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 53, p. 51–57, 2009.

LUDWIG-MÜLLER, J.; GEORGIEV, M.; BLEY, T. Metabolite and hormonal status of hairy root cultures of Devil's claw (*Harpagophytum procumbens*) in flasks and in a bubble column bioreactor. **Process Biochemistry**, Kansas, v. 43, n. 1, p. 15–23, 2008.

MORETTI, C.L.; MATTOS, L.M.; CALBO, A.G.; SARGENT, S.A. Climate changes and potential impacts on postharvest quality of fruit and vegetable crops: a review. **Food Research International**, Caribbean, v. 43, p. 1824–1832, 2010.

NAKASONE, H.Y. Produção de mamão nos trópicos e subtropicais. In: RUGGIERO, C. (Ed.). **Mamão**. Jaboticabal: UNESP, FCAV, 1988. p. 19–42.

PURGATTO, E.; LAJOLO, F.M.; NASCIMENTO, J.R.O.; CORDENUNSI, B.R. Inhibition of α -amylase activity, starch degradation and sucrose formation by indole-3-acetic acid during banana ripening. **Planta**, Berlin, v. 212, p. 823–828, 2001.

SANTANA, L.R.R.; MATSUURA, F.C.A.U.; CARDOSO, R.L. Genótipos melhorados de mamão (*Carica Papaya* L.): avaliação sensorial e físico-química dos frutos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 2, p. 217–222, 2004.

SALTVEIT, M.E. Jr. Internal carbon dioxide and ethylene levels in ripening tomato fruit attached to or detached from the plant. **Physiologia Plantarum**, New York, v. 89, p. 204–210, 1993.

SOUZA, L.M. de; FERREIRA, K.S.; CHAVES, J.B.P.; TEIXEIRA, S.L. L-ascorbic acid, β -carotene and lycopene content in papaya fruits (*Carica papaya*) with or without physiological skin freckles. **Science Agriculture**, Piracicaba, v. 65, n. 3, p. 246–250, 2008.

STEFFENS, C.A.; GIEHL, R.F.H.; BRACKMANN, A. Maçã ‘Gala’ armazenada em atmosfera controlada e tratada com aminoetovínlglicina e ethephon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 9, p. 837–843, 2005.

STEFFENS, C.A.; AMARANTE, C.V.T. do; CHECHI, R.; SILVEIRA, J.P.G.; BRACKMANN, A. Aplicação pré-colheita de reguladores vegetais visando retardar a maturação de ameixas ‘Laetitia’. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 5, p. 1369–1373, 2009.

VILLA NOVA, N.A.; PEDRO JUNIOR, M.J.; PEREIRA, A.R.; OMETTO, J.C. Estimativa de graus-dia acumulados acima de qualquer temperatura base em função das temperaturas máxima e mínima. **Ciência da Terra**, São Paulo, n. 30, p. 1–8, 1972.

VILLARREAL, N.M.; MARTÍNEZ, G.A.; CIVELLO, P.M. Influence of plant growth regulators on polygalacturonase expression in strawberry fruit. **Plant Science**, Amsterdam, v. 176, p. 749-757, 2009.

VITORAZI, L.; RESENDE, E.D. de; MARTINS, D.R.; THIEBAUT, J.T.L. Dimensionamento amostral para a caracterização da qualidade pós-colheita do mamão. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 64-71, 2011.

YUAN, R.; CARBAUG, D.H. Effects of NAA, AVG, and 1-MCP on ethylene biosynthesis, preharvest fruit drop, fruit maturity, and quality of 'Golden Supreme' and 'Golden Delicious' apples. **Hortscience**, Alexandria, v. 42, n. 1, p. 101-105, 2007.

YUAN, R.; KENDER, W.J.; BURNS, J.K. Young fruit and Auxin transport inhibitors affect the response of mature "Valencia" oranges to abscission materials via changing endogenous plant hormones. **Journal of American Society of Horticultural Science**, Alexandria, v. 128, 3, p. 302-308, 2003.

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

ZAMPERLINI, G.P.; MIRANDA, D.V.; SILVA, M.M. da; BROETTO, S.G.; SILVA, D.M. A perda de firmeza e as condições climáticas no período de desenvolvimento dos frutos do mamoeiro (*Carica papaya* L.). In: MARTINS, D.S.; COSTA, A.N.; COSTA, A.F.S. da. (Ed.). **Papaya Brasil: manejo, qualidade e mercado do mamão**. Vitória: INCAPER, 2007. p. 596-598.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A hipótese de que o excesso de água durante a formação de mamões ‘Golden’ e mudanças nos níveis de auxina promoveriam alterações no amadurecimento pós-colheita nos frutos foi comprovada parcialmente. O estresse induzido pelo excesso de água em mamoeiros ‘Golden’ refletiu em transtornos nos aparatos fotossintéticos das plantas e redução dos níveis de AIA, porém não resultou em distúrbio do amolecimento precoce. Este ocorreu, provavelmente, devido às condições climáticas presentes em alguns meses do ano de 2012, como em junho e agosto. A hipótese de que níveis baixos de auxina levam ao aumento dos teores de etileno e, conseqüentemente, ao amadurecimento não foi evidente neste estudo. Tanto o estresse hídrico quanto a aplicação de TIBA na pré-colheita, reduziram os teores de AIA nos frutos, mas não resultaram em maiores teores de etileno e nem no maior amolecimento da polpa. Este comportamento ocorreu apenas em função do aumento dos teores de etileno decorrentes da aplicação pré-colheita de etefon. Diante disso, interessante seria a continuidade desta linha de pesquisa, considerando o desenvolvimento dos frutos em função da quantidade de graus-dias acumulados e, ainda, uma investigação mais específica do envolvimento de outros reguladores vegetais no distúrbio do amolecimento precoce.