UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA VEGETAL

LEONARDO FARIA SILVA

EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA E QUALIDADE PÓS-COLHEITA DA MANGUEIRA (*Mangifera indica* L.) CV. UBÁ SOB DOIS REGIMES HÍDRICOS E DUAS CONDIÇÕES DE LUZ

VITÓRIA-ES
2016

LEONARDO FARIA SILVA

EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA E QUALIDADE PÓS-COLHEITA DA MANGUEIRA (Mangifera indica L.) CV. UBÁ SOB DOIS REGIMES HÍDRICOS E DUAS CONDIÇÕES DE LUZ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Biologia Vegetal.
Área de concentração: Fisiologia Vegetal.
Orientador: Prof.ª. Dr.ª: Diolina Moura Silva.
Coorientadora: Dr.ª: Camilla Zanotti Gallon.

VITÓRIA-ES
2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

S586e

Silva, Leonardo Faria, 1985-
Eficiência fotoquímica e qualidade pós-colheita da mangueira (*Mangifera indica L.*) cv. Ubá sob dois regimes hídricos e duas condições de luz / Leonardo Faria Silva. – 2016.
75 f. : il.

Orientador: Diolina Moura Silva.
Coorientador: Camilla Zanotti Gallon.
Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e Naturais.

1. Manga. 2. Fluorescência. 3. Clorofila. 4. Irrigação. 5. Radiação solar. 6. Estresse hídrico. I. Silva, Diolina Moura. II. Gallon, Camilla Zanotti, 1979-. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Humanas e Naturais. IV. Título.

CDU: 57

Leonardo Faria Silva

Eficiência fotoquímica e qualidade pós-colheita da mangueira (*Mangifera indica* L.) cv. Ubá sob dois regimes hídricos e duas condições de luz

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Biologia Vegetal.

Aprovada em 29 de fevereiro de 2016.

Comissão examinadora:

Drª. Diolina Moura Silva (UFES)
Orientadora e Presidente da Comissão

Drª. Camilla Zanotti Gallon (UFES)
Coorientadora

Dr. Geraldo Rogerio Fautini Cuzzuol (UFES)
Examinador Interno

Dr. Antonio Alberto Ribeiro Fernandes (UFES/PPGBIOTEC)
Examinador Externo

Dr. Marcelo A. Gutierrez Carnelossi (UFS)
Examinador Externo

A todos os produtores rurais do Estado do Espírito Santo.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço a Deus, por me conceder sabedoria e saúde.

À Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e ao Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal (PPGBV), pela oportunidade de aprendizado e disponibilidade de espaço e equipamentos.

À Fundação CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão de bolsa, imprescindível para financiar os gastos durante a execução do trabalho.

Às Professoras Dr.ª Diolina Moura Silva pela orientação e Dr.ª Camilla Zabotti Gallon pela coorientação. Fico muito gradecido pela dedicação e oportunidade a mim oferecidas.

Ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), em especial à pesquisadora Prof.ª. Dr.ª Adelaide F. S. da Costa e ao técnico extencionista Cesar S. Carvalho.

Aos produtores do Polo de Manga de Colatina-ES, José Gon e Eduardo Gabler por disponibilizarem os pomares e confiarem em nosso trabalho.

A todos os colegas do Núcleo de Estudos em Fotossíntese pela companhia e ajuda durante a execução do trabalho.

Aos membros da banca examinadora, pela disponibilidade e por todo conhecimento compartilhado.

Por último, porém não menos importante, agradeço à toda minha família pelo amor, compreensão e exemplo.

“Discovery consists of seeing what everybody has seen and thinking what nobody has thought”

(A descoberta consiste em ver o que todo mundo viu e pensar o que ninguém pensou)

Albert von Szent-Gyorgyi
(1893-1986)

RESUMO

Este trabalho avaliou os efeitos da irrigação e da intensidade da radiação fotossinteticamente ativa sobre os parâmetros fotoquímicos das folhas da mangueira 'Ubá' em dois pomares comerciais, durante quatro períodos: I – Crescimento dos frutos, II – Amadurecimento dos frutos, III - Após a colheita dos frutos e IV - Após a poda das plantas. Foram analisados também os teores de sólidos solúveis totais (SST), a acidez titulável (AT), a razão SST/AT, o peso e o volume dos frutos produzidos. No primeiro pomar, os tratamentos foram caracterizados de acordo com a disponibilidade de água, como plantas sob regime de irrigação (IRR) e plantas sob regime de sequeiro (SEQ). Os frutos desse pomar foram colhidos verdes (*V*), armazenados à 27 ± 3ºC e analisados durante sete dias; enquanto os colhidos maduros (*M*) foram analisados no primeiro dia após a colheita. Cada dia foi considerado um estádio de maturação (*V1*, *V2*, *V3*, *V4*, *V5*, *V6*, *V7* e *M*). No segundo pomar os tratamentos foram caracterizados de acordo com a posição de cultivo em relação ao nascer do Sol, como plantas conduzidas do Lado Leste (LL) e plantas conduzidas do Lado Oeste (LO). Os frutos desse pomar foram colhidos maduros e analisados no dia da colheita. Nas plantas conduzidas sob dois regimes hídricos (IRR e SEQ) os parâmetros fotoquímicos mais representativos, indicados pela análise de componente principal (PCA), foram RC/CS_0 (densidade de centros de reação ativos por seção transversal analisada), dVG/dt_0 (taxa de transferência de energia de excitação entre os centros de reação) e PI_{TOTAL} (índice de desempenho total). Os danos causados pela deficiência hídrica foram mais evidentes nas plantas SEQ principalmente durante o período de pleno amadurecimento dos frutos (período II) com diminuição em RC/CS_0. Após a colheita dos frutos (período III) as plantas SEQ, sob restrição hídrica devido à falta de chuvas, retomou a produção de novos centros de reação. A recuperação nesse período foi significativa ao ponto das plantas SEQ apresentarem RC/CS_0 estatisticamente igual às plantas IRR, sugerindo que o déficit hídrico só causou estresse quando as mangueiras 'Ubá' estavam carregadas de frutos em pleno amadurecimento. O período IV, independente do regime hídrico, foi o período onde ocorreram as maiores diferenças no desempenho fotoquímico das plantas e o PI_{TOTAL} foi menor do que em todos os outros períodos de análise. As plantas SEQ tiveram PI_{TOTAL} com menor queda e significativamente mais alto do que as plantas IRR. No segundo pomar, observou-se que as plantas voltadas

para o Lado Oeste recebiam às 11h da manhã um aumento brusco da radiação e da temperatura. Foram contatados danos fotoinibitórios, com queda no transporte de elétrons do fotossistema II (FSII) para o fotossistema I (FSI) ($ET_0/TR_0 = \psi E_0$) e acentuada diminuição no índice de performance do FSII (PI_{ABS}). Durante os períodos de amadurecimento dos frutos e após a poda das plantas, houve diminuição do PI_{TOTAL} em ambas as condições de cultivo. As plantas LO foram muito mais sensíveis à esta queda do que as plantas LL. A fotoinibição foi mais evidente nas plantas LO e no período reprodutivo. Desse modo, no período de crescimento dos frutos, foram observados os menores valores do fluxo específico de energia capturada e transportada (TR_0/RC e ET_0/RC) enquanto que no período de amadurecimento dos frutos, além da queda destes dois parâmetros houve também a queda do rendimento quântico e da eficiência do transporte de elétron após a redução da Quinona A (φE_0 e ψE_0), do fluxo de elétrons redutores (RE_0/RC) e da eficiência do FSI (φR_0) e queda acentuada do PI_{TOTAL}. Os frutos originados das plantas LO apresentaram a razão SST/AT maior do que os das plantas LL enquanto que os frutos produzidos pelas plantas SEQ apresentaram menor peso e volume. No entanto, a melhor qualidade para consumo (> SST/AT e > peso) foi atingida no estádio *V5* para os frutos das plantas IRR e no estádio *V6* para os frutos das plantas SEQ. Tais resultados indicaram que a fotoinibição nas plantas LO influenciou a qualidade dos frutos, que apresentaram maior acúmulo de SST e a razão SST/AT mais altas enquanto que a disponibilidade de água via irrigação não melhorou a qualidade dos frutos ao final do armazenamento.

Palavras-chave: Manga. Fluorescência da clorofila *a*. Estresse. Radiação solar. Irrigação.

ABSTRACT

This study evaluates the effects of irrigation and intensity of photosynthetically active radiation on photochemical parameters of 'Uba' mango tree leaves in two commercial orchards during four periods: I - Fruit growth, II – fruit ripening , III - After harvest and IV - After pruning the plants. We also analyzed the total soluble solids (TSS), the titratable acidity (TA), the ratio SST/AT, the weight and the fruit volume. In the first orchard, the treatments were characterized according to the water availability, as irrigated plants (IRR) and rainfed plants (RAI) conditions. The fruits were harvested with the green peel (*Gr*), stored at 27 ± 3 °C and analyzed for seven days; the mature harvest fruit (*M*) were analyzed in the same day of the harvest. Each day was considered a maturation stage (*Gr1*, *Gr2*, *Gr3*, *Gr4*, *Gr5*, *Gr6*, *Gr7* and *M*). In the other orchard the treatments were characterized according to the incidence of the sunrise under the crop position: East Side plants (ES) and West Side plants (WS). The fruits of this orchard were harvested ripened and analyzed at the same day of the harvest. In plants conducted under two water regimes (IRR and RAI) the RC/CS_0 (reaction centers density assets by analyzed cross-section), dVG/dt_0 (rate of excitation energy transfer between reaction centers) and PI_{TOTAL} (total performance index) were the most representative photochemical parameters indicated by the principal component analysis (PCA). Damage caused by water stress were more evident in RAI plants especially during the period of fruit ripening (period II) with decrease in RC/CS_0. After fruit harvest (period III) RAI plants that were under water stress due to lack of rainning, recovered the efficiency producing new reaction centers. The recovery in this period was significantly important to the point of RAI plants have RC/CS_0 statistically equal to the IRR plants, suggesting that drought stress occurred when the 'Uba' mango tree were with fruit in full ripening stage only. The period IV, regardless of the water system, was the period with the largest differences in photochemical performance and PI_{TOTAL} was lower than in all other analysis periods. There was a small decrease of PI_{TOTAL} in RAI plants and was significantly greater than on the IRR plants. In the second orchard, it was observed that the plants located on the West Side received at 11 am a sharp increase in radiation and temperature. Photoinhibitory damage were clearly observed, with a drop in the electron transport of photosystem II (PSII) to photosystem I (PSI) ($ET_0/TR_0 = \psi E_0$) and with a marked decrease in the PSII performance index (PI_{ABS}).

During the fruit ripening and after the pruning of plants, there was a decrease of PI_{TOTAL} in both growing conditions. The WS plants were more susceptible to the PI_{TOTAL} decrease in the ES plants. The photoinhibition was more evident in WS plants and during the reproductive period. Thus, the fruit growth period, the lower values of the specific flow of energy captured and transported (TR_0/RC and ET_0/RC) while in fruit ripening period, besides the decrease in these parameters was also were observed fall of the quantum yield and electron transport efficiency after reducing the Quinone A (φE_0 and ψE_0), flow reducers electrons (RE_0/RC) and the efficiency of PSI (φR_0) and sharp decrease of PI_{TOTAL}. The fruit originated from WS plants was TSS/TA higher than the ES plants while the fruits produced by RAI plants had lower weight and volume. However, the best quality for consumption (> TSS/TA and > weight) was achieved in *Gr5* stadium for the fruits of IRR plants and *Gr6* stadium for the fruits of RAI plants. These results indicated a photoinhibition in WS plants influencing the fruit quality, which presented fruit with greater accumulation of TSS and higher TSS/TA . Otherwise, e the water availability by irrigation has not affected the quality of the fruit at the end of the storage period.

Keywords: Mango. Chlorophyll *a* fluorescence. Stress. Solar radiation. Irrigation.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL 12
HIPÓTESE 16
OBJETIVO GERAL 16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS 16
REFERÊNCIAS 17

CAPITULO 1
INFLUÊNCIA DA IRRIGAÇÃO NAS CARACTERÍSTICAS FOTOSSINTÉTICAS E NA QUALIDADE DOS FRUTOS DA MANGUEIRA 'UBÁ' 21
RESUMO 21
ABSTRACT 22
1. INTRODUÇÃO 23
2. MATERIAL E MÉTODOS 24
2.1. Área experimental e material vegetal 24
2.2 Características fotossintéticas das plantas 26
2.3. Características físico-químicas dos frutos 29
2.4. Estatística 30
3. RESULTADOS 30
3.1. Seleção dos parâmetros fotoquímicos de maior representatividade 30
3.2. Resultados com os parâmetros fotoquímicos de maior representatividade 33
3.3. Correlações entre os parâmetros fotoquímicos 35
3.4. Características físico-químicas dos frutos 35
4. DISCUSSÃO 40
4.1. Influência da disponibilidade hídrica sobre a fisiologia do aparelho fotossintético 40
4.2. Influência da disponibilidade hídrica sobre as características físico-químicas dos frutos 42
5. CONCLUSÃO 44
6. REFERÊNCIAS 44

CAPITULO 2

EFEITOS DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA NO METABOLISMO FOTOQUÍMICO DAS FOLHAS DA MANGUEIRA 'UBÁ' E NA QUALIDADE DOS FRUTOS PRODUZIDOS 49

RESUMO 49

ABSTRACT 50

1. INTRODUÇÃO 51

2. MATERIAL E MÉTODOS 53

2.1. Material vegetal e condições de cultivo 53

2.2. Fluorescência rápida da clorofila *a* 54

2.3. Pós-colheita dos frutos 56

2.4. Estatística 56

3. RESULTADOS 57

3.1. Fluorescência rápida da clorofila *a* 57

3.2. Pós-colheita dos frutos 63

4. DISCUSSÃO 64

4.1. Consequências da posição das mangueiras 'Ubá' em relação ao nascer do Sol no desempenho fotoquímico das folhas 64

4.2. Consequências do desempenho fotoquímico das folhas de mangueiras 'Ubá' na qualidade pós-colheita dos frutos 68

5. CONCLUSÃO 70

6. REFERÊNCIAS 71

INTRODUÇÃO GERAL

A produção integrada de frutas e hortaliças tem proporcionado a diversificação de oferta de alimentos para o consumidor e melhorado a renda do produtor. O mercado de polpa de frutas está crescendo devido a elevada demanda das agroindústrias de sucos prontos para consumo, o que aumenta também a perspectiva do setor, tanto para a produção quanto para o processamento (FAO, 2014).

As condições edafoclimáticas no Brasil são favoráveis ao cultivo de diversas espécies frutíferas originadas de outros países e a mangueira (*Mangifera indica* L.) é uma delas. Essa espécie é uma planta arbórea da família Anacardiaceae, originada da Ásia e com ampla distribuição de cultivo pelo mundo. Um dos motivos que faz com que essa espécie seja facilmente adaptada a diversos ecossistemas é a produção primária da fixação do CO_2 ser um composto de três carbonos, o ácido 3-fosfoglicerico (3-PGA), por isso é considerada uma planta de ciclo C_3 (SINGH & SAINI et al., 2014; RUNGPICHAYAPICHET et al., 2016). No entanto, cabe a este estudo avaliar e detalhar outros motivos relevantes.

Os frutos de manga são classificados como climatéricos. Essa classificação, utilizada há mais de 50 anos, baseia-se no padrão respiratório do fruto durante o seu amadurecimento. GORTNER et al., em 1967, propuseram classificar os frutos em duas classes: climatéricos e não climatéricos. Os frutos climatéricos são caracterizados por apresentarem aumento na produção de dióxido de carbono acompanhado de um pico autocatalítico de produção de etileno, o que não é observado nos frutos não climatéricos. O amadurecimento de frutos climatéricos apresenta duas fases distintas denominadas de fase pré-climatérica (com níveis basais de respiração e de biossíntese de etileno) e de fase climatérica (com aumento brusco da respiração e do etileno, seguido da queda de ambos) (OETIKER e YANG, 1995). Ao longo dos anos, estudos mostram que os processos que envolvem a biossíntese e a ação do etileno são complexos. As diferentes respostas a esse hormônio são dependentes das condições ambientais, da espécie analisada e do estádio de desenvolvimento do fruto. No entanto, existe uma concordância geral de que, nos frutos em que ocorre o climatério, o etileno tem papel fundamental nas mudanças bioquímicas e fisiológicas durante o amadurecimento (KADER, 1997; RAZZAQ et al., 2016). Assim, ainda em 1972, McMurchie et al. identificaram dois

sistemas de biossíntese de etileno, denominados Sistema 1 e Sistema 2. O Sistema 1, associado à fase pré-climatérica, é funcional durante o crescimento e desenvolvimento do fruto e por ser autoinibitório, é responsável pelos baixos níveis de produção de etileno dos tecidos vegetativos dos frutos não climatéricos. O Sistema 2 está associado à fase climatérica dos frutos, na qual ocorre a produção autocatalítica do etileno, que está relacionada com o amadurecimento dos frutos. No decorrer do amadurecimento ocorrem inúmeras mudanças decorrentes do aumento da atividade enzimática associadas com as modificações na composição, coloração, textura, sabor, aroma da polpa e casca do fruto, com envolvimento da síntese de novas proteínas e expressão de genes específicos decorrentes das alterações na atividade respiratória e biossíntese de etileno (WATADA et al.,1984).

Nos frutos da mangueira, por serem climatéricos, observa-se durante o amadurecimento um aumento concomitante na produção de etileno, na taxa respiratória e várias outras alterações metabólicas, tais como, o desenvolvimento de pigmentos, a conversão do amido em açúcares mais simples, a produção de ácidos orgânicos, fenóis e compostos voláteis, alterações de pH, aroma e sabor e amolecimento dos frutos (PYASI et al., 2009, SINGH et al., 2013). Esses processos são possíveis de serem completados mesmo com os frutos fora da planta mãe, desde que colhidos no estádio correto de maturação fisiológica (SILVA et al., 2011a). Maturação fisiológica é o estádio do desenvolvimento do fruto em que as enzimas associadas às alterações metabólicas relacionadas ao amadurecimento estão ativas. O ponto de maturidade fisiológica coincide com o final do crescimento e início do amadurecimento (RAZZAQ et al., 2016).

Altas temperaturas e precipitação bem distribuída durante o ano fazem com que as mangueiras sejam cultivadas em vários estados brasileiros. Os três estados com maior produção são Bahia, Pernambuco e São Paulo com, respectivamente, 431, 219 e 206 mil toneladas por ano, distribuída entre as cultivares Palmer, Haden, Tommy Atkins e Ubá. O estado do Espírito Santo está em 8º lugar na produção de manga, com 14 mil toneladas por ano, e a cultivar predominante é a Ubá (IBGE, 2014).

A baixa produção da manga ‘Ubá’ em comparação as demais cultivares no país é consequência da exploração ser, em sua maioria, extrativista, o que não possibilita o

controle de qualidade da produção. Apesar da estatística não mostrar, o interesse das indústrias de processamento de polpa pela manga ‘Ubá’ tem aumentado. Isso ocorre devido a esta cultivar possuir melhores características, como *flavor* marcante, polpa firme e suculenta, alto rendimento de polpa, fibras curtas e macias, acidez titulável mais baixa (AT) e teores de sólidos solúveis totais (SST) mais altos (BENEVIDES et al. 2008).

Os teores de SST da manga ‘Ubá’ madura podem variar de 14 a 21 ºBrix (OLIVEIRA et al., 2013), enquanto da manga ‘Palmer’ variam de 10 a 13 ºBrix (BRUNINI et al. 2002) e da ‘Tommy Atikins’ de 9 a 10 ºBrix (LUCENA, et al. 2007). Por esta razão a manga ‘Ubá’ é processada em mistura com outras cultivares, com intuito de equilibrar os valores de SST em torno de 15 ºBrix. Soma-se a estes atributos o fato da manga ‘Ubá’ possuir quantidades de compostos com atividades antioxidantes naturais, como *β*-caroteno e vitamina C, com quantidades superiores às demais variedades encontradas no mercado (MATA et al. 2011; TOLEDO et al. 2013).

Para atender o mercado da região, melhorar a qualidade dos frutos produzidos, aumentar a produtividade e diversificar a renda dos produtores, foi criado em 2003 o Polo de Manga para a Indústria no Estado do Espírito Santo (INCAPER, 2009). O apoio técnico oferecido pelo Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER) tem incentivado vários produtores a formarem pomares de manga ‘Ubá’. O aumento das áreas de cultivo intensificou os estudos sobre a qualidade dos frutos desta cultivar. No entanto, são poucas as informações sobre as respostas fisiológicas destas plantas aos estresses causados pelas diferentes formas de cultivo e condução da cultura, acompanhadas pelas oscilações na disponibilidade de água, intensidade de luz e temperatura.

As plantas nas regiões tropicais sofrem efeitos adversos da alta temperatura, muitas vezes combinado com o déficit hídrico e alta intensidade de luz. Para lidar com essas condições ambientais desfavoráveis as plantas desenvolveram várias estratégias de proteção. O processo fotossintético é muito sensível a temperaturas extremas, excesso de intensidade de luz, radiação UV, secas, etc. (STIRBET et al., 2014). As reações fotossintéticas primárias que ocorrem nos tilacoides dos cloroplastos incluem a absorção de luz, o transporte de elétrons, a evolução do oxigênio e a transferência de energia, que são conhecidas por serem extremamente

suscetíveis às condições de estresse ambiental (GUIDI e CALATAYUD, 2014). A influência de cada fator ambiental como por exemplo, alta temperatura, alta intensidade de luz, salinidade ou seca, nas alterações de reações fotossintéticas primárias e de processos bioquímicos, tem sido intensamente estudada em diferentes espécies de plantas e organismos fotossintéticos (MURCHIE et al., 2015, STRASSER et al., 2010).

Como consequência das flutuações sazonais do clima as taxas fotossintéticas diminuem e afetam significativamente a produtividade de importantes culturas (MURCHIE et al., 2015). As mangueiras exigem mais energia e disponibilidade de minerais durante o estádio reprodutivo e principalmente quando sob estresse hídrico e/ou térmico prolongado, quando ocorre maior demanda respiratória e comprometimento do ganho anual de fotoassimilados (PONGSOMBOON et al., 1997; GONZÁLEZ et al., 2004).

Para entender o comportamento das culturas diante das variações ambientais como, a disponibilidade de água, as temperaturas elevadas e a intensidade de radiação luminosa, é necessário avaliar o comportamento fisiológico de plantas submetidas à essas condições. O desenvolvimento de plantas em temperatura elevada causa alterações na organização estrutural dos tilacoides, perda do empilhamento da grana ou seu intumescimento e má formação da antena do fotossistema II (FSII) (Zhang et al., 2005). Foi também demonstrado que a aclimatação com luz alta em diferentes temperaturas por longo tempo, em plantas de *Arabidopsis thaliana*, envolve a regulação do tamanho da antena do FSII e o aumento da dissipação de energia (Ballotari et al., 2007).

Para estudar o efeito conjugado das diferentes condições ambientais sobre o metabolismo fotossintético de uma espécie vegetal, o método rápido e não invasivo mais comumente utilizado é a análise da fluorescência da clorofila *a*. Essa técnica permite quantificar o desempenho fotoquímico desde a absorção de luz nos complexos coletores do (FSII) até a redução dos receptores finais de elétrons do fotossistema I (FSI). Os parâmetros obtidos permitem avaliar a cinética da fluorescência rápida, o que torna possível relacioná-los com a produção de ATP e NADPH, utilizados na etapa bioquímica para a formação dos açúcares presentes nos frutos (SILVA et al., 2011b; VAN WITTENBERGHE et al., 2015).

Este trabalho foi dividido em dois capítulos, que foram escritos na forma de artigos para futura publicação, seguindo as normas de formatação do periódico.

HIPÓTESE

- As qualidades físico-químicas dos frutos da manga ‘Ubá’ são resultantes das alterações no desempenho fotoquímico das folhas, causadas pelas diferentes intensidades de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e pela disponibilidade de água.

OBJETIVO GERAL

- Avaliar a eficiência fotoquímica das folhas e a qualidade pós-colheita dos frutos da mangueira (*Mangifera indica* L.) cv. Ubá em dois regimes hídricos e duas condições de luz.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar os efeitos da irrigação sobre os parâmetros fotoquímicos da fotossíntese nas folhas da mangueira ‘Ubá’.
- Avaliar os efeitos da intensidade de radiação fotossinteticamente ativa sobre os parâmetros fotoquímicos da fotossíntese nas folhas da mangueira ‘Ubá’.
- Analisar as qualidades físico-químicas dos frutos das mangueiras ‘Ubá’ (teores de sólidos solúveis totais - SST, acidez titulável - AT, razão SST/AT, peso e o volume) cultivadas em dois regimes hídricos.
- Analisar as qualidades físico-químicas dos frutos das mangueiras ‘Ubá’ (teores de sólidos solúveis totais - SST, acidez titulável - AT, razão SST/AT, peso e o volume) cultivadas em duas condições de luz.
- Relacionar a qualidade físico-química dos frutos com os dois regimes hídricos.

- Relacionar a qualidade físico-química dos frutos com a intensidade de radiação fotossinteticamente ativa.

REFERÊNCIAS

BENEVIDES, S. D.; RAMOS, A. M.; STRINGHETA, P. C.; CASTRO, V. C. Qualidade da manga e polpa da manga Ubá. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 3, p. 571–578, 2008.

BRUNINI, M. A.; DURIGAN, J. F.; OLIVEIRA, A. L. de. Avaliação das alterações em polpa de manga 'Tommy-Atkins' congeladas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 3, p. 651–653, 2002.

EINALI, A.; SHARIATI, M. Effects of propyl gallate on photosystem II efficiency in Dunaliella bardawil under high illumination as investigated by chlorophyll fluorescence measurements. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 27, n. 1, p. 61–73, 2015.

FAO. **Food and Agriculture Organization**. Disponível em: < http://www.fao.org/3/a-i4910e.pdf >. Acesso em: 04 de fevereiro de 2016.

GONZÁLEZ, A., Lu, P., MÜLLER, W.,. Effect of pre-flowering irrigation on leaf photosynthesis, whole-tree water use and fruit yield of mango trees receiving two flowering treatments. **Scentia Horticulturae**, v. 102, p. 189–211, 2004.

GORTNER, W. A., DULL. G. G., KRAUSS, B. H. Fruit development, maturation, ripening and senescence: a biochemical basis for horticultural terminology. **Hortscience**, v.2, p.141-144, 1967.

GUIDI, L., CALATAYUD, A. Non-invasive tools to estimate stress-induced changes in photosynthetic performance in plants inhabiting Mediterranean areas. **Environmental and Experimental Botany**, v.103, p.42-52**,** 2014.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=es&tema=lavourapermanente2014>. Acesso em: 04 de fevereiro de 2016.

INCAPER (Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural). **Polo de Manga para a Indústria no Estado do Espírito Santo.** Documento nº 181. 3 ed. 2009.

KADER, A. A. Fruit maturity, ripening and quality relationships. **Acta Horticulturae**, v. 485, p. 203-208, 1997.

LUCENA, E. M. P.; ASSI, J. S.; ALVES, R. E.; SILVA, V. C. M.; FILHO, J. E. Alterações físicas e químicas durante o desenvolvimento de mangas 'Tommy Atikins' no Vale do São Francisco, Petrolina-PE. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 1, p. 96–101, 2007.

MATA, G. M. S. C.; OLIVEIRA, D. S.; DELLA LUCIA, C. M.; CAMPOS, F. M.; QUEIROZ, J. H.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M. Teores de β-caroteno e vitamina C durante o amadurecimento da manga 'UBÁ' (*Mangifera indica* L. var. Ubá) β-carotene and vitamin C content during maturation of 'UBÁ' mango. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 70, n. 2, p. 225–229, 2011.

McMURCHIE, E. J., McGLASSON, W. B., EAKS, I. L. Treatment of fruit with propylene gives information about biogenesis of ethylene. **Nature**, v.237, p.235-236, 1972.

MURCHIE, E. H., ALI, A., HERMAN, T. Photoprotection as a Trait for Rice Yield Improvement: Status and Prospects. **Rice**. v. 8, p. 31-39, 2015.

OETIKER, J. H., YANG, S. F. The role of ethylene in fruit ripening. **Acta Horticulturae,** n.398, p.167-178, 1995.

OLIVEIRA, G.P.; SIQUEIRA, D.L.; SILVA, D.F.P.; MATIAS, R.G.P.; SALOMÃO, L.C.C. Caracterização de acessos de mangueira Ubá na Zona da Mata Mineira. **Ciência Rural**, v. 43, p. 962-969, 2013.

PAYASI, A., MISHRA, N. N., SOARES-CHAVES, A. L. Biochemistry of fruit softening: an overview. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v.15, p.103–113, 2009.

PONGSOMBOON, W.; SUBHADRABANDHU, S.; STEPHENSON, R. A. Some aspects of the ecophysiology of flowering intensity of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Nam Dok Mai in a semi-tropical monsoon Asian climate. **Scientia Horticulturae**, v. 70, p. 45-56, 1997.

RAZZAQ, K.; SINGH, Z.; KHAN, A. S.; KHAN, S. A. K. U.; ULLAH, S. Role of 1-MCP in regulating “Kensington Pride” mango fruit softening and ripening. **Plant Growth Regulation**, v. 78, n. 3, p. 401–411, 2016

RUNGPICHAYAPICHET, P.; MAHAYOTHEE, B.; NAGLE, M.; KHUWIJITJARU, P.; MÜLLER, J. Robust NIRS models for non-destructive prediction of postharvest fruit ripeness and quality in mango. **Postharvest Biology and Technology**, v. 111, p. 31–40, 2016.

SILVA, D. F. P.; SALOMÃO, L. C. C.; CECON, P. R.; SIQUEIRA, D. L.; ROCHA, A. Anticipation of ‘Ubá’ mango ripening with preharvest ethephon application. **Ciência Rural**, v. 41, n. 1, p. 63–69, 2011a.

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

SINGH, S. P.; SAINI, M. K. Postharvest vapour heat treatment as a phytosanitary measure influences the aroma volatiles profile of mango fruit. **Food Chemistry**, v. 164, p. 387–395, 2014.

SINGH, Z., SINGH, R. K., SANE, V. A., NATH, P. Mango-postharvest biology and biotechnology. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.32, p.217–236, 2013.

STIRBET, A.; RIZNICHENKO, G. Y.; RUBIN, A. B.; GOVINDJEE. Modeling chlorophyll a fluorescence transient: relation to photosynthesis. **Biochemistry**, v. 79, n. 4, p. 291–323, 2014.

STRASSER, B.J.; STRASSER, R.J. Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: The JIP-test. In: MATHIS, P. (Org.).

Photosynthesis: from Light to Biosphere. Netherlands: Ed. Kluwer Academic Publishers, 1995, p. 977– 980.

TOLEDO, R. C. L.; BRITO, L. F.; RIBEIRO, S. M. R.; PELUZIO, M. do C. G.; SIQUEIRA, C. L. M.; QUEIROZ, J. H. De. Efeito da ingestão da polpa de manga (*Mangifera indica* L.) sobre os parâmetros bioquímicos séricos e integridade hepática em ratos. **Bioscience Jornal**, v. 29, n. 2, p. 516–525, 2013.

VAN WITTENBERGHE, S.; ALONSO, L.; VERRELST, J.; MORENO, J.; SAMSON, R. Bidirectional sun-induced chlorophyll fluorescence emission is influenced by leaf structure and light scattering properties — A bottom-up approach. **Remote Sensing of Environment**, v. 158, p. 169–179, 2015.

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

ZHANG, J. H., HUANG, W. D., LIU, Y. P., PAN, Q. H. Effects of temperature acclimation pretreatment on the ultrastructure of mesophyll cells in young grape plants (*Vitis vinifera* L. cv. Jingxiu) under cross-temperature stresses. **Journal of Integrative Plant Biology**, v.47, p.959-970, 2005.

CAPÍTULO 1

[A ser submetido à publicação no periódico *Scientia Horticulturae* (ISSN 0304-4238)]

INFLUÊNCIA DA IRRIGAÇÃO NAS CARACTERÍSTICAS FOTOSSINTÉTICAS E NA QUALIDADE DOS FRUTOS DA MANGUEIRA ‘UBÁ’

INFLUENCE OF IRRIGATION IN THE PHOTOSYNTHETIC CHARACTERISTICS AND ON THE FRUIT QUALITY OF 'UBA' MANGO TREE

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da irrigação sobre o desempenho fotossintético da mangueira ‘Ubá’ em quatro períodos de análise: I – Fase de crescimento dos frutos, II – Fase de amadurecimento dos frutos, III - Após a colheita dos frutos e IV - Após a poda das plantas. Foram analisados também os teores de sólidos solúveis totais (SST), a acidez titulável (AT), a razão SST/AT, o peso e o volume dos frutos após a colheita. Os frutos colhidos verdes (*V*) foram armazenados à 27 ± 3ºC e analisados durante sete dias; enquanto os colhidos maduros (*M*) foram analisados no primeiro dia após a colheita. Cada dia foi considerado um estádio de maturação (*V1*, *V2*, *V3*, *V4*, *V5*, *V6*, *V7* e *M*). As mangueiras foram caracterizadas de acordo com o regime hídrico, como plantas conduzidas sob regime de irrigação (IRR) e sequeiro (SEQ). O período II foi uma fase de alta demanda de fotoassimilados, e como não choveu na região durante esse período, as plantas SEQ apresentaram menor RC/CS_0 (densidade de centros de reação ativos por seção transversal analisada), sugerindo que nesse momento as plantas SEQ foram afetadas negativamente pelo déficit hídrico. Houve aumento do fluxo de energia específico de absorção de elétrons por centro de reação (ABS/RC) nas plantas SEQ, compensando a deficiência de centros de reação. Os frutos produzidos pelas plantas SEQ apresentaram menor peso e volume. A melhor qualidade para consumo (> SST/AT e > peso) foi atingida no estádio Ve5 para os frutos das plantas IRR e no estádio Ve6 para os frutos das plantas

SEQ, com as respectivas razões SST/AT de 54 e 66. Portanto, as plantas da manga ‘Ubá’ conduzidas sob regime de sequeiro produziram frutos com maior doçura e tempo de prateleira.

Palavras-chave: Manga, fluorescência da clorofila *a*, pós-colheita, estresse, déficit hídrico.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the irrigation effects on photosynthetic performance of the 'Uba' mango tree during four periods: I - Fruit growth, II – fruit ripening , III - After harvest and IV - After pruning the plants. The total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA), SST/AT, the weight, and the volume of fruit after harvest. Fruit harvested at the green mature stage (*Gr*) were stored at 27 ± 3 ° C and analyzed for seven days; while the fruit collected at the mature stage (*M*) were analyzed on the first day after harvest. Each day was considered a maturation stage (*Gr1*, Gr*2*, *Gr3*, *Gr4*, *Gr5*, *Gr6*, *Gr7* and *M*). The mango trees were characterized according to the regime of water, as plants conducted under irrigation (IRR) and rainfed (RAI) regime. The period II was a time of high demand for assimilates, and as it did not rain in the region during this period, RAI plants showed a RC/CS_0 (density of reaction centers analyzed for active cross section), suggesting that moment RAI plants were affected by the drought. An increase of the specific energy absorption flow of electrons per reaction center (ABS/RC) in RAI plants, compensating for the deficiency of reaction centers. The fruits produced by RAI plants showed smaller weight and volume The best quality for consumption (>TSS/TA and >weight) was observed in fruit of *Gr5* stage of IRR plants and for *Gr6* stage in fruits of RAI plants, with the respective ratio TSS/TA of 54 and 66. 'Uba' mango plants under rainfed conditions produced fruit with greater sweetness and with increased shelf life.

Keywords: Mango, chlorophyll *a* fluorescence, post-harvest, stress, water deficit.

1. INTRODUÇÃO

O emprego de sistemas de irrigação em pomares de *Mangiferea indica* L. são bastante estudados para diversas cultivares como Palmer e Tommy Atkins (Lucena et al., 2007; Oliveira et al., 2012). Porém, para a cultivar Ubá há poucos relatos de trabalhos relacionados ao manejo de irrigação, isso ocorre em virtude da produção ser basicamente extrativista, o que dificulta o controle do manejo destas plantas.

As plantas da mangueira 'Ubá' para entrarem no ciclo reprodutivo necessitam de um período de déficit hídrico e de temperaturas mais baixas, características que induzem a floração dessas plantas (Neto, 2003). Nas demais fases de desenvolvimento as plantas necessitam de água e temperaturas mais altas (Lu et al., 2000, 2012). Portanto, as oscilações na distribuição de chuvas durante o ano podem alterar o ciclo das mangueiras manejadas sob regime de sequeiro. Dentre as principais consequências disso destacam-se, as mudanças no metabolismo fisiológico das folhas e na produção de frutos.

Os frutos destas plantas são climatéricos, ou seja, apresentam produção autocatalítica de etileno (Kader, 1997). Durante o desenvolvimento desses frutos ocorre aumento na produção de etileno seguido de aumento na atividade respiratória e isso ocorre independentemente de estarem ligados à planta mãe (Krishnamurthy e Subramanyam, 1970). Esse comportamento os tornam capazes de completarem o amadurecimento mesmo após a colheita (Silva et al., 2011a e 2012).

O processo de frutificação nas mangueiras exige mais energia e disponibilidade de minerais. Sob estresse hídrico e altas temperaturas prolongadas ocorre maior demanda respiratória e comprometimento do ganho de fotoassimilados (Pongsomboon et al., 1997; González et al., 2004). Espera-se, portanto, que em épocas de seca intensa o fornecimento de água na fase reprodutiva das mangueiras, via irrigação, pode ser uma boa alternativa para manter a qualidade da produção.

Sabendo-se que, a produção adequada de fotoassimilados depende do bom funcionamento da fotossíntese, as consequências das variações nas condições ambientais sobre a fisiologia do aparelho fotossintético das plantas são bastante estudadas usando, principalmente, a técnica da fluorescência da clorofila *a* (Strasser et

al., 2004; Lucena et al., 2012; Jedmowski et al., 2013; Einali and Shariati, 2015). Essa técnica permite obter informações qualitativas e quantitativas das condições fisiológicas do aparelho fotossintético e pode ser facilmente correlacionada com a qualidade da produção das plantas (Stirbet et al., 2014; Van Wittenberghe et al., 2015).

Diante do exposto, sugere-se que diante das adversidades ambientais, o déficit hídrico causa alterações no desempenho fisiológico da mangueira 'Ubá' e alteram a produção de fotoassimilados, podendo refletir na qualidade dos frutos durante o armazenamento. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da irrigação sobre o desempenho fotossintético da mangueira 'Ubá' em diferentes fases de desenvolvimento e a qualidade dos frutos durante o armazenamento.

2. MATERIAL e MÉTODOS

2.1. Área experimental e material vegetal

O estudo foi realizado entre dezembro/2014 e fevereiro/2015 em um pomar de manga (*Mangifera indica* L. cv. Ubá) localizado no município de Colatina-ES (19º 32' 32.71'' S, 40º 45' 49.73'' O e altitude de 209 m), pertencente ao Polo de Manga para a Indústria no Estado do Espírito Santo. O pomar estava com 8 anos de plantado, no espaçamento 9 x 9 metros e era dividido em quadras, contendo 50 plantas cada uma. Todas estavam com as mesmas condições edafoclimáticas e eram separadas entre si por estradas de 15 metros de largura.

O trabalho foi feito com plantas de 4 quadras paralelas, submetidas a dois regimes hídricos. Sendo que, as duas primeiras quadras eram conduzidas sob regime de irrigação (IRR) localizada via microaspersores e as duas seguintes sob regime de sequeiro (SEQ), sem irrigação. A frequência de irrigação era controlada pelo produtor de acordo a evapotranspiração diária registrada por um irrigâmetro instalado na propriedade (Oliveira et al., 2008).

Os dados foram coletados em 4 períodos distintos, durante a fase reprodutiva e vegetativa: Período I – fase de crescimento dos frutos, Período II – fase de

amadurecimento dos frutos, Período III – após a colheita dos frutos e Período IV – após a poda das plantas.

A radiação fotossinteticamente ativa (RFA) (Figura1) foi registrada por meio de sensores LI-190SA (LI-COR, Lincoln, NE) conectados a um data logger LI-1400 (LI-COR Biosciences). Os dados da precipitação foram obtidos pela estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) instalada na cidade de Aimorés-MG (19º 31’ 57.96’’ S, 41º 05’ 26.88’’ O e altitude de 288 m) (Figura 2).

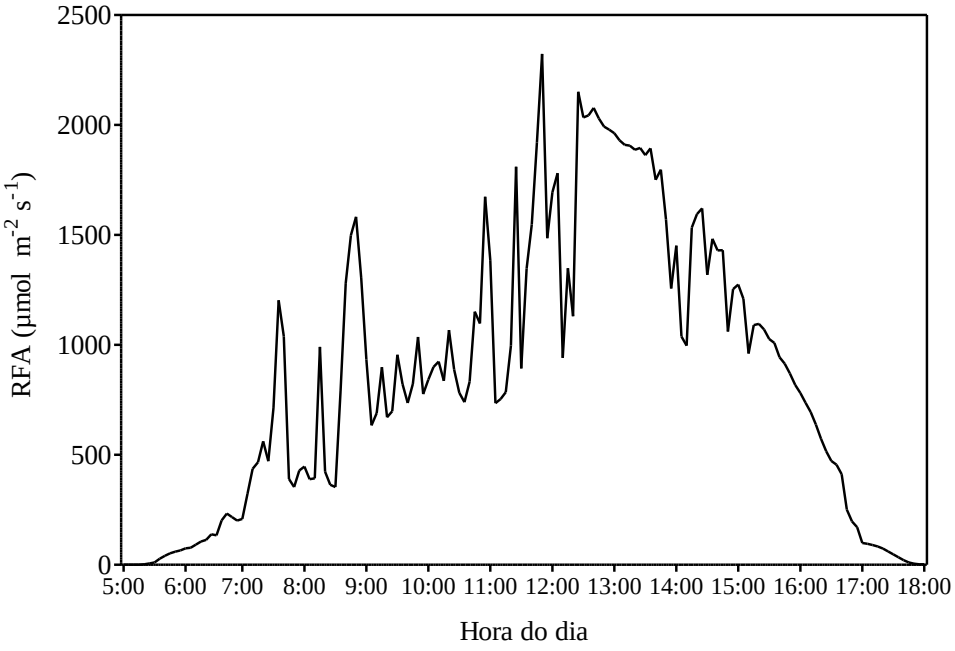

Figura 1 – Curso diário da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) sobre a copa da mangueira ‘Ubá’ em regimes de irrigação e sequeiro, no Polo de Manga para a Indústria no Estado do Espírito Santo, município de Colatina (19º 32’ 32.71’’ S, 40º 45’ 49.73’’ O, altitude 209 m), ES, Brasil.

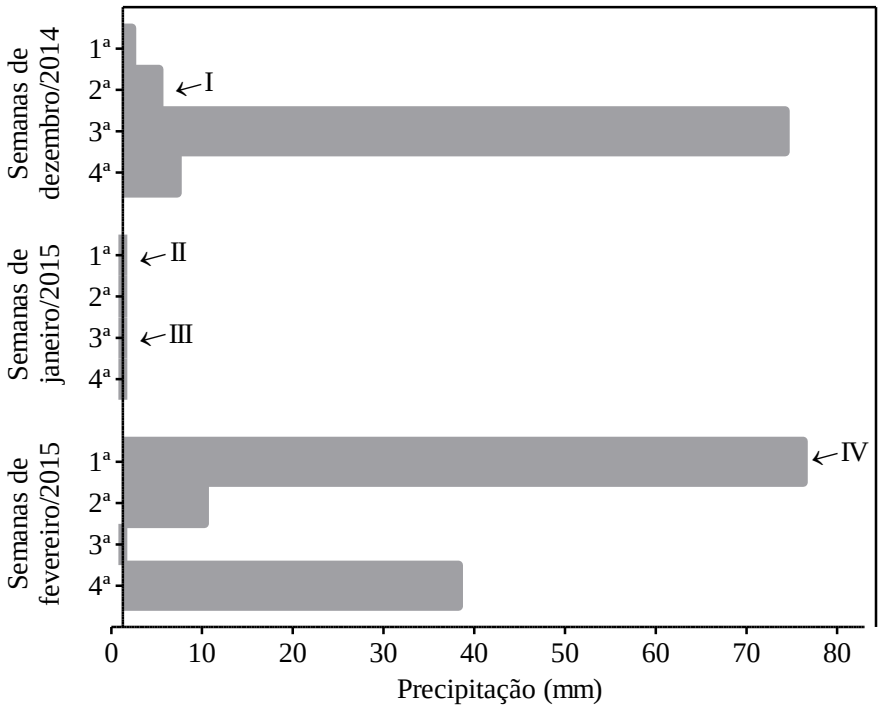

Figura 2 – Dados da precipitação semanal em milímetros (mm) durante os meses de condução do experimento, coletados na estação meteorológica do INMET instalada em Aimorés-MG (19º 31’ 57.96’’ S, 41º 05’ 26.88’’ O e altitude de 288 m). As setas indicam as semanas referentes a cada período de análise: I – fase de crescimento dos frutos, II – fase de amadurecimento dos frutos, III – após a colheita dos frutos e IV – após a poda das plantas.

2.2. Características fotossintéticas das plantas

Foram utilizadas como características fotossintéticas a quantificação da fluorescência da clorofila *a* e o índice de clorofila nas folhas.

A fluorescência rápida da clorofila *a* foi quantificada com o uso de um fluorômetro portátil modelo Handy-PEA (Hansatech Instruments®, King’s Lynn, Norfolk, UK), entre 07:00h e 09:00h da manhã. Para tornar o sistema coletor de luz totalmente receptivo foi necessário a oxidação completa dos centros de reação. Isso foi possível com a adaptação ao escuro, por 40 minutos, de folhas jovens e completamente desenvolvidas (quarta a sexta folha a partir do ápice), localizadas em ramos do terço médio das plantas. Foram utilizadas como replicatas 3 folhas bem distribuídas em cada uma das dez plantas demarcadas. A emissão da fluorescência foi induzida em uma área

de 4 mm de diâmetro da folha, com um pulso de luz vermelha (650 nm) saturante (3.000 μmol m^{-2} s^{-1}). As intensidades de fluorescência foram medidas entre 10μs e 1s. Foram utilizadas a fluorescência inicial (F_0) em 20μs e a máxima (F_M) em aproximadamente 400 ms para calcular os parâmetros estabelecidos pelo Teste JIP (Strasser and Strasser, 1995; Strasser et al., 2000), que se baseiam na Teoria de Fluxo de Energia em Biomembranas (Strasser et al., 2010) (Tabela 1).

Os teores de clorofila foram quantificados nas mesmas folhas onde a fluorescência da clorofila *a* foi estimada, usando um clorofilômetro Mod. SPAD-502 (Minolta, Osaka, Japão). Este equipamento é portátil e emite luz na faixa do vermelho (650 nm), comprimento de onda compreendido entre as faixas de absorção das clorofilas *b* e *a* (645 e 663, respectivamente). A transmitância destas duas intensidades de vermelho através da folha é detectada e convertida em sinas digitais. A diferença entre elas é lida como índice da concentração de clorofila, as quais são expressas em unidades SPAD ou índice de clorofila. Foram utilizadas as médias de seis leituras por folha.

Tabela 1 – Significados e equivalentes dos parâmetros da fluorescência da clorofila *a* calculados pelo teste JIP, baseado nos parâmetros descritos por Strasser et al., 2010.

Parâmetros	Equações	Significados
F_0	$F_{20\mu s}$ ou $F_{50\mu s}$	Fluorescência inicial (aos 20 µs).
F_M	F_P	Fluorescência máxima, quando todos os centros de reação do fotossistema II (FSII) estão fechados e a Q_A reduzida (Q_A^-).
V_J	$(F_J – F_0)/(F_M – F_0)$	Fluorescência variável na fase J da curva OJIP.
V_I	$(F_I – F_0)/(F_M – F_0)$	Fluorescência variável na fase I da curva OJIP.
dVG/dt_0	-	Taxa de transferência de energia de excitação entre os centros de reação.
dV/dt_0	-	Taxa de fechamento dos centros de reação.
Sm	$Área/(F_M-F_0)$	Energia necessária para o fechamento de todos os centros de reação.
N	$Sm\ (M_0/V_J)$	Número de vezes que a Q_A é reduzida até atingir a fluorescência máxima.
ABS/RC	$M_0\ (1/V_J)\ (1/\varphi Po)$	Fluxo de energia específico de absorção de elétrons por centro de reação.
DI_0/RC	$ABS/RC - TR_0/RC$	Fluxo de energia dissipada por centro de reação, no t=0.
TR_0/RC	$M_0\ (1/V_J)$	Fluxo específico de energia capturada por centro de reação no t=0.
ET_0/RC	$M_0\ (1/V_J)\ \Psi o$	Fluxo de transporte de elétrons após a Q_A reduzida por centro de reação no t=0.
RE_0/RC	$M_0\ (1/V_J)\ \psi_{Eo}\ \delta_{Ro}$	Fluxo de elétrons reduzindo receptores finais de elétrons do fotossistema I (FSI) por centro de reação, no t=0.
φP_0	Fv/Fm	Rendimento quântico máximo do FSII.
ΨE_0	ET_0/TR_0	Eficiência com que a energia move o elétron na cadeia de transporte de elétrons após a Q_A^-.
φE_0	ET_0/ABS	Rendimento quântico do transporte de elétron após a Q_A^-.
δR_0	RE_0/ET_0	Eficiência que elétrons se movem dos receptores do intersistema até os receptores finais do FSI.
φR	RE_0/ABS	Rendimento quântico de transporte de elétrons da Q_A^- para o receptor final do FSI.
ABS/CS_0	Chl/CS	Fluxo de energia específico de absorção de elétrons por secção transversal.
DI_0/CS_0	$ABS/CS_0 – TR_0/CS_0$	Fluxo de energia dissipada por secção transversal no t=0.
TR_0/ CS_0	φP_0 (ABS/CS)	Fluxo específico de energia capturada por secção transversal no t=0.
ET_0/CS_0	$\phi P_0\ \Psi_0$ (ABS/CS)	Fluxo de transporte de elétrons após a Q_A^- por secção transversal, no t=0.
RE_0/CS_0	$(RE_0/ET_0)\ (ET_0/CS_0)$	Fluxo de elétrons reduzindo receptores finais de elétrons do FSI por secção transversal, no t=0.
RC/ABS	$\phi Po.(V_J/ M_0)$	Densidade de centros de reação fotossinteticamente ativos do FSII (redução da Q_A por centro de reação do FSII).
PI_{ABS}	(RC/ABS) $(\varphi P_0/(1-\varphi P_0))\ (\psi E_0/(1-\psi E_0))$	Conservação de energia de fótons absorvidos pelo FSII para a redução dos receptores de elétrons do intersistema (índice de desempenho potencial do FSII).
PI_{TOTAL}	$PI_{ABS}\ (\delta R_0/(1-\delta R_0))$	Conservação de energia dos fótons absorvidos pelo FSII para a redução dos receptores finais do FSI (índice de desempenho fotoquímico total).
RC/CS_0	$\phi Po(V_J/M_0)$(ABS/CS)	Densidade de centros de reação fotossinteticamente ativos do FSII (redução de Q_A nos centros de reação por secção transversal, no t = 0).

2.3. Características físico-químicas dos frutos

Como característica de qualidade química dos frutos foram avaliados os sólidos solúveis totais (SST), a acidez titulável (AT) e a razão SST/AT. A AT foi determinada por titulometria com solução de NaOH 0.1 M e expressa em % de ácido cítrico (AOAC, 1997). Os SST foram expressos em ºBrix com o uso do refratômetro digital modelo RTD-45 (INSTRUTHERM) e em seguida calculada a relação SST/AT segundo Kader (1997). Como características físicas foram avaliados peso em gramas (g) e volume em centímetros cúbicos (cm^3) dos frutos *in natura*.

A colheita foi realizada entre 08:00h e 10:00h em dois estádios de maturação, classificados como frutos verdes (*V*) e frutos completamente maduros (*M*). No estádio *V*, foram coletados frutos no ponto de maturidade fisiológica, momento em que os frutos climatéricos são capazes de continuar a ontogenia fora da planta mãe. Para caracterizar os frutos desse estádio, também conhecidos como frutos "de vez", observou-se a cor da casca verde escuro menos brilhante e formato ondulado mais proeminente próximo à inserção do pecíolo, chamado de "ombro" (Yashoda et al., 2006). Já no estádio *M* foram coletados frutos considerados prontos para o consumo, que apresentavam a casca amarela, com alguns pontos pretos e com pecíolos facilmente destacados.

Os frutos foram colhidos separadamente em cada regime hídrico (IRR e SEQ) e transportados direto para o laboratório de pós-colheita do Núcleo de Estudos em Fotossíntese da UFES. Imediatamente foram higienizados e armazenados em condições de temperatura similares às variações que acontecem no campo, à temperatura média de 27 ± 3 ºC.

Nos frutos *V*, as análises de sólidos solúveis totais (SST) e acidez titulável (AT) foram realizadas diariamente durante 7 dias após a colheita. Cada dia foi considerado um estádio de maturação, denominados respectivamente como: *V1*, *V2*, *V3*, *V4*, *V5*, *V6* e *V7*. Nos frutos *M*, as análises foram realizadas apenas um dia após a colheita, pois, após isso os frutos já festavam entrando em estado de senescência. Sendo assim, o estádio de maturação foi denominado como: *M*.

Em cada dia de análise foram selecionados aleatoriamente 5 frutos. Após serem descascados, despolpados e homogeneizados, foram retiradas 3 alíquotas para validação estatística.

2.4. Estatística

Os dados obtidos das características fotossintéticas foram submetidos à análise multivariada de componentes principais (PCA), utilizando o software MATLAB versão 8.1 (MathWorks, Inc., USA). Este método estatístico é uma eficiente ferramenta no agrupamento de indivíduos e possibilita distinguir as variáveis mais representativas numa determinada análise (Moita Neto and Moita, 1998). As médias das variáveis mais representativas foram submetidas ao teste Tukey (α = 0.05) e representadas em gráficos Boxplot, elaborados no GraphPad Prism 5.03.

Os dados obtidos das características físico-químicas dos frutos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e posteriormente as médias foram submetidas ao teste Tukey (α = 0,05). O programa utilizado para ANOVA e nos testes de hipótese foi o Statistical Analysis Software (SAS, versão 9.0). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado.

3. RESULTADOS

3.1. Seleção dos parâmetros fotoquímicos de maior representatividade

Para definir quais parâmetros fotoquímicos (Tabela 1) melhor explicaram as diferenças e semelhanças entre as condições analisadas, os dados foram submetidos à análise de componente principal (PCA). Esse tipo de estatística multivariada permitiu distinguir os períodos analisados (I, II, III e IV) (Figura 3) e os regimes hídricos (IRR e SEQ) (Figura 5). Quanto mais próximos os pontos, maiores as semelhanças entre eles e quanto mais distantes, maiores as diferenças.

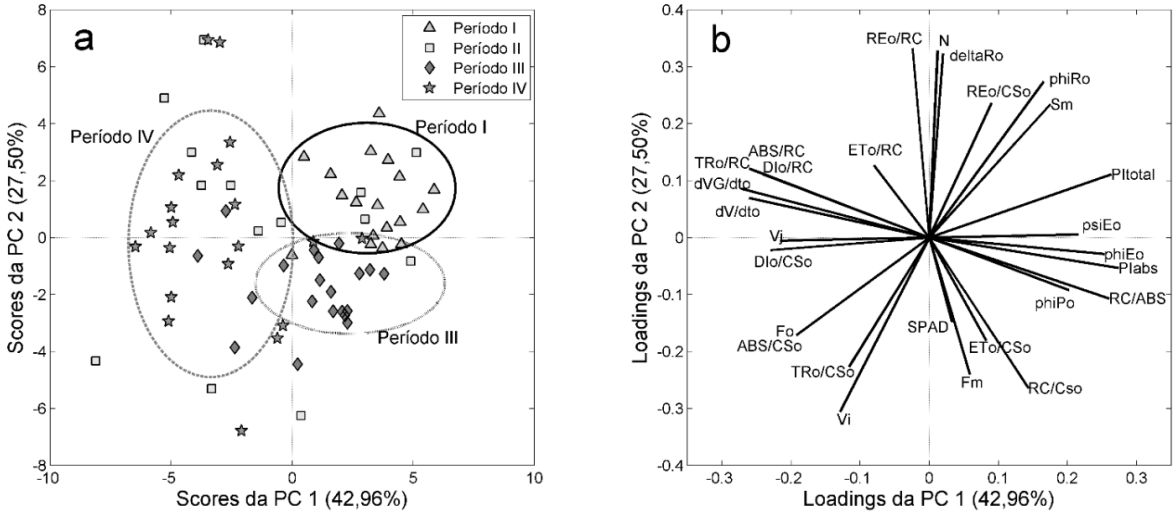

Figura 3. Análise multivariada de componente principal (PCA) das variáveis relativas a cada parâmetro do teste JIP e do índice de clorofila (SPAD) em folhas da manga 'Ubá'. (a) distribuição das variáveis agrupadas por período de análise e (b) demonstração da representatividade de cada variável. Significado dos parâmetros fotoquímicos descritos na Tabela 1.

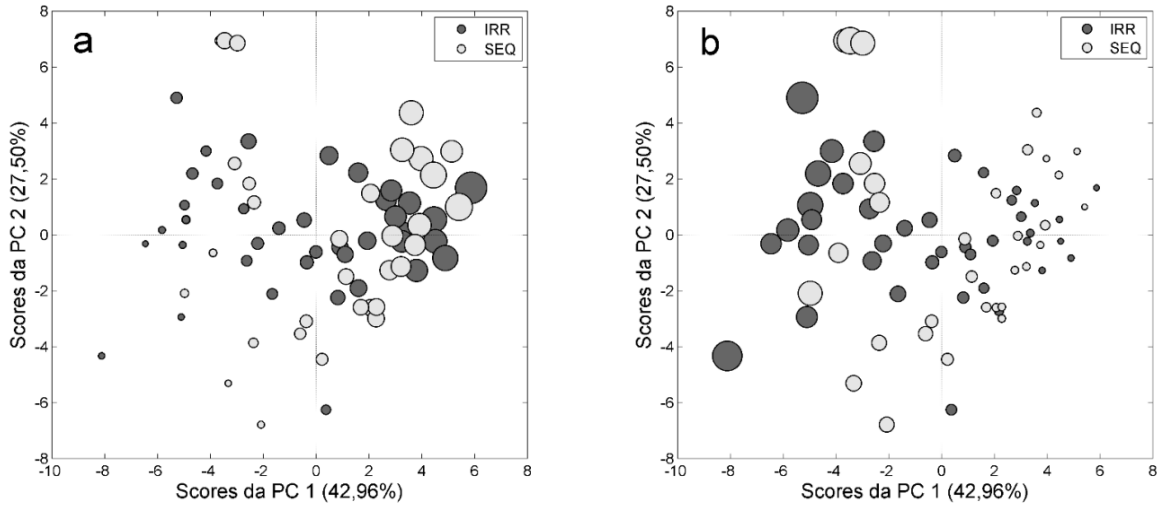

Figura 4. Análise multivariada de componente principal (PCA) do (a) desempenho fotoquímico total (PI_{TOTAL}) e da (b) taxa de transferência de energia de excitação entre os centros de reação (dVG/dT_0) em plantas de manga 'Ubá' sob regimes de irrigação (IRR) e sequeiro (SEQ). O diâmetro das circunferências é proporcional aos valores das variáveis em cada ponto.

As variáveis dos parâmetros fotoquímicos quando analisadas por PCA, entre os períodos das fases vegetativa (períodos I e II) e reprodutiva (períodos III e IV) das plantas, apresentaram certa uniformidade de distribuição dos pontos, exceto para o período II, que apresentou pontos dispersos no gráfico (Figura 3a). Ao analisar entre os regimes de irrigação (IRR) e sequeiro (SEQ), os pontos correspondentes a cada parâmetro ficaram muito distribuídas e não seguiram um padrão de distribuição, o que confirma a grande similaridade entre os regimes hídricos (Figura 4).

Com a interpretação da sobreposição da Figura 3b com a Figura 3a foram selecionados os parâmetros fotoquímicos mais representativos, para diferenciar o comportamento das plantas durante os períodos analisados. A direção e o sentido dos vetores demonstraram, respectivamente, a representatividade e a correlação dos parâmetros com os pontos mais próximos a eles. Vetores no sentido oposto aos pontos agrupados indicaram a correlação negativa e no mesmo sentido a correlação positiva dos parâmetros com os períodos de análise. Quanto maior o vetor, melhor explicada é a diferença entre os períodos por esta variável. Isso tornou possível separar as variáveis mais representativas, para avaliar as condições fisiológicas do aparato fotossintético de cada período das fases vegetativa e reprodutiva das plantas

Os vetores dos parâmetros SPAD, ET_0/CS_0, φP_0, ΨE_0, ET_0/RC e V_J foram os que apresentaram dimensões menores, o que tornou estes parâmetros menos representativos. Já os vetores dos parâmetros RE_0/RC, N, δR_0, F_M, V_I e TR_0/CS_0 foram menos representativos por ficarem na direção de poucos pontos. Os demais parâmetros foram mais representativos por apresentarem vetores maiores e na direção da maioria dos pontos. Seguindo esse raciocínio, a diferença do período I sobre os demais foi melhor explicada pelos valores mais altos de RE_0/CS_0, φR_0, Sm, PI_{TOTAL} e φE_0. Para o período II não foi possível distinguir os parâmetros, pois, como observado na Figura 3a, os dados apresentaram distribuição desuniforme. A diferença do período III foi melhor explicada pelos valores mais altos de RC/CS_0, RC/ABS e PI_{ABS}, e do período IV pelos valores mais altos de ABS/CS_0, F_0, DI/CS_0, V_J, dV/dt_0, dVG/dt_0, TR_0/RC, ABS/RC e DI_0/RC.

Após essa discriminação dos parâmetros do teste JIP, foi possível selecionar aquele mais representativo para cada período de análise, pelo maior tamanho e melhor

direcionamento dos vetores obtidos na PCA (Figura 3b). Portanto, os parâmetros selecionados para melhor interpretação das respostas fisiológicas nas plantas foram PI_{TOTAL}, RC/CS_0 e dVG/dt_0, nos períodos I, III e IV, respectivamente.

3.2. Resultados com os parâmetros fotoquímicos de maior representatividade

Ao sobrepor as Figuras 5 e 4a foi possível avaliar as variações nos valores de PI_{TOTAL} (Figura 4a) e dVG/dt_0 (Figura 4b) em cada período. Quanto maior a circunferência dos pontos, maior os valores dos parâmetros analisados. Isso comprovou que, independentemente dos regimes hídricos, as plantas de manga 'Ubá' apresentaram PI_{TOTAL} e dVG/dt_0 significativamente mais altos durante os períodos I e IV, respectivamente. Portanto, as variações no comportamento fotoquímico das mangueiras entre os períodos de análise foram similares para os dois regimes hídricos (IRR e SEQ) (Figura 5).

No período I as mangueiras apresentaram PI_{TOTAL} (Figura 5a) com valores médios 90, 62 e 140% mais altos em relação aos períodos II, III e IV, respectivamente. No período II, como já discutido anteriormente, não foi possível distinguir os parâmetros. No período III, apresentaram RC/CS_0 (Figura 5b) com valores médios 8, 21 e 21% mais elevados do que nos períodos I, II e IV, respectivamente. No período IV, apresentaram dVG/dt_0 (Figura 5c) com valores médios 73, 11 e 46% mais altos em relação aos períodos I, II e III, respectivamente.

Quando estes parâmetros foram avaliados separadamente em cada período de análise, foi possível observar algumas diferenças entre os regimes hídricos (Figura 5). No período II as plantas IRR apresentaram RC/CS_0 30% mais alto do que as plantas SEQ, e no período IV as plantas SEQ apresentaram PI_{TOTAL} 40% mais alto do que as plantas IRR. Já nos períodos I e III as mangueiras não apresentaram respostas fotoquímicas estatisticamente diferentes entre IRR e SEQ.

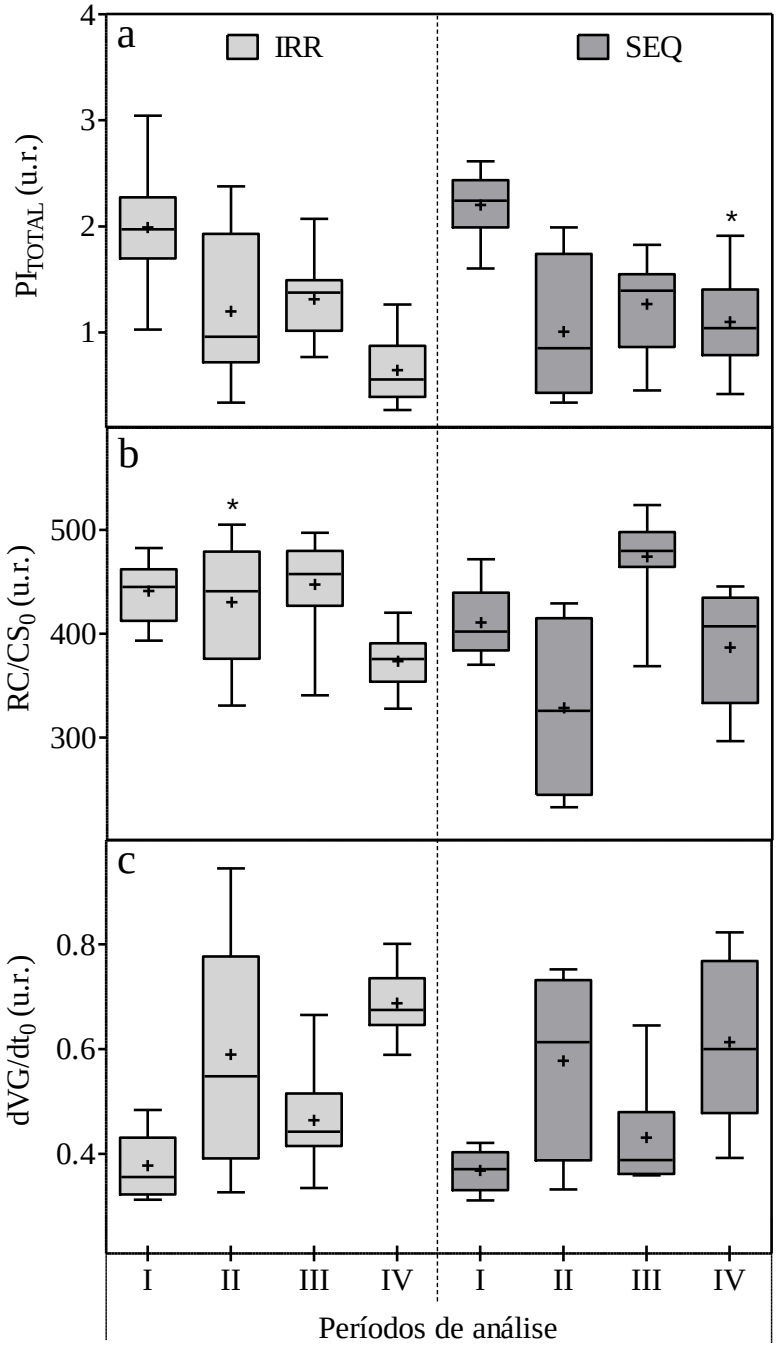

Figura 5 – (a) Índice de desempenho fotoquímico total (PI_{TOTAL}), (b) densidade de centros de reação fotossinteticamente ativos por secção transversal (RC/CS_0) e (c) taxa de transferência de energia entre os centros de reação (dVG/dt_0) apresentados em cada período de análise (I, II, III e IV) das plantas nos diferentes regimes hídricos (IRR e SEQ). + Média das repetições. * Difere estatisticamente entre os regimes hídricos, no mesmo período, pelo teste Tukey (α=0.05).

3.3. Correlações entre os parâmetros fotoquímicos

Após serem identificados os parâmetros fotoquímicos mais representativos (PI_{TOTAL}, dVG/dt_0 e RC/CS_0), para distinguir as plantas IRR e SEQ durante os períodos de análise, foi possível abranger a interpretação dos dados, por meio das correlações calculadas pela PCA. O grau de correlação (r) foi definido de acordo com o cosseno do ângulo formado entre os vetores correspondentes (Figura 3b), que variou de -1 a 1. Quanto mais próximo da mesma direção e sentidos opostos, ou seja, quanto mais próximo do ângulo de 180º (cos = -1), mais forte foi a correlação negativa. Quanto mais próximo da mesma direção e sentido, ou seja, mais próximo do ângulo 0º ou 360º (cos = 1), mais forte foi a correlação positiva. O intervalo de confiança destas correlações é proporcional ao tamanho dos vetores correspondentes. Ao considerar $p<0,0001$, as maiores correlações negativas foram de dVG/dt_0 com RC/ABS (r = -0,9169), PI_{TOTAL} com V_J (r = -0,6681) e RC/CS_0 com ABS/RC (r = -0,7068), enquanto as maiores correlações positivas foram de dVG/dt_0 com ABS/RC (0,9444), PI_{TOTAL} com PI_{ABS} (r = 0,7828) e RC/CS_0 com ET_0/CS_0 (r = 0,7718). As correlações serão úteis durante a discussão dos resultados.

3.4. Características físico-químicas dos frutos

Ao submeter os valores de SST, AT, SST/AT, peso e volume dos frutos à análise de variância (ANOVA) foi possível observar significância entre os regimes hídricos (RH) apenas para AT, peso e volume (Tabela 2). Porém, entre os estádios de maturação (EM) houve significância para todas as características físico-químicas avaliadas. Já na interação CH x EM as únicas variáveis que não tiveram significância foram Peso e Volume.

Tabela 2 – Valores de F após a análise de variância (ANOVA) das características físico-químicas estudadas: Sólidos solúveis totais (SST), acidez titulável (AT), razão SST/AT, peso e volume.

Fatores da Variância	Grau de Liberdade	Características físico-químicas				
		SST	AT	SST/AT	PESO	VOLUME
Regimes Hídricos	1	1,24^{ns}	9,40**	0,47^{ns}	16,03**	4,76*
Estádio de Maturação	7	333,21***	490,30***	238,77***	5,82**	6,03**
RH x EM	7	9,44***	16,29***	4,32**	1,50^{ns}	3,23^{ns}
ERRO	47	-	-	-	-	-
CV (%)	-	3,07	6,41	9,61	9,06	12,64

* Significativo com p<0,05. ** Significativo com p<0,01. *** Significativo com p<0,0001. ^{ns} Não significativo com p<0,05. RH: Regimes Hídricos. EM: Estádio de Maturação. CV: Coeficiente de variação.

Os frutos do estádio *V1* apresentaram SST diferentes estatisticamente entre as plantas IRR e SEQ, com médias de 13,1 e 10,8 ºBrix (Figura 6), respectivamente. Os SST dos frutos no estádio *M* obtiveram SST estatisticamente iguais, em média 23,4 ºBrix nas plantas IRR e 23,9 nas plantas SEQ.

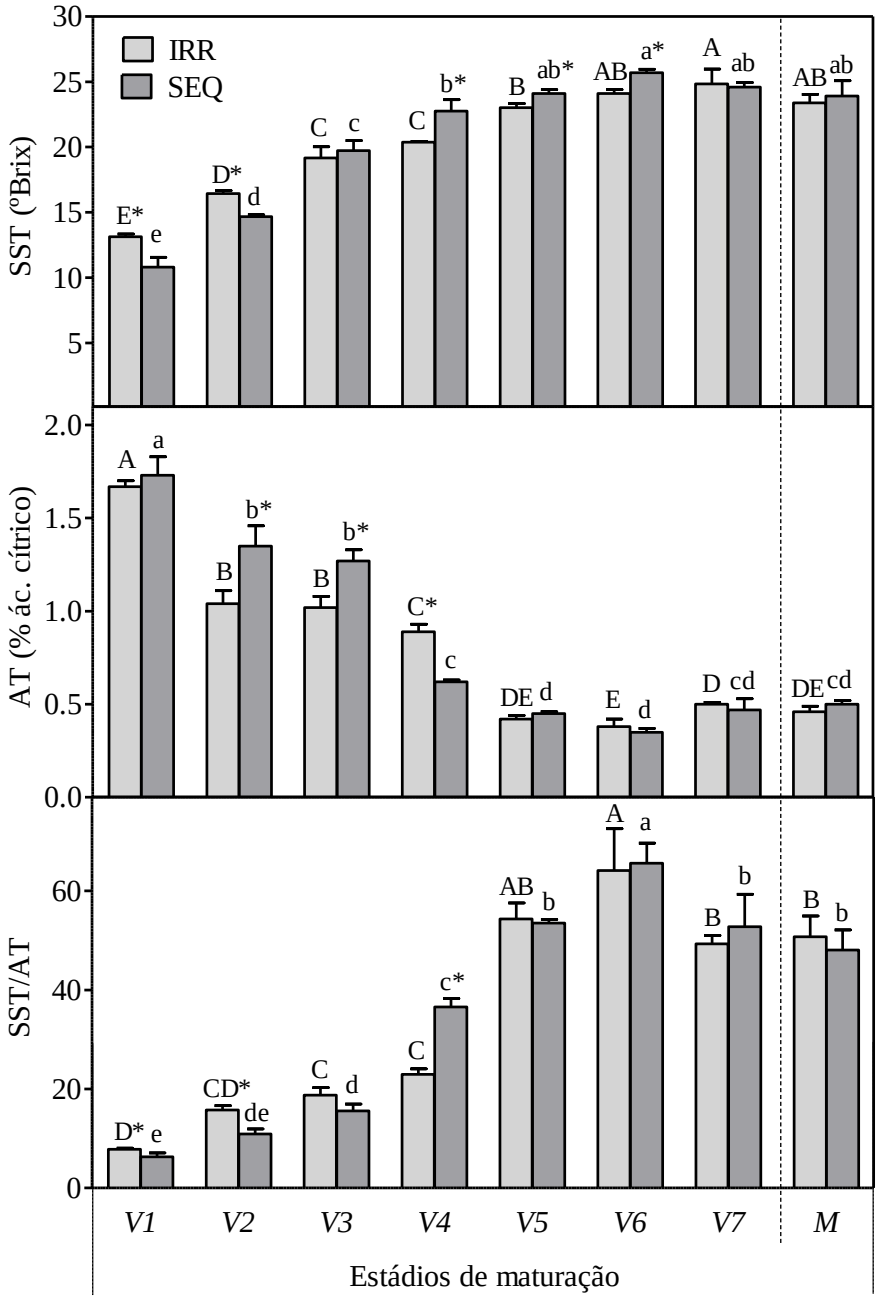

Figura 6 – Sólidos solúveis totais (SST), acidez titulável (AT) e a razão SST/AT dos frutos nos estádios de maturação do ponto de colheita verde (*V1*, *V2*, *V3*, *V4*, *V5*, *V6* e *V7*) e no estádio de maturação do ponto de colheita maduro (*M*), para cada um dos regimes hídricos, irrigado (IRR) e sequeiro (SEQ). Letras iguais não diferem entre os estádios de maturação pelo teste Tukey (α=0,05), maiúsculas para as plantas IRR e minúsculas para as plantas SEQ. * Difere entre os regimes hídricos no mesmo estádio de maturação pelo teste Tukey (α=0,05). As barras indicam o desvio padrão da média.

Durante a evolução da maturação dos frutos colhidos verdes em ambos os regimes hídricos (IRR e SEQ), foi observado aumento dos SST e diminuição da AT gradativamente do primeiro dia até o quinto dia após a colheita, ou seja, do estádio *V1* até o estádio *V5*. A partir deste, os valores foram estabilizados e igualados estatisticamente aos frutos colhidos maduros, ou seja, ao estádio *M*.

No estádio *V5* o valor médio de SST dos frutos colhidos nas plantas SEQ (25,7 ºBrix) foi maior estatisticamente que dos frutos colhidos nas plantas IRR (24,1 ºBrix). A AT e a razão SST/AT foram estatisticamente iguais, com os respectivos valores médios de 0,42% e 54,35 nos frutos das plantas IRR e 0,45% e 53,51 nos frutos das plantas SEQ.

Os frutos do estádio *V6* apresentaram a razão SST/AT maior do que os frutos do estádio *M*, em ambos os regimes hídricos. Para esses dois estádios não houve diferença entre os frutos originados das plantas IRR e SEQ. No estádio *V6* os valores foram de 64,1 e 65,7 nos frutos das plantas IRR e SEQ, respectivamente, e no estádio *M* os valores foram de 50,8 e 48,1 nos frutos das plantas IRR e SEQ, respectivamente.

No estádio *V2* os frutos das plantas IRR estavam com SST (16,4 ºBrix) maior estatisticamente do que os das plantas SEQ (14,7 ºBrix). A partir do estádio *V4*, os frutos das plantas IRR (20,4 ºBrix) passaram a apresentar SST estatisticamente menor do que das plantas SEQ (22,8 ºBrix) até o estádio *V6*, momento em que os frutos das plantas IRR apresentaram 24,1 ºBrix e das plantas SEQ 25,7 ºBrix. Neste estádio, a razão SST/AT não apresentou diferença estatística entre IRR e SEQ.

Os frutos no estádio *V1* apresentaram peso médio de 132,49 e 118,03g nas plantas IRR e SEQ, respectivamente (Figura 7). O volume médio dos frutos foi de 107,83 e 128,00 cm^3 nas plantas IRR e SEQ, respectivamente. Ainda para o estádio *V1*, as características físicas foram estatisticamente iguais entre IRR e SEQ, porém, ao longo do amadurecimento os frutos das plantas SEQ perderam peso e volume em maior proporção do que os frutos das plantas IRR. Do estádio *V1* para o estádio *V2* a perda média no peso foi de 6 e 13%, e no volume de 2 e 30%, respectivamente, nos frutos das plantas IRR e SEQ. Com isso, no estádio *V2* os frutos das plantas IRR apresentaram 21 e 23% a mais de peso e volume, respectivamente.

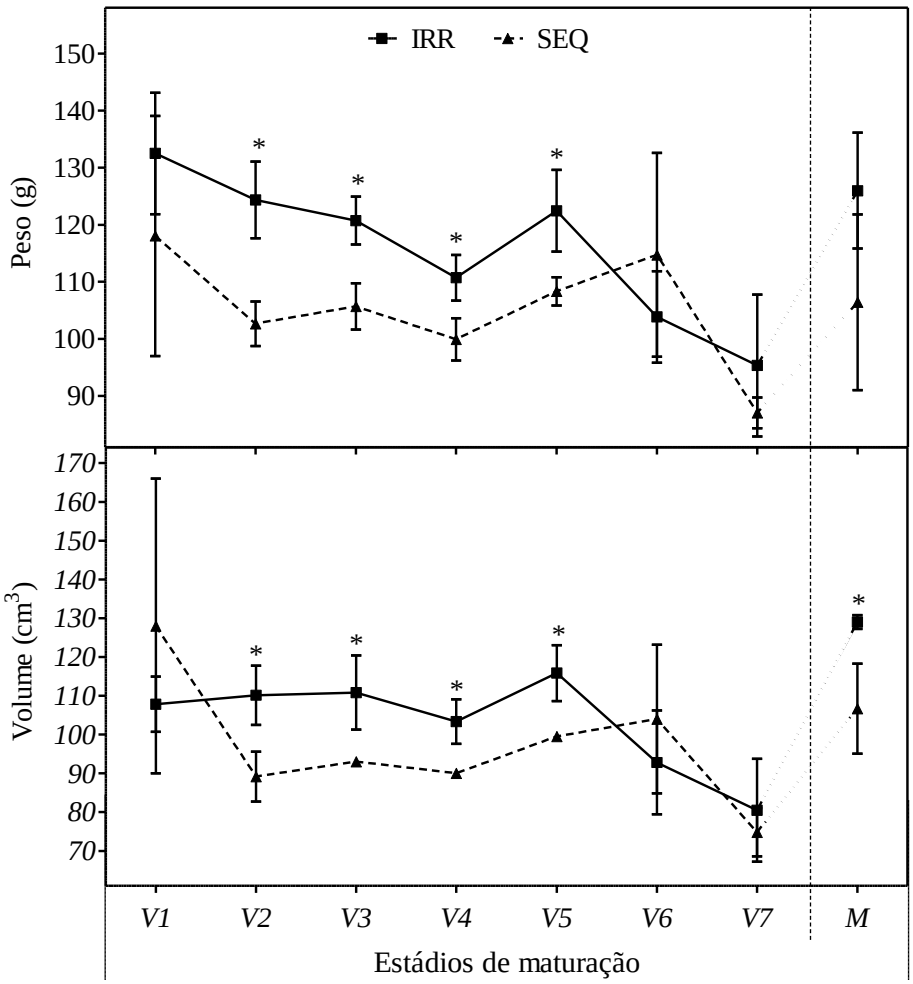

Figura 7 – Peso em gramas (g) e volume em centímetros cúbicos (cm^3) dos frutos nos estádios de maturação do ponto de colheita verde (*V1*, *V2*, *V3*, *V4*, *V5*, *V6* e *V7*) e no estádio de maturação do ponto de colheita maduro (*M*), para cada um dos regimes hídricos, irrigado (IRR) e sequeiro (SEQ). * Difere entre os regimes hídricos no mesmo estádio de maturação pelo teste Tukey (α=0.05). As barras indicam o desvio padrão da média.

Do estádio *V1* até o estádio *V5* as variações no peso e volume foram semelhantes em ambos os regimes hídricos (IRR e SEQ), sendo que, os frutos das plantas IRR mantiveram-se valores médios de peso e volume, respectivamente, 15 e 18% superiores aos frutos das plantas SEQ.

Os frutos no estádio *V5* apresentaram valores médios de peso e volume iguais estatisticamente aos frutos no estádio *M*. O peso médio dos frutos das plantas IRR foi 122,45 e 125,97g nos estádios *V5* e *M*, respectivamente, enquanto nos frutos das

plantas SEQ foi 108,33 e 106,42g. O volume médio dos frutos das plantas IRR foi 115,83 e 129 cm^3 nos estádios *V5* e *M*, respectivamente, enquanto nos frutos das plantas SEQ foi 99,50 e 106,67 cm^3.

No estádio *V6* e *V7* não houveram diferenças estatísticas entre os frutos das plantas IRR e SEQ para peso e volume. Do estádio *V5* para o estádio *V7* a perda média no peso foi de 22 e 20%, e no volume de 31 e 25%, respectivamente, nos frutos das plantas IRR e SEQ.

4. DISCUSSÃO

4.1. Influência da disponibilidade hídrica sobre a fisiologia do aparelho fotossintético

De acordo com os dados de precipitação demonstrados na Figura 2, as plantas SEQ sofreram déficit hídrico durante a fase de pleno amadurecimento dos frutos (período II). Por ser uma fase de alta demanda de fotoassimilados, cuja principal fonte é proveniente da fotossíntese nas folhas (Silva et al., 2011b), os danos causados pela deficiência hídrica foram mais evidentes. Essa deficiência de água causou diminuição na densidade de centros de reação fotossinteticamente ativos do FSII (RC/CS_0) e aumento no fluxo de energia específico de absorção de elétrons por centro de reação (ABS/RC). Jedmowski et al. (2013) também observaram em plantas de cevada e sorgo consideráveis diminuições de RC/CS_0 quando submetidas ao estresse de seca.

As proteínas constituintes dos centros de reação são as primeiras moléculas a serem desestruturadas pelo déficit hídrico, comprometendo diretamente o complexo de evolução do oxigênio (Hu et al., 1998 e Saito et al., 2011). Isso reforça a tese de que a falta de água afeta a produção final de fotoassimilados, principalmente durante as fases de alta demanda. Para manterem o metabolismo interno dos cloroplastos em plena atividade, as mangueiras ‘Ubá’ estudadas neste trabalho supriram a deficiência de novos centros de reação com o aumento da absorção de energia pelos complexos coletores de luz (complexo antena), para cada centro de reação ainda ativo.

Após a colheita dos frutos (período III) as plantas SEQ ainda estavam sob déficit hídrico (Figura 2), devido à falta de chuva, mas mesmo assim a produção de novos centros de reação foi retomada. A recuperação nesse período foi significativa ao ponto das plantas SEQ apresentarem RC/CS_0 estatisticamente igual às plantas IRR. Isso sugere que o déficit hídrico só causou estresse nas mangueiras 'Ubá' quando elas estavam carregadas com frutos em pleno amadurecimento, o que resultou em alterações na fisiologia do aparelho fotoquímico dessas plantas. Experimentos com outras cultivares de manga, como Haden, Tommy Atkins (Lu et al., 2012), Choke Anand e Khieo Sawoei (Nabil and Kun-Fang, 2008), demonstraram que o déficit hídrico diminuiu o desempenho fotoquímico nas folhas, no entanto, com o retorno do fornecimento de água as mangueiras foram capazes de recuperar o desempenho. Na cultivar Ubá, estudada neste trabalho, o fornecimento de água via irrigação foi favorável à formação de novos centros de reação apenas na fase de pleno amadurecimento dos frutos e ausência de precipitação.

Ao analisar o comportamento fotoquímico da manga 'Ubá' durante os períodos de análise, independente dos regimes hídricos, o estresse que mais afetou as plantas foi a poda. Após a poda (período IV), mesmo com o retorno das chuvas (Figura 2), a conservação de energia dos fótons absorvidos pelo FSII para a redução dos receptores finais do FSI (PI_{TOTAL}) foi menor do que em todos os outros períodos de análise, em ambos os regimes hídricos (IRR e SEQ). As plantas que antes estavam sob estresse hídrico (plantas SEQ) demonstraram queda mais branda e apresentaram, nesse período, PI_{TOTAL} significativamente mais alto do que as plantas sob regime de irrigação (IRR). Dessa forma, as mangueiras 'Ubá' que não receberam irrigação nos períodos de seca mostraram maior capacidade de suportar o estresse da poda, devido a adaptação fisiológica do FSII ocorrida durante o estresse hídrico ocorrido na fase reprodutiva (aumento de ABS/RC).

A densidade de centros de reação fotossinteticamente ativos (RC/CS_0) também foi mais baixa no período IV, enquanto a taxa de transferência de elétrons entre os centros de reação (dVG/dt_0) foi mais alta. Isso ocorreu provavelmente devido à retirada de folhas e galhos, que afetou drasticamente as forças de fonte e causou um rearranjo nas estruturas do aparelho fotossintético das plantas. Ora, o aumento de

dVG/dt_0 minimiza os danos causados pela queda na densidade de centros de reação e o baixo desempenho fotoquímico total (Demetriou et al., 2007). No caso da manga ‘Ubá’ do presente trabalho foi constatada a estratégia, diante do estresse após a poda, quando essas plantas modificaram as estruturas do aparelho fotossintético, aumentando a absorção de energia por centro de reação e compensando a queda na densidade de centros de reação e no desempenho fotoquímico total.

4.2. Influência da disponibilidade hídrica sobre as características físico-químicas dos frutos

Os valores médios dos SST obtidos no presente estudo para frutos verdes (12 ºBrix) e maduros (24 ºBrix) foram superiores aos encontrados por Mata et al. (2011), com a mesma cultivar no município de Rio Branco-MG. Os autores consideraram o estádio verde com SST entre 8 e 10 ºBrix e o estádio maduro entre 14 e 19 ºBrix. Já o peso médio dos frutos coletados completamente maduros (116,2 g) foi inferior aos encontrados por Faraoni et al. (2009), com a mesma cultivar na região da Zona da Mata de Minas Gerais, onde obtiveram valores médios em torno de 143,8 g.

Do estádio *V1* até o estádio *V5* a produção dos SST aumentou e da AT diminuiu gradativamente. Esse comportamento ocorreu devido aos frutos da manga ‘Ubá’ serem climatéricos, ou seja, mesmo após destacados da planta mãe a atividade respiratória e a produção de etileno aumentaram até atingirem um ponto máximo, conhecido como pico respiratório, ou climatérico (Silva et al., 2012). Yashoda et al., (2006) demonstraram para mangas da cultivar Alphonso, que durante o amadurecimento houve conversão de amido em açúcares e degradação de ácidos.

Nos estádios *V6* e *V7* houve a estabilização dos SST e a queda mais evidente do peso e volume dos frutos. Isso ocorreu devido à degradação dos açúcares e ao aumento da transpiração, causados pelo início do processo de senescência dos frutos após determinado tempo de colheita (Silva et al., 2012).

A razão SST/AT, por considerar o teor de açucares em relação a acidez da polpa, pôde ser utilizada para avaliar mais precisamente a qualidade do sabor do fruto (Kader, 1997). A partir desta suposição, os frutos de manga ‘Ubá’ colhidos verdes, entre 11 e

13 ºBrix, e armazenados à temperatura média de 27 ± 3 ºC, revelaram qualidade de sabor iguais no quinto dia após a colheita (estádio *V5*) e maiores no sexto dia após a colheita (estádio *V6*) do que os frutos colhidos maduros (estádio *M*). Tudo isso ocorreu independentemente de serem originados de plantas sob regime de irrigação (IRR) ou sequeiro (SEQ). Sendo assim, os frutos colhidos verdes foram considerados bons para o consumo entre o quinto e sexto dia após a colheita (estádios *V5* e *V6*). Nesses estádios, o estresse causado pelo déficit hídrico nas mangueiras, enquanto os frutos ainda estavam ligados às plantas, não interferiu na razão SST/AT.

Além das alterações químicas ocorrida durante o amadurecimento, os frutos da manga 'Ubá' também estavam sujeitos a alterações físicas ao longo do armazenamento. A diminuição no peso está relacionada à perda de água para o ambiente, conforme as condições de armazenamento (Sousa et al., 2002). A perda de peso média observada no presente estudo (27%), por simular a temperatura dos galpões no campo (27 ± 3 ºC), foram nitidamente maiores do que as encontradas por outros autores que mantiveram os frutos em temperaturas controladas. Silva et al. (2012) colheram frutos de manga 'Ubá' entre 6 e 8 ºBrix, armazenaram à 18 ± 0,7ºC e registraram perdas de 2% no sexto dia de armazenamento. Sousa et al. (2002) coletaram frutos de manga 'Tommy Atckins', armazenaram à 11 ± 1ºC e registraram perdas de 1% no sétimo dia.

Os frutos quando originados de plantas submetidas ao regime de irrigação (IRR) apresentaram maior peso e volume ao longo do armazenamento. A irrigação em épocas de seca e na fase de amadurecimento desses frutos contribuiu para o maior ganho de peso. Spreer et al. (2009) analisaram a produção de *Mangifera indica* L. cv. Choc Anan durante três anos e concluíram que as plantas sob irrigação foram mais produtivas e os frutos mais pesados do que as plantas conduzidas no sequeiro.

Apesar dos frutos originados das plantas IRR apresentarem maior peso e volume, o processo de senescência iniciou antes dos frutos originados das plantas SEQ. Os frutos das plantas IRR entraram em senescência no estádio *V6*, momento em que a desidratação causou 15% de perda no peso em comparação ao estádio anterior (*V5*). Já os frutos das plantas SEQ entraram em senescência no estádio *V7*, momento em que houve 20% de perda de peso em comparação ao estádio anterior (*V6*). Sabendo-se que,

o estádio *V6* foi o que apresentou maior razão SST/AT em ambos os regimes hídricos, os frutos das plantas SEQ, por ainda não estarem em processo de senescência nesse estádio, foram considerados os frutos com melhores qualidades de sabor.

5. CONCLUSÃO

Durante as fases de desenvolvimento dos frutos nas plantas, por haver alta demanda de fotoassimilados e ausência de chuva na região, as plantas que não receberam irrigação apresentaram menor densidade de centros de reação fotossinteticamente ativos do FSII (RC/CS_0), o que as caracterizaram sob estresse hídrico. Para compensar a deficiência de centros de reação, houve aumento do fluxo de energia específico de absorção de elétrons por centro de reação (ABS/RC) nessas plantas.

Quando os frutos foram colhidos verdes e armazenados à 27 ± 3ºC, a melhor qualidade para consumo foi atingida no quinto dia após a colheita (estádio *V5*) para os frutos das plantas sob irrigação e no sexto dia após a colheita (estádio *V6*) para os frutos das plantas sob sequeiro, estádio este em que os frutos atingiram valores mais altos de SST/AT. Portanto, as plantas conduzidas sob regime de sequeiro produziram frutos com maior doçura e tempo de prateleira que os das plantas sob irrigação.

6. REFERÊNCIAS

Association of Official Analytical Chemists (AOAC)., 1995. Food composition, additives, natural contaminants. In: _____. (Ed.) Official methods of analysis. AOAC International, Washington, pp. 1-23.

Demetriou, G., Neonaki, C., Navakoudis, E., Kotzabasis, K., 2007. Salt stress impact on the molecular structure and function of the photosynthetic apparatus--the protective role of polyamines. Biochim. Biophys. Acta 1767, 272–80. doi:10.1016/j.bbabio.2007.02.020

Einali, A., Shariati, M., 2015. Effects of propyl gallate on photosystem II efficiency in Dunaliella bardawil under high illumination as investigated by chlorophyll

fluorescence measurements. Theor. Exp. Plant Physiol. 27, 61–73. doi:10.1007/s40626-015-0032-8

Faraoni, A.S., Ramos, A.M., Stringheta, P.C., 2009. Caracterização da manga orgânica cultivar ubá. Rev. Bras. Prod. Agroindustriais 11, 9–14.

González, A., Lu, P., Müller, W., 2004. Effect of pre-flowering irrigation on leaf photosynthesis, whole-tree water use and fruit yield of mango trees receiving two flowering treatments. Sci. Hortic. (Amsterdam). 102, 189–211. doi:10.1016/j.scienta.2003.12.011

Hu, Q., Miyashita, H., Iwasaki, I., Kurano, N., Miyachi, S., Iwaki, M., 1998. A photosystem I reaction center driven by chlorophyll d in oxygenic photosynthesis. Plant Biol. 95, 13319–13323. doi:10.1073/pnas.95.22.13319

Jedmowski, C., Ashoub, A., Brüggemann, W., 2013. Reactions of Egyptian landraces of Hordeum vulgare and Sorghum bicolor to drought stress, evaluated by the OJIP fluorescence transient analysis. Acta Physiol. Plant. 35, 345–354. doi:10.1007/s11738-012-1077-9

Kader, A. A., 1997. Fruit maturity, ripening and quality relationships. Acta Hortic. Leuven. 485, 203-208.

Krishnamurthy, S., Subramanyam, H., 1970. Respiratory climateric and chemical changes in the mango fruit, *Mangifera indica* L.. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 95, 133-137.

Lu, P., Chacko, E.K., Bithell, S.L., Schaper, H., Wiebel, J., Cole, S., Müller, W.J., 2012. Photosynthesis and stomatal conductance of five mango cultivars in the seasonally wet-dry tropics of northern Australia. Sci. Hortic. (Amsterdam). 138, 108–119. doi:10.1016/j.scienta.2012.02.019

Lu, P., Müller, W.J., Chacko, E.K., 2000. Spatial variations in xylem sap flux density in the trunk of orchard-grown, mature mango trees under changing soil water conditions. Tree Physiol. 20, 683–692. doi:10.1093/treephys/20.10.683

Lucena, C.C., Siqueira, D.L., Martinez, H.E.P., Cecon, P.R., 2012. Salt stress change chlorophyll fluorescence in mango. Rev. Bras. Frutic. 34, 1245–1255.

Lucena, E.M.P., Assi, J.S., Alves, R.E., Silva, V.C.M., Filho, J.E., 2007. Alterações físicas e químicas durante o desenvolvimento de mangas “Tommy Atikins” no

Vale do São Francisco, Petrolina-PE. Rev. Bras. Frutic. 29, 96–101.

Mata, G.M.S.C., Oliveira, D.S., Della Lucia, C.M., Campos, F.M., Queiroz, J.H., Pinheiro-Sant'ana, H.M., 2011. Teores de β-caroteno e vitamina C durante o amadurecimento da manga " UBÁ " (Mangifera indica L . var . Ubá). Rev. Inst. Adolfo Lutz 70, 225–229.

Moita Neto, J.M., Moita, G.C., 1998. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. Quim. Nova 21, 467–469. doi:10.1590/S0100-40421998000400016

Nabil, I.E., Kun-Fang, C., 2008. Gas exchange, chlorophyll fluorescence, and osmotic adjustment in two mango cultivars under drought stress. Acta Physiol. Plant. 30, 769–777. doi:10.1007/s11738-008-0179-x

Neto, M.T.C., 2003. Efeito do Déficit Hídrico na Transpiração e Resistência Estomática da Mangueira. Rev. Bras. Frutic. 25, 93–95.

Oliveira, M.D.E., Oliveira, R.C.D.E., Martins, T.S., 2012. Manejo de água da mangueira "Palmer" com uso de regulação de déficit de irrigação nas condições do Norte de Minas, in: XXII Congresso Brasileiro de Fruticultura. pp. 3790–3793.

Oliveira, R. a., Tagliaferre, C., Sediyama, G.C., Materam, F.J. V., Cecon, P.R., 2008. Desempenho do irrigâmetro na estimativa da evapotranspiração de referência. Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient. 12, 166–173. doi:10.1590/S1415-43662008000200009

Pongsomboon, W.; Subhadrabandhu, S.; Stephenson, R. A., 1997. Some aspects of the ecophysiology of flowering intensity of mango (Mangifera indica L.) cv. Nam Dok Mai in a semi-tropical monsoon Asian climate. Sci. Hortic. 70, 45-56.

Saito, K., Ishida, T., Sugiura, M., Kawakami, K., Umena, Y., Kamiya, N., Shen, J.R., Ishikita, H., 2011. Distribution of the cationic state over the chlorophyll pair of the photosystem II reaction center. J. Am. Chem. Soc. 133, 14379–14388. doi:10.1021/ja203947k

Silva, A.C., Leonel, S., Souza, A.P., Vasconcellos, M.A.S.., Rodrigues, J.D., Ducatti, C., 2011b. Alocação de fotoassimilados marcados e relação fonte-dreno em figueiras cv. Roxo de Valinhos. 1. Relação fonte e dreno. Rev. Bras. Ciências Agrárias 6, 419–426. doi:10.5039/agraria.v6i3a989

Silva, D.F.P. Da, Salomão, L.C.C., Cecon, P.R., Siqueira, D.L., Rocha, A., 2011a.

Anticipation of “ubá” mango ripening with preharvest ethephon application. Ciência Rural 41, 63–69. doi:10.1590/S0103-84782011000100011

Silva, D.F.P. Da, Salomão, L.C.C., Siqueira, D.L., Cecon, P.R., Struiving, T.B., 2012. Amadurecimento de manga “Ubá” com etileno e carbureto de cálcio na pós-colheita. Ciência Rural 42, 213–220. doi:10.1590/S0103-84782012005000009

Sousa, J.P. De, Praça, E.F., Alves, R.E., Bezerra Neto, F., Dantas, F.F., 2002. Influência do armazenamento refrigerado em associação com atmosfera modificada por filmes plásticos na qualidade de mangas ’Tommy Atkins. Rev. Bras. Frutic. 24, 665–668. doi:10.1590/S0100-29452002000300023

Spreer, W., Ongprasert, S., Hegele, M., Wünsche, J.N., Müller, J., 2009. Yield and fruit development in mango (Mangifera indica L. cv. Chok Anan) under different irrigation regimes. Agric. Water Manag. 96, 574–584. doi:10.1016/j.agwat.2008.09.020

Stirbet, A., Riznichenko, G.Y., Rubin, A.B., Govindjee, 2014. Modeling chlorophyll a fluorescence transient: relation to photosynthesis. Biochemistry 79, 291–323. doi:10.1134/S0006297914040014

Strasser, B. J.; Strasser, R. J., 1995. Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: The JIP-test. In: P. Mathis, (Ed.) Photosynthesis: from Light to Biosphere. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, pp. 977-980.

Strasser, R. J.; Srivastava, M.; Tsimilli-Michael, M., 2000. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. In: Yunus M, Pathre U, Mohanty P (Ed.) Probing photosynthesis: mechanisms, regulation and adaption. Taylor & Francis, London, pp 445–483.

Strasser, R.J., Tsimilli-Michael, M., Srivastava, A., 2004. Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient. In: Papageorgiou, G.C. (Ed.), Chlorophyll a Fluorescence: A Signature of Photosynthesis, Advances in Photosynthesis and Respiration. Springer, Rotterdam, pp. 321–362.

Strasser, R. J.; Tsimilli-Michael, M.; Qiang, S.; Goltsev, V., 2010. Simultaneous in vivo recording of prompt and delayed fluorescence and 820 nm reflection changes during drying and after rehydration of the resurrection plant Haberlea rhodopensis.

Biochim. Biophys. Acta (BBA) – Bioenerg. 1797, 1313–1326.

Van Wittenberghe, S., Alonso, L., Verrelst, J., Moreno, J., Samson, R., 2015. Bidirectional sun-induced chlorophyll fluorescence emission is influenced by leaf structure and light scattering properties — A bottom-up approach. Remote Sens. Environ. 158, 169–179. doi:10.1016/j.rse.2014.11.012

Yashoda, H.M., Prabha, T.N., Tharanathan, R.N., 2006. Mango ripening: Changes in cell wall constituents in relation to textural softening. J. Sci. Food Agric. 86, 713–721. doi:10.1002/jsfa.2404.

CAPÍTULO 2

[A ser submetido à publicação no periódico *Scientia Horticulturae* (ISSN 0304-4238)]

EFEITOS DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA NO METABOLISMO FOTOQUÍMICO DAS FOLHAS DA MANGUEIRA 'UBÁ' E NA QUALIDADE DOS FRUTOS PRODUZIDOS

EFFECTS OF PHOTOSYNTHETICALLY ACTIVE RADIATION IN METABOLISM PHOTOCHEMICAL OF LEAFS OF 'UBA' MANGO TREE AND IN THE FRUIT QUALITY

RESUMO

Este trabalho avaliou as respostas da intensidade da radiação solar sobre os parâmetros fotoquímicos das folhas da mangueira 'Ubá' em diferentes períodos de análise: I – Fase de crescimento dos frutos; II – Fase de amadurecimento dos frutos; III - Após a colheita dos frutos e IV - Após a poda das plantas. Foram analisados também os teores de sólidos solúveis totais (SST), acidez titulável (AT) e a razão SST/AT dos frutos produzidos. Devido ao relevo acidentado foi possível identificar, de acordo com a posição das plantas em relação ao nascer do Sol, duas condições de luz. Sendo assim, as mangueiras foram caracterizadas como plantas conduzidas do lado leste (LL) e plantas conduzidas do lado oeste (LO). Às 11h da manhã, com o aumento brusco da radiação e da temperatura, houveram danos fotoinibitórios nas plantas LO. Durante o período I, os parâmetros fotoquímicos que melhor explicaram o dano fotoinibitório foram TR_0/RC e ET_0/RC (Fluxo de captura e transporte de elétrons após a redução da Quinona A, por centro de reação ativo). Já durante o período II, foram os fluxos específicos de energia (TR_0/RC, ET_0/RC, RE_0/RC) e o rendimento/eficiência quântica (ΨE_0, φE_0, φR_0). Como forma de adaptação ao excesso de luz e temperatura, o índice de clorofila (Chl) e a densidade de centros de reação fotossinteticamente ativos por secção transversal (RC/CS_0) nas plantas LO foram mais elevados. Com isso, os frutos

originados dessas plantas apresentaram SST e SST/AT mais altos. Portanto, apesar do efeito conjugado da alta radiação e temperatura ter provocado fotoinibição nas folhas da mangueira ‘Ubá’ durante a fase reprodutiva, as plantas sob essas condições apresentaram adaptações nas estruturas do aparelho fotossintético e produziram frutos com maior doçura.

Palavras-chave: Manga, fluorescência da clorofila *a*, estresse, fotoinibição.

ABSTRACT

This study evaluated the responses of the solar radiation intensity on photochemical parameters of 'Uba' mango leaves in different periods of analysis: : I - Fruit growth, II – fruit ripening , III - After fruit harvest and IV - After pruning the plants. The fruit were analyzed for total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA) and TSS/TA. The crop area was classified of according to the sunrise in two light conditions. Thus, the mango trees were characterized as plants conducted on the East Side (ES) and conducted on the West Side (WS). At 11 am, with the sharp increase in radiation and temperature, was detected a photoinhibitory damage in WS plants. The photochemical parameters that indicated the photoinhibitory damage during the period I, were TR_0/RC and ET_0/RC (capture flow and transport of electrons after reducing the Quinone A, by active reaction center). For the period II, were the specific energy flows (TR_0/RC, ET_0/RC, RE_0/RC) and yield/quantum efficiency (ΨE_0, φE_0, φR_0).The content of chlorophyll (Chl) and the density of the active photosynthetic reaction centers per cross section (RC/CS_0) were higher in the WS plants, probably a mechanism for adaption to the excessive light and temperature. We believe that these mechanisms was relevant for increasing the TSS and TSS/TA of the fruit originated from these plants. As a result, the combined effects of high radiation and temperature have caused photoinhibition in the 'Uba' mango leaves during the reproductive phase, leading the plants under these conditions to have adaptations in the photosynthetic apparatus structures that improved the fruit sweetness.

Keywords: Mango, chlorophyll *a* fluorescence, stress, photoinhibition.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por frutas e hortaliças dentro de uma dieta balanceada, com alto valor nutricional, aumentou o consumo *in natura*. Neste contexto, destaca-se o Brasil cujo agronegócio e fruticultura tem se expandido de forma a ocupar o terceiro lugar mundial em produção de frutas (FAOSTAT, 2013).

A cultivar Ubá é uma variedade da mangueira (*Mangifera indica* L.) que produz frutos com altas concentrações de carotenoides e vitamina C, que são antioxidantes eficientes no combate a radicais livres (Benevides et al., 2008; Mata et al., 2011). Além dessas características, a elevada produtividade, cor atrativa de polpa e altos teores de sólidos solúveis, tornam a manga 'Ubá' preferida pelas indústrias de processamento de polpa e produção de suco (Silva et al., 2012). Devido a esta demanda e com intuito de diversificar a renda de produtores rurais na região, foi criado em 2003 o Polo de Manga para a Indústria no estado do Espírito Santo (Incaper, 2009).

Com o aumento das áreas de cultivo intensificaram-se os estudos sobre a qualidade dos frutos de mangueira 'Ubá', no entanto pouco se sabe sobre as respostas fisiológicas destas plantas aos estresses causados pelas diferentes formas de cultivo acompanhadas pelas alterações no regime de chuva e luminosidade.

O aumento da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) resulta em maior assimilação de CO_2, devido ao aumento da fotossíntese, mas este aumento também é dependente da concentração de CO_2 na atmosfera e do nível de saturação por luz de cada planta (Rakić et al., 2015). O excesso de luminosidade nas folhas seguido por altas temperaturas pode causar danos irreparáveis tanto às estruturas do fotossistema II (FSII) quanto do fotossistema I (FSI) e é conhecido como fotoinibição (Jones and Kok, 1966; Adir et al., 2003; Mlinarić et al., 2016). Condições fotoinibitórias ocorrem quando a capacidade dos processos bioquímicos da fotossíntese é insuficiente para utilizar os elétrons produzidos pelas reações fotoquímicas. Tal situação cria um excesso de energia de excitação que conduz à diminuição do pool de plastoquinona (PQ) e modifica o funcionamento dos receptores de elétrons do FSII (Zhang et al., 2015). O aumento da temperatura ao longo do dia também causa inibição da atividade

do FSII pela desaceleração da redução da quinona A (Q_A) e diminuição do transporte de elétrons para além da quinona A reduzida (Q_A^-) (Zivcak et al., 2015).

Uma fotoinibição severa e prolongada, geralmente denominada fotodano ou fotoinibição crônica, diminui a eficiência do aprisionamento de energia não só por danificar o complexo de evolução de oxigênio, mas também por degradar a proteína D1. Isso gera uma super-redução de Q_A, provocada pelo desbalanço entre as taxas de redução de Q_A pelo FSII e a taxa de reoxidarão de Q_A pelo FSI (Murchie et al., 2015). Também é necessário considerar que ocorre reparação contínua dos centros de reação do FSII danificados, associado ao rápido turnover da proteína D1. Observações de fotoinibição crônica são geralmente obtidas durante a pré-manhã, quando as plantas começam a receber os primeiros raios solares e os danos ao FSII, ocorridos no dia anterior, ainda não foram reparados (Demmig-Adams et al., 2012).

A fotoinibição dinâmica ocorre quando nas horas mais quentes do dia há transformação da energia luminosa em calor e a diminuição na eficiência quântica do FSII é rapidamente recuperada (Niinemetsa e Keenanba, 2014).

Existem consistentes evidências de que a diminuição do rendimento quântico resultante da inativação da fotossíntese durante períodos de alta luminosidade e altas temperaturas pode afetar significativamente o rendimento e a produtividade de importantes culturas (Murchie et al., 2015), razão porque os estudos das variações ambientais em culturas com potencial de sustentabilidade são tão necessários.

Uma das ferramentas mais utilizadas para averiguar o rendimento fotoquímico diante de condições ambientais adversas é a fluorescência da clorofila *a* (Strasser et al., 2004), medida de forma não destrutiva por meio de fluorômetros portáteis. Esta técnica permite extrapolar os detalhes da fase fotoquímica para a fase bioquímica, com obtenção de informações qualitativas e quantitativas das condições fisiológicas do aparelho fotossintético (Stirbet et al., 2014; Van Wittenberghe et al., 2015).

Sabendo-se que as mudanças na intensidade de radiação solar sobre as estruturas dos fotossistemas podem alterar a eficiência fotoquímica e consequentemente a qualidade dos frutos produzidos pela planta, este trabalho buscou avaliar e discutir as respostas da intensidade de radiação solar sobre os parâmetros fotoquímicos das folhas

da mangueira ‘Ubá’ e da qualidade dos frutos produzidos, relacionando-os às diferentes fases de desenvolvimento da planta.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material vegetal e condições de cultivo

O trabalho foi realizado durante a transição das fases reprodutiva e vegetativa da mangueira (*Mangifera indica* L. cv. Ubá), entre os meses de dezembro/2014 e fevereiro/2015. A coleta de dados foi realizada em um pomar do Polo de Manga para a Indústria no Noroeste do Estado do Espírito Santo, situado no município de Colatina (19º 33’ 53,52’’ S, 40º 44’ 23,86’’ O e altitude de 80 m). As plantas estavam com oito anos de idade e eram conduzidas sob sequeiro, ou seja, sem irrigação.

Devido ao relevo acidentado foi possível identificar, de acordo com a posição das plantas em relação ao nascer do Sol, duas condições de luz. Sendo assim, as mangueiras foram caracterizadas como plantas conduzidas do lado leste (LL) e plantas conduzidas do lado oeste (LO). Na fileira que recebia raios solares predominantemente pela manhã (LL) foram demarcadas dez plantas e cada planta considerada uma unidade experimental. O mesmo foi feito na fileira que recebia raios solares predominantemente pela tarde (LO). As fileiras estavam distantes 40 metros uma da outra, motivo pelo qual as demais variáveis ambientais e os tratos culturais foram os mesmos nas duas condições de luz (LL e LO).

Os dados foram coletados durante quatro períodos de análise: I – Fase de crescimento dos frutos (antes de atingirem o ponto de maturidade fisiológica) e II – Fase amadurecimento dos frutos (após os frutos atingirem o ponto de maturidade fisiológica); III – Após a colheita (uma semana após a colheita dos frutos) e IV- Após a poda (uma semana após a poda de produção).

A radiação fotossinteticamente ativa (RFA) foi registrada entre 5:00 e 18:00h (horário solar), com sensores LI-190SA (LI-COR, Lincoln, NE) conectados a um data logger LI-1400 (LI-COR Biosciences). Os sensores foram fixados externamente ao

pomar, fora da projeção da copa das plantas da primeira fileira, 1,5 m acima do solo durante todos os períodos de análise.

A temperatura nas folhas foi acompanhada entre 7:00 e 10:00h com termômetro digital infravermelho (TFA, NO.31.1108). As medidas foram realizadas nas mesmas folhas utilizadas nas análises da fluorescência rápida da clorofila *a*.

Os dados de precipitação foram obtidos na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada em Aimorés-MG (19º 31’ 57,96’’ S, 41º 05’ 26,88’’ O e altitude de 288 m) (Figura 1).

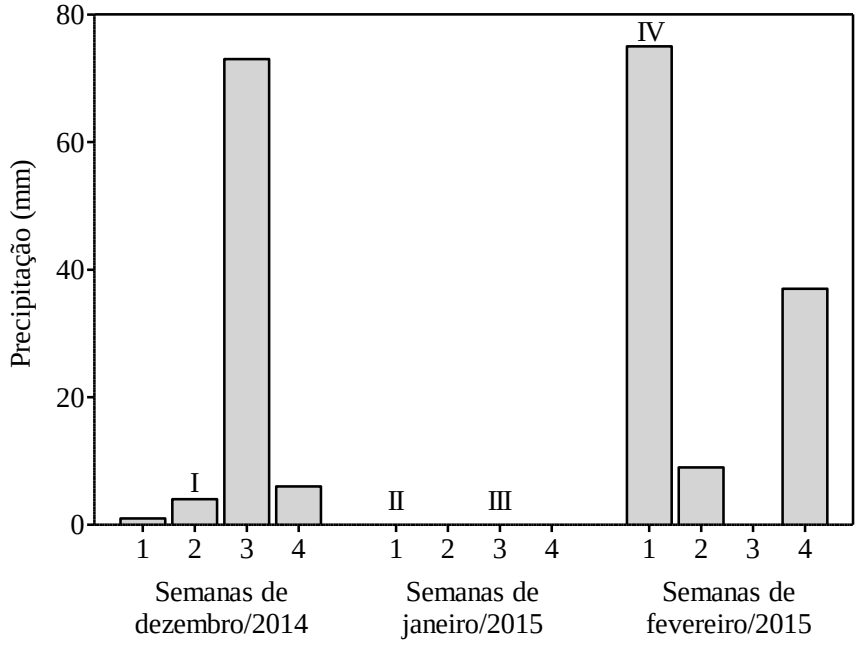

Figura 1 – Precipitação hídrica (mm) nas respectivas semanas de cada período de análise (I - Fase de crescimento dos frutos, II - Fase de amadurecimento dos frutos, III - Após a colheita, IV - Após a poda.). Dados coletados na estação meteorológica do INMET instalada em Aimorés-MG, 37 km distante linearmente do pomar.

2.2. Fluorescência rápida da clorofila *a*

A cinética da fluorescência rápida da clorofila *a* foi registrada com um fluorômetro portátil, modelo Handy-PEA (Hansatech Instruments, King’s Lynn, Norfolk, UK). Para tornar o sistema coletor de luz das folhas totalmente receptivo, isto é, para a oxidação completa dos centros de reação, três folhas jovens e completamente maduras (quarta a sexta folha a partir do ápice), localizadas em ramos do terço médio

de cada planta foram adaptadas ao escuro por 40 minutos. As medidas foram realizadas entre 7:00 e 9:00h.

Tabela 1 – Siglas, fórmulas e explanação dos parâmetros do teste JIP usados neste estudo, segundo Strasser et al., 2010.

Sigla	Equações ou similares	Significado
ABS/RC	M_0 $(1/V_J)$ $(1/\varphi P_0)$	Fluxo de absorção (das clorofilas da antena) por centro de reação. Também é uma medida do tamanho aparente da antena do FSII.
DI_0/RC	ABS/RC -TR_0/RC	Fluxo de energia dissipada, por centro de reação.
TR_0/RC	M_0 $(1/V_J)$	Fluxo de energia capturada (levando à redução da Quinona A) por centro de reação.
ET_0/RC	M_0 $(1/V_J)$ ψ_0 = (M_0/V_J) ψ_0 = (M_0/V_J) $(1-V_J)$	Fluxo de transporte de elétrons (após a redução da Quinona) por centro de reação.
RE_0/RC	M_0 $(1/V_J)$ ψ_{E0} δ_{R0} = (RE_0/ET_0) (ET_0/RC)	Fluxo de elétrons redutores dos receptores finais de elétrons do FSI por centro de reação.
φP_0	Fv/Fm = TR_0/ABS	Rendimento quântico máximo das reações de óxido-redução ocorridas no FSII. Rendimento quântico máximo do FSII.
ΨE_0	ET_0/TR_0	Eficiência com que um elétron se move na cadeia de transporte de elétrons após a redução da Quinona A.
φE_0	ET_0/ABS	Rendimento quântico do transporte de elétrons
δR_0	RE_0/ET_0	Eficiência com que um elétron dos carregadores de elétrons do intersistema é transferido para reduzir receptores de elétrons do lado receptor do FSI.
φR_0	RE_0/ABS	Rendimento quântico da redução de receptores finais de elétron do lado receptores do FSI
PI_{ABS}	(RC/ABS) $(\varphi P_0/(1-\varphi P_0))$ $(\psi E_0/(1-\psi E_0))$	Índice de Performance (potencial) da conservação de energia de fótons absorvidos pelo FSII para a redução dos receptores de elétrons do interssistema. Índice de desempenho potencial do FSII.
PI_{TOTAL}	PI_{ABS} $(\delta R_0/(1-\delta R_0))$	Índice de Performance (potencial) para a conservação de energia dos fótons absorvidos pelo FSII para a redução dos receptores finais do FSI. Índice de desempenho fotoquímico total.
RC/CS_0	ϕP_0 (V_J/M_0)(ABS/CS)	Centros de reação ativos do FSII por secção transversal. Centros de reação redutores de QA por área de secção transversal.

Subscrito "0" indica que o parâmetro refere ao início de iluminação, assumindo-se que todos os RCs estejam abertos.

A cinética da fluorescência da clorofila *a* foi estimada após as amostras serem submetidas a um pulso saturante de luz vermelha de cerca de 3000 μmol m^{-2} s^{-1}. As

intensidades de fluorescência foram registradas entre 20 µs e 1 s, onde: 20µs foi a fluorescência inicial (F_0) e 300ms a fluorescência máxima (F_M). A partir das intensidades de fluorescência foram calculados os parâmetros estabelecidos pelo Teste JIP (Strasser and Strasser, 1995; Strasser et al., 2000) apresentados na Tabela 1.

Os teores de clorofila foram determinados com um clorofilômetro portátil Minolta SPAD-502 e expressos em unidades relativas, como índice de clorofila (Chl) (CASSOL et al., 2008). As medidas foram realizadas nas mesmas folhas utilizadas para as leituras da fluorescência da clorofila *a*.

2.3. Pós-colheita dos frutos

Para avaliar a qualidade dos frutos foram analisados os sólidos solúveis totais (SST), a acidez titulável (AT) e a relação SST/AT. A AT foi determinada por titulometria com solução de NaOH 0,1 M e representada em % de ácido cítrico (AOAC, 1995). Os SST foram expressos em ºBrix com o uso do refratômetro manual modelo 103 (Biobrix) e em seguida foi calculada a relação SST/AT segundo sugerido por Kader (1997).

Os frutos foram coletados no estádio maduro, quando a cor da casca estava amarela com pontos pretos e o pecíolo era facilmente destacado da planta, segundo descrição de Yashoda et al. (2006). Após a colheita, os frutos foram transportados para o laboratório de pós-colheita do Núcleo de Estudos em Fotossíntese da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), higienizados, despolpados e avaliados imediatamente. Para validação estatística dos dados os frutos foram separados aleatoriamente em três repetições, contendo três frutos cada.

2.4. Estatística

O delineamento experimental utilizado para todas as variáveis foi o inteiramente casualizado. Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e as médias ao teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade ($\alpha = 0,05$) utilizando-se o Statistical Analysis Software (SAS, versão 9.0). A fluorescência variável relativa das

plantas conduzidas do lado leste (LL) foi tomada como referência (= 0%) devido à variação de RFA ser gradativa ao longo do dia. As médias foram transformadas em porcentagem em relação aos dados das plantas LL e representadas em gráficos do tipo radar. As correlações apresentadas foram as de Pearson e tanto as análises quanto os gráficos foram elaborados no programa GraphPad Prism, versão 5.03.

3. RESULTADOS

3.1. Fluorescência rápida da clorofila *a*

As variações de RFA podem ser observadas na Figura 2. Pela manhã, as plantas LL estavam expostas à RFA média de 890 µmol m^{-2} s^{-1}, com aumento gradativo de 0 a 1900 µmol m^{-2} s^{-1}. Por outro lado, as plantas LO estavam expostas à RFA média de 180 µmol m^{-2} s^{-1} e, por volta das 11 horas da manhã, ocorria um aumento repentino, partindo de 300 para 1800 µmol m^{-2} s^{-1}. Ao meio dia, a RFA era em torno de 1900 µmol m^{-2} s^{-1} e atingia ambas as condições de luz (LL e LO). À tarde, as plantas LL passavam a receber RFA média de 350 µmol m^{-2} s^{-1}, isso porque ocorria uma queda brusca por volta das 14 horas da tarde, passando de 1500 para 300 µmol m^{-2} s^{-1}. Entre estes mesmos horários à tarde, as plantas LO recebiam em média 850 µmol m^{-2} s^{-1} e a diminuição era gradativa. Portanto, pela manhã as plantas LL receberam RFA cerca de cinco vezes mais alta do que as plantas LL e nos horários da tarde as plantas LL receberam RFA três vezes mais baixa que as plantas LO.

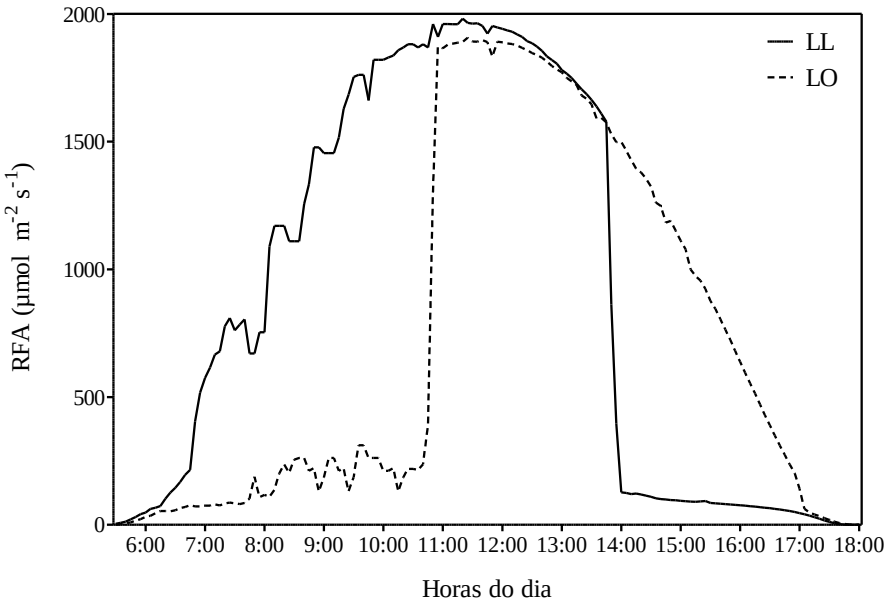

Figura 2 – Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA) média na área de estudo da mangueira (*Mangifera indica* L.) cv. Ubá, no município de Colatina (19º33'53''S, 40º44'2386''O, alt. 80 m) entre dezembro/2014 e fevereiro/2015. LL = plantas conduzidas do lado leste, LO = plantas conduzidas do lado oeste.

A temperatura das folhas, medida entre 07:00 e 10:00h, variou de 25 a 28º C nas folhas das plantas de LO e de 32 a 35º C nas folhas das plantas LL (Figura 3).

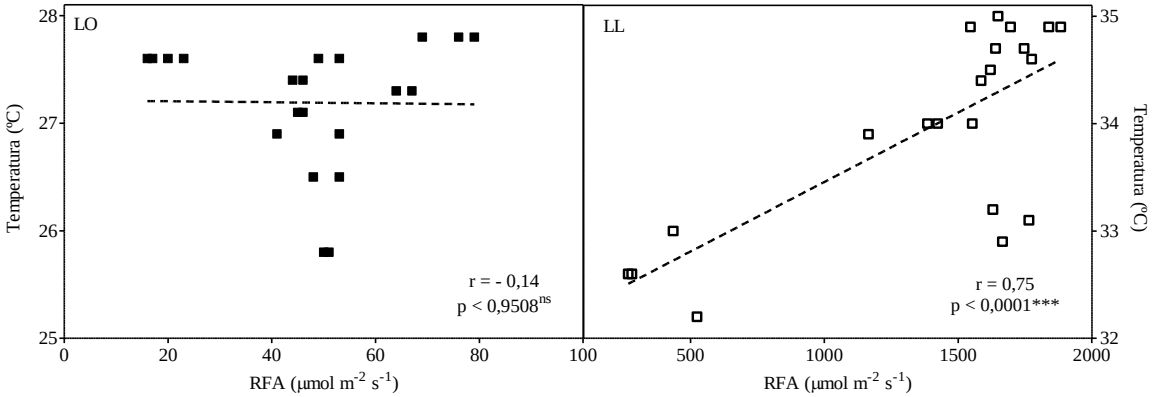

Figura 3 – Correlação entre Radiação Fotossinteticamente Ativa - RFA (µmol m^{-2} s^{-1}) e temperatura da folha (ºC), entre 07:00 e 10:00 horas da manhã nas plantas conduzidas do lado oeste (■ LO) e do lado leste (□ LL).

Abaixo de 80 µmol m^{-2} s^{-1} as variações na RFA não causaram alterações significativas na temperatura e acima de 250 µmol m^{-2} s^{-1} houve alta correlação

positiva da RFA com a temperatura. Em média, a temperatura aumentou 1 ºC a cada 500 µmol m^{-2} s^{-1}.

As condições fisiológicas do aparelho fotossintético (rever siglas na Tabela 1) e os índices de clorofila (Chl) estão representados na Figura 4.

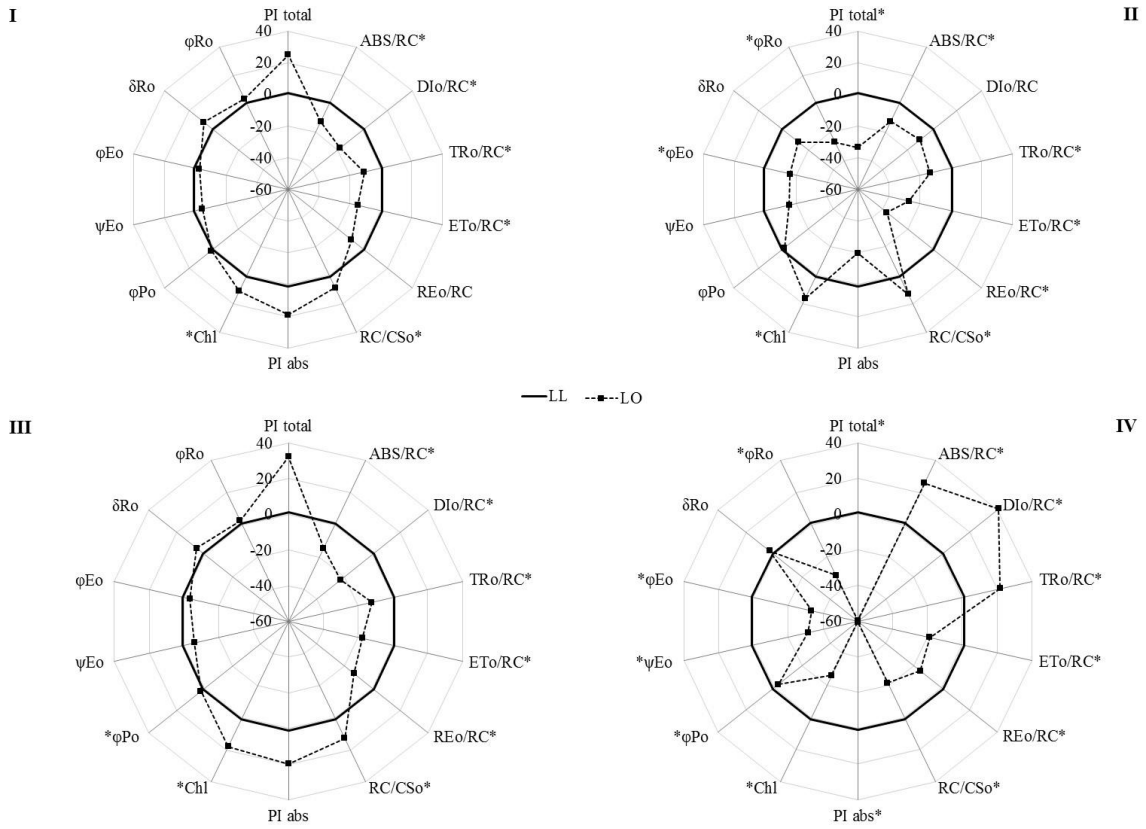

Figura 4 – Parâmetros da fluorescência da clorofila *a* obtidos pelo Teste JIP (rever Tabela 1) e índice de clorofila (Chl) nos períodos de análise: I = Crescimento dos frutos, II = Amadurecimento dos frutos, III = Após a colheita, IV = Após a poda, da mangueira 'Ubá'. LL = plantas conduzidas do lado leste, LO = plantas conduzidas do lado oeste. As unidades relativas foram normalizadas tomando-se os valores de LL como referência (=100%). *Diferiram estatisticamente quando os dados foram submetidos ao teste Duncan (α = 0,05).

Observa-se que os índices de clorofila das folhas obtidos durante os períodos I (fase de maturação dos frutos), II (fase de amadurecimento dos frutos), III (após a colheita) e IV (após a poda) foram, respectivamente, 50, 48, 47 e 50 nas plantas LL e 56, 56, 55 e 37 nas plantas LO. Nos três primeiros períodos de análise (I, II e III) este índice foi aproximadamente 20% maior nas plantas LL enquanto que no período IV

ocorreu o oposto, isto é, as plantas LL apresentaram teor de clorofilas 25% maior do que as plantas LO.

A densidade dos centros de reação fotossinteticamente ativos por secção transversal, ou seja, a redução de Q_A no centro de reação ativo (RC/CS_0), foi aproximadamente 10% maior nas plantas LO durante os períodos I, II e III. Já no período IV as plantas LL apresentaram RC/CS_0 aproximadamente 21% maior.

Na Figura 5 é possível observar a forte correlação positiva existente entre o índice de clorofila e RC/CS_0. Os menores valores de Chl e RC/CS_0 foram registrados nas plantas LO no período IV.

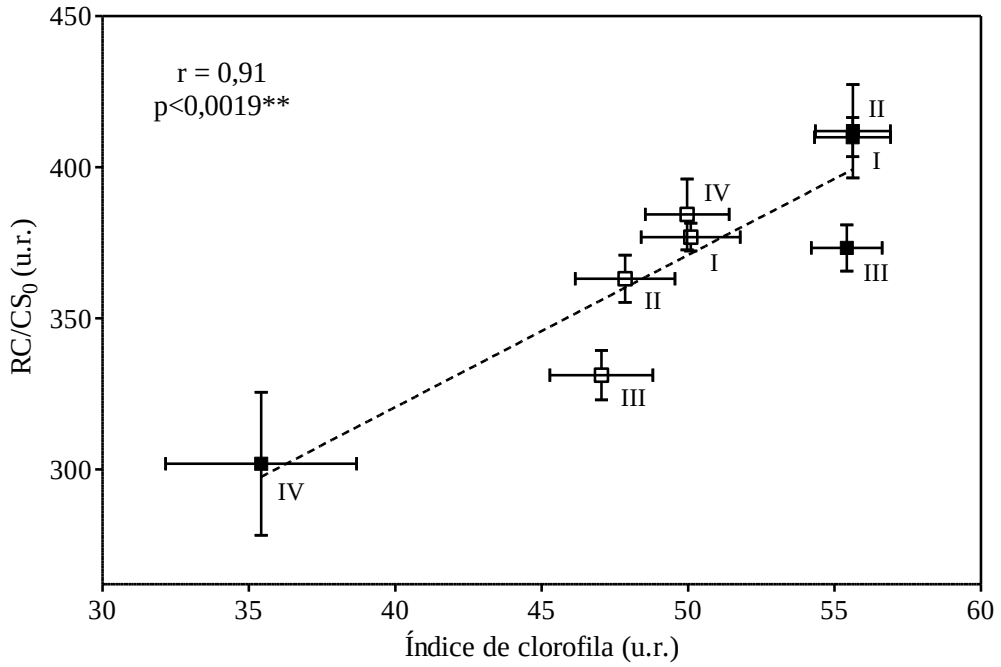

Figura 5 – Correlação positiva do índice de clorofila (Chl) com a densidade de centros de reação fotossinteticamente ativos por secção transversal (RC/CS_0). Os pontos representam as médias por período de análise (I-crescimento dos frutos, II-amadurecimento dos frutos, III-após a colheita e IV-após a poda) das plantas LL (□) e LO (■). As barras indicam o erro padrão da média com n=10.

Os fluxos de energia específicos de absorção (ABS/RC) e captura (TR_0/RC) de elétrons para redução da Quinona A (Q_A) nas plantas LL foram aproximadamente 15% maiores nos períodos I, II e III. O mesmo ocorreu com o transporte (ET_0/RC) dos elétrons após a Quinona A reduzida (Q_A^-) em todos os períodos de análise, e com o

fluxo de dissipação de energia por centro de reação (DI_0/RC) nos períodos I e III. O oposto foi observado no período IV, onde as plantas LO apresentaram valores maiores de ABS/RC, TR_0/RC (aproximadamente 25% maiores) e DI_0/RC (40% maior). O fluxo de elétrons para redução dos receptores finais do FSI (RE_0/RC) nas plantas LL apresentou valores 15% maiores nos períodos III e IV, e 35% maior no período II.

O rendimento quântico máximo das reações de óxido-redução ocorridas no FSII (φP_0 = Fv/Fm = TR_0/ABS) no período III foi 3% maior nas plantas LO e no período IV 3% maior nas plantas LL. Não houve diferença significativa para φP_0 nos períodos I e II. Na Figura 6 é possível observar a correlação negativa existente entre φP_0 e DI_0/RC. Os menores valores de φP_0 foram obtidos pelas plantas LL no período III e pelas plantas LO no período IV.

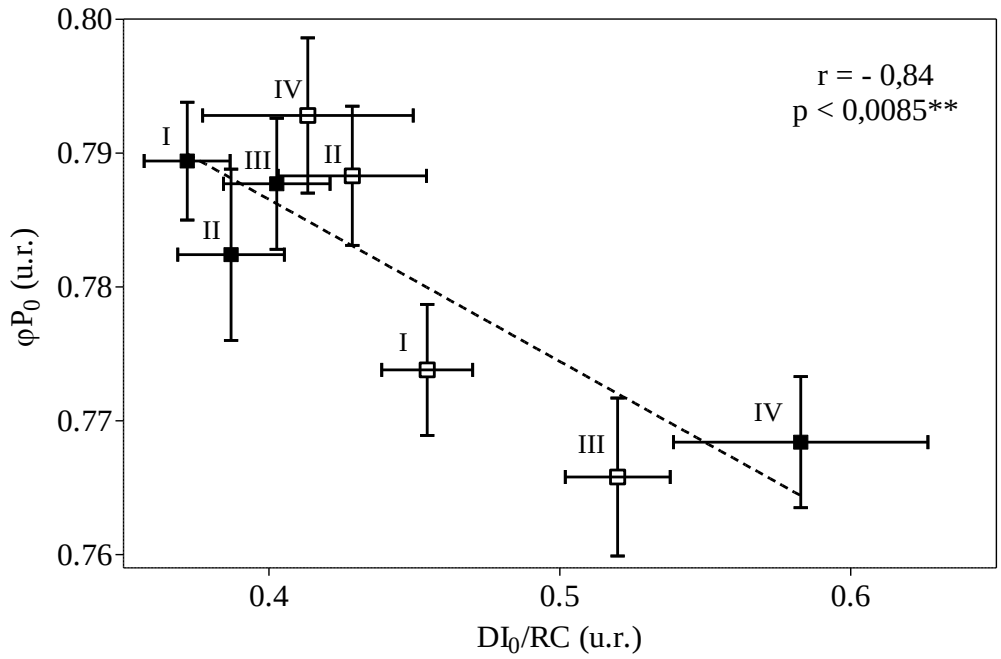

Figura 6 – Correlação negativa do fluxo de dissipação de energia por centro de reação (DI_0/RC) com o rendimento quântico máximo do início da etapa fotoquímica no FSII (φP_0). Os pontos representam as médias por período de análise (I-crescimento dos frutos, II-amadurecimento dos frutos, III-após a colheita e IV-após a poda) das plantas LL (□) e LO (■). As barras indicam o erro padrão da média com n=10.

A eficiência no transporte de elétrons para além de Q_A^- (ΨE_0 = ET_0/TR_0) e o rendimento quântico do transporte de elétrons (φE_0 = ET_0/ABS) nas plantas LL

mostraram-se 15% maiores nos períodos II e 30% maiores no período IV. No período I e III não houve diferença significativa para estes dois parâmetros. Ou seja, em geral, as plantas LL apresentaram maior eficiência no transporte de elétrons, independente do período de análise.

O aproveitamento dos elétrons transportados após a redução de Q_A para redução dos receptores finais do FSI, ou seja, a eficiência com que o elétron se move do intersistema até o receptor final de elétrons no FSI ($\delta R_0 = RE_0/ET_0$) foi semelhante em todos os períodos de análise. Tanto na fase reprodutiva como após a colheita dos frutos e poda de produção, não houve diferença significativa no aproveitamento dos elétrons transportados. Porém, o rendimento quântico no transporte de elétrons de Q_A^- para o receptor final do FSI ($\varphi R_0 = RE_0/ABS$), das plantas LL foi aproximadamente 30% maior em relação as plantas LO, nos períodos II e IV.

O índice de desempenho do FSII (PI_{ABS}) foi estatisticamente diferente entre LL e LO, somente no período IV, foi observado um desempenho 60% maior nas plantas LL. O índice de desempenho fotoquímico total, ou seja, a eficiência da conservação de energia dos fótons absorvidos pelo FSII para redução dos receptores finais do FSI (PI_{TOTAL}), foi maior nas plantas LL durante os períodos II e IV, com valores 30% e 60% maiores, respectivamente. Comparado entre os períodos de análise, este índice foi maior no período I em ambas as condições de luz (Figura 7). Tomando o período I como referência, as plantas LL apresentaram PI_{TOTAL} igual no período II, e média de 40% menor nos períodos III e IV. Já as plantas LO apresentaram queda de 50% nos períodos II e III, e 80% no período IV.

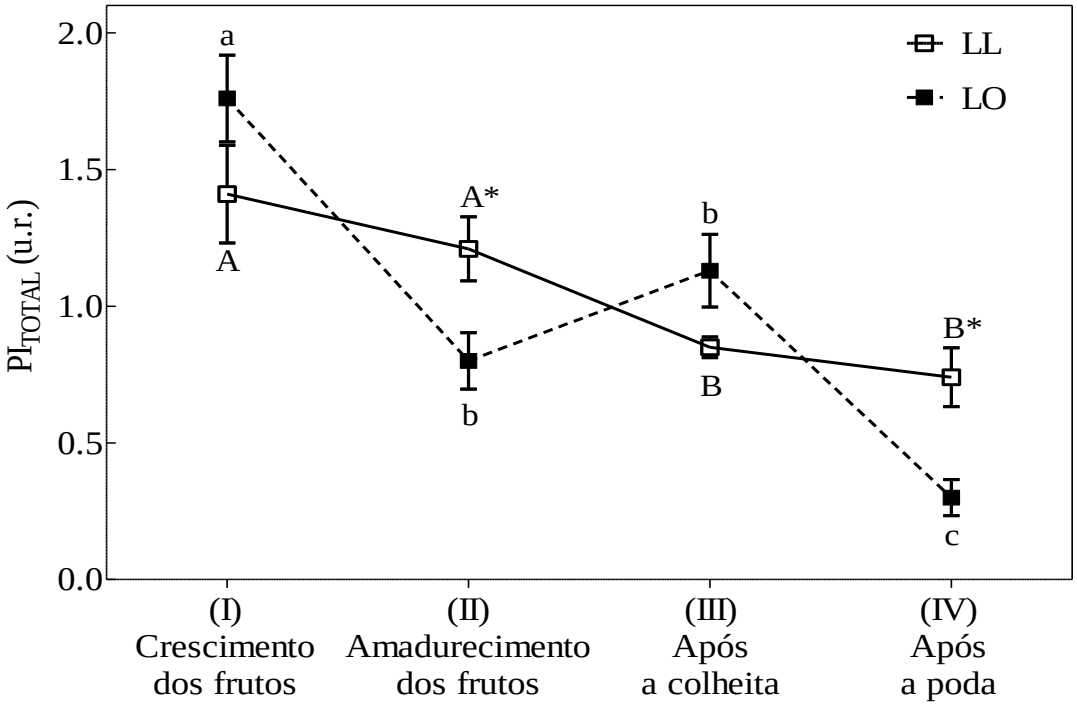

Figura 7 – Índice de desempenho total da fase fotoquímica (PI_{TOTAL}) expresso em unidades relativas da fluorescência, entre os quatro períodos de análise (I, II, III e IV) das plantas conduzidas do lado leste (□ LL) e das plantas conduzidas do lado oeste (■ LO). Letras iguais indicam que não houve diferença significativa entre os períodos, pelo teste Duncan ($\alpha = 0,05$), maiúsculas para LL e minúsculas para LO. * Diferença significativa entre LL e LO no mesmo período, pelo teste Duncan ($\alpha = 0,05$). As barras indicam o erro padrão da média.

3.2. Pós-colheita dos frutos

Na Tabela 2 é possível observar a qualidade química dos frutos de cada condição de luz (LL e LO). Observou-se diferença significativa entre os frutos das plantas LL e LO nos teores de sólidos solúveis totais (SST) e na razão SST/AT. A acidez titulável (AT) foi estatisticamente igual, porém, SST foi 11% mais alto e razão SST/AT 28% maior nos frutos das plantas LO.

Os SST foram em média 19,1 e 21,3 ºBrix nos frutos das plantas LL e LO, respectivamente. A AT foi em média 0,5 e 0,4 % nos frutos das plantas LL e LO, respectivamente. A razão SST/AT foi em média 40,0 e 51,1 nos frutos das plantas LL e LO, respectivamente.

Tabela 2 – Sólidos Solúveis Totais (SST), Acidez Titulável (AT) e razão SST/AT dos frutos completamente maduros de cada condição de luz (plantas conduzidas do lado leste - LL e plantas conduzidas do lado oeste - LO).

Condição de luz	Qualidade química dos frutos		
	SST (ºBrix)	AT (% ácido cítrico)	SST/AT
LL	19,1 ± 0,3	0,5 ± 0,0	40,0 ± 1,8
LO	21,3 ± 0,3 *	0,4 ± 0,1	51,1 ± 5,6 *

* Diferem estatisticamente pelo teste Duncan com α = 0,05 e n=3.

4. DISCUSSÃO

4.1. Consequências da posição das mangueiras 'Ubá' em relação ao nascer do Sol no desempenho fotoquímico das folhas

O curso diário do metabolismo fotossintético em geral e da eficiência fotoquímica do FSII em particular tem sido exaustivamente investigado em plantas perenes, cultivadas em condições controladas e geralmente com variações na intensidade luminosa (Ranjan et al., 2012; Rodríguez-López et al., 2013; Mlinarić et al., 2016). Um dos principais efeitos prejudiciais da conjugação dos estresses luminoso e térmico, que se manifesta ao nível subcelular das folhas, são os danos no aparelho fotossintético, resultando na diminuição da fotossíntese. Weng et al. (2013) observaram para mangas da cultivar Aiwen, em Taiwan na China, que tanto em condições naturais quanto em condições artificiais, ocorre queda da eficiência do FSII com o aumento da irradiância. Quando a medição ocorreu aos 18ºC ou superiores, folhas com maior F_V/F_M de madrugada (indicador de baixo grau de fotoinibição crônica) sempre tiveram maior F_V/F_M a uma dada temperatura e irradiância.

Na região sudeste do Brasil, luz e temperatura têm uma alta correlação positiva, e seus efeitos puderam ser observados ao longo deste estudo. Procurou-se pela primeira vez, explorar os transientes da fluorescência da clorofila *a* obtidos pelo Teste JIP ao longo das fases de amadurecimento e colheita dos frutos da mangueira 'Ubá' e no início do enfolhamento após a poda de produção. As variações na RFA incidente nas

mangueiras estiveram diretamente relacionadas com as oscilações de temperatura nas folhas. Foram a RFA e a temperatura os principais fatores que interferiram na eficiência fotossintética das plantas. As plantas LL se aclimataram naturalmente às oscilações de luz e temperatura do ambiente enquanto as LO, que estiveram sujeitas a maiores variações diárias destes dois fatores, tiveram danos no aparato fotoquímico, bem caracterizados como fotoinibição.

Nesse contexto, o estresse conjugado de luz e temperatura diminuiu ABS/RC, TR_0/RC e ET_0/RC, causando queda na eficiência de transferência da energia absorvida nas antenas para os centros de reação dos FSII durante os períodos I, II e III. Estes resultados fornecem uma base sólida para sugerir que as mudanças induzidas pelo estresse alteraram a organização dos sistemas de pigmento na membrana do tilacóide (Zivcak et al. 2014).

O declínio dos valores de F_V/F_M (φP_0) é um bom parâmetro para acompanhar a inativação dos RC do FSII (Schansker et al., 2014) e quando não ocorre recuperação, tem sido o parâmetro mais mais citado na caracterização da fotoinibição crônica (Demmig-Adams et al., 2012; Murchie et al., 2015). Na mangueira 'Ubá', os valores de F_V/F_M mantiveram-se inalterados ao longo dos períodos I e II em ambos os sistemas de cultivo e só foram observadas diferenças significativas entre as plantas LL e LO durante os períodos III e IV. Como estas diferenças foram muito pequenas, abaixo de 5%, considerou-se como mais confiável a utilização dos valores do índice de desempenho fotossintético global em uma base de absorção (PI_{ABS}).

Segundo Zhang et al., (2015) existem diferenças no tipo de informações contidas nos parâmetros PI_{ABS} e φP_0 que devem ser analisadas cuidadosamente, pois elas podem conter diferentes respostas. Ora, PI_{ABS} é uma expressão multi-paramétrica que combina as três principais etapas funcionais (absorção de energia da luz, captura energia de excitação e conversão da energia de excitação para o transporte de elétrons) que descrevem a atividade fotossintética de um complexo centro de reação do FSII (Strasser et al., 2004; 2010). Em contraste, $\varphi P_0 = F_V/F_M$ contém apenas informações sobre o rendimento quântico da etapa inicial do processo fotoquímico, i.e. o rendimento quântico do FSII. No contexto da fluorescência transiente O-J-I-P, o parâmetro PI_{ABS} é também uma função da fluorescência dos extremos F_0 (passo O) e

F_M (passo P) e também dos passos intermédiários J (F_J em 2 ms) e I (F_I em 30 ms), enquanto que a expressão: $\varphi Po = F_V/F_M$ é derivado apenas dos extremos de fluorescência, F_0 e F_M, e é independente da trajetória que a intensidade de fluorescência alcança. Seguindo essa linha, pode-se afirmar que, se um estresse afetar quaisquer destes componentes, o efeito aparecerá no índice de desempenho do FSII (PI_{ABS}) (Han et al., 2009).

Houve queda significativa de PI_{ABS} no periodo amadurecimento dos frutos (II) e após a poda de produção (IV), mas durante o crescimento dos frutos (I) e após a colheita (III) observou-se PI_{ABS} cerca de 20% maior nas plantas LO. Os aumentos de PI_{ABS} observados nesses períodos podem ser devido ao aumento nos teores de clorofila e na densidade de centros de reação ativos (RC/CS_0). Também nestes períodos (I e III), o fluxo de dissipação de energia (DI_0/RC) foi muito baixo nas plantas LO (cerca de 20% menores) e a eficiência do transporte de elétrons após a redução da Quinona A (ψE_0) não diferiu estatisticamente. Nestas mesmas plantas (LO), após a poda de produção (Período IV), ψE_0 caiu 30% e DI_0/RC aumentou 40% em relação às plantas LL. Force et al. (2003) sugerem que a fotoinibição pode ser melhor identificada pelo aumento em DI_0/RC e pela diminuição de ψE_0 ($=ET_0/TR_0$). Isso sugere que a ocorrência de fotoinibição nas plantas LO foi mais evidente após a poda.

O desempenho fotoquímico total (PI_{TOTAL}) é denominado índice de vitalidade total de uma amostra, pois estende o entendimento do aparato fotoquímico para além do FSII. Para isso, além dos constituintes do PI_{ABS}, o PI_{TOTAL} também leva em consideração a performance das reações de óxido-redução no fotossistema I (FSI). O PI_{TOTAL} na fase de amadurecimento dos frutos diminuiu em relação à fase de crescimento dos frutos e as plantas LO apresentaram PI_{TOTAL} 30% menor do que as plantas LL (Figura 7). No entanto, com a retirada dos frutos (após a colheita) as plantas LO conseguiram manter o desempenho fotoquímico, pois, continham maior densidade de centros de reação (RC/CS_0), enquanto as LL diminuíram o desempenho. Tanto que, nesse período as plantas LL e LO apresentaram PI_{TOTAL} estatisticamente iguais.

No caso particular do FSI, segundo Tikkanen et al. (2014), suas estruturas dificilmente são danificadas, visto que os centros de reação ativos (CR) são

eficientemente protegidos. Porém, quando são afetados, a recuperação é extremamente lenta. Suorsa et al. (2012) afirmam que a radiação é danosa para o FSI se a quantidade de energia na cadeia transportadora de elétrons exceder a capacidade de receptores no lado redutor do FSI. Neste presente trabalho observou-se nos períodos II e IV diferenças estatísticas no rendimento quantico do FSI (φR_0). Porém, não houve diferença durante os quatro períodos de análise, quanto a eficiência com que um elétron dos carregadores de elétrons do interssistema é transferido para reduzir receptores de elétrons do lado receptor do FSI (δR_0). Isso pode ser confirmado pelo maior fluxo de elétrons redutores dos receptores finais de elétrons do FSI (RE_0/RC) durante os horários de maior luminosidade e temperatura do dia, ao longo dos quatro períodos de análise. Estas são diferentes estratégias de otimização do aparelho fotossintético face ao estresse conjugado de luz e temperatura do ambiente.

Os resultados obtidos neste presente trabalho são consistentes com aquele obtido por Zivcak et al. (2014) com mudas de cevada submetidas a alta luminosidade, por Gomes et al. (2012) e Gama et al. (2013) em plantas de maracujá sob estresse hídrico e alta temperatura, respectivamente, e por Lu and Vonshak (2002) em plantas submetidas à estresse salino. Em todos esses casos houve um aumento no transporte de elétrons para os receptores finais do FSI, desviando a distribuição de energia de excitação a favor do FSI.

O padrão de transporte de elétrons no FSII da mangueira ‘Ubá’ desempenhou um papel importante na fotoprotecção do FSI. Tikkanen et al. (2014), em trabalho com *Arabidopsis*, descrevem que a fotoinibição do FSII é capaz de proteger o FSI, ou seja, o FSII é o regulador final da cadeia de transferência de elétrons na fotossíntese, fornecendo mecanismos de proteção. As sugestões de Tikkanen et al. (2014), de que a dissipação da energia não fotoquímica, a fosforilação do complexo antena do FSII e o controle da “velocidade” de transferência de elétrons pelo intersistema são formas de proteger o FSI, foram confirmadas pelos resultados obtidos neste presente trabalho para manga ‘Ubá’.

Alta correlação entre a densidade de centros de reação fotossinteticamente ativos por secção transversal (RC/CS_0) e o índice de clorofila foi constatada para a mangueira ‘Ubá’ (Figura 5). No caso das plantas LO, por receberem baixa radiação pela manhã,

houve aumento da síntese de clorofila. Porém, durante a fase de amadurecimento dos frutos (II) e após a poda das plantas (IV), os danos causados pela fotoinibição juntamente com a queda no desempenho fotoquímico do FSI, causaram a queda do PI_{TOTAL} mesmo com maior quantidade de centros de reação e índice de clorofila no período II.

Durante a fase vegetativa (III e IV) a maior demanda de fotoassimilados das folhas ocorreu após o manejo da poda, período em que há grande quantidade de meristemas apicais em desenvolvimento (Silva et al., 2011). Neste momento as plantas LO, por estarem sob efeito da fotoinibição, apresentaram desempenho fotoquímico quatro vezes menor em relação ao período de análise anterior (após a colheita), resultando em PI_{TOTAL} 60% menor em relação as plantas LL. Para diminuir os efeitos da fotoinibição causados pelo excesso de luz incidente nas folhas, a quantidade de energia absorvida não é capturada pelo centro de reação e se dissipa, sobretudo, na forma de calor (Adir et al., 2003). Dissipação esta, observada pelo parâmetro DI_0/RC, que apresentou na mangueira 'Ubá' forte correlação negativa com φP_0 (Figura 6).

Em resumo, a fotoinibição foi indicada pelos parâmetros do Teste JIP (ABS/RC, TR_0/RC, ET_0/RC, F_V/F_M, DI_0/RC, ψE_0, PI_{ABS} e PI_{TOTAL}) e as maiores evidências ocorreram na fase de amadurecimento dos frutos (II) e após a poda das plantas (IV). Na cultivar Ubá, usada no nosso trabalho, foi possível comprovar pela primeira vez, que as variações nos parâmetros da fluorescência da clorofila *a* são marcadores precisos da ocorrência de fotoinibição na mangueira.

4.2. Consequências do desempenho fotoquímico das folhas de mangueiras 'Ubá' na qualidade pós-colheita dos frutos

Os valores médios de SST (19,1 e 21,3 ºBrix), AT (0,5 e 0,4 %) e SST/AT (40,0 e 51,1) apresentados neste trabalho são semelhantes aos encontrados por Oliveira et al. (2013). Esses autores coletaram frutos maduros de manga 'Ubá' em diferentes acessos da região leste de Minas Gerais e encontraram SST variando de 14,3 a 20,5 ºBrix, AT entre 0,28 e 0,86 % e razão SST/AT entre 18,8 e 65,0.

Para destinação ao processamento de polpa é recomendado AT entre 0,5 e 0,80 %, no intuito de aumentar o período de conservação após o processamento (Benevides et al., 2008). Os frutos analisados neste presente trabalho apresentaram a AT entre 0,43 e 0,48 % de ácido cítrico, o que sugere a adição deste ácido na polpa processada para aumentar o período de conservação.

Apesar da interferência no processo de conservação, a baixa acidez faz com que a razão SST/AT seja maior. Esta variável está relacionada diretamente ao adoçamento do fruto e é considerada como indicativo de sabor do fruto (Chitarra e Chitarra, 2005). Este conceito sugere que os frutos das plantas LO apresentaram melhor sabor do que os frutos das plantas LL, pois, a razão SST/AT foi maior nos frutos das plantas LO. A diferença no sabor pode ser consequência da fotoinibição que estava ocorrendo nas folhas das plantas LO, e necessitam ser melhor analisadas.

Os menores valores de TR_0/RC e ET_0/RC encontrados nas folhas durante a fase de crescimento dos frutos e TR_0/RC, ET_0/RC, RE_0/RC, ΨE_0, φE_0, φR_0 e PI_{TOTAL} durante a fase de amadurecimento dos frutos, parecem sugerir que a melhor qualidade dos frutos originados das plantas LO foi devida a fotoinibição nas folhas. Vale também ressaltar que essas plantas apresentaram o índice de clorofila (SPAD) e a densidade dos centros de reação fotossinteticamente ativos por secção transversal (RC/CS_0) mais altos durante essas duas fases, sugerindo que a mangueira 'Ubá' possui estratégias de adaptação aos estresses luminoso e térmico. Lechaudel et al. (2010) encontraram em frutos de manga (*Mangifera indica* cv. Cogshall) expostos ao Sol, teor de SST superior aos frutos localizados sob a sombra da copa. Os autores identificaram que na casca dos frutos expostos ao Sol, o desempenho fotoquímico do FSII foi mais baixo, sugerindo que os frutos são afetados pela fotoinibição.

Estresses abióticos como excesso de luz aumentam a produção de espécies reativas de oxigênio e consequentemente induzem a formação de antioxidantes como sistemas protetores nos frutos (Léchaudel et al., 2013). Além das maiores qualidades de sabor, a manga 'Ubá' é a variedade que contém mais compostos bioativos com ação antioxidante, como vitamina C e *β*-caroteno, que as demais. Oliveira et al. (2011) encontraram em manga Tommy Atkins 17,5 mg $100g^{-1}$ de vitamina C e 1557,1 µg $100g^{-1}$ de *β*-caroteno. Já em manga 'Ubá', Mata et al. (2011) encontraram 151,53 mg

$100g^{-1}$ de vitamina C e 3573,18 µg $100g^{-1}$ de β-caroteno, além de observarem também que com o amadurecimento dos frutos na planta o teor de vitamina C diminuiu 22% enquanto o de β-caroteno aumentou 200%.

Diante do exposto, sugere-se que a formação de antioxidantes e de SST nos frutos de manga 'Ubá' é controlada não apenas pelo ponto de colheita, mas também pelas condições ambientais. Essa cultura deve possuir eficientes mecanismos de tolerância aos estresses ambientais, tal qual este trabalho avaliou. Porém, torna-se necessário a continuidade dos estudos, de modo a subsidiar as conclusões de que o efeito conjugado da alta radiação e temperatura, durante a fase reprodutiva das plantas, provocam fotoinibição da fotossíntese e melhoram a qualidade dos frutos.

5. CONCLUSÃO

Dos resultados obtidos, é possível concluir que o rápido aumento da radiação solar às 11h da manhã causou danos fotoinibitórios nas plantas da mangueira 'Ubá' conduzidas do lado Oeste (LO).

Durante a fase de crescimento dos frutos, os parâmetros do Teste JIP que melhor explicaram o dano fotoinibitório foram TR_0/RC e ET_0/RC (Fluxo de captura e transporte de elétrons após a redução da Quinona A, por centro de reação ativo). Já durante a fase de amadurecimento dos frutos, foram os fluxos específicos de energia (TR_0/RC, ET_0/RC, RE_0/RC) e o rendimento/eficiência quântica (ΨE_0, φE_0, φR_0).

Como forma de adaptação ao estresse ocorrido nessas duas fases, o índice de clorofila (Chl) e a densidade de centros de reação fotossinteticamente ativos por secção transversal (RC/CS_0) nas plantas LO foram mais elevados. Com isso, os frutos originados dessas plantas apresentaram maiores teores de sólidos solúveis totais (SST) e a razão SST/AT mais alta. Portanto, este estudo demonstrou que apesar do efeito conjugado da alta radiação e temperatura ter provocado fotoinibição nas folhas da mangueira 'Ubá' durante a fase reprodutiva, as plantas sob essas condições apresentaram adaptações nas estruturas do aparelho fotossintético e produziram frutos com maior doçura.

6. REFERÊNCIAS

Adir, N., Zer, H., Shochat, S., Ohad, I., 2003. Photoinhibition - A historical perspective. Photosynth. Res. 76, 343–370. doi:10.1023/A:1024969518145

Association of Official Analytical Chemists (AOAC), 1995. Food composition, additives, natural contaminants. In: _____. (Ed.) Official methods of analysis. AOAC International, Washington, pp. 1-23.

Benevides, S.D., Ramos, A.M., Stringheta, P.C., Castro, V.C., 2008. Qualidade da manga e polpa da manga Ubá. Ciência e Tecnol. Aliment. 28, 571–578. doi:10.1590/S0101-20612008000300011

Cassol, D., Silva, F. S. P., Falqueto, A. R., Bacarin, M.A., 2008. An evaluation of non-destructive methods to estimate total chlorophyll content. Photosynth. 46 (4), 634-636.

Chitarra, M. I. F., Chitarra, M. I. F., 2005. Pós-colheita de frutas e hortaliças: Fisiologia e manuseio. In: _____. (Ed.) Qualidade pós-colheita: Avaliação das características físico-químicas e químicas. Lavras, UFLA, pp. 541-734.

Demmig-Adams, B., Cohu, C. M., Muller, O., Adams, W. W., 2012. Modulation of photosynthetic energy conversion efficiency in nature: from seconds to seasons. Photosynth. Res. 113, 75–88.

Faostat. The state of food and agriculture, 2013. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/018/i3300e/i3300e00.htm>. Acesso em: 03 de nov. de 2015.

Force, L., Critchley, C., Van Rensen, J. J. S., 2003. New fluorescence parameters for monitoring photosynthesis in plants. Photosynth. Res. 78, 17–33.

Han, S., Tang, N., Jiang, H. X., Yang, L. T., LI, Y., Chen, L. S., 2009. CO2 assimilation, photosystem II photochemistry, carbohydrate metabolism and antioxidant system of citrus leaves in response to boron stress. Plant Sci. 176, 143–153.

Hengari, S., Theron, K.I., Midgley, S.J.E., Steyn, W.J., 2014. Response of apple (Malus domestica Borkh.) fruit peel photosystems to heat stress coupled with

moderate photosynthetic active radiation at different fruit developmental stages. Sci. Hortic. (Amsterdam). 178, 154–162. doi:10.1016/j.scienta.2014.08.019

Incaper (Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural). Polo de Manga para a Indústria no Estado do Espírito Santo. Documento nº 181. 3 ed. 2009.

Jones, L.W., Kok, B., 1966. Photoinhibition of Chloroplast Reactions . I . Kinetics and Action Spectra ’. Plant Physiol. 41, 1037–1043.

Kader, A. A., 1997. Fruit maturity, ripening and quality relationships. Acta Hortic. Leuven. 485, 203-208.

Léchaudel, M., Lopez-Lauri, F., Vidal, V., Sallanon, H., Joas, J., 2013. Response of the physiological parameters of mango fruit (transpiration, water relations and antioxidant system) to its light and temperature environment. J. Plant Physiol. 170, 567–576. doi:10.1016/j.jplph.2012.11.009

Léchaudel, M., Urban, L., Joas, J., 2010. Chlorophyll fluorescence, a nondestructive method to assess maturity of mango fruits (Cv. “cogshall”) without growth conditions bias. J. Agric. Food Chem. 58, 7532–7538. doi:10.1021/jf101216t

Mata, G.M.S.C., Oliveira, D.S., Della Lucia, C.M., Campos, F.M., Queiroz, J.H., Pinheiro-Sant’ana, H.M., 2011. Teores de β-caroteno e vitamina C durante o amadurecimento da manga “ UBÁ ” (Mangifera indica L . var . Ubá). Rev. Inst. Adolfo Lutz 70, 225–229.

Mlinarić, S., Antunović Dunić, J., Štolfa, I., Cesar, V., Lepeduš, H., 2016. High irradiation and increased temperature induce different strategies for competent photosynthesis in young and mature fig leaves. South African J. Bot. 103, 25–31. doi:10.1016/j.sajb.2015.08.010

Murchie, E. H., Ali, A., Herman, T., 2015. Photoprotection as a Trait for Rice Yield Improvement: Status and Prospects. Rice. 8, 31-39.

Niinemetsa, Ü., Keenanba, T., 2014. Photosynthetic responses to stress in Mediterranean evergreens: Mechanisms and models. Environ. Exp. Bot.103, 24–41.

Oliveira, D.D.S., Aquino, P.P., Ribeiro, S.M.R., Proença, R.P.D.C., Pinheiro-Sant'Ana, H.M., 2011. Vitamina c, carotenoides, fenólicos totais e atividade

antioxidante de goiaba, manga e mamão procedentes da Ceasa do Estado de Minas Gerais. Acta Sci. - Heal. Sci. 33, 89–98. doi:10.4025/actascihealthsci.v33i1.8052

Oliveira, G.P., Siqueira, D.L., Silva, D.F.P., Matias, R.Ç.P., Salomão, L.C.C., 2013. Caracterização de acessos de mangueira Ubá na Zona da Mata Mineira. Ciência Rural 43, 962–969. doi:10.1590/S0103-84782013005000053

Rakić, T., Gajić, G., Lazarević, M., Stevanović, B., 2015. Effects of different light intensities, CO2 concentrations, temperatures and drought stress on photosynthetic activity in two paleoendemic resurrection plant species Ramonda serbica and R. nathaliae. Environ. Exp. Bot. 109, 63–72. doi:10.1016/j.envexpbot.2014.08.003

Ranjan, S., Singh, R., Soni, D.K., Pathre, U. V., Shirke, P. a., 2012. Photosynthetic performance of Jatropha curcas fruits. Plant Physiol. Biochem. 52, 66–76. doi:10.1016/j.plaphy.2011.11.008

Rodríguez-López, N.F., Cavatte, P.C., Silva, P.E.M., Martins, S.C. V, Morais, L.E., Medina, E.F., Damatta, F.M., 2013. Physiological and biochemical abilities of robusta coffee leaves for acclimation to cope with temporal changes in light availability. Physiol. Plant. 149, 45–55. doi:10.1111/ppl.12010

Schansker, G., Thót, S.Z., Holzwarth, A.R., Garab, G., 2014. Chlorophyll a fluorescence: beyond the limits of the QA model. Photosynth. Res. 120, 43-58.

Silva, A.C., Leonel, S., Souza, A.P., Vasconcellos, M.A.S.., Rodrigues, J.D., Ducatti, C., 2011. Alocação de fotoassimilados marcados e relação fonte-dreno em figueiras cv. Roxo de Valinhos. 1. Relação fonte e dreno. Rev. Bras. Ciências Agrárias - Brazilian J. Agric. Sci. 6, 419–426. doi:10.5039/agraria.v6i3a989

Silva, D.F.P. Da, Salomão, L.C.C., Siqueira, D.L., Cecon, P.R., Struiving, T.B., 2012. Amadurecimento de manga “Ubá” com etileno e carbureto de cálcio na pós-colheita. Ciência Rural 42, 213–220. doi:10.1590/S0103-84782012005000009

Strasser, R. J., Srivastava, M., Tsimilli-Michael, M., 2000. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. In: Yunus M, Pathre U, Mohanty P (Ed.) Probing photosynthesis: mechanisms, regulation and adaption. Taylor & Francis, London, pp 445–483.

Strasser, B. J., Strasser, R. J., 1995. Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: The JIP-test. In: P. Mathis, (Ed.) Photosynthesis: from

Light to Biosphere. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, pp. 977-980.

Strasser, R.J., Tsimilli-Michael, M., Srivastava, A., 2004. Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient. In: Papageorgiou, G.C. (Ed.), Chlorophyll a Fluorescence: A Signature of Photosynthesis, Advances in Photosynthesis and Respiration. Springer, Rotterdam, pp. 321–362.

Strasser, R. J., Tsimilli-Michael, M., Qiang, S., Goltsev, V., 2010. Simultaneous in vivo recording of prompt and delayed fluorescence and 820 nm reflection changes during drying and after rehydration of the resurrection plant Haberlea rhodopensis. Biochim. Biophys. Acta (BBA) – Bioenerg. 1797, 1313–1326.

Stirbet, A., Riznichenko, G.Y., Rubin, A.B., Govindjee, 2014. Modeling chlorophyll a fluorescence transient: relation to photosynthesis. Biochemistry 79, 291–323. doi:10.1134/S0006297914040014

Tikkanen, M., Mekala, N.R., Aro, E.-M., 2014. Photosystem II photoinhibition-repair cycle protects Photosystem I from irreversible damage. Biochim. Biophys. Acta. (BBA) Bioenerg. 1837, 210-215.

Van Wittenberghe, S., Alonso, L., Verrelst, J., Moreno, J., Samson, R., 2015. Bidirectional sun-induced chlorophyll fluorescence emission is influenced by leaf structure and light scattering properties — A bottom-up approach. Remote Sens. Environ. 158, 169–179. doi:10.1016/j.rse.2014.11.012

Weng, J.-H., Wong, S.-L., Lin, R.-J., Jhaung, L.-H., 2013. Quantitative effects of temperature and light intensity on PSII efficiency of mango leaves under artificial and natural conditions. J. For. Res. 371–378. doi:10.1007/s10310-012-0359-9

Yashoda, H.M., Prabha, T.N., Tharanathan, R.N., 2006. Mango ripening: Changes in cell wall constituents in relation to textural softening. J. Sci. Food Agric. 86, 713–721. doi:10.1002/jsfa.2404

Zhang, M., Shan, Y., Kochian, L., Strasser, R.J., Chen, G., 2015. Photochemical properties in flag leaves of a super-high-yielding hybrid rice and a traditional hybrid rice (Oryza sativa L.) probed by chlorophyll a fluorescence transient. Photosynth. Res. doi:10.1007/s11120-015-0151-8

Zivcak, M., Brestic, M., Kalaji, H.M., Govindjee., 2014. Photosynthetic responses of sun- and shade-grown barley leaves to high light: is the lower PSII connectivity in shade leaves associated with protection against excess of light. Photosynth. Res. 119, 339-354.

Zivcak, M., Brestic, M., Kunderlikova, K., Olsovska, K., Allakhverdiev, S. I., 2015. Effect of photosystem I inactivation on chlorophyll a fluorescence induction in wheat leaves: Does activity of photosystem I play any role in OJIP rise. J. Photochem. Photobiol. B: Biol. 152b, 318-324.