

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

GABRIELA PESSOTTI ZAMPERLINI

**CRESCIMENTO E DESEMPENHO FOTOQUÍMICO DO PROCESSO
FOTOSSINTÉTICO EM ABACAXIZEIRO 'VITÓRIA'**

**VITÓRIA
2010**

GABRIELA PESSOTTI ZAMPERLINI

**CRESCIMENTO E DESEMPENHO FOTOQUÍMICO DO PROCESSO
FOTOSSINTÉTICO EM ABACAXIZEIRO 'VITÓRIA'**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santa como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal para obtenção do título de Mestre em Biologia Vegetal.

Orientadora: Prof^a Dr^a Diolina Moura Silva.

Co-orientador: Dr. José Aires Ventura.

VITÓRIA

2010

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

Z26c Zamperlini, Gabriela Pessotti, 1984-
Crescimento e desempenho fotoquímico do processo
fotossintético em abacaxizeiro 'Vitória' / Gabriela Pessotti
Zamperlini. – 2010.
60 f. : il.

Orientadora: Diolina Moura Silva.
Co-Orientador: José Aires Ventura.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito
Santo, Centro de Ciências Humanas e Naturais.

1. Abacaxi. 2. Fluorescência. 3. Pigmentos. 4. Fisiologia. 5.
Estado vegetativo. 6. Estado reprodutivo. I. Silva, Diolina Moura.
II. Ventura, José Aires, 1954-. III. Universidade Federal do
Espírito Santo. Centro de Ciências Humanas e Naturais. IV.
Título.

CDU: 57

GABRIELA PESSOTTI ZAMPERLINI

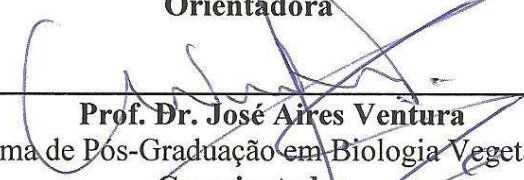
**CRESCIMENTO E DESEMPENHO FOTOQUÍMICO
DO PROCESSO FOTOSSINTÉTICO EM
ABACAXIZEIRO 'VITÓRIA'**

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 a obtenção do grau de Mestre em Biologia Vegetal na área de concentração Fisiologia Vegetal.

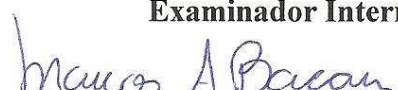
Aprovada em 23 de março de 2010.

COMISSÃO EXAMINADORA


Prof.^a Dr.^a Diolina Moura Silva
Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal-UFES
Orientadora


Prof. Dr. José Aires Ventura
Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal-UFES
Co-orientador


Prof.^a Dr.^a Patricia Machado Bueno Fernandes
Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal-UFES
Examinador Interno


Prof. Dr. Marcos Antonio Bacarin
Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal-UFPeL
Examinador Externo

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me abençoar e permitir a conquista de mais esta vitória.

À Universidade Federal do Espírito Santo e ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal pela oportunidade de realização deste curso.

Ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), pelo espaço e pelo material vegetal concedidos para a realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de Pós-Graduação. Ao Ministério de Ciência e Tecnologia, ao Banco do Nordeste e à Fundação de Apoio à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES), pelo apoio financeiro.

À minha orientadora, Prof^a Dr^a Diolina Moura Silva, por todo apoio e incentivo durante este período e também pelos ensinamentos, sugestões e conselhos que tornaram possível a realização deste trabalho.

Ao meu co-orientador, Dr. José Aires Ventura, pela atenção e sugestões e pelos conhecimentos transmitidos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, pelos ensinamentos transmitidos e pela força e simpatia dentro e fora de sala.

Ao Prof. Dr. Marcos Antonio Bacarin e à Prof^a Dr^a Patrícia Machado Bueno Fernandes, pela participação na banca examinadora e pelas preciosas sugestões.

Aos doutores Antelmo Ralph Falqueto e Renata Venturim Fontes, pelas sugestões valiosas e pelo carinho.

Aos funcionários, Ricardo e Elizabete, pela amizade, dedicação e eficiência.

Aos colegas de mestrado, turmas de 2007 e 2009, pelas experiências trocadas e pelo companheirismo.

Aos amigos de turma, Emerson, Liana, Shirley e Wilka, que tornaram esta jornada muito mais divertida, agradável e proveitosa.

Aos amigos do Núcleo de Estudos da Fotossíntese (NEF), Sabrina, Mariela, Sigrid, Mônica, Priscilla, Júlia, Joilton, Leonardo, Vinícius, Magda e Evelline, pela ajuda nos campos e no laboratório e, principalmente, pelos momentos tão felizes que passamos juntos, mesmo quando o clima era de tensão.

À minha família, especialmente à minha mãe adorada e aos meus irmãos queridos Thiago e Rodrigo, que estiveram ao meu lado oferecendo apoio, amor e carinho.

Ao meu noivo, Luis Fernando, pela dedicação, confiança, amor e pelo apoio incondicional.

RESUMO

No intuito de ampliar o conhecimento sobre a cultura do abacaxizeiro, em particular da cultivar Vitória, um híbrido resistente à fusariose, este trabalho avaliou o crescimento e o desempenho fotossintético de plantas cultivadas na Fazenda Experimental do Incaper em Sooretama, Estado do Espírito Santo. Em um delineamento experimental inteiramente casualizado, a altura da planta e o comprimento da folha “D”, os teores de pigmentos fotossintéticos e a eficiência fotoquímica foram monitorados, desde o estágio de muda até o final do estágio reprodutivo. As plantas da cv. Vitória apresentaram menor porte do que os abacaxizeiros das cultivares Pérola e Smooth Cayenne, que são as mais produzidas no Brasil. O teor de pigmentos fotossintéticos (clorofilas *a* e *b* e carotenóides) aumentou durante o estágio vegetativo e manteve-se estável até o último mês de análise, quando sofreu uma redução. A análise da fluorescência transiente mostrou um aumento na densidade de centros de reação ativos do fotossistema II (RC/ABS), na força das reações fotoquímicas ($\phi_{P0}/(1-\phi_{P0})$), na força relacionada às reações após a redução de Q_A^- ($\psi_0/(1-\psi_0)$), e na performance das reações de óxido-redução no fotossistema I ($\delta_{R0}/(1-\delta_{R0})$) durante o estágio vegetativo, que resultou no aumento do índice de vitalidade (PI_{ABS}) e do índice de vitalidade total (PI_{TOTAL}) das plantas ao final do período vegetativo. Estes índices apresentaram redução em seus valores três semanas após a indução floral, indicando uma inibição da fotossíntese, que evidencia uma sensibilidade das plantas à indução. Porém, os abacaxizeiros ‘Vitória’ parecem apresentar mecanismos eficientes de diminuição dos danos ao aparato fotoquímico, visto que houve uma recuperação em RC/ABS, $\phi_{P0}/(1-\phi_{P0})$ e $\psi_0/(1-\psi_0)$ durante o período reprodutivo. Estes resultados permitem inferir que os índices de desempenho fotoquímico (PI_{ABS} e PI_{TOTAL}) foram parâmetros sensíveis à indução floral, mostrando-se eficientes na detecção de mudanças fisiológicas ocorridas durante o estágio vegetativo e reprodutivo das plantas de abacaxizeiro ‘Vitória’.

Palavras-chave: Abacaxi; fluorescência da clorofila; pigmentos; estágio vegetativo; estágio reprodutivo; fisiologia.

ABSTRACT

In order to increase knowledge about the pineapple crop, particularly the cultivar 'Vitória', a hybrid resistant to fusariosis, this work evaluated the growth and the photosynthetic activity of plants cultivated at the Experimental Farm of Incaper in Sooretama, State of Espírito Santo. In a completely randomized block design, the plant height and leaf length "D", the contents of photosynthetic pigments and the photochemical efficiency were monitored, from the sucker stage to the end of the reproductive stage. The pineapple cv. Vitória were smaller than those of pineapple cultivars Pérola and Smooth Cayenne, which are the most cropped in Brazil. The content of photosynthetic pigments (chlorophyll *a* and *b* and pigments carotenoids) increased during the vegetative stage and remained stable until the last months of analysis, when he suffered a fall. The analysis of fluorescence transient parameters showed a increase in the density of active reaction centers of photosystem II (RC/ABS), in the strength of photochemical reactions ($\phi_{P0}/(1-\phi_{P0})$), in force related to the reactions after the reduction of Q_A^- ($\psi_0/(1-\psi_0)$), and performance of the reactions of oxidation-reduction in photosystem I ($\delta_{R0}/(1-\delta_{R0})$) during the vegetative stage, resulted in increased of vitality index (PI_{ABS}) and the total index of vitality (PI_{TOTAL}) of plants at the end of vegetative period. These indices showed a reduction in their values three weeks after floral induction, indicating an inhibition of photosynthesis, which shows a sensitivity of plants to induction. However, the pineapples 'Vitória' appear to have efficient mechanisms for reduction of damage to the photochemical apparatus, since there was a recovery of RC/ABS, $\phi_{P0}/(1-\phi_{P0})$ and $\psi_0/(1-\psi_0)$ during the reproductive stage. These results suggest that the rates of photochemical performance (PI_{ABS} and PI_{TOTAL}) were parameters sensitive to floral induction, proved to be effective in detecting physiological changes occurring during the vegetative and reproductive stage of plants of pineapple 'Vitória'.

Key words: Pineapple; chlorophyll fluorescence; pigments; vegetative stage; reproductive stage; physiology.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	09
2 REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 A CULTURA DO ABACAXI	11
2.2 CARACTERÍSTICAS DO ABACAXIZEIRO	12
2.3 A FUSARIOSE	16
2.4 A CULTIVAR VITÓRIA.....	18
2.5 OUTRAS CULTIVARES.....	20
2.6 A TÉCNICA DE EMISSÃO DE FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA <i>a</i>	20
3 OBJETIVOS.....	26
3.1 OBJETIVO GERAL	26
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
4 MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	27
4.2 CRESCIMENTO DAS PLANTAS	29
4.3 TEORES DE PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS	29
4.4 CINÉTICA DE EMISSÃO DA FLUORESCÊNCIA TRANSIENTE (TESTE JIP) ..	30
4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	31
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1 CRESCIMENTO DAS PLANTAS	33
5.2 TEORES DE PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS	37
5.3 CINÉTICA DE EMISSÃO DA FLUORESCÊNCIA TRANSIENTE (TESTE JIP) ..	40
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
7 REFERÊNCIAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

O abacaxizeiro (*Ananas comosus* var. *comosus*) é uma planta, caracterizada por seu crescimento em roseta, que possui destaque na fruticultura. No caule da planta insere-se o pedúnculo que sustenta a inflorescência e depois o fruto. Cada planta produz uma única infrutescência, com boas qualidades organolépticas (PY et al., 1984).

O fruto é utilizado tanto para o consumo *in natura* quanto na industrialização, em diferentes formas: pedaços em calda, suco, pedaços cristalizados, geléias, licor, vinho, vinagre e aguardente. Como subproduto desse processo industrial pode-se obter ainda: álcool, ácidos cítrico, málico e ascórbico, rações para animais e uma substância de alto valor medicinal, a bromelina, enzima muito utilizada como digestivo e anti-inflamatório. Na culinária, o suco de abacaxi é utilizado para o amaciamento de carnes. Além disso, os frutos do abacaxi são ótimas fontes de cálcio, vitaminas A, B e C (PY et al., 1984).

A cultivar Vitória, recentemente lançada pelo Incaper, em novembro de 2006, em parceria com a Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, tem como principal característica a resistência à fusariose, doença causada pelo fungo *Fusarium subglutinans* f. sp. *ananas*, que é o principal problema fitossanitário da cultura do abacaxizeiro no país. Além disso, possui características agronômicas e de qualidade de fruto semelhantes ou superiores em relação às cultivares 'Pérola' e 'Smooth Cayenne', que são as mais produzidas no Brasil, e ainda apresenta dupla aptidão, podendo ser o fruto destinado tanto para o mercado de consumo *in natura* quanto para a agroindústria. Essas qualidades constituem um incentivo à adoção do abacaxi 'Vitória' pelos produtores e consumidores (VENTURA et al., 2006).

Segundo Ventura et al. (2009), a cv. Vitória viabilizou a expansão da área em produção no Espírito Santo, principalmente na região Norte, onde existe a expectativa de dobrar a produtividade capixaba de abacaxi, passando de aproximadamente 21 t ha⁻¹ para mais de 50 t ha⁻¹.

Existem na literatura diversos trabalhos relacionados ao fruto (REINHARDT et al., 2004; SANTANA et al., 2004; SOUTO et al., 2004; EDUARDO et al., 2008; SILVA et

al., 2008; ABÍLIO et al., 2009; DANTAS JÚNIOR et al., 2009; PEREIRA et al., 2009), porém, pesquisas com enfoque na fisiologia do abacaxizeiro são essenciais para se conhecer mais profundamente as características das cultivares. Esse conhecimento é fundamental para os produtores da fruta tanto no que diz respeito ao manejo da cultura quanto à produtividade.

A eficiência fotossintética é um dos fatores mais relevantes na fisiologia de uma planta. Ligado a ela e, conseqüentemente, ao crescimento e à adaptabilidade a diversos ambientes, está o conteúdo de clorofilas e carotenóides. O uso de parâmetros da fluorescência da clorofila *a* tem sido difundido, principalmente, no estudo do desempenho fotossintético das plantas, por ser um método muito sensível e não destrutivo que permite a análise qualitativa e quantitativa da absorção e do aproveitamento da energia luminosa pelo aparato fotossintético (KRAUSE; WEIS, 1991). Para esse tipo de avaliação são utilizados fluorômetros, cujas aplicações variam desde a rápida identificação de injúrias causadas ao aparelho fotossintético, mesmo quando o sintoma ainda não é visível, até a análise detalhada da alteração da capacidade fotossintética da planta (CATUNDA et al., 2005).

Para a análise da emissão de fluorescência da clorofila *a*, Strasser e Strasser (1995) propuseram um teste que traduz as mudanças ocorridas nas etapas da fluorescência em mudanças quantitativas, que foi chamado de teste JIP e pode ser usado para explicar o fluxo de energia através da cadeia de transporte de elétrons na etapa fotoquímica da fotossíntese. O teste JIP, de onde, então, se originam os parâmetros da fluorescência da clorofila *a*, depende das propriedades cinéticas da cadeia de transporte de elétrons (OUKARROUM et al., 2009). E uma questão importante a se levantar é a relação entre essas propriedades cinéticas e o crescimento das plantas.

Neste trabalho foi usada a técnica de emissão de fluorescência da clorofila *a* como uma ferramenta para acompanhar e caracterizar o crescimento, bem como detectar alterações, em plantas de abacaxizeiros (*Ananas comosus* var. *comosus*) cv. Vitória, cultivadas na Fazenda Experimental de Sooretama – ES, desde o estágio de muda até o final do estágio reprodutivo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A CULTURA DO ABACAXI

Segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), o abacaxizeiro é uma frutífera tropical de grande importância econômica, uma vez que o abacaxi ocupa a 12ª posição no ranking das frutas mais produzidas no mundo (FAO, 2006).

O principal produtor de abacaxi na atualidade é o continente asiático, destacando-se como principais países produtores a Tailândia e a China, que produzem 1.250.000 e 916.000 toneladas, respectivamente. Em seguida, está o continente americano, com destaque para o Brasil e a Costa Rica, com uma produção média de 635.000 e 569.000 toneladas, respectivamente (FAO, 2009).

O abacaxizeiro é, praticamente, cultivado em todos os estados brasileiros. Na década de 90, a cultura do abacaxi no Brasil experimentou um crescimento expressivo, tanto na área plantada como no volume produzido, expandindo-se, também, em regiões que antes não se caracterizavam como grandes produtores, como é o caso da região Norte (IBGE, 2010).

Os maiores produtores de abacaxi no Brasil são os estados de Minas Gerais e Paraíba, cujas produções, somadas, representam mais da metade da produção brasileira. Com produções menos representativas, destacam-se os estados do Pará, Bahia, São Paulo, Rio Grande do Norte, Espírito Santo e Rio de Janeiro (IBGE, 2010).

O Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), desde 1976, vem introduzindo e avaliando cultivares e genótipos de abacaxizeiro com o objetivo de selecionar plantas resistentes às principais doenças, mais produtivas e com frutos de qualidade comercial aceitável. O Incaper mantém campos de produção de mudas nas Fazendas Experimentais de Sooretama (Sooretama - ES) e de Pacotuba (Cachoeiro do Itapemirim - ES), para implementar pomares clonais em cooperação com a Secretaria de Agricultura, Prefeituras

Municipais, Cooperativas e Associações de Produtores, visando a distribuição de mudas para os produtores de abacaxi (VENTURA et al., 2006).

2.2 CARACTERÍSTICAS DO ABACAXIZEIRO

O abacaxizeiro é uma planta de clima tropical, perene, monocotiledônea, pertencente à família Bromeliaceae, cujo ciclo de vida varia de 12 a 30 meses. É originário do continente americano, sendo encontrado desde a América Central até o norte da Argentina. Acredita-se que o centro de origem seja o Brasil central, de onde se disseminou para as demais regiões (SIMÃO, 1998). Porém, outros estudos evidenciaram a ocorrência de maior variação morfológica nos tipos silvestres e cultivados do gênero *Ananas* nas áreas situadas ao Norte do Rio Amazonas, nas regiões do Orinoco, Rio Negro, Amapá e Guianas, indicando a região da Amazônia como centro de origem do abacaxizeiro (LEAL; COPPENS D'EECKENBRUGGE, 1996).

A planta é constituída por uma haste central curta e grossa, ao redor da qual crescem folhas em forma de calha, estreitas e rígidas, e na qual também se inserem raízes axilares (Figura 1A). O sistema radicular é fasciculado, superficial e fibroso, encontrado à profundidade de 15 a 30 cm, geralmente, e raramente a mais de 60 cm da superfície do solo. As plantas adultas das cultivares comerciais medem em média de 1,0 m a 1,2 m de altura e de 1,0 m a 1,5 m de diâmetro (SIMÃO, 1998).

O caule, ao final do desenvolvimento vegetativo, dá origem à inflorescência, que possui cerca de 150 a 200 flores orientadas em espiral, que se abrem da base para o ápice (Figura 1B), e a floração completa ocorre em 3 a 4 semanas. O fruto, classificado como sincarpo, é constituído por 150 a 200 frutinhos (bagas), normalmente partenocárpicos, fundidos entre si sobre o eixo central (SIMÃO, 1998). Depois de originar a infrutescência, o meristema apical volta a produzir tecido vegetativo, formando a coroa, localizada no topo do fruto (KAVATI; PIZA JUNIOR, 1997).



Figura 1 – Plantas de abacaxizeiro (*Ananas comosus* var. *comosus*) durante o estágio vegetativo (A) e o início do estágio reprodutivo (B). Fotos tiradas na Fazenda Experimental do Incaper, Município de Sooretama, Estado do Espírito Santo, durante o período do experimento.

Classificam-se as folhas do abacaxizeiro de acordo com o seu formato e a sua posição na planta, da mais velha e externa para a mais jovem e interna, em A, B, C, D, E e F (Figura 2). A folha “D” é a mais importante do ponto de vista do manejo da planta, sendo a mais jovem dentre as folhas adultas e metabolicamente a mais ativa de todas, por isso, é a folha utilizada na análise do crescimento e do estudo nutricional da planta. Em geral, a folha “D” forma um ângulo de 45° entre o nível do solo e um eixo imaginário que passa pelo centro da planta, apresentando os bordos da parte inferior perpendiculares à base (PY et al., 1984).

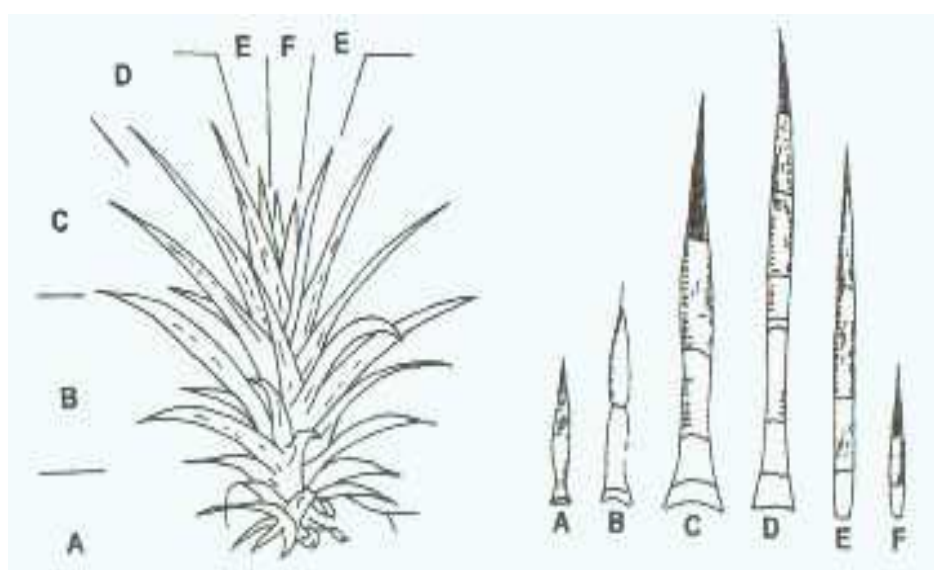


Figura 2 – Representação esquemática e classificação das folhas do abacaxizeiro (*Ananas comosus* var. *comosus*) de acordo com sua posição na planta e seu formato (Fonte: PY, 1969).

O abacaxizeiro produz basicamente três tipos de mudas, que permitem a sua propagação vegetativa e asseguram a uniformidade do novo plantio. São elas: rebentão, filhote e coroa. O rebentão é formado a partir de gemas localizadas no caule (talo) da planta e, sob condições normais, produz um novo fruto após 10 a 18 meses do plantio. O filhote é originado de gemas localizadas no pedúnculo do fruto e frutifica naturalmente de 12 a 24 meses após o plantio. E a coroa, localizada no ápice do fruto, possuiu um ciclo de produção superior a 18 meses (PY et al., 1984).

O ciclo de vida do abacaxizeiro é dividido em três fases. A primeira, a fase vegetativa ou de crescimento vegetativo (folhas), vai do plantio ao dia da indução floral natural ou artificial. Tem duração variável, mas corresponde ao período de 8 a 12 meses. A segunda, a fase reprodutiva ou de formação do fruto, tem duração bastante estável para cada região, sendo 5 a 6 meses. O primeiro ciclo completo da cultura dura, portanto, de 13 a 18 meses, nas regiões quentes do Brasil. A terceira fase do ciclo denomina-se propagativa, a de formação de mudas (filhotes e rebentões), que se sobrepõe, parcialmente, à segunda fase. A fase propagativa tem duração variável de 4 a 10 meses para mudas do tipo filhote, cuja formação se inicia no período pré-floração, e de 2 a 6 meses para mudas do tipo rebentão (PY et al., 1984).

A diferenciação floral do abacaxizeiro ocorre naturalmente nos meses de inverno, ou no verão, com o aumento da nebulosidade, uma vez que a planta tenha idade e tamanho suficientes para responder a tais estímulos. A diferenciação também pode ser induzida através da aplicação de determinados produtos químicos, como o carbureto de cálcio e o Ethrel[®] (com 21,66% de ethephon = ácido 2-cloroetilfosfônico), na roseta central das plantas, o que permite ao produtor estabelecer a época de colheita, diminuir o ciclo da cultura e uniformizar a produção, facilitando e reduzindo os custos dos tratamentos fitossanitários e da colheita (KAVATI; PIZA JUNIOR, 1997; VENTURA; ZAMBOLIM, 2002).

Tanto o carbureto de cálcio quanto o ethephon contido no produto comercial Ethrel[®] em contato com a água decompõem-se e liberam o gás etileno (C_2H_4), responsável pela diferenciação floral do abacaxizeiro (CUNHA, 2004). De acordo com Taiz e Zeiger (2006), embora o etileno iniba o florescimento em muitas espécies, ele induz a floração no abacaxi e em algumas bromélias. Explicam que a produção de etileno

neste caso pode ser induzida pela auxina (ácido indol-3-acético, AIA), que promove a síntese de etileno pelo aumento da atividade da enzima sintase do ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACCsintase), que participa da biossíntese do etileno.

Teoricamente, de seis a oito meses após o tratamento da planta com o produto destinado à diferenciação floral, o abacaxi pode ser colhido, o que permitiria ao produtor planejar a sua produção ao longo de todo o ano (KAVATI; PIZA JUNIOR, 1997).

O abacaxi é classificado como fruto não climatérico (DULL, 1971), ou seja, ele não apresenta uma elevação súbita da taxa respiratória no período de maturação, como ocorre nos frutos climatéricos (CHITARRA; CHITARRA, 1990).

O fruto do abacaxizeiro apresenta excelentes qualidades organolépticas, resultante dos açúcares e dos ácidos responsáveis pelo sabor e dos compostos voláteis associados ao aroma. Os carotenóides são os responsáveis pela coloração amarela da polpa de algumas cultivares, enquanto que as vitaminas e os minerais estão relacionados ao valor nutritivo da fruta (GONÇALVES, 2000).

Dentre os açúcares contidos no abacaxi, merecem destaque a sacarose, com teores entre 5,9 e 12,0%, representando, em média, 66% dos açúcares totais nos frutos maduros, a glicose, que representa de 1,0 a 3,2% dos açúcares, e a frutose, com um teor de 0,6 a 2,3% (GONÇALVES, 2000). Já a acidez do abacaxi é ocasionada, principalmente, pelos ácidos cítrico e málico, que contribuem com 80 e 20% da acidez total, respectivamente (DULL, 1971).

Com relação à fotossíntese, dependendo das condições de intensidade luminosa, temperatura e disponibilidade hídrica, plantas de *Ananas comosus* podem apresentar comportamento fotossintético do tipo C_3 ou CAM (Metabolismo Ácido das Crassuláceas), sendo, assim, o abacaxizeiro considerado uma planta C_3 -CAM facultativa (TING, 1985). Plantas com esse tipo de metabolismo, quando estão sob condições ambientais adequadas, realizam a absorção do CO_2 principalmente durante o dia, otimizando seu crescimento por meio do ciclo C_3 da fotossíntese (LÜTTGE, 2004). Porém, quando fatores ambientais como luminosidade excessiva,

déficit hídrico ou altas temperaturas tornam a absorção diurna do CO₂ menos favorável, essas plantas passam a apresentar o comportamento CAM, que permite a manutenção da atividade fotossintética e o crescimento mesmo sob condições desfavoráveis (BORLAND et al., 1998; TAYBI et al., 2002). Quando o mecanismo CAM está sendo utilizado, o CO₂ é absorvido durante a noite e utilizado na carboxilação do fosfoenolpiruvato (PEP) pela ação da enzima fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPcase), dando origem ao oxalacetato (OAA) (CHOLLET et al., 1996). Por ação da malato desidrogenase (MDH), o OAA é convertido à malato, que é rapidamente transportado para o vacúolo, juntamente com íons H⁺, causando a acidificação noturna típica das plantas CAM. Durante o dia, ocorre a descarboxilação do malato pela enzima NADP-málica e a fixação do CO₂ pela enzima Ribulose Bisfosfato Carboxilase Oxigenase (RUBISCO), reduzindo o teor desse ácido nos tecidos foliares (CUSHMAN; BOHNERT, 1999).

2.3 A FUSARIOSE

A cultura do abacaxizeiro é infectada por fungos, bactérias e vírus, além de anomalias de causas não parasitárias. Dentre as várias doenças que ocorrem no abacaxizeiro, a fusariose é considerada a doença mais destrutiva, uma vez que, em condições favoráveis, pode causar perdas elevadas na produção (VENTURA, 1994). Os prejuízos causados pela fusariose são decorrentes da infecção e morte de mudas, morte de plantas durante o desenvolvimento vegetativo e podridão dos frutos, que perdem seu valor comercial. Em épocas favoráveis à incidência da doença podem ocorrer perdas superiores a 80% na produção de frutos. Além do efeito direto no fruto, o patógeno infecta aproximadamente 40% do material propagativo e causa a morte de cerca de 20% das plantas antes da colheita (VENTURA; ZAMBOLIM, 2002).

A fusariose é causada pelo fungo *Fusarium subglutinans* f. sp. *ananas* e ocorre em todas as regiões do Brasil produtoras de abacaxi, atingindo as duas cultivares mais plantadas, 'Pérola' e 'Smooth Cayenne' (VENTURA, 1994). A infecção do patógeno ocorre principalmente em mudas e frutos, mas pode ocorrer também em qualquer outra parte da planta adulta, como talo e folhas (MANICA, 1999). A penetração do fungo ocorre através de ferimentos, resultantes de rachaduras ou de fendilamentos

que podem ocorrer durante o processo normal de crescimento da planta. Porém, as inflorescências são o principal sítio de infecção da doença. Logo após a indução floral, ocorre o período crítico para infecção, quando os conídios, transportados pelo vento, respingos de chuva e insetos, são depositados na roseta foliar, podendo infectar a inflorescência já na sua fase inicial (VENTURA; ZAMBOLIM, 1994).

Os sintomas mais característicos da fusariose aparecem no fruto, com exsudação de goma, principalmente pelos frutinhos, e avança até o eixo central do fruto. Inicialmente a lesão tem uma coloração clara, de aspecto encharcado, depois se torna marrom e finalmente marrom-escura, sendo gelatinosa e causando o apodrecimento da polpa (PISSARRA et al., 1979; VENTURA; ZAMBOLIM, 1994; 2002) (Figura 3A). A infecção em mudas geralmente ocorre quando estas ainda estão aderidas à planta mãe, com frutos doentes. Na parte basal da muda observa-se uma lesão necrótica, podendo ou não haver exsudação de goma (VENTURA; ZAMBOLIM, 1994) (Figura 3B). A dificuldade de detecção da presença da doença nas mudas tem provocado ampla disseminação da fusariose pelo país, fazendo com que ela se torne o principal problema da cultura, diminuindo os níveis de produtividade pelas perdas elevadas. Por essa razão, torna-se necessário a adoção urgente de medidas de prevenção e controle da doença (VENTURA, 1994).



Figura 3 - Sintomas da fusariose, doença causada pelo fungo *Fusarium subglutinans* f. sp. *ananas*, no fruto (A) e na base da folha (B) do abacaxizeiro (*Ananas comosus* var. *comosus*) (Fonte: A – José Aires Ventura, 2008 e B – VENTURA; ZAMBOLIM, 2002).

Para diminuir os problemas causados pela fusariose, são necessárias certas medidas, como controle químico e práticas culturais adequadas (uso de mudas saudáveis, plantar mudas de mesmo tipo, peso e tamanho no mesmo talhão, controle de insetos, etc.). Porém, essas medidas não garantem controle total na lavoura, além de algumas resultarem em aumento de custos. Diante disso, o melhoramento genético, buscando cultivares resistentes à fusariose, se torna fundamental, pois é a medida de controle mais barata e fácil de ser implantada pelos agricultores. Além disso, a adoção de plantas resistentes causa a diminuição dos impactos ambientais resultantes da utilização de defensivos (RUGGIERO et al., 1994).

2.4 A CULTIVAR VITÓRIA

Após 10 anos de pesquisas, o Incaper, em cooperação com a Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, utilizando como parental feminino a cultivar Primavera (PRI) e parental masculino a cultivar Smooth Cayenne (SC), selecionaram o híbrido PRI x SC-08, que originou o genótipo de acesso EC-099, por Seleção Recorrente Clonal, e a cultivar Vitória (Figura 4). O abacaxizeiro 'Vitória' tem como principal característica a resistência à fusariose, doença causada pelo fungo *Fusarium subglutinans* f. sp. *ananas*, que é o principal problema fitossanitário da cultura no país, causando em média 30 a 40% de perdas na produção de frutos e aproximadamente 20% de mudas. Nesse sentido, a cultivar Vitória objetiva preencher a grande lacuna deixada pela ausência de uma cultivar de abacaxi resistente à fusariose, tornando-se uma nova alternativa economicamente viável para os produtores e consumidores de abacaxi (VENTURA et al., 2006).

Por ser resistente à fusariose, o abacaxi 'Vitória' não necessita da aplicação de fungicidas para o controle da doença, possibilitando a redução nos custos de produção por hectare, referente à aquisição de fungicidas e à sua aplicação. Em consequência, os custos de produção das lavouras são bem inferiores, o que possibilita maior competitividade dos fruticultores, principalmente os de base familiar. Além disso, não utilizar agrotóxicos reduz também os riscos de impacto ambiental e traz vantagens para a saúde de produtores e consumidores. (VENTURA et al., 2006).



Figura 4 - Abacaxizeiro (*Ananas comosus* var. *comosus*) cv. Vitória em estágio reprodutivo (Fonte: José Aires Ventura, 2008).

A cultivar Vitória apresenta características agronômicas semelhantes ou superiores em relação às cultivares Pérola e Smooth Cayenne. Outra vantagem é a ausência de espinhos nas folhas, o que facilita os tratos culturais, sendo as recomendações técnicas de cultivo as mesmas atualmente em uso pelos produtores para 'Pérola' e 'Smooth Cayenne'. Os abacaxizeiros 'Vitória' são plantas vigorosas e possuem praticamente o mesmo porte da cv. Pérola. Apresentam bom perfilhamento, desenvolvimento e crescimento, além de produzirem frutos de excelente qualidade para o mercado (VENTURA et al., 2006).

Os frutos possuem polpa branca, formato cilíndrico, casca de cor amarela na maturação e pesam em torno de 1,5 kg. Apresentam elevado teor de açúcares (média de 15,8 °Brix) e excelente sabor nas análises químicas e sensoriais, sugerindo que suas características relativas à acidez são superiores às dos abacaxis 'Pérola' e 'Smooth Cayenne'. O abacaxi 'Vitória' possui também uma maior resistência ao transporte e à pós-colheita, o que pode facilitar sua adoção pelos produtores e consumidores. A cultivar apresenta ainda dupla aptidão, podendo ser o fruto destinado tanto para o mercado de consumo *in natura* quanto para a agroindústria, devido às suas características sensoriais e físico-químicas (VENTURA et al., 2006).

2.5 OUTRAS CULTIVARES

A cv. Pérola caracteriza-se por apresentar plantas eretas, com folhas longas providas de espinhos, e pedúnculos longos. Produz numerosas mudas do tipo filhote e poucos do tipo rebentão. O fruto é cônico com casca amarelada, polpa branca, pouco ácida, succulenta, saborosa, peso médio entre 1 e 1,5 kg e apresenta coroa grande. É susceptível à fusariose e à cochonilha (NASCENTE et al., 2005). Esta cultivar tem um amplo predomínio na produção brasileira, constituindo aproximadamente, 80% da produção nacional. O mercado interno prefere a cv. 'Pérola' por seu sabor mais doce e menos ácido (REINHARDT; SOUZA, 2000).

A cv. Smooth Cayenne é a cultivar mais estudada. É uma planta robusta, de porte semi-ereto e com folhas praticamente sem espinhos. O fruto tem formato cilíndrico, com peso entre 1,5 e 2 kg. Apresenta coroa relativamente pequena, casca de cor amarelo-alaranjada e polpa amarela, firme, rica em açúcares e de acidez elevada. Mostra-se susceptível à murcha, associada à cochonilha e à fusariose. Produz pequena quantidade de mudas do tipo filhote e grande número de mudas do tipo rebentão. O mercado externo tem preferência por esta cultivar em função de suas características externas e coloração da polpa (NASCENTE et al., 2005).

2.6 A TÉCNICA DE EMISSÃO DE FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA *a*

Estudos relacionados ao desenvolvimento dos abacaxizeiros são importantes para o entendimento de seu metabolismo e podem ser utilizados como uma ferramenta de detecção de alterações que acometem a cultura. Uma técnica que vem sendo largamente utilizada no entendimento dos mecanismos da fotossíntese propriamente dito, bem como na avaliação da capacidade fotossintética alterada por estresses bióticos ou abióticos pelos quais as plantas possam passar, é a análise da fluorescência da clorofila *a* (CATUNDA et al., 2005).

São muitas as vantagens do uso deste método: fornece um diagnóstico precoce de alterações da vitalidade da planta; pode ser usado em qualquer parte verde da planta; é rápido, uma vez que menos do que alguns segundos são necessários para cada medição, favorecendo o uso de maior número de medidas em pouco tempo;

pode ser aplicados tanto *in vivo* quanto *in situ*; pode ser realizado no campo, em casa de vegetação, em culturas de tecidos ou mesmo em amostras pequenas; não é invasivo; e seu custo é relativamente baixo (TSIMILLI-MICHAEL; STRASSER, 2008).

A técnica de emissão de fluorescência da clorofila *a* avalia o processo fotoquímico da fotossíntese (Figura 5). Este processo inicia-se com a absorção da radiação fotossinteticamente ativa pelos pigmentos do complexo antena (clorofilas e pigmentos carotenóides). A energia de excitação eletrônica é, então, transferida para as clorofilas *a* dos centros de reação: P_{680} para o fotossistema II (FSII) e P_{700} para o fotossistema I (FSI). A clorofila do centro de reação do FSII (P_{680}) excitada transfere um elétron para a feofitina (Phe). Posteriormente, esta clorofila receberá um elétron proveniente da oxidação da água, que ocorre no Centro de Evolução do Oxigênio (CEO). A feofitina (Phe), então, transfere o elétron para os aceptores quinona A (Q_A) e quinona (Q_B), reduzindo, em seguida, o pool de plastoquinona (PQ-pool). O elétron passa pelo complexo citocromo b_6f (Cyt), que o transfere para a plastocianina (PC), que, por sua vez, reduz a clorofila do centro de reação do FSI (P_{700}). O elétron é, então, transferido para uma molécula receptora A_0 (provavelmente uma molécula de clorofila modificada), depois para A_1 , uma quinona (vitamina K_1) e daí para Fx, um aglomerado de ferro-enxofre (4Fe-4S). Depois de passar por uma proteína de ferro-enxofre (PsaC), o elétron é finalmente transferido para a ferredoxina (Fd). A flavoproteína solúvel ferredoxina-NADP redutase (FNR) reduz o $NADP^+$ a NADPH, o qual é utilizado no ciclo de Calvin para reduzir o CO_2 . Os prótons liberados no lume do tilacóide pela oxidação da água, juntamente daqueles transportados para o lume pelo complexo citocromo b_6f , contribuem para a formação de um gradiente eletroquímico necessário para a síntese de ATP no estroma (TAIZ; ZEIGER, 2006).

De acordo com Strasser et al. (1995), o aparato fotossintético, principalmente o fotossistema II, é muito sensível às contínuas mudanças do ambiente e precisa se adequar o tempo todo para manter sua função ideal. Desde que a relação entre as reações luminosas da fotossíntese e a fluorescência da clorofila *a* surgiu, esta técnica passou a ser extensivamente utilizada como uma eficiente ferramenta na investigação das reações de transporte de elétrons dirigidas pela luz no complexo proteína-pigmento do fotossistema II (FSII) e tem se tornado um importante tema de

pesquisa na fisiologia vegetal (STRASSER; STRASSER, 1995; YAMANE et al., 2000; MISRA et al., 2001; PANDA et al., 2006). Esta técnica tem permitido a aquisição de importantes informações à cerca dos processos de dissipação fotoquímica e não-fotoquímica da energia de excitação que ocorrem nas membranas dos tilacóides em presença de luz (KRAUSE; WEIS, 1991; SCHREIBER et al., 1996; ROHÁČEK, 2002; FORCE et al., 2003; CHEN et al., 2008; HAN et al., 2009; OUKARROUM et al., 2009; CASCIO et al., 2010; YUSUF et al., 2010; ZHANG et al., 2010).

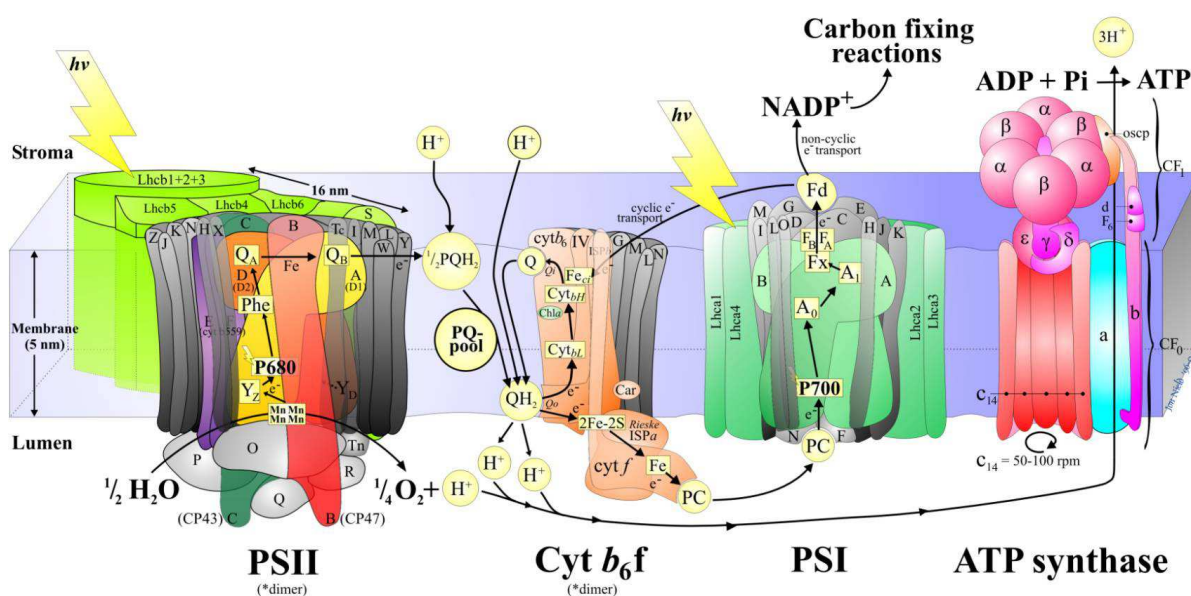


Figura 5 – Modelo esquemático da cadeia de transporte de elétrons da etapa fotoquímica da fotossíntese, incluindo a organização estrutural dos complexos de proteína envolvidos no processo e o transporte de prótons na membrana dos tilacóides de plantas verdes. (Fonte: TÓTH, 2006).

Para a análise da emissão de fluorescência da clorofila *a*, as folhas são adaptadas ao escuro e, ao serem colocados os resultados em uma escala logarítmica de tempo, a fluorescência transiente de F_0 (fluorescência inicial) à F_M (fluorescência máxima) apresenta um comportamento polifásico (STRASSER; GOVINDJEE, 1992; STRASSER; STRASSER, 1995). Neste contexto, a fluorescência inicial, utilizando-se 50 μ s como o tempo zero, é considerada como a intensidade da fluorescência no momento em que todos os centros de reação do fotossistema II (FSII) estão abertos, ou seja, quando o aceptor primário de elétrons do FSII, a quinona A (Q_A), está totalmente oxidado. Já a fluorescência máxima é considerada como a intensidade da

fluorescência no momento em que a intensidade luminosa de excitação é suficientemente elevada para garantir o fechamento de todos os centros de reação (RC) do FSII, ou seja, quando há a redução total de todos os RC.

O teste JIP é uma análise multiparamétrica da cinética de emissão de fluorescência rápida da clorofila *a*, desenvolvida por Strasser e seus colaboradores (STRASSER et al., 2000, 2004), onde os valores de fluorescência em 50 μ s (F_0 , ponto O), 100 μ s (ponto L), 300 μ s (ponto K), 2 ms (ponto J), 30 ms (ponto I) e máxima (F_M , ponto P), são levados em consideração. A fase OJ (induzida por luz actínica forte) reflete o transporte de elétrons até o aceptor primário de elétrons do FSII, ou seja, a redução de Q_A^- . A fase JI reflete a redução dos carreadores de elétrons do intersistema, ou seja, redução do aceptor secundário de elétrons do FSII, a quinona B (Q_B), da plastoquinona (PQ), do citocromo (Cyt) e da plastocianina (PC). E a fase IP reflete a redução do aceptor final de elétrons do fotossistema I (FSI) (YUSUF et al., 2010). O ponto L indica a interação entre as unidades independentes do FSII, enquanto que o ponto K tem sido utilizado como um indicador específico de danos ao complexo de evolução do oxigênio (CEO) (HAN et al., 2009). Segundo Cascio et al. (2010), o teste JIP refere-se a uma tradução dos dados originais para os parâmetros biofísicos, todos referentes ao tempo zero (início da indução de fluorescência), que quantificam o comportamento do FSII. Trabalhos atuais evidenciam que também é possível quantificar o comportamento do fotossistema I (FSI) a partir deste teste (HAN et al., 2009; OUKARROUM et al., 2009; YUSUF et al., 2010; ZHANG et al., 2010).

O teste JIP permite calcular diversos parâmetros, todos se referindo à condição da amostra no tempo zero (início da indução da fluorescência):

- a) Os fluxos específicos de energia (por centro de reação (RC), em unidades arbitrárias): para absorção (ABS/RC); captura (TR_0/RC); dissipação (DI_0/RC) e transporte de elétron de Q_A^- até a PQ (ET_0/RC);
- b) Os fluxos fenomenológicos de energia (por seção transversal excitada (CS), em unidades arbitrárias), ABS/CS , TR_0/CS , DI_0/CS e ET_0/CS , todos derivados dos correspondentes fluxos específicos;

c) As relações de fluxo ou de rendimento, isto é, o rendimento quântico máximo da etapa fotoquímica ($TR_0/ABS = \phi_{P0} = 1-F_0/F_M = F_V/F_M$), e a eficiência com que um exciton capturado pode mover um elétron dentro da cadeia de transporte de elétron de Q_A^- para o pool de plastoquinona (PQ-pool) ($\square\square ET_0/TR_0 = \psi_0 = 1-V_J$);

d) Os índices de desempenho PI_{ABS} (STRASSER et al., 2000, 2004) e PI_{TOTAL} (TSIMILLI-MICHAEL; STRASSER, 2008), que são medidas combinadas de desempenhos parciais que favorecem o desempenho fotossintético. PI_{ABS} e PI_{TOTAL} são expressões multiparamétricas que expressam os "potenciais" da energia do exciton para redução da PQ e para a redução dos aceptores finais do FSI, respectivamente. Segundo Strasser et al. (2000), a fórmula que representa o PI_{ABS} é a seguinte:

$$PI_{ABS} = RC/ABS \times \phi_{P0}/(1-\phi_{P0}) \times \psi_0/(1-\psi_0) \quad (1)$$

onde RC/ABS é a densidade de centros de reação, $\phi_{P0}/(1-\phi_{P0})$ é a eficiência das reações fotoquímicas, isto é, a probabilidade que um fóton absorvido é usado para uma separação de cargas e $\psi_0/(1-\psi_0)$ é um componente relacionado com a capacidade para remeter a transferência de elétron após a redução de Q_A^- . O PI_{TOTAL} estende o entendimento do aparato fotoquímico para além do FSII, pois, além dos constituintes do PI_{ABS} , ele leva em consideração a performance das reações de óxido-redução (Ox-Red) dos aceptores de elétrons do fotossistema I (FSI) ($\delta_{R0}/(1-\delta_{R0})$) (HAN et al., 2009), resultando na seguinte fórmula:

$$PI_{TOTAL} = RC/ABS \times \phi_{P0}/(1-\phi_{P0}) \times \psi_0/(1-\psi_0) \times \delta_{R0}/(1-\delta_{R0}) \quad (2)$$

Estudos utilizando esta técnica já foram feitos no sentido de detectar alterações no aparato fotoquímico por estresses abióticos como temperatura (OLIVEIRA et al., 2002), radiação (MAZZA et al., 2000), deficiência hídrica (GONÇALVES et al., 2009), herbicidas (CATUNDA et al., 2005) e salinidade (FALQUETO et al., 2008). Estresse bióticos também já foram monitorados podendo ser citados a presença de insetos (BOWN et al., 2002) ou fungos (PETERSON; AYLOR, 1995). Mais recentemente Christen et al. (2007) conseguiram detectar alterações nos parâmetros da fluorescência transiente dois meses antes do aparecimento dos sintomas visuais de

uma doença fúngica em uva de vinho. Os autores reconhecem serem os primeiros a detectar uma doença em plantas usando um método não destrutivo.

Contudo, avaliar a eficiência fotoquímica da cultivar Vitória do abacaxizeiro, desde o estágio vegetativo até o final do estágio reprodutivo, torna-se relevante por gerar um conhecimento a respeito do metabolismo de plantas importantes economicamente. Além disso, a produtividade de uma cultura está relacionada com o sucesso de seu aparato fotossintético, e a análise da fluorescência da clorofila *a* é capaz de detectar até mesmo pequenas alterações na estrutura e no funcionamento deste aparato (JIANG et al., 2002). Assim, a detecção precoce de alterações no aparato fotossintético causadas por estresses abióticos ou bióticos pode garantir o sucesso da colheita, uma vez que medidas reparatórias poderão ser feitas, e a detecção de alterações por modificações fisiológicas da própria planta pode ajudar o produtor a tomar certas decisões quanto ao manejo da lavoura.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o crescimento e a eficiência fotoquímica de abacaxizeiros (*Ananas comosus* var. *comosus*) cv. Vitória, desde o estágio de muda até o final do estágio reprodutivo.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Acompanhar o crescimento em altura da planta e comprimento da folha “D” de abacaxizeiros ‘Vitória’ durante os estádios vegetativo e reprodutivo;
- Quantificar os teores de pigmentos fotossintéticos de plantas de abacaxi ‘Vitória’ durante os estádios vegetativo e reprodutivo;
- Analisar a cinética de emissão da fluorescência transiente (teste JIP) de abacaxizeiros cv. Vitória durante os estádios vegetativo e reprodutivo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

As plantas de abacaxi (*Ananas comosus* var. *comosus*) da cultivar Vitória, utilizadas no presente estudo, foram cultivadas na Fazenda Experimental do Incaper em Sooretama (Figura 6), região metropolitana do Estado do Espírito Santo (Latitude: 19,114 S; Longitude: 40,079 W; Altitude: 75 m). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região corresponde ao grupo Aw, apresentando estação chuvosa no verão e seca, ou menos úmida, no inverno, com uma taxa de precipitação média anual de 1.200 mm e temperatura média de 25°C (OLIVELLA, 2005).

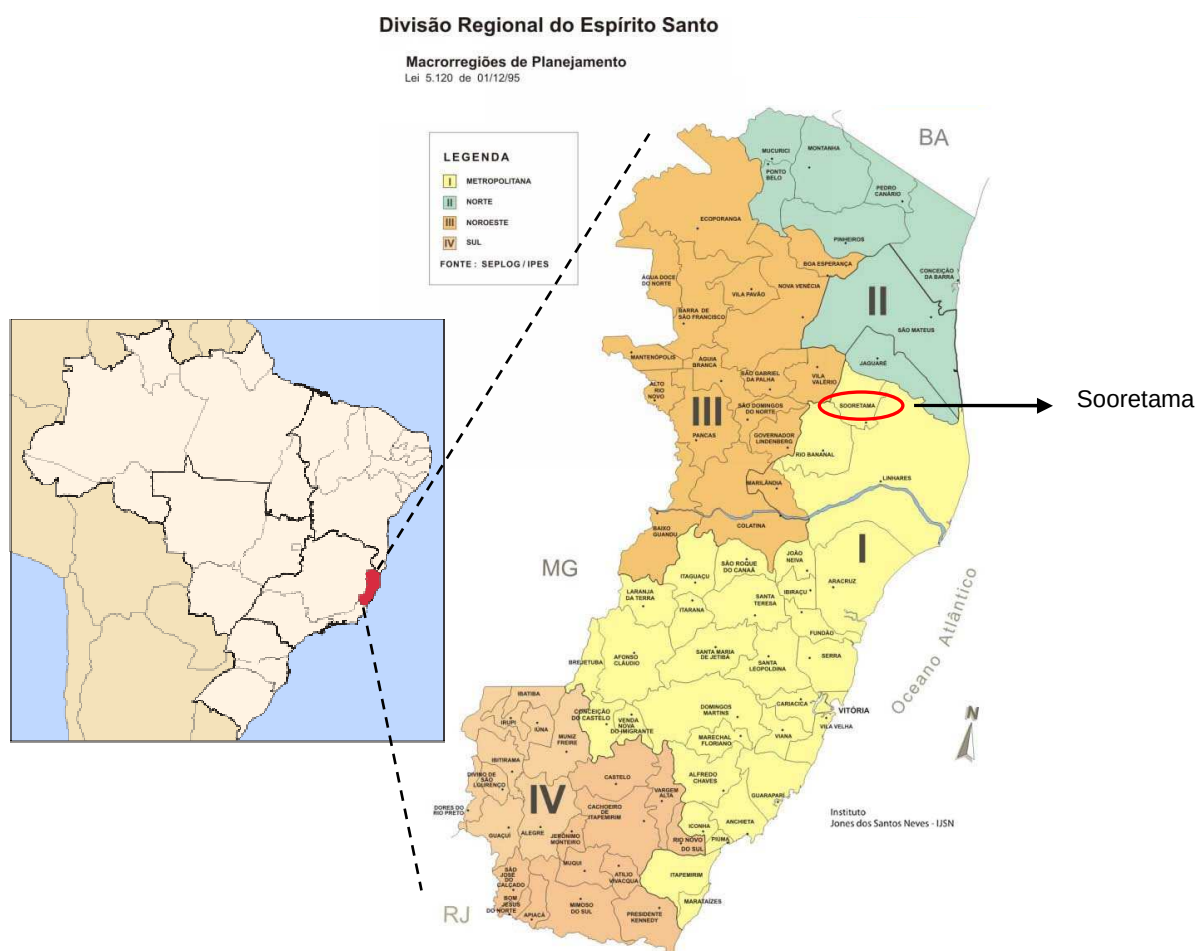


Figura 6 - Localização da área de estudo (Município de Sooretama, região metropolitana do Estado do Espírito Santo, Brasil) (Fonte: SEAG, 2010).

As mudas de abacaxizeiro 'Vitória' foram plantadas em fileira dupla, com espaçamento de 90 x 40 x 30 cm. Elas eram todas do tipo rebentão, que corresponde ao tipo de muda mais vigorosa e com menor ciclo de produção, objetivando a uniformidade da lavoura. O manejo da cultura seguiu as recomendações técnicas para a cultura do abacaxizeiro no Estado do Espírito Santo (GOMES et al., 2003). A irrigação foi feita por aspersão, sempre que necessário.

As avaliações foram realizadas desde a fase de planta jovem (Figura 7A), após dois meses que as mudas foram plantadas, até o final do período reprodutivo (Figura 7B), 16 meses após o plantio das mudas, sendo que durante todo o período avaliado as plantas estavam expostas às condições naturais de luz, temperatura e comprimento do dia.

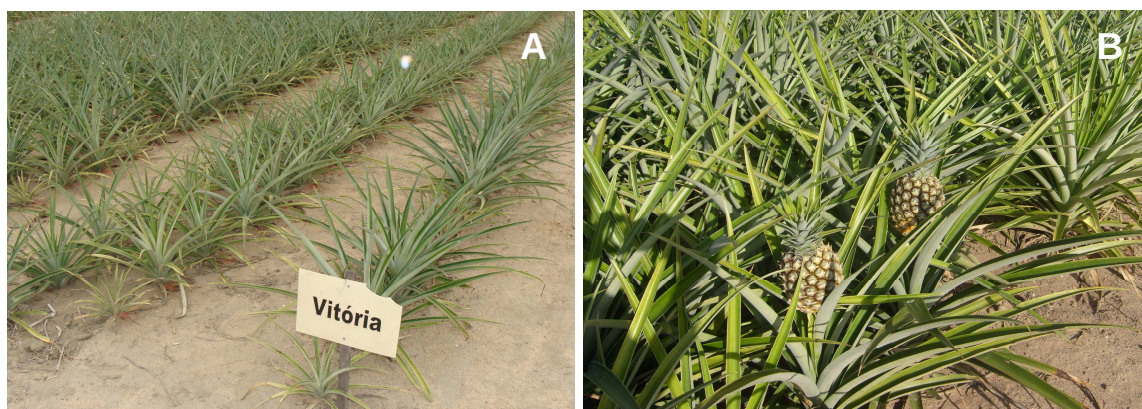


Figura 7 - Abacaxizeiros (*Ananas comosus* var. *comosus*) cv. Vitória, utilizados no presente estudo, no estágio vegetativo (A) e no estágio reprodutivo (B). Fotos tiradas na Fazenda Experimental do Incaper, Município de Sooretama, Estado do Espírito Santo, durante o período do experimento.

As avaliações realizadas nos abacaxizeiros em estágio vegetativo ocorreram do mês de julho de 2008 ao mês de abril de 2009. Já as avaliações realizadas durante o estágio reprodutivo, ocorreram do mês de maio ao mês de setembro de 2009. A indução floral foi feita artificialmente, no mês de abril de 2009, aos 333 dias após o plantio (DAP), com o produto comercial Ethrel®. Este produto tem como princípio ativo o ethephon (ácido 2-cloroetilfosfônico), que em contato com a água decompõe-se e libera o gás etileno (C₂H₄), responsável pela diferenciação floral do abacaxizeiro (CUNHA, 2004). Os dados meteorológicos do local do experimento foram acompanhados pela estação meteorológica automática do Incaper, também

localizada na Fazenda Experimental do Incaper em Sooretama, Estado do Espírito Santo.

No primeiro mês de análise (jul/08), dez plantas foram marcadas para as análises de crescimento e fluorescência da clorofila *a*, e outras dez plantas foram marcadas para a quantificação dos pigmentos fotossintéticos. Durante todo o período de estudo, essas mesmas plantas foram utilizadas.

As análises de crescimento e fluorescência da clorofila *a* foram realizadas no local de cultivo dos abacaxizeiros, enquanto que as análises de quantificação dos pigmentos fotossintéticos foram desenvolvidas no Laboratório de Ecofisiologia Vegetal, do Setor de Botânica (Departamento de Ciências Biológicas), da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória - ES.

4.2 CRESCIMENTO DAS PLANTAS

O crescimento foi avaliado mensalmente, com auxílio de uma trena, pela altura das plantas e comprimento das folhas "D". A altura foi medida desde o substrato até a folha mais alta da planta. Já o comprimento da folha "D" foi medido desde a inserção da mesma na planta até sua extremidade.

4.3 TEORES DE PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS

Os teores de pigmentos fotossintéticos foram determinados de dois em dois meses, utilizando-se o método espectrofotométrico de extração com o solvente orgânico dimetilsulfóxido (DMSO), em folhas "D" dos abacaxizeiros (HISCOX; ISRAELSTAM, 1979). Para a extração, foram retirados três discos de 8,5 mm de diâmetro de cada folha utilizada. Os discos foliares foram fatiados em pequenos pedaços e, posteriormente, colocados em tubos de ensaio, que continham 6,0 mL de DMSO. Logo após, os tubos foram cobertos por papel-alumínio e, então, permaneceram no escuro por 48 horas, em temperatura ambiente. Após este período, realizaram-se as leituras em espectrofotômetro (Femto Mod. 700plus) nas absorvâncias de 480, 649 e 665 nm (CATUNDA et al., 2005). Os teores de clorofila e carotenóides foram calculados de acordo com as equações de WELLBURN (1994):

$$[\text{Clorofila } a] (\mu\text{g.mL}^{-1}) = 12,19A_{665} - 3,45A_{649} \quad (3)$$

$$[\text{Clorofila } b] (\mu\text{g.mL}^{-1}) = 21,99A_{649} - 5,32A_{665} \quad (4)$$

$$[\text{Carotenóides}] (\mu\text{g.mL}^{-1}) = (1000A_{480} - 2,14 \text{ Clorofila } a - 70,16 \text{ Clorofila } b)/220 \quad (5)$$

Após o cálculo dos teores de pigmentos fotossintéticos (clorofilas *a* e *b* e carotenóides) em $\mu\text{g.mL}^{-1}$, foi feita uma transformação de unidades para $\mu\text{g.mm}^{-2}$.

4.4 CINÉTICA DE EMISSÃO DA FLUORESCÊNCIA TRANSIENTE (TESTE JIP)

A emissão da fluorescência da clorofila *a* foi medida na folha “D” das plantas, utilizando-se um fluorômetro portátil (Modelo Handy PEA, Hansatech Inst. UK.), mensalmente durante a fase vegetativa e de quinze em quinze dias na fase reprodutiva (após a indução floral). Todas as leituras foram realizadas após a aclimatização das amostras em escuro por 30 minutos, período suficiente para a oxidação completa do sistema fotossintético de transporte de elétrons. As medidas de fluorescência transiente foram obtidas até 1 s com taxa de aquisição de dados de 10^5 pontos por segundo para os primeiros 2 ms, e de 1000 pontos por segundo depois de 2 ms. A emissão de fluorescência da clorofila foi induzida em uma área de 4 mm de diâmetro da folha pela exposição da amostra a um pico de luz vermelha de $3.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A fluorescência inicial (F_0) foi considerada como sendo o nível de fluorescência no tempo de 50 μs (STRASSER et al., 1995), sendo que F_0 é a intensidade de fluorescência em que todos os centros de reação do fotossistema II (FSII) estão abertos (oxidados). A intensidade de fluorescência máxima (F_M), que é obtida quando todos os centros de reação do FSII estão fechados (reduzidos), também foi determinada. Após serem obtidas as intensidades de fluorescência, foram calculados os parâmetros estabelecidos pelo teste JIP (STRASSER et al. 2000, 2004), através do software Biolyser[®] (MALDONADO-RODRIGUEZ, 1999-2002), desenvolvido no Laboratório de Bioenergética, Universidade de Genebra.

Foram utilizados os seguintes parâmetros, todos se referindo à condição da amostra no tempo zero (início da indução da fluorescência):

- a) O fluxo específico de dissipação de energia (por centro de reação (RC), em unidades arbitrárias), DI_0/RC ;
- b) Os fluxos fenomenológicos de energia (por seção transversal excitada (CS), em unidades arbitrárias), absorção (ABS/CS), captura (TR_0/CS), dissipação (DI_0/CS) e transporte de elétron de Q_A^- até a PQ (ET_0/CS), todos derivados dos correspondentes fluxos específicos;
- c) As relações de fluxo ou de rendimento, isto é, o rendimento quântico máximo da etapa fotoquímica ($TR_0/ABS = \phi_{P0} = 1-F_0/F_M = F_V/F_M$), e a eficiência com que um exciton capturado pode mover um elétron dentro da cadeia de transporte de elétron de Q_A^- para o pool de plastoquinona (PQ-pool) ($\square\square ET_0/TR_0 = \psi_0 = 1-V_J$);
- d) Os índices de desempenho PI_{ABS} (STRASSER et al., 2000, 2004) e PI_{TOTAL} (TSIMILLI-MICHAEL; STRASSER, 2008), que são medidas combinadas de desempenhos parciais que favorecem o desempenho fotossintético. PI_{ABS} e PI_{TOTAL} são expressões multiparamétricas que expressam os "potenciais" da energia do exciton para redução da PQ e para a redução dos aceptores finais do FSI, respectivamente.
- e) E os componentes dos índices de desempenho (PI_{ABS} e PI_{TOTAL}): densidade de centros de reação ativos do FSII (RC/ABS), eficiência das reações fotoquímicas ($\phi_{P0}/(1-\phi_{P0})$), força relacionada às reações após a redução de Q_A^- ($\psi_0/(1-\psi_0)$), e performance das reações de óxido-redução (Ox-Red) no fotossistema I (FSI) ($\delta_{R0}/(1-\delta_{R0})$), que resultam nas seguintes fórmulas:

$$PI_{ABS} = RC/ABS \times \phi_{P0}/(1-\phi_{P0}) \times \psi_0/(1-\psi_0) \quad (1)$$

$$PI_{TOTAL} = RC/ABS \times \phi_{P0}/(1-\phi_{P0}) \times \psi_0/(1-\psi_0) \times \delta_{R0}/(1-\delta_{R0}) \quad (2)$$

4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com dez repetições por coleta de dados para todas as análises. Foi utilizado erro-padrão para avaliação dos resultados de crescimento e fluorescência da clorofila *a*. Os dados obtidos de

pigmentos fotossintéticos foram submetidos à análise de variância e, quando os valores de F foram significativos, realizou-se uma comparação de médias utilizando-se o teste de Tukey, em nível de 5%, a partir do sistema para análises estatísticas Assistat 7.4 beta, UAEG-CTRN-UFCG, Campina Grande – PB (SILVA, 2007).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CRESCIMENTO DAS PLANTAS

A Figura 8 apresenta as médias de temperatura (°C) e as médias de pluviosidade (mm) dos meses em que se realizou a coleta de dados deste trabalho (jul/08 a set/09), medidas pela estação metereológica do Incaper, localizada na Fazenda Experimental do Incaper, em Sooretama - ES.

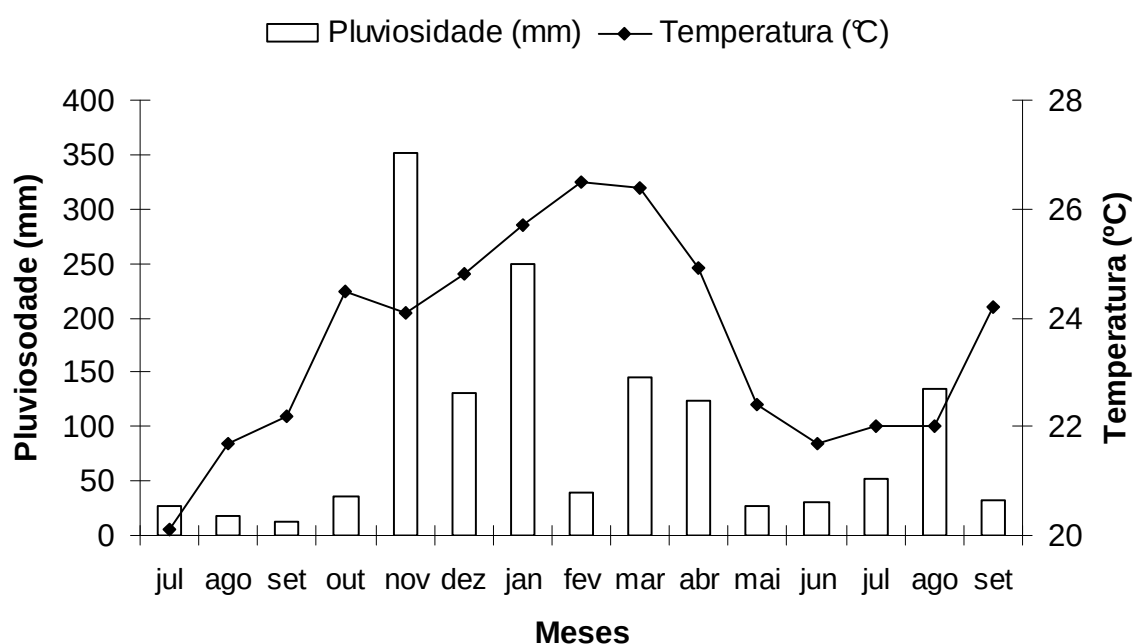


Figura 8 - Pluviosidades médias (mm) e temperaturas médias (°C) dos meses em que se realizou a coleta de dados deste trabalho (jul/08 a set/09), medidas pela estação metereológica do Incaper, localizada na Fazenda Experimental do Incaper, Município de Sooretama, Estado do Espírito Santo.

Verifica-se que a temperatura média do período de análise foi de 23,5°C e a soma da pluviosidade dos primeiros doze meses de cultivo (de jul/08 a jun/09) foi de 1.193,5 mm. Segundo a Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical (2009), a faixa ótima de temperatura para o crescimento e desenvolvimento do abacaxizeiro, em termos de folhas e raízes, está entre 22°C e 32°C. Com relação à pluviosidade, recomendam que a produção de abacaxi com finalidade comercial/econômica deve ser feita em áreas onde as chuvas atinjam de 1.000 a 1.500 mm anuais. A partir

destes dados constata-se que os abacaxizeiros foram cultivados em condições ideais de temperatura e pluviosidade.

A altura dos abacaxizeiros 'Vitória' seguiu um comportamento biológico de crescimento ao longo do tempo com uma curva sigmoidal dupla, bastante característica (Figura 9).

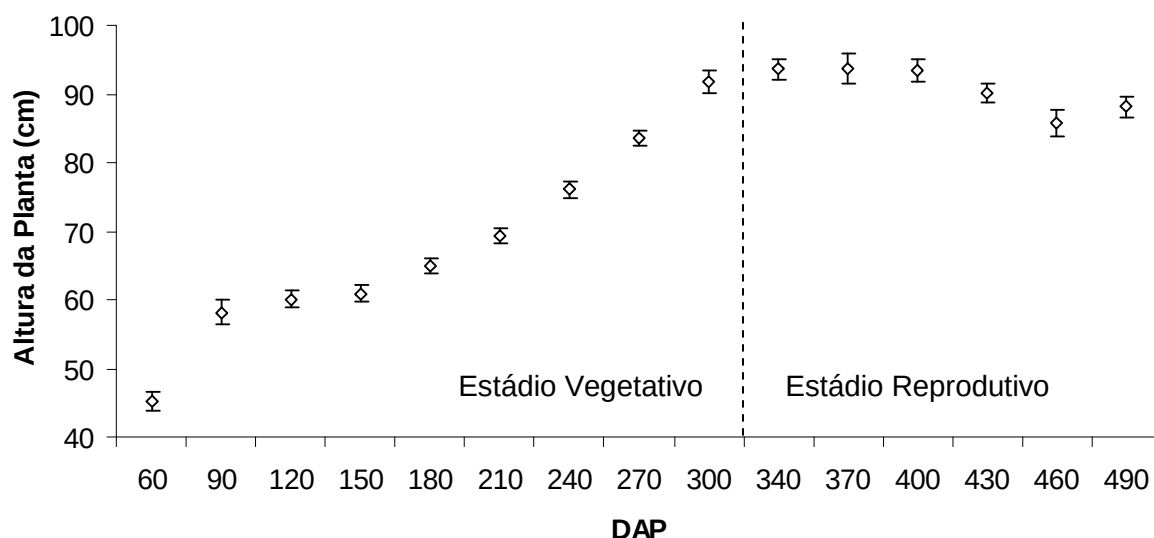


Figura 9 - Altura dos abacaxizeiros cv. Vitória, cultivados na Fazenda Experimental do Incaper, Município de Sooretama - ES, medida em centímetros, em função dos dias após o plantio (DAP). Cada ponto representa a média de 10 repetições. Barras verticais indicam erro-padrão.

Somente a segunda e a terceira etapa da primeira curva sigmóide foi observada, isto é, entre os 60 e os 90 dias após a colheita (DAP) houve um rápido crescimento, seguido de uma tendência à estabilização. Logo após, ocorre uma segunda curva, com crescimento rápido, seguido mais uma vez de uma tendência à estabilização. Tem-se, então, incremento na altura da planta até os 300 DAP, no último mês da fase vegetativa, seguida de estabilização. Este comportamento sugere uma preparação da planta para o início do estágio reprodutivo. Durante esse período, a energia produzida pela fotossíntese está sendo canalizada para o desenvolvimento do fruto, causando estabilização no crescimento da planta. Além disso, a presença do fruto no centro da roseta do abacaxizeiro impede que as folhas fiquem eretas, resultando na redução do ângulo entre a folha e o solo.

Do início ao final do experimento, a altura média das plantas variou de 45,3 cm a 88,1 cm. Porém, a maior altura encontrada foi aos 340 DAP, quando os abacaxizeiros apresentaram uma altura média de 93,6 cm. Souza et al. (2007), trabalhando com a cv. Pérola, verificaram que a altura das plantas atingiu o valor de 115 cm aos 308 dias após plantio. Afirmaram, ainda, que os relatos encontrados na literatura descrevem que uma planta adulta, crescendo em condições climáticas ideais e sem deficiência hídrica, atinge de 100 a 120 cm de altura. Catunda et al. (2005), trabalhando em casa de vegetação, encontraram uma altura média para os abacaxizeiros controle de 118,3 cm, apenas 150 dias após o plantio das mudas. Os abacaxizeiros 'Vitória' avaliados no presente estudo, aos 150 DAP atingiram uma altura média de 60,9 cm. Como as plantas utilizadas no presente estudo foram cultivadas sob as condições de temperatura e pluviosidade (Figura 8) recomendadas pelo Incaper (GOMES et al., 2003), o tamanho reduzido do abacaxizeiro 'Vitória' parece ser uma característica inerente a esta cultivar.

A Figura 10 mostra que o comprimento da folha "D" também seguiu o padrão de crescimento do tipo sigmóide. No início do desenvolvimento do abacaxizeiro, a folha "D" permaneceu com um comprimento estável. Logo após, houve um rápido crescimento, seguido de outra tendência à estabilização. Observa-se, então, mais um período de crescimento rápido, que precede uma redução, seguida de aumento do comprimento da folha "D". Verificou-se, assim, que o comprimento da folha "D" aumenta até os 340 DAP, no início do estágio reprodutivo, e que há uma redução do crescimento em comprimento de folha "D" nas medidas seguintes. Este fato permite inferir que o fruto é um dreno forte, pois os fotoassimilados produzidos são priorizados para a formação e desenvolvimento do fruto, em detrimento da produção e desenvolvimento das folhas.

O comprimento médio das folhas "D" dos abacaxizeiros cv. Vitória (Figura 10) desde o início até o final do experimento foi de 50,8 cm a 66,8 cm. O maior comprimento observado, assim como a maior altura da planta, foi aos 340 DAP, quando a folha "D" atingiu um comprimento médio de 73,5 cm. Tem-se, então, maior altura da planta e maior crescimento da folha "D" no mês em que se realizou a indução floral (abr/09), mostrando mais uma vez a preparação da planta para a entrada no período reprodutivo.

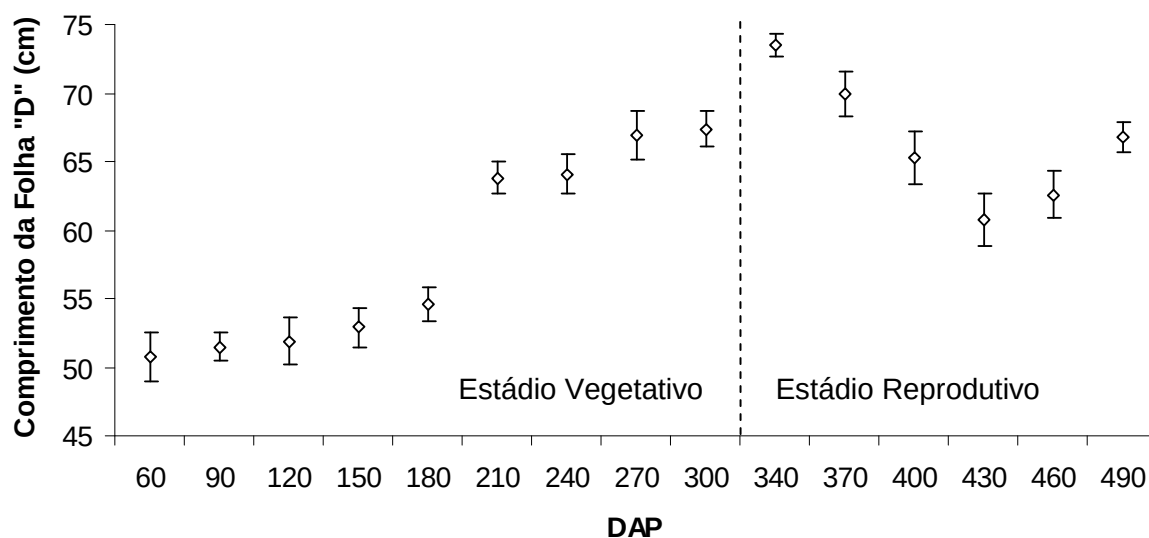


Figura 10 - Comprimento da folha "D" dos abacaxizeiros cv. Vitória, cultivados na Fazenda Experimental do Incaper, Município de Sooretama - ES, medida em centímetros, em função dos dias após o plantio (DAP). Cada ponto representa a média de 10 repetições. Barras verticais indicam erro-padrão.

Barbosa (1997) e Antunes et al. (2008) encontraram valores mais elevados para o comprimento da folha "D" quando estudaram abacaxizeiros das cvs. Pérola e Smooth Cayenne, respectivamente. Barbosa (1997) encontrou um valor de aproximadamente 80 cm para a cv. Pérola, enquanto que Antunes et al. (2008) observaram um comprimento da folha "D" de 87,10 cm para a cv. Smooth Cayenne. Catunda et al. (2005), trabalhando em casa de vegetação, encontraram para os abacaxizeiros uma média de comprimento da folha "D" de 78,8 cm, 150 dias após o plantio das mudas. Aos 150 DAP, os abacaxizeiros 'Vitória' aqui avaliados apresentaram média de 52,9 cm para o comprimento da folha "D". Tais resultados mostram um menor porte dos abacaxizeiros 'Vitória', quando comparados às cvs. Pérola e Smooth Cayenne e às plantas utilizadas por Catunda et al. (2005).

Ventura et al. (2006) encontraram 92,8 cm de comprimento da folha "D" para a cv. 'Vitória', valor mais elevado em relação ao presente estudo. Porém, também verificaram valores de comprimento da folha "D" nas cvs. Pérola e Smooth Cayenne mais elevados do que os valores aqui apresentados para a cv. Vitória. Esses valores foram de 93,4 cm para a cv. Pérola e de 86,6 cm para a cv. Smooth Cayenne.

A partir das medidas de crescimento (altura da planta e comprimento da folha "D"), verificou-se que o abacaxizeiro 'Vitória' apresenta uma menor dimensão, quando

comparado com as cultivares mais produzidas no Brasil ('Pérola' e 'Smooth Cayenne'). Esta constatação configura mais uma vantagem à cv. Vitória, pois, além da inexistência de espinhos nas folhas, plantas menores facilitam os tratos culturais e a colheita dos frutos.

5.2 TEORES DE PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS

Os teores dos pigmentos fotossintéticos e as relações clorofila *a/b* e clorofila total/carotenóides dos abacaxizeiros cv. Vitória durante os estádios vegetativo e reprodutivo estão representados na Tabela 1. Verificou-se aumento na concentração de todos os pigmentos analisados (clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total e pigmentos carotenóides), com posterior estabilidade e redução na última análise. A relação clorofila *a/b* manteve-se estável, com exceção da análise aos 150 DAP, onde houve um aumento. Já a relação clorofila total/carotenóides aumentou até o início do estágio reprodutivo e manteve-se estável até a última análise.

Tabela 1 - Teores de pigmentos fotossintéticos (clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total e pigmentos carotenóides), expressos em $\mu\text{g}.\text{mm}^{-2}$ e relação clorofila *a/b* e clorofila total/carotenóides dos abacaxizeiros cv. Vitória, cultivados na Fazenda Experimental do Incaper, Município de Sooretama - ES, durante o estágio vegetativo (do 90º ao 270º DAP) e o estágio reprodutivo (do 340º ao 460º DAP).

	ESTÁDIOS DE DESENVOLVIMENTO DA PLANTA						
	Vegetativo				Reprodutivo		
	90 DAP	150 DAP	210 DAP	270 DAP	340 DAP	400 DAP	460 DAP
Clorofila <i>a</i>	0,344 B ¹	0,262 B	0,338 B	0,663 A	0,659 A	0,613 A	0,309 B
Clorofila <i>b</i>	0,513 B	0,316 C	0,469 BC	0,925 A	0,937 A	0,921 A	0,485 BC
Clorofila total	0,857 B	0,578 B	0,808 B	1,588 A	1,595 A	1,534 A	0,793 B
Carotenóides	0,187 C	0,129 D	0,166 CD	0,282 A	0,240 AB	0,215 BC	0,120 D
Clorofila <i>a/b</i>	0,669 BC	0,829 A	0,721 B	0,720 BC	0,702 BC	0,667 BC	0,642 C
Clorofila/Carot	4,612 C	4,483 C	4,871 BC	5,621 B	6,680 A	7,174 A	6,631 A

¹ Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Aos 60 dias após o plantio em casa de vegetação, Catunda et al. (2005) encontraram, em abacaxizeiros valores de 0,361, 0,134 e 0,073 $\mu\text{g}.\text{mm}^{-2}$ de clorofila *a*, clorofila *b* e pigmentos carotenóides, respectivamente, e de 6,026 para a relação clorofila/carotenóides. Aos 90 DAP, os abacaxizeiros 'Vitória' aqui avaliados apresentaram valores mais baixos para o teor de clorofila *a* e para a relação clorofila/carotenóides (0,344 $\mu\text{g}.\text{mm}^{-2}$ e 4,612), porém, apresentaram valores mais elevados para a clorofila *b* e os pigmentos carotenóides (0,513 $\mu\text{g}.\text{mm}^{-2}$ e 0,187 $\mu\text{g}.\text{mm}^{-2}$, respectivamente). Esses resultados mostram que os abacaxizeiros 'Vitória' possuem uma produção mais expressiva dos pigmentos acessórios (clorofila *b* e pigmentos carotenóides), provavelmente por estarem sob alta irradiância, cerca de 1500 μmol fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ao meio-dia (CATEN, 2007), diferentemente dos abacaxizeiros utilizados por Catunda et al. (2005), que estavam sob condições controladas de casa de vegetação.

Um dos fatores ligados à eficiência fotossintética de plantas e, conseqüentemente, ao crescimento e à adaptabilidade a diversos ambientes é o conteúdo de clorofila e de pigmentos carotenóides (ZANELLA, 2006). Além da concentração total desses pigmentos, a proporção entre eles e entre as clorofilas *a* e *b* muda em função da intensidade luminosa. O conteúdo de clorofila nas folhas freqüentemente é utilizado para estimar o potencial fotossintético das plantas, pela sua ligação direta com a absorção e transferência de energia luminosa. Uma planta com alta concentração de clorofila é capaz de atingir taxas fotossintéticas mais altas, pelo seu valor potencial de captação de luz na unidade de tempo (RÊGO; POSSAMAI, 2004).

A clorofila *a* especial, chamada de P_{680} no FSII por absorver luz na faixa de 680 nm e P_{700} no FSI por absorver luz na faixa de 700 nm, é o pigmento utilizado para realizar a fase fotoquímica da fotossíntese (primeiro estágio do processo fotossintético), enquanto que os demais pigmentos auxiliam na absorção de luz e na transferência da energia radiante para os centros de reação, sendo assim chamados de pigmentos acessórios. Os principais pigmentos acessórios são as clorofilas *b* e os carotenóides (TAIZ; ZEIGER, 2006).

A clorofila *b* garante uma maior eficiência na absorção de energia luminosa, pois possibilita a captação de comprimentos de onda diferentes daqueles absorvidos pelos demais pigmentos (LÜTTGE, 1997).

Os pigmentos carotenóides, além de serem extremamente importantes para a captação de luz, também auxiliam no processo de fotoproteção dos pigmentos dos cloroplastos (MERZLYAK; SOLOVCHENKO, 2002). É fundamental o seu papel na proteção do aparato fotossintético, impedindo o dano fotoinibitório (CARPENTIER, 1997).

As clorofilas *a* e *b*, e os pigmentos carotenóides (Tabela 1), assim como a altura da planta (Figura 9) e o comprimento da folha “D” (Figura 10), expõem uma curva sigmoideal de desenvolvimento, onde há um período inicial de estabilização, seguido por um rápido aumento, e posterior redução. Observa-se, porém, que houve redução inesperada de todos os pigmentos fotossintéticos aos 150 DAP, correspondente ao mês de outubro de 2008. A Figura 8 mostra que no mês de outubro de 2008 e nos meses anteriores (jul/08 a set/08) houve um período de seca e uma elevação da temperatura. A redução da disponibilidade de água e de nutrientes para os abacaxizeiros podem ter causado a redução na biossíntese dos pigmentos fotossintéticos.

Estes resultados indicam que o período em que houve incremento seguido de estabilização dos pigmentos fotossintéticos, entre o estágio vegetativo e o estágio reprodutivo (do 270º ao 400º DAP), foi o período de maior produção de fotoassimilados, sugerindo que o abacaxizeiro possui um período preparatório para a entrada no estágio reprodutivo, seguido do desenvolvimento do fruto e das mudas. Ao final do estágio reprodutivo (no 460º DAP) houve redução dos pigmentos fotossintéticos, indicando o início da senescência dos abacaxizeiros.

Com base no que foi exposto acima, o aumento dos pigmentos fotossintéticos (clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total e pigmentos carotenóides) observado na Tabela 1, sugere uma maior eficiência na absorção de energia luminosa dos abacaxizeiros ‘Vitória’ durante o período de preparação para o estágio reprodutivo e o período de desenvolvimento do fruto. Além disso, indica que essas plantas possuem um bom mecanismo fotoprotetor, uma vez que há uma constante produção dos pigmentos

acessórios (clorofilas *b* e carotenóides). O desvio dos produtos da fotossíntese para o desenvolvimento do fruto e para a produção de mudas pode induzir a senescência da planta, fato indicado pela redução de todos os pigmentos fotossintéticos ao final do estágio reprodutivo.

Segundo Lichtenthaler et al. (1981), clorofila *a* e clorofila *b* apresentam-se nas membranas dos cloroplastos na proporção de 3:1, aproximadamente. Já a proporção entre a clorofila total e os pigmentos carotenóides é de 10:1. Neste trabalho observou-se valor máximo alcançado na relação clorofila *a/b* de 0,829, aos 150 DAP, e máximo na relação clorofila total/carotenóides de 7,174, aos 400 DAP, sugerindo que os pigmentos acessórios são sintetizados em grande quantidade e, com isso, o abacaxizeiro 'Vitória' possui uma barreira fotoprotetora à fotoinibição da fotossíntese.

Ainda na Tabela 1, verificou-se que a razão clorofila total/carotenóides foi maior do 340° ao 460° DAP, indicando um aumento mais acentuado no teor de clorofila total em relação aos pigmentos carotenóides durante o estágio reprodutivo.

5.3 CINÉTICA DE EMISSÃO DA FLUORESCÊNCIA TRANSIENTE (TESTE JIP)

A partir do aumento do teor de pigmentos fotossintéticos e, conseqüentemente, da absorção da energia luminosa, espera-se também um melhor aproveitamento desta energia. A fim de verificar como ocorre o fluxo de energia através do fotossistema II (FSII), a Figura 11 mostra os parâmetros fenomenológicos da fluorescência da clorofila *a*, que são expressos por seção transversal excitada no tempo zero (CS_0), dos abacaxizeiros cv. Vitória durante o estágio vegetativo e reprodutivo, representados no eixo das ordenadas do gráfico pelos dias após a colheita (DAP). O estágio vegetativo foi acompanhado mês a mês, enquanto que o estágio reprodutivo foi acompanhado de quinze em quinze dias. A indução floral ocorreu aos 333 DAP, e realizou-se uma análise três dias antes da indução, aos 330 DAP, e outra uma semana depois da indução, aos 340 DAP.

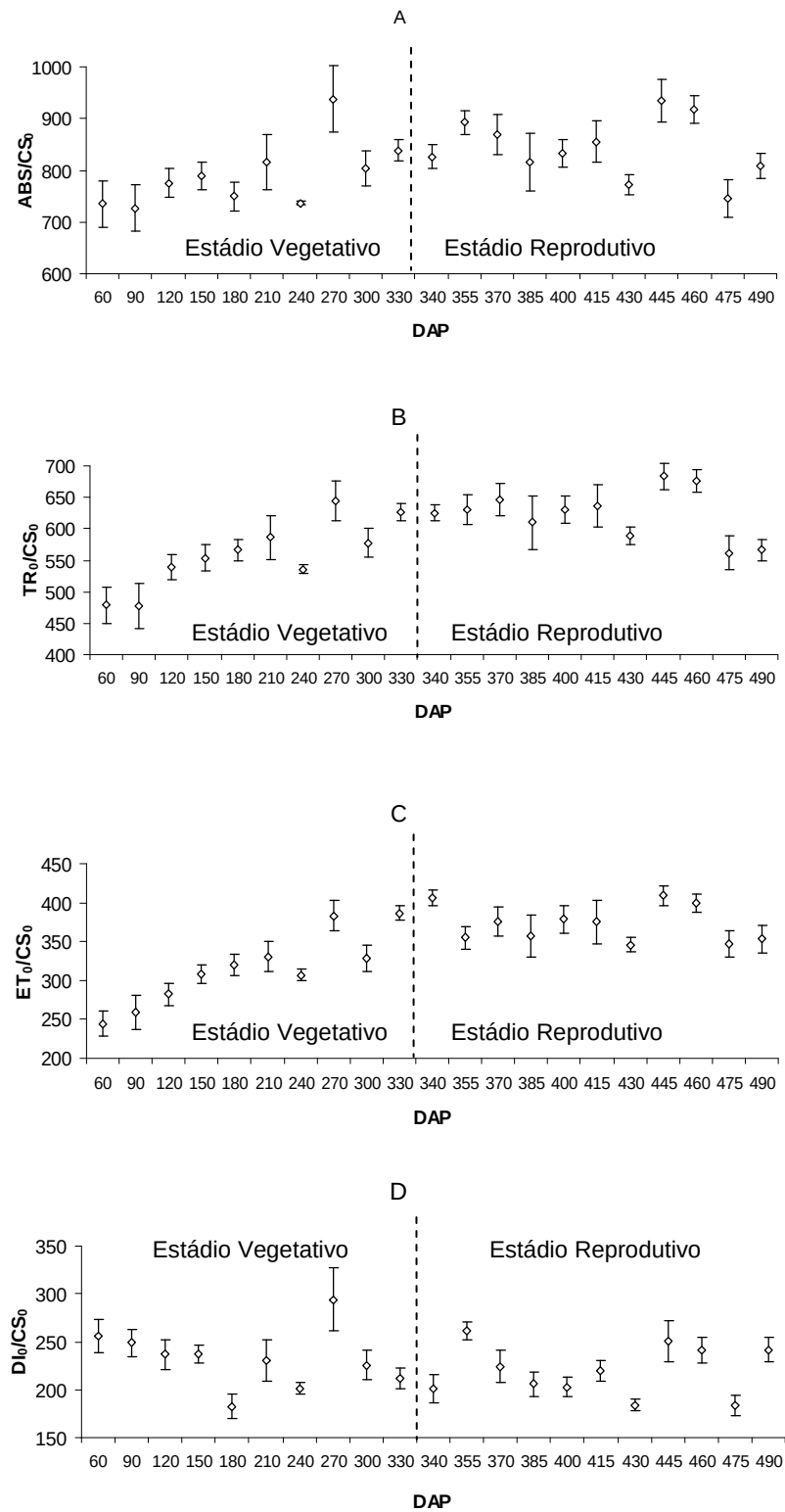


Figura 11 - Parâmetros fenomenológicos da técnica de emissão de fluorescência: fluxos de absorção (ABS/CS_0) (A), captura (TR_0/CS_0) (B), transporte de elétrons (ET_0/CS_0) (C) e dissipação (DI_0/CS_0) (D) de energia por seção transversal dos abacaxizeiros cv. Vitória, cultivados na Fazenda Experimental do Incaper, Município de Sooretama - ES, em função dos dias após o plantio (DAP). Cada ponto representa a média de 10 repetições. Barras verticais indicam erro-padrão.

Observa-se que os fluxos de absorção de energia luminosa (ABS/CS_0), de captura de energia luminosa (TR_0/CS_0) e de transporte de elétrons excitados (ET_0/CS_0) por seção transversal seguem uma mesma tendência. Esses três parâmetros aumentaram até o final do estágio vegetativo e mantiveram-se estáveis no estágio reprodutivo (Figura 11A, B e C). Nas duas últimas análises, aos 475 e 490 DAP (já no período de colheita), observa-se queda nos valores destes parâmetros, corroborando com a redução tanto do crescimento em altura da planta (Figura 9) e comprimento da folha “D” (Figura 10) quanto dos teores de pigmentos fotossintéticos (Tabela 1) neste mesmo período.

Com relação ao fluxo de dissipação de energia por seção transversal excitada (DI_0/CS_0) (Figura 11D), verificou-se uma tendência à queda dos valores no início do período vegetativo, com posterior estabilização durante o desenvolvimento do fruto, mostrando que a energia radiante foi melhor aproveitada nesse período. A partir dos 445 DAP, no final do estágio reprodutivo, com as plantas em processo de senescência, houve uma maior dissipação da energia luminosa.

Verifica-se, então, a partir destes resultados, que houve um bom aproveitamento da energia luminosa pelas plantas de abacaxizeiro cv. Vitória desde o estágio vegetativo até os meses finais do estágio reprodutivo, pois ocorreu tanto a redução da dissipação de energia luminosa (DI_0) quanto o aumento da absorção de energia pelo complexo antena (ABS), da captura dessa energia do centro de reação do FSII até a redução de Q_A^- (TR_0) e do transporte de elétrons a partir de Q_A^- até a redução da plastocianina (ET_0) (TSIMILLI-MICHAEL; STRASSER, 2008).

A Figura 12 representa as taxas de rendimento do uso da energia luminosa pelo FSII (F_V/F_M e ET_0/TR_0) e o fluxo de dissipação de energia por centro de reação (DI_0/RC) dos abacaxizeiros ‘Vitória’ durante os estádios vegetativo e reprodutivo. Observa-se que o rendimento quântico potencial do FSII (F_V/F_M) e a probabilidade dos elétrons absorvidos seguirem pela cadeia transportadora de elétrons (ET_0/TR_0) tenderam a aumentar até os 340 DAP (uma semana após a indução floral). Na mesma medida, o fluxo específico de dissipação da energia ao nível das clorofilas da antena (DI_0/RC) tendeu a cair. Três semanas depois da indução floral (aos 355 DAP) houve redução em F_V/F_M e ET_0/TR_0 e aumento em DI_0/RC e, a partir daí, observou-se novamente

uma tendência de aumento para F_v/F_m e ET_0/TR_0 e uma tendência de redução para DI_0/RC .

Apesar de Maxwell e Johnson (2000) afirmarem que a razão F_v/F_m é um bom indicador de efeitos fotoinibitórios no FSII, Force et al. (2003) acreditam que a fotoinibição é mais seguramente identificada pelo aumento em DI_0/RC e pela redução de ET_0/TR_0 . Na Figura 12, verificou-se redução em F_v/F_m e ET_0/TR_0 e aumento em DI_0/RC três semanas depois da indução floral, mostrando que, tanto o parâmetro mais geral (F_v/F_m) quanto os parâmetros mais minuciosos (DI_0/RC e ET_0/TR_0) indicaram fotoinibição neste momento. Tais resultados mostram que no abacaxizeiro 'Vitória' há um aumento gradativo da eficiência fotoquímica durante o estágio vegetativo e que as plantas sofrem uma fotoinibição da fotossíntese na terceira semana após a indução floral.

A fotoinibição envolve danos aos centros de reação, especialmente no FSII, quando eles são superexcitados. No FSII, ocorre perda da proteína D_1 , envolvida na transferência de elétrons entre P_{680} e a plastoquinona. Porém, este processo pode ser temporário (fotoinibição dinâmica) ou permanente (fotoinibição crônica) (TAIZ; ZIEGER, 2006). No caso das plantas de abacaxi 'Vitória', ocorreu uma fotoinibição dinâmica, visto que houve recuperação do FSII, indicado pelo aumento de F_v/F_m e ET_0/TR_0 e pela redução de DI_0/RC , ao longo do período reprodutivo.

Catunda et al. (2005), em experimento de casa de vegetação, encontraram um valor de 0,803 para F_v/F_m nos abacaxizeiros controle, aos 60 dias após o plantio das mudas. Aos 60 DAP, os abacaxizeiros 'Vitória' utilizados neste trabalho apresentaram valor de 0,652 para F_v/F_m (Figura 12A). Este baixo rendimento quântico máximo do FSII caracteriza uma fotoinibição, confirmada pela baixa probabilidade dos elétrons absorvidos seguirem pela cadeia transportadora de elétrons (ET_0/TR_0) (Figura 12B) e pelo alto fluxo específico de dissipação da energia ao nível das clorofilas da antena DI_0/RC (Figura 12C) nesta mesma medida, ocorrida, provavelmente, pelo fato de os abacaxizeiros 'Vitória' ainda não estarem adaptados às condições de campo, processo pelo qual os abacaxizeiros utilizados por Catunda et al. (2005) não tiveram a necessidade de passar.

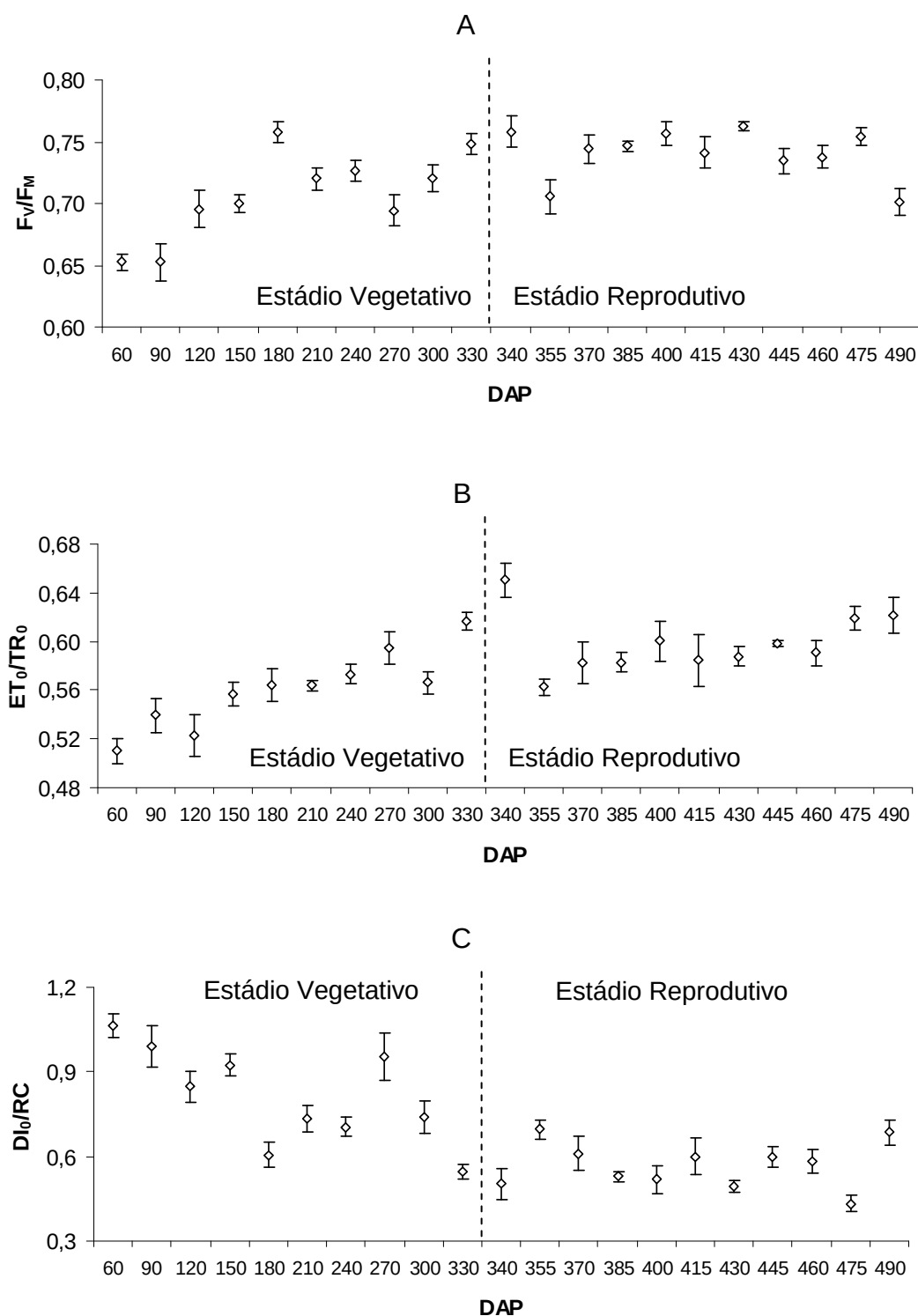


Figura 12 - Rendimento quântico máximo do FSII (F_v/F_m) (A), probabilidade de transporte dos elétrons excitados (ET_0/TR_0) (B) e fluxo de dissipação de energia por centro de reação (DI_0/RC) dos abacaxizeiros cv. Vitória, cultivados na Fazenda Experimental do Incaper, Município de Sooretama - ES, em função dos dias após o plantio (DAP). Cada ponto representa a média de 10 repetições. Barras verticais indicam erro-padrão.

O índice de vitalidade de uma amostra (PI_{ABS}) é uma expressão multiparamétrica que combina algumas respostas parciais do aparato fotossintético (STRAUSS et al., 2006). Este índice combina as três propriedades principais que determinam a atividade do potencial fotossintético: a) a densidade de centros de reação (RC/ABS), b) a eficiência das reações fotoquímicas, isto é, a probabilidade que um fóton absorvido seja usado para uma separação de cargas ($\phi_{P0}/(1-\phi_{P0})$), e c) um componente relacionado com a capacidade para remeter a transferência de elétron após a redução de Q_A^- ($\psi_0/(1-\psi_0)$). A idéia é que se um estresse afetar quaisquer destes componentes o efeito aparecerá no índice de vitalidade (PI_{ABS}) (HAN et al., 2009).

Na Figura 13, que apresenta os três componentes do PI_{ABS} , verifica-se uma tendência de aumento de RC/ABS, $\phi_{P0}/(1-\phi_{P0})$ e $\psi_0/(1-\psi_0)$ até os 340 DAP (uma semana depois da indução floral), seguida de redução dessas razões aos 355 DAP (três semanas depois da indução floral). A partir daí, os valores dos três parâmetros tenderam a aumentar novamente. A queda de $\phi_{P0}/(1-\phi_{P0})$ a partir do 445º DAP (Figura 13B) é neutralizada pelo aumento de $\psi_0/(1-\psi_0)$ nesse mesmo período (Figura 13C), não afetando a tendência de aumento do PI_{ABS} (Figura 14) no final do estágio reprodutivo.

Como visto na Tabela 1, no final do estágio vegetativo e durante o estágio reprodutivo houve acréscimo em todos os pigmentos fotossintéticos, sugerindo uma ampliação do complexo-antena e incremento no número de centros de reação. Estes resultados foram confirmados pela cinética de emissão de fluorescência, uma vez que o fluxo de absorção de energia luminosa por seção transversal excitada (ABS/ CS_0) (Figura 11A) e a densidade de centros de reação ativos do fotossistema II (RC/ABS) (Figura 13A) aumentaram durante o estágio vegetativo e mantiveram-se altos durante o estágio reprodutivo.

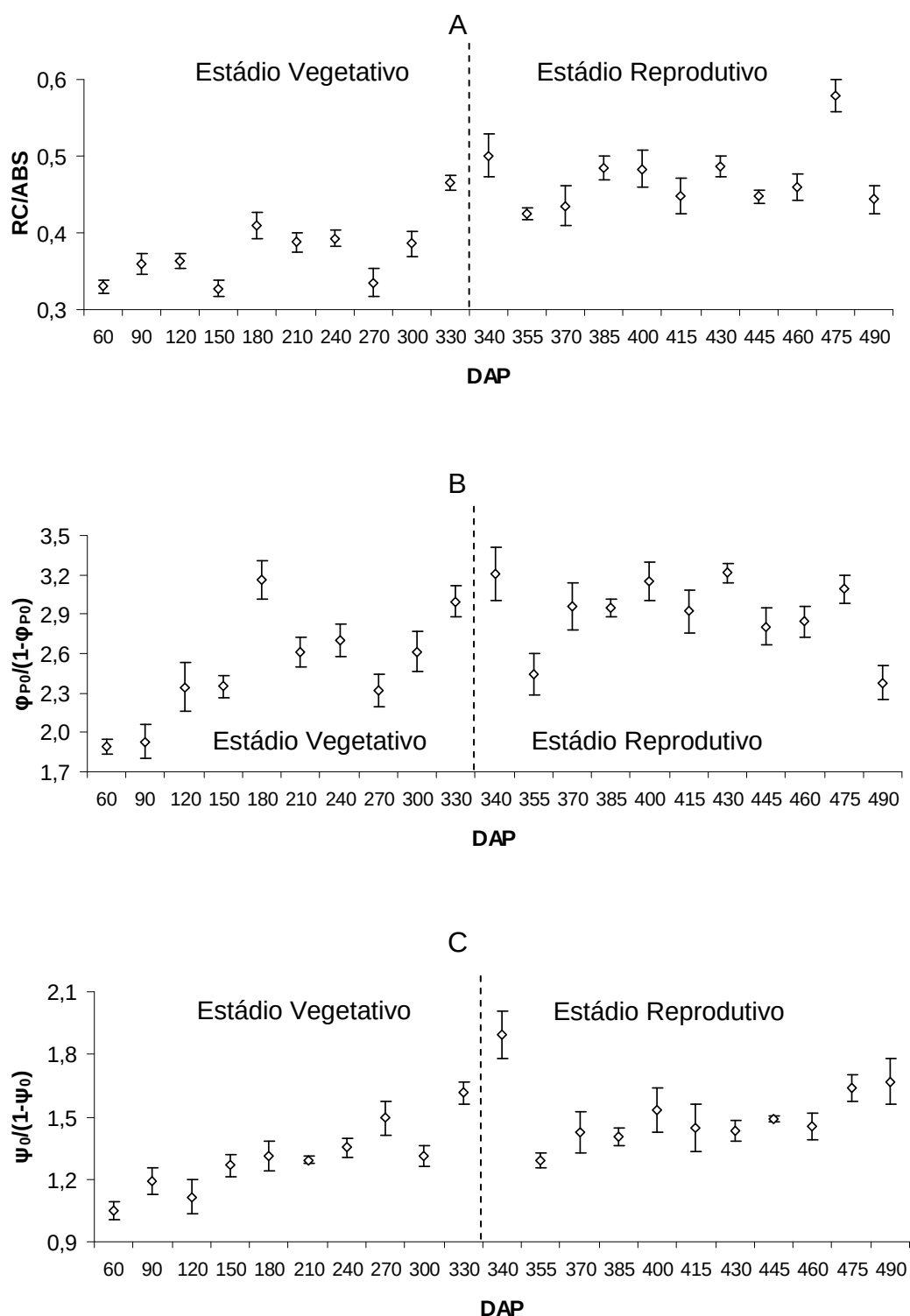


Figura 13 - Densidade de centros de reação ativos do fotossistema II (RC/ABS) (A), força das reações fotoquímicas ($\phi_{P0}/(1-\phi_{P0})$) (B) e força relacionada às reações após a redução de QA^- ($\psi_0/(1-\psi_0)$) (C) dos abacaxizeiros cv. Vitória, cultivados na Fazenda Experimental do Incaper, Município de Sooretama - ES, em função dos dias após o plantio (DAP). Cada ponto representa a média de 10 repetições. Barras verticais indicam erro-padrão.

Os resultados apresentados na Figura 13, que juntos resultam no índice de vitalidade (PI_{ABS}), mostrado na Figura 14, levaram ao aumento contínuo do PI_{ABS} durante o estágio vegetativo. Do mesmo modo que ocorreu com os parâmetros RC/ABS , $\phi_{P0}/(1-\phi_{P0})$ e $\psi_0/(1-\psi_0)$, o PI_{ABS} sofreu uma queda três semanas após a indução floral (aos 355 DAP), evidenciando uma sensibilidade das plantas à indução. Logo após, houve uma tendência de aumento até o final do estágio reprodutivo, indicando que os abacaxizeiros 'Vitória' possuem mecanismos eficientes de redução de danos ao aparato fotoquímico.

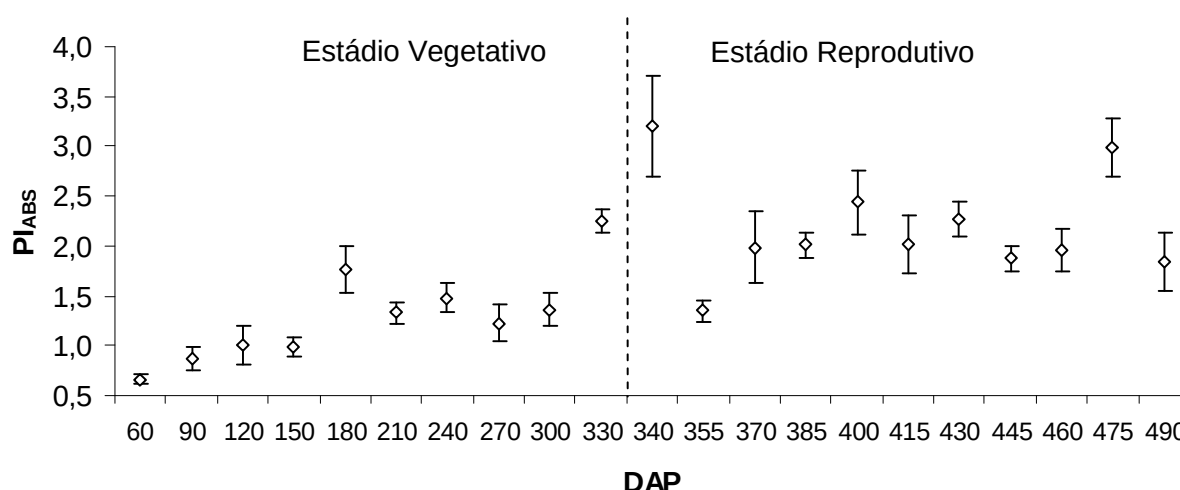


Figura 14 - Índice de vitalidade (PI_{ABS}) dos abacaxizeiros cv. Vitória, cultivados na Fazenda Experimental do Incaper, Município de Sooretama - ES, em função dos dias após o plantio (DAP). Cada ponto representa a média de 10 repetições. Barras verticais indicam erro-padrão.

O 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 (Ox-Red) no fotossistema I (FSI) ($\delta_{R0}/(1-\delta_{R0})$), mostrando a performance do aparato fotoquímico até o acceptor final de elétrons do FSI (HAN et al., 2009), que está representada na Figura 15.

Na Figura 15, observa-se tendência de queda gradativa da performance das reações de Ox-Red no FSI ($\delta_{R0}/(1-\delta_{R0})$) ao longo do ciclo de vida dos abacaxizeiros 'Vitória'. Porém, nota-se que ocorreu um aumento até uma semana após a indução floral (no 340° DAP). No estágio reprodutivo, a partir da terceira semana após a indução floral

(no 355° DAP), os valores de $\delta_{R0}/(1-\delta_{R0})$ reduzem para depois aumentar, não alcançando, todavia, os maiores valores observados no estágio vegetativo.

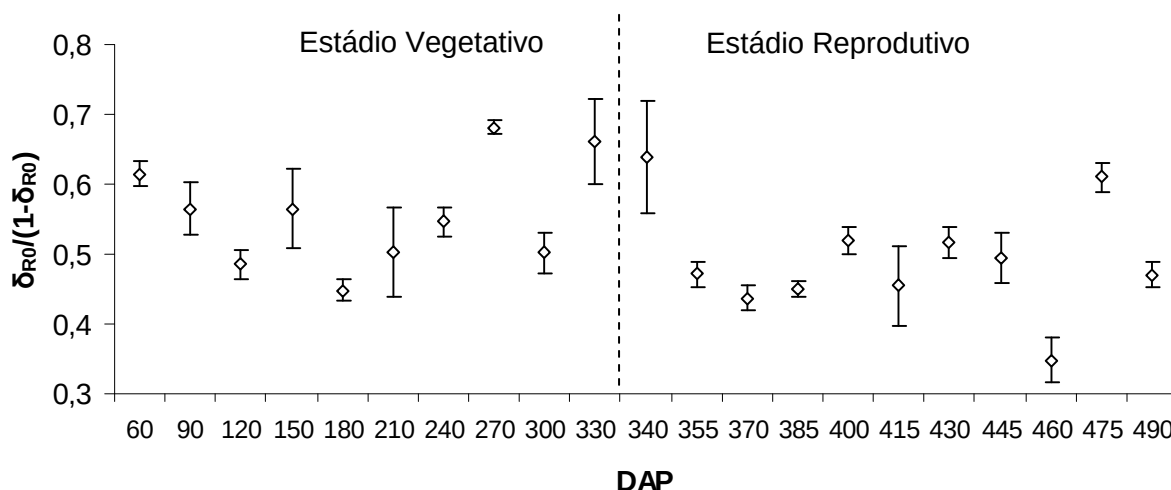


Figura 15 - Performance das reações de óxido-redução no fotossistema I ($\delta_{R0}/(1-\delta_{R0})$) dos abacaxizeiros cv. Vitória, cultivados na Fazenda Experimental do Incaper, Município de Sooretama - ES, em função dos dias após o plantio (DAP). Cada ponto representa a média de 10 repetições. Barras verticais indicam erro-padrão.

O índice de vitalidade total da amostra (PI_{TOTAL}), apresentado na Figura 16, seguiu o mesmo padrão do índice de vitalidade (PI_{ABS}) (Figura 14), ou seja, ocorreu aumento durante o estágio vegetativo, queda três semanas após a indução floral (aos 355 DAP) e aumento gradativo a partir dos 370 DAP.

Os índices de desempenho fotoquímico (PI_{ABS} e PI_{TOTAL}) mostraram, então, que o período de maior eficiência fotoquímica é o final do período vegetativo (aos 330 DAP) e o início do período reprodutivo (aos 340 DAP), quando o abacaxizeiro ainda não respondeu fisiologicamente a esta mudança. Tem-se, assim, que há um aumento gradativo no complexo coletor de energia luminosa, no aproveitamento dessa energia e, conseqüentemente, maior vigor do aparato fotossintético dos abacaxizeiros cv. Vitória ao final do estágio vegetativo. Este enriquecimento fotossintético pode ser considerado um preparo para o estágio reprodutivo e, assim, os abacaxizeiros provavelmente serão capazes de produzir frutos e mudas de melhor qualidade.

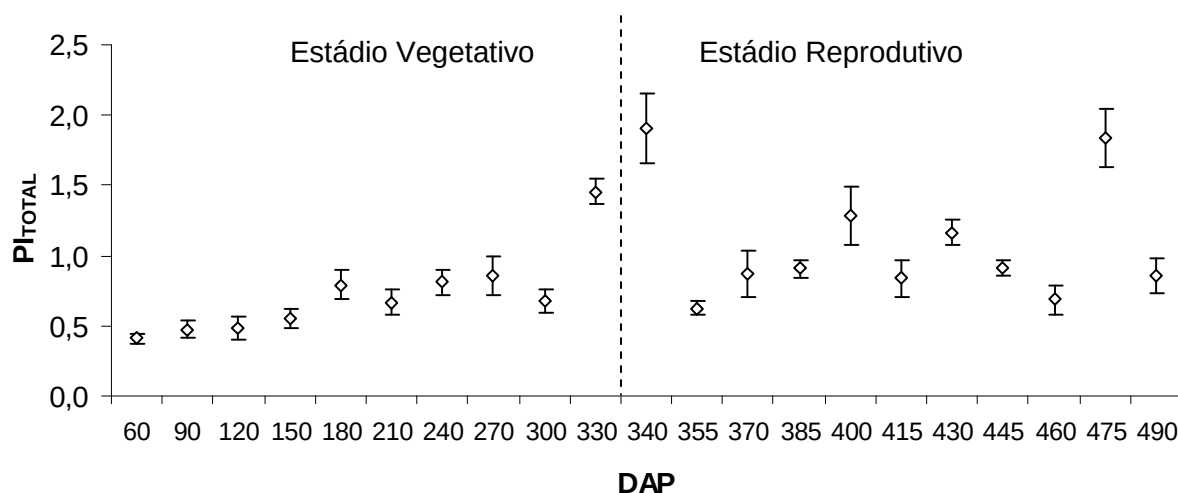


Figura 16 - Índice de vitalidade total (PI_{TOTAL}) (B) dos abacaxizeiros cv. Vitória, cultivados na Fazenda Experimental do Incaper, Município de Sooretama - ES, em função dos dias após o plantio (DAP). Cada ponto representa a média de 10 repetições. Barras verticais indicam erro-padrão.

A partir dos dados aqui apresentados, verificou-se que os abacaxizeiros 'Vitória' possuem boa eficiência fotossintética e um mecanismo de redução de danos ao aparato fotoquímico, que podem ser sua fonte de energia para a produção de frutos de qualidade.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foram avaliados o crescimento e o desempenho fotossintético de abacaxizeiros (*Ananas comosus* var. *comosus*) cv. Vitória desde o estágio de muda até o final do estágio reprodutivo. As plantas foram cultivadas na Fazenda Experimental do Incaper, no Município de Sooretama, Estado do Espírito Santo, local que possui uma precipitação média anual de 1.200 mm e temperatura média de 25°C, consideradas ideais para a cultura do abacaxi.

Verificou-se que os abacaxizeiros da cv. Vitória possuem um padrão sigmoidal de crescimento, constando de uma fase de crescimento lento, seguido de crescimento rápido e períodos de estabilização. As plantas desta cultivar, além de não possuírem espinhos em suas folhas, apresentaram um porte menor do que as plantas de abacaxi 'Pérola' e 'Smooth Cayenne', que são as cultivares mais produzidas no Brasil. Estas características constituem vantagens tanto para o manejo cultural quanto para a colheita dos frutos, que tornam-se mais facilitados.

Os teores de pigmentos fotossintéticos e os parâmetros avaliados da fluorescência da clorofila *a* indicaram que os abacaxizeiros da cultivar Vitória aumentam o complexo coletor de energia luminosa e melhoram a eficiência fotoquímica ao longo do estágio vegetativo, tornando-se mais aptos a enfrentar mudanças ambientais e fisiológicas.

Verificou-se, também, que parâmetros da fluorescência, como o rendimento quântico potencial do FSII (F_V/F_M), a probabilidade dos elétrons absorvidos seguirem pela cadeia transportadora de elétrons (ET_0/TR_0) e o fluxo específico de dissipação da energia ao nível das clorofilas da antena (DI_0/RC), que são parâmetros indicadores de fotoinibição, bem como os índices de desempenho fotoquímico, PI_{ABS} e PI_{TOTAL} , são capazes de identificar a resposta dos abacaxizeiros 'Vitória' à indução floral, mesmo antes do aparecimento da inflorescência. Esta pode ser uma importante ferramenta, pois torna possível identificar o início do período reprodutivo apenas alguns dias após da indução.

Os abacaxizeiros 'Vitória' possuem mecanismos eficientes de diminuição dos danos ao aparato fotossintético, pois houve recuperação da eficiência fotoquímica durante

o período reprodutivo, logo após a inibição da fotossíntese que ocorreu três semanas depois da indução floral. Esta recuperação capacita o abacaxizeiro 'Vitória' a produzir energia suficiente para desenvolver frutos de alta qualidade e produzir mudas para a propagação da espécie.

Atualmente, tanto na fruticultura como na agricultura de uma forma geral, é de extrema importância que haja sempre a procura de plantas resistentes a fatores bióticos e abióticos e de produtos de melhor qualidade, uma vez que traz vantagens tanto para os produtores quanto para os consumidores. Estudos a respeito da fisiologia dessas plantas são importantes, pois eles podem esclarecer e solucionar problemas em toda a cadeia produtiva, ou seja, desde a produção das mudas até a aquisição do produto final pelo consumidor. Este trabalho levantou várias questões importantes a respeito da fisiologia dos abacaxizeiros 'Vitória' e, a partir daqui, outros trabalhos complementares e comparativos podem ser feitos. O grande interesse nesse tipo de pesquisa está na capacidade que elas possuem de gerar conhecimento para a produção de novas tecnologias, que vão facilitar cada vez mais o cultivo dos abacaxizeiros.

7 REFERÊNCIAS

- ABÍLIO, G. M. F.; HOLSCHUH, H. J.; BORA, P. S.; OLIVEIRA, E. F. de. Extração, atividade da bromelina e análise de alguns parâmetros químicos em cultivares de abacaxi. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 31, n. 4, p. 1117-1121, 2009.
- ANTUNES, A. M.; ONO, E. O.; SAMPAIO, A. C. Efeito do paclobutrazol no controle da diferenciação floral natural do abacaxizeiro cv. Smooth Cayenne. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 30, n. 2, p. 290-295, 2008.
- BARBOSA, N. M. L. 1997. **Efeito de reguladores e da adubação nitrogenada no controle do florescimento natural precoce do abacaxizeiro**. Dissertação de Mestrado, Cruz das Almas, Universidade Federal da Bahia, 1997.
- BORLAND, A. M.; TECSI, L. I.; LEEGOOD, R. C.; WALKER, R. P. Inducibility of crassulacean acid metabolism (CAM) in *Clusia* species; physiological/biochemical characterization and intercellular localization of carboxylation and decarboxylation processes in three species which exhibit different degrees of CAM. **Planta**, v. 205, p. 342-351, 1998.
- BOWN, A. W.; HALL, D. E.; MACGREGOR, K. B. Insect footsteps on leaves stimulate the accumulation of 4-aminobutyrate and can be visualized through increased chlorophyll fluorescence and superoxide production. **Plant physiology**, v. 129, n. 4, p. 1430-1434, 2002.
- CARPENTIER, R. Influence of high light intensity on photosynthesis: Photoinhibition and energy dissipation. In: PESSARAKLI, M. (Ed.) **Handbook of photosynthesis**. New York: Marcel Dekker, 1997. p. 443-450.
- CASCIO, C.; SCHAUB, M.; NOVAK, K.; DESOTGIU, R.; BUSSOTTI, F.; STRASSER, R. J. Foliar responses to ozone of *Fagus sylvatica* L. seedlings grown in shaded and in full sunlight conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v. 68, p. 188-197, 2010.
- CATEN, Â. T. 2007. **Trocas gasosas e metabolismo antioxidativo em *Coffea canephora* em resposta ao sombreamento promovido por *Hevea brasiliensis***. Dissertação de Mestrado, Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2007.
- CATUNDA, M. G.; FREITAS, S. P.; OLIVEIRA, J. G.; SILVA, C. M. M. Efeitos de herbicidas na atividade fotossintética e no crescimento de abacaxi (*Ananas comossus*). **Planta daninha**, v. 23, n. 1, p. 115-121, 2005.
- CHEN, S.; YIN, C.; DAI, X.; QIANG, S.; XU, X. Action of tenuazonic acid, a natural phytotoxin, on photosystem II of spinach. **Environmental and Experimental Botany**, v. 62, p. 279-289, 2008.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1990. 293 p.

CHOLLET, R.; VIDAL, J.; OLEARY, M. H. Phosphoenolpyruvate carboxylase: A ubiquitous, highly regulate enzyme in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 47, p. 273-298, 1996.

CHRISTEN, D.; SCHÖNMANN, S.; JERMINI, M.; STRASSER, R. J.; DÉFAGO, G. Characterization and early detection of grapevine (*Vitis vinifera*) stress responses to esca disease by *in situ* chlorophyll fluorescence and comparison with drought stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 60, p. 504-514, 2007.

CUNHA, G. A. P.; REINHARDT, D. H. Controle da Época de Produção do Abacaxizeiro. **Abacaxi em foco**. EMBRAPA, n. 30, 2004.

CUSHMAN, J. C.; BOHNERT, H. J. Crassulacean acid metabolism: Molecular genetics. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 50, p. 305-332, 1999.

DANTAS JÚNIOR, O. R.; SILVA, S. de M.; ALVES, R. E.; SILVA, E. de O. Suscetibilidade a dano pelo frio em abacaxi 'Pérola' tratado com 1-metilciclopropeno. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 31, n. 1, p. 135-144, 2009.

DULL, G. G. The pineapple: general. In: HULME, A. C. **The biochemistry of fruits and their products**. London: Academic Press, 1971. v. 2, cap. 9A, p. 303-324.

EDUARDO, M. de P.; BENEDETTI, B. C.; FERRAZ, A. C. O. Avaliação de índices de firmeza para abacaxi minimamente processado em fatias tratadas com soluções de sais de cálcio. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 154-163, 2008.

EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA TROPICAL. **Perguntas e Respostas: Abacaxi**. Versão Eletrônica. 2009. Disponível em: <http://www.cnpmf.embrapa.br/index.php?p=perguntas_e_respostas-abacaxi.php> Acesso em: 13 out. 2009.

FALQUETO, A. R.; SILVA, D. M.; FONTES, R. V. Photosynthetic performance of mangroves *Rhizophora mangle* and *Laguncularia racemosa* under field conditions. **Revista Árvore**, v. 32, n. 3, p. 577-582, 2008.

FAO (Food Agricultural Organization). **Statistical – database**. 2006. Disponível em: <<http://www.apps.fao.org>>. Acesso em: 09 fev. 2010.

FAO (Food Agricultural Organization). 2009. Disponível em: <<http://www.fao.org/inicio.htm>>. Acesso em: 09 fev. 2010.

FORCE, L.; CRITCHLEY, C.; VAN RENSEN, J. J. S. New fluorescence parameters for monitoring photosynthesis in plants. **Photosynthesis Research**, v. 78, p. 17–33, 2003.

GOMES, J. A.; VENTURA, J. A.; ALVES, F. L.; ARLEU, R. J.; ROCHA, M. A. M.; SALGADO, J. S. **Recomendações técnicas para a cultura do abacaxizeiro**. Vitória: INCAPER, 2003. 28 p. (INCAPER, Documentos, 122).

GONÇALVES, J. F. C.; SILVA, C. E. M.; GUIMARÃES, D. G. Fotossíntese e potencial hídrico foliar de plantas jovens de andiroba submetidas à deficiência hídrica e à reidratação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 1, p. 8-14, 2009.

GONÇALVES, N. B. **Abacaxi**: pós-colheita. Brasília: Embrapa-SCT, 2000. 45p. (Frutas do Brasil, 5).

HAN, S.; TANG, N.; JIANG, H. X.; YANG, L. T.; LI, Y.; CHEN, L. S. CO₂ assimilation, photosystem II photochemistry, carbohydrate metabolism and antioxidant system of citrus leaves in response to boron stress. **Plant Science**, v. 176, p. 143–153, 2009.

HISCOX, J. D.; ISRAELSTAM, G. F. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. **Canadian Journal of Botany**, v. 57, n. 12, p. 1332-1334, 1979.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 05 mar. 2010.

JIANG, X., ZHONG, W. M., FARKAS, T., HUANG, P. W., WILTON, N., BARRETT, E., FULTON, D., MORROW, R., MATSON, D. O. Baculovirus expression and antigenic characterization of the capsid proteins of three Norwalk-like viruses. **Archives of Virology**, v. 147, p. 119–130, 2002.

KAVATI, R.; PIZA JUNIOR, C. de T. Abacaxi (*Ananas comosus* L. Merrill). In: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. **Manual Técnico das Culturas**. 2 ed. Campinas, p. 2-3., 1997. (Manual, 08).

KRAUSE, G. H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 42, p. 313–349, 1991.

LEAL, F.; COPOENS d'EECKENBRUGGE, G. Pineapple. In: JANICK, J.; MOORE, J. N. **Fruit breeding tree and tropical fruits**. New York: John Wiley, 1996. Cap. 9, p. 515-557.

LICHTENTHALER, H. K.; BUSCHMANN, C.; DÖLL, M.; FIETZ, H. J.; BACH, T.; KOZEL, U.; MEIER, D.; RAHMSDORF, U. Photosynthetic activity, chloroplast ultrastructure, and leaf characteristics of high-light and low-light plants and of sun and shade leaves. **Photosynthesis Research**, v. 2, p. 115–141, 1981.

LÜTTGE, U. **Physiological Ecology of Tropical Plants**, Springer-Verlag, Berlin. 1997. 314 p.

LÜTTGE, U. Ecophysiology of Crassulacean Acid Metabolism (CAM). **Annals of Botany**, v. 93, p. 629-652, 2004.

MALDONADO-RODRIGUEZ, R., **Biolzyer**: The JIP Test Software V.4.01. Laboratory of Bioenergetics of the University of Geneva. Switzerland. 1999-2002. Disponível em: <<http://www.unige.ch/sciencesibiologie/bioenijipsoftware.html>>.

MANICA, I. **Fruticultura tropical**: 5. Abacaxi. Porto Alegre: Cinco Continentes, 1999. 501 p.

MAXWELL, K., JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, p. 659-668, 2000.

MAZZA, C. A. BOCCALANDRO H. E., GIORDANO C. V., BATTISTA D., SCOPEL A. L., BALLARÉ C. L. L. Functional significance and induction by solar radiation of ultraviolet-absorbing sunscreens in field-grown soybean crops. **Plant Physiology**, v. 122, n. 1, p. 117-126, 2000.

MERZLYAK, M. N.; SOLOVCHENKO, A. E. Photostability of pigments in ripening apple fruit: a possible photoprotective role of carotenoids during plant senescence. **Plant Science**, v. 163, p. 881-888, 2002.

MISRA, A. N.; SRIVASTAVA, A.; STRASSER, R. J. Utilization of fast chlorophyll a fluorescence technique in assessing the salt/ion sensitivity of mung bean and Brassica seedlings. **Journal of Plant Physiology**, v. 158, p. 1173-1181, 2001.

NASCENTE, A. S.; da COSTA, R. S. C.; COSTA, J. N. M. **Cultivo do Abacaxi em Rondônia**. Sistema de Produção, 3. Versão Eletrônica. 2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Abacaxi/CultivodoAbacaxiRO/cultivares.htm>>. Acesso em: 21 jan. 2010.

OLIVEIRA, J. G.; ALVES, P. L. C. A.; MAGALHÃES, A. C. The effect of chilling on the photosynthetic activity in coffee (*Coffea arabica* L.) seedlings. The protective action of chloroplastid pigments. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 14, n. 2, p. 95-104, 2002.

OLIVELLA, F. A.; AGAREZ, F. V.; ANDRADE, F. N.; GARAY, I. E. G., 2005. Estudo fitossociológico de uma área fragmentada em Mata Atlântica de Tabuleiros, Sooretama, ES. VII Congresso de Ecologia do Brasil - avanços nos estudos de ecossistemas terrestres, marinhos e de águas continentais. **Anais do VII Congresso de Ecologia do Brasil**, 1, 1, ISBN: Português, Meio digital, 2005.

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

PANDA, D.; RAO, D. N.; SHARMA, S. G.; STRASSER, R. J.; SARKAR, R. K. Submergence effects on rice genotypes during seedling stage: Probing of submergence driven changes of photosystem 2 by chlorophyll a fluorescence induction O-J-I-P transients. **Photosynthetica**, v. 44, p. 69-75, 2006.

PEREIRA, M. A. B.; SIEBENEICHLER, S. C.; LORENÇONI, R.; ADORIAN, G. C.; SILVA, J. C. da; GARCIA, R. B. M.; PEQUENO, D. N. L.; SOUZA, C. M. de; BRITO, R. F. F. de. Qualidade do fruto de abacaxi comercializado pela Cooperfruto – Miranorte – TO. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 31, n. 4, p. 1048-1053, 2009.

PETERSON, R. B.; AYLOR, D. E. Chlorophyll fluorescence induction in leaves of *Phaseolus vulgaris* infected with bean rust (*Uromyces appendiculatus*). **Plant Physiology**, v. 108, n. 1, p. 163-171, 1995.

PISSARRA, T. B.; CHAVES, G. M.; VENTURA, J. A. Sintomatologia da fusariose (*Fusarium moniliforme* Sheld var. *subglutinans* Wr & Rg.) do abacaxizeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 4, n.2, p.225-263, 1979.

PY, C. **La piña tropical**. Barcelona: Blume, 1969. 278p.

PY, C.; LACOEUILHE, J. J.; TEISSON, C. L. **L'Ananas sa culture, ses produits**. Paris, G.M. Maisoneuve et Larose, 1984, 562p.

RÊGO, G. M.; POSSAMAI, E. Avaliação dos teores de clorofila no crescimento de mudas de Jequitibá-Rosa (*Cariniana legalis*). **Comunicado Técnico**, 128, Colombo - PR, EMBRAPA, 2004.

REINHARDT, D. H.; MEDINA, V. M.; CALDAS, R. C.; CUNHA, G. A. P. da; ESTEVAM, R. F. H. Gradientes de qualidade em abacaxi 'Pérola' em função do tamanho e do estágio de maturação do fruto. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 26, n. 3, p. 544-546, 2004.

REINHARDT, D. H.; SOUZA, A. S. Manejo e produção de mudas. In: REINHARDT, D. H.; SOUZA, L. F. S.; CABRAL, J. R. S. **Abacaxi: produção, aspectos técnicos**. EMBRAPA, Brasília, p. 19-22, 2000.

ROHÁČEK, K. Chlorophyll Fluorescence Parameters: The Definitions, Photosynthetic Meaning, and Mutual Relationships. **Photosynthetica**. v. 40, p. 13-29, 2002.

RUGGIERO, C.; VENTURA, J. A.; MARTINEZ JUNIOR, M.; ZAMBOLIM, L.; CHAVES, G. M.; NOGUEIRA FILHO, G. C.; GOTTARDI, M. V. C. **Controle integrado da fusariose do abacaxizeiro**. Jaboticabal: Funep, 1994. 81p.

SANTANA, L. L. de A.; REINHARDT, D. H.; MEDINA, V. M.; LEDO, C. A. da S.; CALDAS, R. C.; PEIXOTO, C. P. Efeitos de modos de aplicação e concentrações de etefon na coloração da casca e outros atributos de qualidade do abacaxi 'Pérola'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 26, n. 2, p. 212-216, 2004.

SCHREIBER, U.; KÜHL, M.; KLIMANT, I.; REISING, H. Measurement of chlorophyll fluorescence within leaves using a modified PAM fluorometer with a fiber-optic microprobe. **Photosynthesis Research**, v. 47, n. 1, p. 103-109, 1996.

SILVA, F. de A. S. **Assistat**. Versão 7.4 beta. UAEG-CTRN-UFCG, Campina Grande – PB. 2007. Disponível em: <<http://assistat.sites.uol.com.br>>.

SILVA, J. M. da; SILVA, J. P.; SPOTO, M. H. F. Características físico-químicas de abacaxi submetido à tecnologia de radiação ionizante como método de conservação pós-colheita. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 1, p. 139-145, 2008.

SIMÃO, S. **Tratado de fruticultura**. Piracicaba: FEALQ, 1998. 760 p.

SOUTO, R. F.; DURIGAN, J. F.; SOUZA, B. S. de; DONADON, J.; MENEGUCCI, J. L. P. Conservação pós-colheita de abacaxi 'Pérola' colhido no estágio de maturação "pintado" associando-se refrigeração e atmosfera modificada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 26, n. 1, p. 24-28, 2004.

SOUZA, C. B.; SILVA, B. B.; AZEVEDO, P. V. Crescimento e rendimento do abacaxizeiro nas condições climáticas dos Tabuleiros Costeiros do Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 2, p. 134-141, 2007.

STRASSER, R. J., GOVINDJEE. The F_0 and the O-J-I-P fluorescence rise in higher plants and algae. In: Argyroudi-Akoyunoglou, J. H. (Ed.), **Regulation of Chloroplast Biogenesis**. Plenum Press, New York, USA, pp. 423–426, 1992.

STRASSER R. J.; SRIVASTAVA, A.; GOVINDJEE. Polyphasic chlorophyll a fluorescence transient in plants and cyanobacteria. **Photochemistry and Photobiology**, v. 61, p. 32-42, 1995.

STRASSER, R. J.; SRIVASTAVA, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. In: YUNUS, M.; PATHRE, U.; MOHANTY, P. (Eds.). **Probing Photosynthesis: Mechanisms, Regulation and Adaptation**, Taylor and Francis, London, UK, 2000. p. 445–483.

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

STRASSER, R. J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; SRIVASTAVA, A. Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient. In: PAPAGEORGIOU, G. C.; GOVINDJEE (Eds.). **Chlorophyll a Fluorescence: A Signature of Photosynthesis**. Advances in Photosynthesis and Respiration, v. 19, Springer, Berlin, 2004, p. 321–362.

STRAUSS, A. J.; KRÜGER, G. H. J.; STRASSER, R. J.; VAN HEERDEN, P. D. R. Ranking of dark chilling tolerance in soybean genotypes probed by the chlorophyll a fluorescence transient O-J-I-P. **Environmental and Experimental Botany**, v. 56, p. 147–157, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**, 4th ed., Sunderland, MA: Sinauer Associates, 2006. Inc. Publishers, Massachusetts.

TAYBI, T.; CUSHMAN, J.C., BORLAND, A.M. Environmental, hormonal and circadian regulation of crassulacean acid metabolism expression. **Functional Plant Biology**, v. 29, p. 669-678, 2002.

TING, I. P. Crassulacean Acid Metabolism. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 36, p. 595-622, 1985.

TÓTH, S. Z. 2006. **Analysis and application of the fast chl a fluorescence (OJIP) transient complemented with simultaneous 820 nm transmission measurements**. Doctoral thesis, University of Geneva, 2006.

TSIMILLI-MICHAEL, M.; STRASSER, R. J. In Vivo Assessment of Stress Impact on Plants' Vitality: Applications in Detecting and Evaluating the Beneficial Role of Mycorrhization on Host Plants. In: VARMA, A. (Ed.) **Mycorrhiza: State of the Art, Genetics and Molecular Biology, Eco-Function, Biotechnology, Eco-Physiology, Structure and Systematics**, 3rd edition, Springer, p. 679-703, 2008.

VENTURA, J. A. 1994. **Fusariose do abacaxizeiro: caracterização do patógeno, epidemiologia da doença, resistência e micropropagação do hospedeiro *in vitro***. Tese de Doutorado, Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1994.

VENTURA, J. A.; CABRAL, J. R. S.; MATOS, A. P.; COSTA, H. '**Vitória**': nova cultivar de abacaxi resistente à fusariose. Documentos nº 148, 4 p. Vitória, ES: INCAPER. 2006.

VENTURA, J. A.; COSTA, H.; CAETANO, L. C. S. Abacaxi 'vitória': uma cultivar resistente à fusariose. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal – SP, v. 31, n. 4, p. 1-2, 2009.

VENTURA, J. A.; ZAMBOLIM, L. Etiologia e disseminação da doença. In: RUGGIERO, C.; VENTURA, J. A.; MARTINEZ JUNIOR, M.; ZAMBOLIM, L.; CHAVES, G. M.; NOGUEIRA FILHO, G. C.; GOTTARDI, M. V. C. **Controle integrado da fusariose do abacaxizeiro**. Jaboticabal: Funep, 1994. p. 46.

VENTURA, J. A.; ZAMBOLIM, L. Controle das doenças do abacaxizeiro. In: ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R. do; MONTEIRO, A. J. A.; COSTA, H. (Org.). **Controle de doenças de plantas frutíferas**. Viçosa-MG, 2002, v. 1, p. 445-509.

WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophylls *a* and *b*, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology**, v. 144, n. 3, p. 307-313, 1994.

YAMANE, Y.; SHIKANAI, T.; KASHINO, Y.; KOIKE, H.; SATOH, K. Reduction of Q_A in the dark: Another cause of fluorescence F_0 increases by high temperatures in higher plants. **Photosynthesis Research**, v. 63, p. 23–34, 2000.

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

ZANELLA, F.; SONCELA, R.; LIMA, A. L. S. Formação de mudas de maracujazeiro "amarelo" sob níveis de sombreamento em Ji-Paraná/RO. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 5, p. 880-884, 2006.

ZHANG, M.-P.; ZHANG, C.-J.; YU, G.-H.; JIANG, Y.-Z.; STRASSER, R. J.; YUAN, Z.-Y.; YANG, X.-S.; CHEN, G.-X. Changes in chloroplast ultrastructure, fatty acid components of thylakoid membrane and chlorophyll a fluorescence transient in flag leaves of a super-high-yield hybrid rice and its parents during the reproductive estage. **Journal of Plant Physiology**, v. 167, p. 277–285, 2010.