

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

MARIELA MATTOS DA SILVA

**ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS E NUTRICIONAIS DURANTE AS FASES DO
DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO E REPRODUTIVO D O MAMOEIRO
GOLDEN**

**VITÓRIA
2009**

MARIELA MATTOS DA SILVA

**ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS E NUTRICIONAIS DURANTE AS FASES DO
DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO E REPRODUTIVO DO MAMOEIRO
GOLDEN**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Biologia Vegetal, Área de Concentração: Fisiologia Vegetal.

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

Co-orientador: Prof. Dr. Aureliano Nogueira da Costa.

VITÓRIA

2009

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

S586a Silva, Mariela Mattos da, 1983-
Alterações fisiológicas e nutricionais durante as fases do desenvolvimento vegetativo e reprodutivo do mamoeiro Golden / Mariela Mattos da Silva. – 2009.
83 f. : il.

Orientadora: Diolina Moura Silva.
Co-Orientador: Aureliano Nogueira da Costa.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e Naturais.

1. Mamão. 2. Plantas - Nutrição. 3. Fluorescência. 4. Clorofila. I. Silva, Diolina Moura. II. Costa, Aureliano Nogueira da. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Humanas e Naturais. IV. Título.

CDU: 57

MARIELA MATTOS DA SILVA

‘ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS E NUTRICIONAIS DURANTE AS FASES DO DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO E REPRODUTIVO DO MAMOEIRO ‘GOLDEN’”

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

Aprovada e, 13 de Fevereiro de 2009.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof^a Diolina Moura Silva

Programa de Pós-Graduação e, Biologia Vegetal
Orientadora

Prof^o Dr^o Aureliano Nogueira da Costa

Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal – UFES
Co-orientador

Prof^o Dr^o Marco Antônio Gáleas Aguilar

Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal – UFES
Examinador Interno

Prof^o Dr^o Fábio Murilo DaMatta

Universidade Federal de Viçosa
Examinador Externo

Aos
meus pais, Nildo e Lourdes,
por tornarem o caminho muito menos pedregoso

AGRADECIMENTO

A Deus, por Sua força e, principalmente, Sua paciência, e pela minha vida e saúde;

Aos meus pais, Nildo e Lourdes, pelo apoio incondicional. Pelas madrugadas insones que por dedicação mostraram o amor por mim nas coisas pequenas e nas grandes. Pela compreensão e paciência nas horas de estresse, e pelos sorrisos nas horas de conquista.

À minha família, irmãs, minha sobrinha, tios, primos e aos meus amigos que apesar dos momentos de ausência, sempre me apoiavam e estimulavam a continuar pela estrada.

À Charles pelo apoio e carinho. Pela compreensão nas horas de tormenta e pela paciência nas horas de desespero. Por estar ao meu lado e me fazer rir... sempre.

À Sabrina, Sigrid e Júlia por me apoiar, brigar, sorrir e rir de todas as atribulações. Por saber me ouvir e me acompanhar nos melhores e piores momentos e por mostrar que as melhores amizades apenas surgem e podem durar para sempre.

A minha orientadora Prof^a. Diolina Moura Silva, pelos anos de ensinamentos, conselhos, orientações dispensadas e amizade, a quem me ensinou muito não apenas sobre fisiologia, mas também sobre a vida;

A Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal e ao Laboratório Ecofisiologia Vegetal, pela oportunidade de realização deste trabalho;

Ao Banco do Nordeste e CAPES, pelo financiamento do projeto e pela concessão da bolsa de estudos, respectivamente;

A Fundação Ceciliano Abel de Almeida, em especial à funcionária Kátia, pelo gerenciamento financeiro do projeto, ajuda e disponibilidade nas horas de aperto.

A Empresa Gaia Importação e Exportação Ltda, pela disponibilização da área experimental e apoio na condução e execução das pesquisas;

Aos funcionários da Empresa Gaia Importação e Exportação Ltda, Carlos Henrique, Ilvécio, Lelei, Niquieli e Devalnice pela assistência na execução do experimento;

Ao meu co-orientador Aureliano Nogueira da Costa, pela ajuda e orientação.

Aos Professores Fábio Murilo DaMatta e Marco Antonio Galeas Aguilár pela atenção e valiosas colaborações;

Aos Professores do Setor de Botânica, pelos conselhos e estimada assistência;

Aos amigos de caminhada, Mônica, Priscilla, Gabriela, Stéfano, Fernando, Joilton e Júlia pelas madrugadas acordadas e dias de labor em campo. Sem sua ajuda eu não teria conseguido;

Ao Paulo, pelas muitas madrugadas de carona, pela amizade e apoio;

Aos meus amigos de faculdade e de mestrado. Em especial aos meus ilustríssimos colega de turma. Alguns ficaram pelo caminho ou irão ficar daqui pra frente, mas outros sempre irão perdurar pela vida inteira. Pelas tarde e noites de estudos estressantes. Pelos dias, noites e madrugadas de risos, sem eles não sei se conseguiria agüentar todos vocês! Até mesmo as brigas levo na lembrança, com saudade de uma época que fica pra trás, mas que sempre vai ficar no coração.

Agradeço a todos que possibilitaram minha chegada até aqui e adicionaram mais vida a minha estrada.

O caminho foi longo, tantas vezes incerto, e muitas vezes tão difícil. Mas o que poderia ser um fardo sempre foi bem mais leve com sua ajuda. Obrigada!

RESUMO

O mamoeiro é uma planta cujo crescimento reprodutivo é contínuo e ininterrupto. Sua produtividade é influenciada pela grande variabilidade de respostas às exigências quanto ao acúmulo de assimilados e características fotossintéticas dependendo das fases de crescimento e cultivares ocasionando em mudanças na qualidade final do fruto. A fim de determinar a influência dos estádios de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo sobre as características fisiológicas e nutricionais do mamoeiro (*Carica papaya* L. cv. 'Golden') em condições de campo, determinou-se o crescimento, o acúmulo de macronutrientes e de massa seca (MS), a atividade da redutase do nitrato nas folhas, a concentração de nitrogênio no limbo e pecíolo e a fluorescência da clorofila *a*. Para este estudo, as plantas foram inicialmente selecionadas e marcadas ao acaso em uma lavoura comercial localizada no município de Linhares, no Norte do Espírito Santo. O crescimento e o acúmulo de massa seca ocorreram de forma rápida após o transplântio das mudas para o campo. Houve um aumento contínuo até o início da floração/frutificação, no qual ocorreram os maiores acúmulos relativos diários de MS. Na fase reprodutiva, o acúmulo relativo diário de nutrientes ocorreu entre 120 e 160 dias após plantio. O estágio de desenvolvimento influenciou a ordem de acúmulo de nutrientes. Os nutrientes mais acumulados durante a fase vegetativa foram o N, K e Ca. Com o início da fase reprodutiva, o K passou a ser o nutriente mais acumulado. Embora tenha sido acumulado em menores quantidades, o S foi o nutriente mais exportado para os órgãos reprodutivos. A atividade da enzima redutase do nitrato apresentou redução expressiva com o início do período reprodutivo, mostrando a influência do estágio de desenvolvimento da planta sobre o metabolismo de assimilação do N. Somente as concentrações de N no pecíolo apresentaram reduções em função dos dias após plantio, mostrando correlação entre atividade da enzima e concentração do nutriente na folha. Os resultados corroboraram a utilização do pecíolo como a melhor parte da folha para indicar o "status" de N em plantas de mamoeiro. A resposta fotoquímica das plantas, medida pela fluorescência da clorofila *a*, apresentou maiores valores na fase vegetativa, principalmente observada nos parâmetros básicos. Por outro lado, dentre os parâmetros OJIP, o fluxo de fótons

absorvidos por centro de reação (ABS/RC), a dissipação de energia radiante por RC ativo (DI_0/RC), o índice de desempenho (PI) e a densidade de centros de reação ativos do FSII (RC/CS_0), indicaram estresses ao transplântio das plantas para o campo e ao início do estágio reprodutivo. Estes resultados apontam a eficiência desta técnica na detecção de modificações acarretadas por fatores abióticos, como observado no transplântio das mudas a campo, bem como indicou modificações ocorridas ao início da fase reprodutiva, podendo este ter atuado como um fator isolado, ou associado a outros estresses do ambiente à que as plantas estão submetidas.

ABSTRACT

Physiological and nutritional change during vegetative and reproductive phases of development of papaya tree cv. Golden

The papaya tree is a plant whose reproductive growth is continuous and uninterrupted, and your productivity is influenced by the great variability of responses to the demands of accumulation of assimilates, and photosynthetic characteristics depending on the growth phases and cultivars causing changes in the final quality of the fruit. In order to determine the influence of the vegetative and reproductive development stages on the papaya (*Carica papaya* L. cv. 'Golden') in field conditions, was determined the growth, the macronutrients and dry mass (DM) accumulation, the nitrate reductase activity in the leaves, the concentration of nitrogen in petiole and leaf blade and the chlorophyll *a* fluorescence. For this study, the plants were initially selected and marked at random in a commercial crop located in Linhares, in the North of Espírito Santo. The growth and the dry mass accumulation happened in a fast way after the transplant of the seedlings to the field, with continuous increase until the beginning of the flowering/fructification of the papaya, where the higher accumulations relative diaries of DM happen. In the reproductive phase the picks of diaries relative accumulation of nutrients happened between 120 and 160 DAP. The development stages influenced the order of nutrient accumulation. N, K and Ca were the most accumulated nutrients during the vegetative stage and with the beginning of the reproductive stage, K became the most accumulated nutrient in the papaya plants. Although it has been accumulated in smaller amounts S was the nutrient more exported to the reproductive organs. The nitrate reductase activity presented expressive reduction with the beginning of the reproductive period, showing the influence of the plant stage development on the metabolism of assimilation of N. Only the N concentrations the petiole presented reductions in function of the days after planting, showing correlation between activity of the enzyme and the nutrient concentration the leaf. The results corroborated the use of the petiole as the best part of the leaf to indicate the "status" of N in papaya plants. The photochemical response of the plants, measured by the chlorophyll *a*

fluorescence, showed higher values in the vegetative phase, mainly observed in the basic parameters. Moreover, among the parameters OJIP, the flux of photons absorbed by RC (ABS/RC), the dissipation of radiant energy by active RC (DI_0/RC), the performance index (PI) and the density of active RCs of FSII (RC/CS_0), indicated stress caused by the transplanting of the plants to the field and for the beginning of the reproductive stage. These results show the efficiency of this technique for detecting changes due abiotic factors, as observed in seedlings transplanting in the field, as well as indicated the changes occurred in the beginning of the reproductive phase, wich may have acted as a isolated factor or combined with other environment stresses that the plants are subjected.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS/RC – Fluxo de fótons absorvidos por centro de reação.

ARD – Acúmulo relativo diário.

ARD_{MS} – Acúmulo relativo diário de massa seca.

ARN – Atividade da redutase do nitrato.

DAP – Dias após o plantio.

DI₀/RC – Dissipação de energia radiante por centro de reação.

ET₀/RC – Índice de fluxo de transporte de elétrons por centro de reação, no tempo zero.

ET₀/TR₀ – Probabilidade de um elétron de Q_A, no tempo zero, seguir na cadeia de transporte de elétrons.

F₀ – Fluorescência inicial, fluorescência mínima.

F_M – Fluorescência máxima.

FSII – Fotossistema II.

F_V/F₀ – Rendimento quântico máximo efetivo de conversão de energia.

F_V/F_M – Rendimento quântico máximo potencial do fotossistema II.

MF - Massa fresca.

MS – Massa seca.

NO₂⁻¹ – Nitrito.

NO₃⁻¹ – Nitrato.

PI – Índice de desempenho, calculado com base na absorção (ABS).

RC – Centro de reação do FS II.

RC/CS₀ – Densidade de centros de reação ativos do FSII.

RN – Redutase do nitrato.

TR₀/RC – Fluxo de energia capturada por centro de reação, no tempo zero.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 METODOLOGIA	18
2.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO.....	18
2.2 DINÂMICA DE CRESCIMENTO.....	19
2.2.1 Coleta de plantas e obtenção de massa seca.....	20
2.2.2 Coleta de solo	20
2.2.3 Análises químicas das plantas e do solo	20
2.2.4 Acúmulo de massa seca e nutrientes.....	21
2.3 ATIVIDADE DA REDUTASE DO NITRATO NAS FOLHAS	22
2.4 CINÉTICA DE EMISSÃO DE FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA <i>a</i>	23
2.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	25
3 REFERÊNCIAS	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 CRESCIMENTO E ACÚMULO DE MACRONUTRIENTES NO MAMOEIRO CV. 'GOLDEN ' DURANTE ESTÁDIOS DE DESENVOLVIMENTO	32
4.2 ATIVIDADE DA REDUTASE DO NITRATO, CONCENTRAÇÃO DE N E FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA DURANTE FASES DE DESENVOLVIMENTO DE MAMOEIRO CV. 'GOLDEN' EM CONDIÇÕES DE CAMPO	55
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	82

1 INTRODUÇÃO

O mamoeiro (*Carica papaya* L.) é uma planta que extrai quantidades relativamente grandes de nutrientes do solo e apresenta exigências contínuas durante todo o seu ciclo de vida. Sua característica de colheita intermitente mostra que a planta necessita de suprimentos de água e nutrientes em intervalos freqüentes, de modo a permitir o fluxo contínuo de produção de flores e frutos (MARTINS; COSTA, 2003).

As pesquisas sobre a cultura do mamoeiro são, nos mais diversos setores, direcionadas para o prolongamento da vida útil do fruto, mantendo sua qualidade desejável. Ao lado dessas características, entretanto, os aspectos pré-colheita, como o crescimento e o desenvolvimento da cultura, que são influenciados pelo manejo do solo, nutrição da planta, irrigação, taxa fotossintética e transpiração, alteram a produtividade e a qualidade dos frutos (CHITARRA; CHITARRA, 2005; FONTES, 2005; SILVA et al, 2007).

A absorção de nutrientes difere quantitativa e qualitativamente de acordo com a fase de desenvolvimento da cultura, intensificando-se no florescimento, na formação e no crescimento dos frutos. Por isso, além da quantidade absorvida de nutrientes, deve ser considerada também a sua concentração nos tecidos para os diferentes estádios de desenvolvimento. Dessa forma, o estudo dos teores de nutrientes absorvidos durante os estádios de crescimento da planta pode auxiliar na determinação da composição dos nutrientes na adubação e adequada época de aplicação.

Por ser uma planta de crescimento contínuo, a produtividade do mamoeiro pode ser afetada pela grande variabilidade de respostas às exigências ao acúmulo de assimilados, dependendo das fases de crescimento e cultivares, ocasionando em mudanças na qualidade final do fruto. Poucos são os trabalhos que já avaliaram a influência conjunta de nutrientes sobre os primeiros meses de desenvolvimento. Alguns deles indicam a influência da restrição de raiz sobre o crescimento de plantas de mamoeiro assim como sobre as trocas gasosas e fotossíntese (CAMPOSTRINI et al, 1998; CAMPOSTRINI; YAMANISHI, 2001). Essa restrição limita o tempo de estudo dessas plantas em casa de vegetação e exige a implantação de outras

metodologias. O estudo dos requerimentos nutricionais durante o estabelecimento das mudas de mamoeiro no campo pode auxiliar no suprimento de informações sobre o desenvolvimento nesse ambiente, uma vez que os trabalhos sobre sua nutrição mineral foram desenvolvidos apenas durante a fase de produção da planta (MARINHO et al., 2002; OLIVEIRA; CALDAS 2004) ou durante a fase de formação de mudas (MENDONÇA et al, 2003; SIMÃO, 1998).

Um dos nutrientes mais exigidos pela cultura é o nitrogênio, sendo sua demanda crescente e constante durante todo o ciclo de vida da planta. O íon nitrato (NO_3^-) é a principal forma nitrogenada absorvida pelas plantas do mamoeiro independente da natureza química da fonte de nitrogênio que é aplicado ao solo (FONTES et al., 2005). A redutase do nitrato (RN) é a primeira enzima na via de assimilação do nitrato, e evidências sugerem que é a principal enzima que limita a assimilação do nitrogênio em plantas superiores (LEA et al., 1997). A RN é uma enzima-chave no processo de assimilação de nitrato e catalisa a seguinte reação: $\text{NO}_3^- + \text{NADH} + \text{H}^+ \rightarrow \text{NAD}^+ + \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$. Vários estudos indicam que a síntese da RN é promovida, além do nitrato, pela luz, fitocromo e fotossíntese (APPENROTH et al, 2000; BRANDÃO, 2005; OLIVEIRA et al., 2005). A importância da redução e assimilação do nitrato para a vida das plantas se compara a importância da assimilação do CO_2 na fotossíntese (MARSCHNER, 1988). Em função de sua importância, bem como da fácil análise, ela tem sido freqüentemente utilizada como indicadora de estresses e de outras mudanças associadas aos fatores moduladores do crescimento das plantas (CASTRO et al., 2007).

A produtividade das plantas está diretamente relacionada com a capacidade de manutenção de uma elevada atividade fotossintética das folhas, o que repercute na intensidade de crescimento dos frutos durante o período reprodutivo (MACHADO et al., 1990; SILVEIRA; MACHADO, 1990). Por ocupar uma posição central no metabolismo, a fotossíntese fornece uma ligação entre processos internos da planta e o ambiente externo. O uso de parâmetros da fluorescência das clorofilas tem sido difundido, principalmente, no estudo da capacidade fotossintética das plantas, por ser um método não-destrutivo que permite a análise qualitativa e quantitativa da absorção e aproveitamento da energia luminosa pelo aparelho fotossintético. (KRAUSE; WEIS, 1991). Essa técnica tem permitido um aumento no conhecimento

dos processos fotoquímicos e não-fotoquímicos que ocorrem na membrana dos tilacóides, além de possibilitar o estudo de características relacionadas à capacidade de absorção e transferência da energia luminosa na cadeia de transporte de elétrons (FONTES et al., 2008).

A fotossíntese, a formação e a remobilização de metabólitos e o estabelecimento do número de frutos são afetados por diversos fatores, acarretando variações no comportamento das relações fonte-dreno (GUSTA; CHEN, 1987). Na maturação fisiológica, a relação entre a massa acumulada nos frutos e a massa seca total da planta varia significativamente com o genótipo e com o ambiente. A redução na produção de fotoassimilados pode estimular a remobilização de reservas para os frutos, ou reduzir o acúmulo de reservas, dependendo da época de sua ocorrência.

A produção final pode ser avaliada através do balanço entre a sua capacidade em suprir fotoassimilados para os frutos e do seu potencial de utilização dos substratos disponíveis (FISHER, 1983). Identificam-se duas fontes principais de fotoassimilados para os frutos em crescimento: uma originada diretamente da fotossíntese e outra a partir da remobilização de fotoassimilados armazenados, temporariamente, em outros órgãos da planta (RAWSON et al., 1983; SIMMONS, 1987). As reservas são formadas, principalmente, a partir do excedente da produção de fotoassimilados em relação à demanda dos frutos.

A transição do desenvolvimento vegetativo para o reprodutivo é reconhecidamente uma fase crítica no ciclo de vida das plantas, sendo controlada por fatores ambientais bem como de origem endógena (DEFAVARI; MORAES, 2002). Tais fatores parecem atuar sobre a juvenilidade prevenindo a floração até que a planta esteja suficientemente desenvolvida para suprir, com assimilados, o crescimento de estruturas reprodutivas (DAVIES, 1995). No mamoeiro, a fase vegetativa é relativamente curta, sendo poucos os relatos que fazem menção sobre este estágio.

O conhecimento das alterações fisiológicas que ocorrem nas diferentes fases de desenvolvimento do mamoeiro é fundamental para a adequada aplicação das técnicas de cultivo, possibilitando uma produção intensiva e mais econômica da cultura. Dessa forma, o presente estudo objetivou avaliar o crescimento, a dinâmica do acúmulo de macronutrientes e massa seca, a atividade da RN, a concentração de

N no limbo e no pecíolo e a cinética da emissão da fluorescência da clorofila *a*, em função das fases de desenvolvimento do mamoeiro (*Carica papaya* L. cv. 'Golden'), em condições de campo.

2 METODOLOGIA

2.1 Localização e características gerais da área de estudo

O trabalho foi conduzido na Fazenda Sossego, arrendada pela empresa Gaia Importação e Exportação Ltda, localizada na região Norte do município de Linhares (ES), Latitude 19° 23'(S), Longitude 40° 04' (W). Possui classificação climática, segundo Köppen, como sendo do tipo AW, com estação seca no inverno e verão quente e úmido. Segundo Nóbrega et al. (2008), o clima é do tipo subúmido, com pequena deficiência hídrica, megatérmico, com evapotranspiração no verão aproximada de 48%, com terras quentes, planas e de transição entre chuvosa/seca (FEITOSA; STOCKING; RESENDE, 2001). A média anual de precipitação é de 1277 mm e 148 dias chuvosos, com dois períodos distintos bem definidos: um chuvoso, entre outubro e abril, e um seco, entre maio e setembro. A temperatura média anual fica em torno dos 23,0°C e a umidade relativa média anual próxima a 83% (SILVA; NÓBREGA; RAMOS 2008). Os dados meteorológicos do período experimental, apresentados na figura 01, foram coletados da estação meteorológica do INMET no Aeroporto de Linhares (ES).

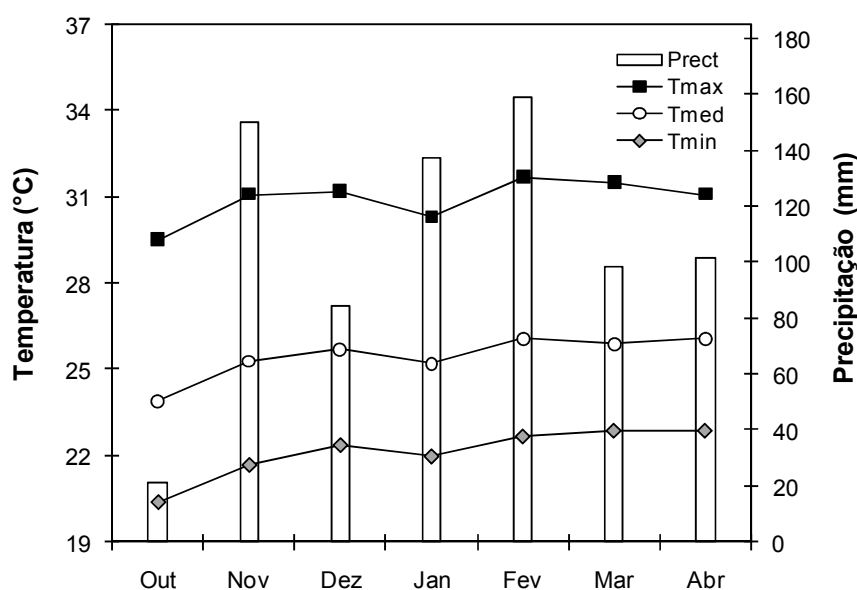


Figura 1 – Diagrama climático do Norte do Espírito Santo para o período de estudo (outubro de 2007 a abril de 2008). Prec – precipitação; Tmax – temperatura máxima mensal; Tmed – temperatura média mensal; Tmin – temperatura mínima mensal. Dados obtidos da estação meteorológica do INMET no Aeroporto/Linhares – ES (www.incaper.es.gov.br).

O estudo foi realizado entre outubro de 2007 a abril de 2008, tendo início na primeira semana de transplante das mudas do mamoeiro (*Carica papaya* L. cv. 'Golden') para o campo. Foram efetuadas coletas aos 0, 30, 60, 90, 120, 160, e 190 dias após o plantio (DAP) durante o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo.

Em outubro de 2007, o plantio das mudas foi efetuado em fileiras simples no espaçamento 3,5 m entre fileiras e 0,75 m entre plantas, em uma área de 20 ha; utilizou-se o sistema de irrigação por gotejamento.

Inicialmente, foram selecionadas, dentro da lavoura, quatro fileiras intercaladas, cada uma contendo dez plantas escolhidas aleatoriamente e marcadas, perfazendo um total inicial de 40 plantas.

O mamoeiro por ser uma planta que produz flores femininas, masculinas e hermafroditas ao início do florescimento, em torno de três a quatro meses após o plantio, acarreta na necessidade do desbaste de plantas, ou sexagem. Nesse procedimento, preferencialmente deixam-se as plantas hermafroditas, uma vez que o formato periforme do fruto produzido por este tipo de flor atende às exigências do mercado consumidor interno e externo (COSTA et al, 2003). A sexagem foi realizada no final de dezembro de 2007. Ao final do estudo, das plantas inicialmente marcadas, 17 indivíduos úteis foram utilizados para as análises de crescimento, parâmetros de fluorescência da clorofila *a* e atividade da redutase do nitrato (RN). As coletas foram realizadas no período da manhã, sendo as medidas de fluorescência da clorofila e coleta para atividade da RN realizadas nas primeiras horas após o nascer do sol (7:00 – 8:00h).

2.2 Dinâmica do crescimento

Foram determinados, em cada amostragem, o número de folhas, o número de flores, o número de frutos, a altura da planta desde a superfície do solo e o diâmetro do caule (a 20 cm do solo).

O mamoeiro apresenta suas fases de desenvolvimento divididas entre: vegetativa; floração/frutificação e produção ou colheita (MEDEIROS; OLIVEIRA, 2007). Neste trabalho, foram definidas duas fases de desenvolvimento: vegetativo, que

compreendeu o período da primeira semana de plantio até 60 DAP e o reprodutivo, que compreendeu o período de 90 a 190 DAP.

2.2.1 Coleta de plantas e obtenção de massa seca

As coletas foram realizadas no período da manhã, a partir da seleção ao acaso de cinco plantas dentro da lavoura. A parte aérea de cada planta foi seccionada ao nível do solo, e as raízes principais e secundárias foram coletadas e lavadas com água, para total retirada do solo. Para melhor coleta das raízes remanescentes, o solo num raio de 30 cm do caule e até 30 cm de profundidade foi retirado e acondicionado em saco plástico escuro.

As amostras de material vegetal foram levadas ao Laboratório de Ecofisiologia Vegetal da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e separadas nas diferentes partes: limbo, pecíolo, caule, raiz, flores e frutos. As amostras do solo retiradas dos locais próximos das plantas coletadas foram passadas em peneira para a remoção de restos de raízes. O material vegetal foi lavado e colocado para secar em estufa de circulação forçada, a aproximadamente 70°C, até atingirem massa constante. Após a secagem, estas amostras foram pesadas para a obtenção da massa seca (MS) das diferentes partes das plantas e acondicionadas para posterior análise dos nutrientes.

2.2.2 Coleta de solo

As amostras de solo perfizeram um total de dez pontos de amostragem: cinco pontos coletados nos locais de coletas das plantas, assim como de outros cinco locais aleatórios da lavoura. As amostras de solo foram retiradas até aproximadamente 30 cm profundidade, acondicionadas em sacos plásticos escuros e levadas a laboratório e secas a temperatura ambiente por 72 h.

2.2.3 Análises químicas das plantas e do solo

As análises químicas para a determinação dos teores de nutrientes presentes em cada tecido das plantas foram feitas segundo Malavolta et al. (1997). O nitrogênio foi quantificado por digestão ácida a quente; fósforo, potássio, cálcio, magnésio,

enxofre, ferro, zinco, cobre e manganês por digestão nitro-perclórica e boro por via a seca.

As amostras de solo foram analisadas quanto aos aspectos químicos segundo EMBRAPA (1997) (Tab. 1).

Tabela 1 – Resultados de análise química do solo de uma lavoura comercial do Norte do Estado do Espírito Santo com cultivo de mamoeiro (*Carica papaya* L.) cv. Golden durante de outubro de 2007 a abril de 2008.

PARÂMETRO ANALISADO	UNID.	AMOSTRAGENS						
		out/07	nov/07	dez/07	jan/08	fev/08	mar/08	abr/08
Fósforo Mehlich	mg/dm ³	121	198	172	123	275	325	77
Potássio (K)	mg/dm ³	170	140	160	80	99	64	52
Enxofre (S)	mg/dm ³	169	103	58	78	46	63	99
Cálcio (Ca)	cmol	5,1	2,9	2,3	2,6	2,4	2,8	4
Magnésio (Mg)	cmol	1,5	1,2	1,1	0,9	0,9	1	1,1
Alumínio (Al)	cmol	0	0	0	0	0	0	0
H+Al	cmol	1,6	1,6	1,5	2,1	2,2	1,9	1,4
pH em H ₂ O	-	6,2	6,2	6,1	5,7	5,7	6	6,3
Matéria Orgânica	dag/kg	4,3	3,5	3,7	3,6	3,3	3,2	3,7
Ferro (Fe)	mg/dm ³	184	192	144	189	185	157	172
Zinco (Zn)	mg/dm ³	5,4	11,5	10,5	51,8	14,5	13,9	5
Cobre (Cu)	mg/dm ³	2,4	8	8	16	12,8	3,7	2,6
Manganês (Mn)	mg/dm ³	11	14	12	30	18	13	12
Boro (B)	mg/dm ³	1,2	1,2	1,2	0,82	1,19	0,79	0,42
Sódio (Na)	mg/dm ³	81	72	82	49	69	48	26
Relação Ca/Mg	-	3,4	2,4	2,1	2,9	2,7	2,8	3,6
Relação Ca/K	-	11,7	8,1	5,6	12,7	9,5	17,1	30
Relação Mg/K	-	3,4	3,3	2,7	4,4	3,5	6,1	8,3
Sat. Ca CTA (T)	%	59,1	47,9	43,3	44,8	41,7	47,7	60,3
Sat. Mg na CTC (T)	%	17,4	19,8	20,7	15,5	15,6	17,1	16,6
Sat. de K na CTC (T)	%	5	5,9	7,7	3,5	4,4	2,8	2
Índice saturação Na	%	4,1	5,2	6,7	3,7	5,2	3,6	1,7
Soma de Bases (SB)	cmol	7	4,5	3,8	3,7	3,6	4	5,2
CTC efetiva (t)	cmol	7	4,5	3,8	3,7	3,6	4	5,2
CTC a pH 7 (T)	cmol	8,6	6,1	5,3	5,8	5,8	5,9	6,6
Sat. Alumínio (m)	%	0	0	0	0	0	0	0
Saturação de bases	%	81,5	73,6	71,8	63,8	61,8	67,6	78,9

2.2.4 Acúmulo de massa seca e nutrientes

O acúmulo de nutrientes (A) na raiz, caule, pecíolo, limbo foliar, flores e frutos, ao longo do desenvolvimento, foi determinado por meio da fórmula:

$$A = \frac{MS \times C}{1000} \quad \text{Equação 1}$$

em que, *MS* representa a massa seca em mg e *C* a concentração de macronutrientes (g/kg) dos diferentes tecidos.

Por meio do acúmulo de nutrientes e da massa seca das diferentes partes das plantas, foi possível obter o Acúmulo Relativo Diário (ARD), que representa a diferença entre o mínimo e o máximo de acúmulo por dia em cada estágio de desenvolvimento.

$$ARD = \frac{A_2 - A_1}{t_2 - t_1} \quad \text{Equação 2}$$

$$ARD = \frac{MS_2 - MS_1}{t_2 - t_1} \quad \text{Equação 3}$$

em que, A_1 e MS_1 , representam o acúmulo de nutrientes e a massa seca obtidos no tempo inicial t_1 e, A_2 e MS_2 , representam o acúmulo de nutrientes e a massa seca obtidos no tempo final t_2 .

2.3 Atividade da redutase do nitrato (EC 1.6.6.1) nas folhas

A atividade da redutase do nitrato (ARN) foi determinada nas folhas jovens mais expandidas, nas plantas ainda no estágio de mudas, e a partir do início do estágio reprodutivo em folhas jovens totalmente expandidas, contendo na base da inserção do pedúnculo a 1^o flor aberta. As folhas foram acondicionadas em sacos plásticos escuros e transportadas ao laboratório em bolsa térmica com gelo até início das análises. Para a determinação *in vivo* da ARN utilizou-se a metodologia descrita por Jaworski (1971) e ajustada para mamoeiro por Fontes et al. (2008). Esse método se baseia no princípio de que a concentração de nitrito (NO_2^-) liberada pelos discos foliares em uma solução tampão, na presença de um agente permanente (propanol), do substrato (NO_3^-) e de um saponificador (triton), reflete a atividade potencial da RN “*in situ*”. Para tal, 30 discos foliares com diâmetro de 50 mm tiveram sua massa fresca determinada e, então, suspensos em 10 mL do meio de incubação contendo 5 mL de tampão fosfato (KH_2PO_4 e K_2HPO_4) 0,1 M (pH 7,5), 1 mL de KNO_3 0,05 M, 4 mL de propanol a 2% e 4 gotas de Triton X100 a 5%. O conjunto foi transferido para um dessecador, onde foi mantido sob vácuo por um minuto. A operação foi repetida por mais duas vezes. Em seguida, o frasco de incubação foi levado para banho-maria, no escuro, a 30°C. Amostras de 0,8 mL foram retiradas do banho-maria após 40 minutos de incubação e misturadas a 0,3 mL de sulfanilamida a 1% em HCL 3N e 0,3 mL de N-(1-naftil)-etilenodiamino dihidroclórico 0,02%

completando o volume para 5 mL. Após uma hora de reação foi feita a leitura das amostras em espectrofotômetro (FEMTO 700 Plus São Paulo, Brasil) a 540 nm. Para o cálculo da atividade da RN, uma curva de calibração foi preparada com nitrito de sódio. A atividade da enzima foi estimada e expressa em μmol de NO_2^- liberados pelo tecido vegetal, na solução de incubação por hora, por grama de matéria fresca.

2.4 Cinética de emissão de fluorescência da clorofila a

Objetivando avaliar modificações na eficiência fotossintética das plantas do mamoeiro, a cinética de emissão de fluorescência da clorofila *a* foi medida, por meio de um fluorômetro portátil (HandyPEA-Plant Efficiency Analyzer, Hanstech, King's Lynn, Norkfolk, UK). Em cada amostragem, após serem adaptados ao escuro por 30 min, tecidos foliares foram expostos a um pulso de luz saturante por 1 s com intensidade luminosa máxima de $3000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. As medidas foram feitas nas folhas jovens mais expandidas, ainda no estágio de mudas e a partir do início do estágio reprodutivo em folhas jovens totalmente expandidas, contendo na base da inserção do pedúnculo a 1° flor aberta.

A tabela 2 sumariza os dados técnicos da curva O-J-I-P e dos parâmetros selecionados e sua descrição, utilizando os dados do teste JIP extraídos da fluorescência transiente da clorofila *a*. Foram avaliados os parâmetros básicos de fluorescência: fluorescência inicial ou fluorescência a um tempo de $50 \mu\text{s}$ (F_0), a fluorescência máxima (F_M), o rendimento quântico máximo potencial do fotossistema II (F_V/F_M) e rendimento quântico máximo efetivo de conversão de energia (F_V/F_0). Os resultados da análise da fluorescência foram tabulados com o software PEA Plus para uma planilha eletrônica, onde pôde-se derivar uma série de parâmetros biofísicos adicionais que quantificam o comportamento do FSII por meio do: a) fluxo específico de energia por centro de reação e b) rendimento do fluxo de energia.

Os parâmetros biofísicos que quantificam o fluxo de energia através do FSII foram analisados segundo o Teste OJIP (STRASSER et al., 1995; STRASSER; STIRBET, 2001; FORCE et al., 2003). Estes parâmetros fornecem informações estruturais e funcionais, permitindo quantificar o comportamento do FSII nos diferentes períodos avaliados.

Tabela 2 – Parâmetros técnicos da curva OJIP da fluorescência transiente da clorofila a e parâmetros selecionados de fluxo de energia do JIP - teste.

PARÂMETROS	DESCRIÇÃO
F_0	Fluorescência inicial (fluorescência mínima). Intensidade da fluorescência aos 50 μ s obtidas em amostras adaptadas ao escuro. É considerada como a intensidade da fluorescência quando todos os centros de reação (RC) do FSII estão abertos, isto é ou quando Q_A está totalmente oxidada.
F_M	Fluorescência máxima. Considerada como a intensidade da fluorescência quando todos os RCs do FSII estão fechados e o acceptor Q_A está completamente reduzido.
F_V/F_M	Rendimento quântico máximo potencial do FSII. Eficiência de captura de energia de excitação pelos centros de reação do FSII abertos representando $\phi_{P0} = 1 - (F_0/F_M) = TR_0/ABS$
F_V/F_0	Rendimento quântico máximo efetivo de conversão de energia.
ABS/RC	Fluxo de fótons absorvidos por RC. Expressa o tamanho efetivo da antena de um centro de reação ativo. Expressa o número total de fótons absorvidos por molécula de clorofila de todos os centros de reação dividido pelo número total de reação ativos.
TR₀/RC	Fluxo de energia capturada por centro de reação, no tempo zero. Representa o fluxo de energia de excitação efetivamente capturada pelo centro de reação do FSII, a fim de reduzir Q_A .
ET₀/RC	Fluxo de transporte de elétrons por centro de reação, no tempo zero. Representa o fluxo de energia que foi efetivamente destinada ao transporte de elétrons pelo centro de reação o que resultará na reoxidação das Q_A reduzidas.
DI₀/RC	Dissipação de energia de excitação do centro de reação ativo. Representa a energia absorvida e não capturada por centro de reação, ou seja, $DI_0/RC = (ABS/RC) - (TR_0/RC)$.
RC/CS₀	Densidade de centros de reação ativos do FSII. Representa a razão de número de centros de reação ativos por seção transversal de tecido foliar.
ET₀/TR₀	Expressa a probabilidade (no tempo zero) de um éxciton capturado pelo RC do PSII, mover um elétron na cadeia de transporte para além de Q_A^- .
PI	Índice de desempenho. É o produto de três parâmetros independentes: RC/ABS , ϕ_{P0} e Ψ_{P0} e é considerado um indicador da vitalidade da amostra, ou seja, a densidade de centros de reação expressos com base na absorção (RC/ABS), o rendimento quântico máximo potencial do FSII ($\phi_{P0} = TR_0/ABS$) e a habilidade de transferência de elétrons, na cadeia transportadora, entre o FSII e FSI ($\Psi_{P0} = ET_0/TR_0$).

As seguintes razões foram usadas em nível de centro de reação (RC) do FSII: fluxo de fótons absorvidos (ABS/RC), fluxo de energia capturada (TR_0/RC), índice de fluxo

de transporte de elétrons (ET_0/RC), probabilidade de um elétron seguir na cadeia de transporte de elétrons (ET_0/TR_0), dissipação de energia radiante por RC ativo (DI_0/RC), densidade de RCs ativos do FSII (RC/CS_0) e índice de desempenho (PI). O índice de desempenho (PI) ou índice de vitalidade da planta é um parâmetro proposto por STRASSER et al. (2000; 2004) e tem sido bastante utilizado por ser muito sensível aos estresses na planta.

2.5 Delineamento experimental e análises estatísticas

O estudo foi desenvolvido em um delineamento inteiramente casualizado, em sete períodos de amostragem. Para as medições de crescimento e fluorescência da clorofila *a* foram utilizados 17 plantas úteis por período, das 40 inicialmente marcadas. Das folhas selecionadas para as medidas de fluorescência, dez foram utilizadas para a determinação da atividade da enzima redutase do nitrato. Para as determinações de massa seca e partição de nutrientes, foram utilizadas cinco repetições de plantas escolhidas aleatoriamente na lavoura.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e o erro padrão das médias calculado. Os resultados foram também ajustados em modelos de regressão, conforme Pimentel-Gomes (1990). Os dados de fluorescência foram analisados segundo a estatística descritiva, considerando que essas medidas não apresentam distribuição normal (LAZAR, 1998).

3 REFERÊNCIAS

- APPENROTH, K. J.; MECXO, R.; JOURDAN, V.; LILLO, C. Phytochrome and post-translational regulation of nitrate reductase in higher plants. **Plant Science**, v.159, p.51–56, 2000.
- BRANDÃO, A. D. Papel da Redutase do Nitrato em soja [*Glycine max* (L.) Merr. Cv IAC-17] sob condições de hipóxia do sistema radicular. 2005. **Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal)** Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas.
- CAMPOSTRINI, E.; SILVA, P. C.; YAMANISHI, O. K. Efeito da restrição mecânica do sistema radicular sobre a cinética de crescimento, a arquitetura da raiz e o estado nutricional de quatro genótipos de mamão. In. XV CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 1998. Poços de Caldas. **Anais...** XV Congresso Brasileiro de Fruticultura, Lavras: UFLA, p. 495, 1998.
- CAMPOSTRINI, E.; YAMANISHI, O. K. Influence of mechanical root restriction on gas-exchange of four papaya genotypes. **Revista Brasileira Fisiologia Vegetal**, Lavras, v.13, n.2, 2001.
- CASTRO, D. S.; LOBATO, A. K. da; MENDES, F. S.; NETO, C. F. O.; CUNHA, R. L. M. da; COSTA, R. C. L. da; Atividade da Redutase do Nitrato em Folhas de Teca (*Tectona grandis* L. f.) sob Déficit Hídrico. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 936-938, 2007.
- CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: ESAL/FAEPE, 785 p. 2005.
- COSTA, A. N. da; COSTA, A. F. S. da; SANTOS, F. A. M. dos; BARRETTO, F. C. ZUFFO, V. J. Plantio, formação e manejo da cultura. IN: MARTINS, D. dos.; COSTA, A. F. S. da (eds). **A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção**. Vitória, ES: Incaper, 2003. 497p.
- DAVIES, P. J. **Plant hormones: Physiology, biochemistry and molecular biology**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishes, 1995.

DEFAVARI, D.; MORAES, L.A.C. Fisiologia da floração. In: CASTRO, P.R.C.; SENA, J.O.A.; KLUGE, R.A. **Introdução à fisiologia do desenvolvimento vegetal**.

Maringá: Eduem, 2002. p.191-210.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise do solo**. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FEITOSA, L. R.; STOCKING, M.; RESENDE, M. **Natural resources information systems for rural development: approaches for Espírito Santo State, Brazil**.

Vitória: INCAPER, 2001. 223p.

FISCHER, R. A. Wheat. In: **Symposium on Potential Productivity of Field Crops Under Different Environments**, Las Banas, Philippines, 1983, p. 524.

FONTES, R. V. Eficiência fotoquímica das plantas e atividade da enzima pectinametilsterase na polpa de frutos de mamoeiro (*Carica papaya* L.). 63f.

Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória- ES, 2005.

FONTES, R. V.; SANTOS, M. P.; FALQUETO, A. R.; SILVA, D. M. Atividade da redutase do nitrato e fluorescência da clorofila a em mamoeiro. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 251-254, 2008.

FORCE, L.; CRITCHLEY, C.; VAN RENSEN, J. J. S. New fluorescence parameters for monitoring photosynthesis in plants: 1. The effect of illumination on the fluorescence parameters of the JIP-test. **Photosynthesis Research**, v. 78, p. 17–33, 2003.

GUSTA, L. V., CHEN, T. N. H. The physiology of water and temperature stress. In: HEYNE, E. G. ed. **Wheat and Wheat Improvement**. ASA. Madison, Wisconsin, p. 115-150, 1987.

JAWORSKI, E. G. Nitrate reductase assay in intact plant tissues. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, Orlando, v.43, n.6, p.1274-1279, 1971.

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.

LAZAR, D.; NAUS, J. Statistical properties of chlorophyll fluorescence inductions parameters. **Photosynthetica**, v. 35, n.1, p.121-127, 1998.

LEA, P. J. Primary nitrogen metabolism. LAZAR, D.; NAUS, J. Statistical properties of chlorophyll fluorescence inductions parameters. **Photosynthetica**, v. 35, n.1, p.121-127, 1998.

In: DEY, P. M.; HARBORNE, J. B. (Ed.). **Plant biochemistry**. New York: Academic Press, p. 273-313, 1997.

MACHADO, E. C., SILVEIRA, J. A. G. da, BASTOS, C. R. Trocas de CO₂, acúmulo de fitomassa e remobilização de reservas durante o crescimento de panículas de duas cultivares de arroz. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 2, p. 63-70, 1990.

MALAVOLTA, E. VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. Piracicaba: PATAFOS, 1997. 319p.

MARINHO, C. S., MONNERAT, P. H., CARVALHO, A. C, Análise química do pecíolo e limbo foliar como indicadora do estado nutricional dos mamoeiros 'Solo' e 'Formosa'. **Scientia Agricola**, v.59, p.373-381, 2002.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2a ed. London: Academic press, 1988. 889 p.

MARTINS, D. S. e COSTA, A. de F. S. da (Org.). **A cultura do mamoeiro: Tecnologias de Produção**. 1. ed. Vitória: INCAPER, v. 1. 497f., 2003.

MEDEIROS, J. F. de; OLIVEIRA, F. A. De. Fertirrigação da cultura do mamoeiro. IN: MARTINS, D. dos.; COSTA, A. N. da; COSTA, A. F. S. da (eds). **Papaya Brasil**: manejo, qualidade e mercado do mamão. Vitória, ES: Incaper, 2007. 704p.

MENDONÇA, V.; ARAÚJO NETO, S. E.; RAMOS, J. D.; PIO, R.; GONTIJO, T. C. A. Diferentes substratos e recipientes na formação de mudas de mamoeiro 'Sunrise Solo'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.25, n.1, 2003.

NÓBREGA, N. E. F. da.; SILVA, J. G. F. da.; RAMOS, H. E. A.; PAGUNG, F. S. Balanço hídrico climatológico e classificação climática de Thornthwaite e Köppen para o município de Linhares – ES. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 18, 2008, São Mateus. **Anais...** São Mateus, 2008.

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

OLIVEIRA, M. A. J. de; BOVI, M. L. A.; MACHADO, E. C.; RODRIGUES, J. D. Atividade da redutase de nitrato em mudas de pupunheira (*Bactris gasipaes*). **Ciência Rural**, v.35, n.3, 2005.

PIMENTEL-GOMES, F. (1990). **Estatística experimental**. 13ed. Piracicaba: Nobel.

RAWSON, H. M., HINDMARSH, R. A., FISCHER, R. A. et al. Changes in leaf photosynthesis with plant ontogeny and relationships with yield per ear in wheat cultivars and 120 progenies. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 10, p. 503-514, 1983.

SILVA, M. M.; BROETTO, S. G.; VALBÃO, S. C.; ZAMPERLINI, G. P.; FONTES, R. V.; SILVA, D. M. **Crescimento e produtividade do mamoeiro (*Carica papaya* L.) obtido sob seleção em campo**. IN: Papaya Brasil: Manejo, qualidade e mercado do mamão. Martins, D. S. (ed.). p. 564-567, 2007.

SILVA, J. G. F. DA; NÓBREGA, N. E. F. DA; RAMOS, H. E. A. Estudo do comportamento médio mensal de elementos meteorológicos da região produtora de mamão de Linhares – ES. In: XX Congresso Brasileiro de Fruticultura. **Anais...** Vitória, 2008.

SILVEIRA, J. A. G. da, MACHADO, E. C. Mobilização de nitrogênio e de carboidratos durante o desenvolvimento de panículas de duas cultivares de arroz. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 2, p. 37-46, 1990.

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

SIMMONS, R. S. Growth development and physiology. In: HEYNE, E. G. ed. **Wheat and Wheat Improvement**. ASA. Madison, Wisconsin, p. 77-113, 1987.

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*, pp 977– 980. **Kluwer Academic Publishers**, Dordrecht, The Netherlands, 1995.

STRASSER, R.J.; SRIVASTAVA, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M. The fluorescence transient as a tool to characterise and screen photosynthetic samples. In: Yunus, M., Pathre, U., Mohanty, P. (Eds.), **Probing Photosynthesis: Mechanism, Regulation and Adaptation**. Taylor & Francis, London, UK, 25, p. 443–480, 2000.

STRASSER R. J, STIRBET A. D. Estimation of the energetic connectivity of PS II centres in plants using the fluorescence rise O–J–I–P. Fitting of experimental data to three different PS II models. **Mathematics and Computers in Simulation** v.56, p.451–461, 2001.

STRASSER, A., TSIMILLI-MICHAEL, M., SRIVASTAVA, A. Analysis of the fluorescence transient. In: Papageorgiou, G.C., Govindjee (Eds.). **Chlorophyll Fluorescence: A Signature of Photosynthesis**. Advances in Photosynthesis and Respiration Series (Govindjee, Series Ed.). Springer, Dordrecht, p.321-362. 2004.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram elaborar dois artigos, apresentados a seguir, formatados nas normas de editoração dos periódicos aos quais serão submetidos.

4.1 CRESCIMENTO E ACÚMULO DE MACRONUTRIENTES NO MAMOEIRO CV. 'GOLDEN' DURANTE SEUS ESTÁDIOS DE DESENVOLVIMENTO

Submetido a Scientia Agricola,

ISSN 0103-9016 versão impressa

ISSN 1678-992X versão online

Piracicaba, 2009.

Mariela Mattos da Silva; Sabrina Garcia Broetto; Sigrid Costa Valbão; Aureliano Nogueira da Costa; Marco Antonio Galeas Aguilar; Diolina Moura Silva.

**CRESCIMENTO E ACÚMULO DE MACRONUTRIENTES NO MAMOEIRO CV.
'GOLDEN' DURANTE ESTÁDIOS DE DESENVOLVIMENTO**

Growth and nutrients accumulation in papaya tree cv. 'Golden' during development stages

Mariela Mattos da Silva^{I*}, Sabrina Garcia Broetto^I; Sigrid Costa Valbão^I; Aureliano Nogueira da Costa^{II}; Marco Antonio Galeas Aguilar^{III}; Diolina Moura Silva^{IV}

^I UFES, Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal - UFES.

^{II} INCAPER, Rua Afonso Sarlo, 160 - Bento Ferreira, 29052-010, Vitória – ES.

^{III} CEPLAC- Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira-ESFIP, BR-101, km 150, 29900-000, Linhares – ES.

^{IV} UFES - Depto. Ciências Biológicas – CCHN, Setor Botânica. Av. Fernando Ferrari, 514 - Campus Goiabeiras, 29075-910, Vitória – ES.

marielamtt@yahoo.com.br ; biovegetal@terra.com.br

RESUMO

A absorção de nutrientes pelo mamoeiro difere quantitativa e qualitativamente com os estádios de desenvolvimento da cultura, intensificando-se no florescimento e durante a formação e crescimento dos frutos. Estudos da dinâmica de crescimento e particionamento de nutrientes durante o desenvolvimento da planta podem auxiliar na tomada de decisão da determinação das épocas de maiores taxas de absorção e acúmulo de nutrientes, a fim de otimizar a adubação e reduzir perdas. O presente estudo objetivou avaliar o crescimento e a dinâmica do acúmulo de macronutrientes e de massa seca nos diferentes tecidos do mamoeiro cv. Golden em função dos estádios de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo. O experimento foi realizado em uma lavoura comercial, localizada no município de Linhares (ES), durante 190 dias após o plantio (DAP) e as características foram avaliadas aos 0, 30, 60, 90, 120, 160 e 190 DAP. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado

com sete épocas de amostragem e os dados submetidos à análise de regressão. Devido às condições climáticas favoráveis da área experimental, a fase reprodutiva foi antecipada, com início aos 90 DAP. Observou-se que o crescimento do mamoeiro apresentou diferenças entre as fases vegetativa e reprodutiva, apresentando disparidades marcantes na arquitetura da copa e no número de folhas. Os acúmulos de macronutrientes e de massa seca tenderam a serem maiores na fase reprodutiva. A seqüência de acúmulo diário máximo de nutrientes na fase vegetativa foi: $N > K > Ca > Mg > S > P$, sendo o N trocado pelo K ao início da fase reprodutiva. A exportação para os órgãos reprodutivos seguiu a seguinte ordem: $P (29,55\%) > K (27,55\%) > N (27,01\%) > S (22,64\%) > Ca (15,80\%) > Mg (13,35\%)$. Os resultados indicam que o mamoeiro cv. Golden possui maiores taxas de crescimento na fase vegetativa. Entretanto, é na fase reprodutiva que os maiores acúmulos de massa seca e macronutrientes são verificados. Embora o N e K sejam os nutrientes com maiores acúmulos, o P foi o elemento mais exportado para os órgãos reprodutivos.

PALAVRAS-CHAVE: acúmulo relativo, nutrição, mamoeiro, crescimento.

ABSTRACT

Uptake of nutrients by papaya trees differs quantitatively and qualitatively in different stages of development of culture, being more intense on the flowering and during the formation and growth of fruits. Studies about the growth dynamics and partitioning of nutrients during the plant development can help in the decision-making process of the determination of the determination of periods of higher rates of uptake and accumulation of nutrients in order to optimize the fertilizer and reduce loses. The present study aimed at to evaluate the growth and the dynamics of the macronutrients accumulation and of dry mass in the different tissues of the papaya cv. Golden in function of the vegetative and reproductive stage of development. The experiment was accomplished in a commercial crop, located in Linhares (ES, Brazil),

during 190 days after the planting (DAP) and the characteristics were appraised to the 0, 30, 60, 90, 120, 160 and 190 DAP. The experimental design was completely randomized with seven sampling times and the data submitted the regression analysis. Due to the climatic conditions of the experimental area, the reproductive phase was early, starting at 90 DAP. The growth of the papaya presented differences between vegetative and reproductive stage, showing marked disparities in the structure of canopy and number of leaves. The accumulations of dry mass and macronutrients were higher in the reproductive phase. The sequence of maximum daily accumulation of nutrients in the vegetative phase was: $N > K > Ca > Mg > S > P$, being N changed by K to the beginning of the reproductive phase. Exports for the reproductive organs followed the order of: $P (29,55\%) > K (27,55\%) > N (27,01\%) > S (22,64\%) > Ca (15,80\%) > Mg (13,35\%)$. The results suggest that the papaya cv. Golden possesses higher growth taxes in the vegetative phase, however, it is in the reproductive phase that the largest mass accumulations dry and macronutrients are verified. While the N and K are the nutrients with higher accumulations, the macronutrient P was that most exported to the reproductive organs.

KEYS-WORDS: nutrient accumulation, mineral nutrition, papaya tree, grow

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de mamão, com uma produção anual de 1,7 milhões de toneladas, situando-se também entre os principais exportadores, principalmente para o mercado europeu. O mamoeiro é cultivado em quase todo o território nacional, tendo destaque os estados da Bahia, Espírito Santo e Paraíba que, juntos, são responsáveis por cerca de 90% da produção nacional de mamão (Medeiros & Oliveira, 2007).

O mamoeiro (*Carica papaya* L.) é uma planta que extrai uma quantidade relativamente grande de nutrientes do solo e apresenta exigências contínuas durante todo seu ciclo de vida.

A sua característica de colheita intermitente mostra que a planta necessita de suprimentos de água e nutrientes em intervalos freqüentes de modo a permitir o fluxo contínuo de produção de flores e frutos (Martins & Costa, 2003).

A absorção de nutrientes difere quantitativa e qualitativamente com a fase de desenvolvimento da cultura, intensificando-se a partir do florescimento e da formação e crescimento dos frutos (Coelho Filho et al., 2007). Por essa razão, estudos da dinâmica de absorção e particionamento de nutrientes durante o crescimento da planta podem auxiliar na tomada de decisão para determinação da composição dos nutrientes e períodos de adubação da cultura do mamoeiro.

O conhecimento das diferentes fases do desenvolvimento do mamoeiro é fundamental para a adequada aplicação das técnicas de cultivo, possibilitando uma produção intensiva e mais econômica da cultura. Poucos são os trabalhos em que se avaliaram a influência da fase do desenvolvimento do mamoeiro sobre as taxas de extração de nutrientes em condições de campo. A maioria dos estudos dessa fase está baseada em observações feitas sob cultivo protegido, podendo ser de difícil aplicabilidade em condições reais de campo. Estudos sob condições comerciais de campo nos quais se avaliam os requerimentos nutricionais desde o estabelecimento das mudas de mamoeiro no campo, por outro lado, podem ampliar o conhecimento sobre a nutrição mineral dessa espécie, uma vez que os trabalhos realizados dentro deste contexto foram desenvolvidos durante a fase de produção da planta (Marinho et al., 2002; Oliveira & Caldas 2004) ou apenas durante a fase de formação de mudas (Simão, 1998; Mendonça et al, 2003; Cruz et al, 2004).

Neste contexto, o trabalho aqui apresentado teve como objetivo avaliar, em condições de campo, o crescimento e a dinâmica do acúmulo de macronutrientes e de massa seca do mamoeiro cv. 'Golden' nos estádios de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em uma lavoura comercial (Gaia Importação e Exportação Ltda) situada no município de Linhares, ES (19° 24' S, 40° 04' W). O estudo teve início na primeira semana após o transplante das mudas de mamoeiro (*Carica papaya* L. cv. 'Golden') para o campo. O plantio foi efetuado em fileiras simples no espaçamento 3,5 m entre filas e 0,8 m entre plantas, em uma área de 20 ha, em outubro de 2007. O sistema de irrigação utilizado foi o de gotejamento.

O município de Linhares está localizado na região Norte do Espírito Santo e possui classificação climática do tipo subúmido, com terras quentes, planas e de transição entre chuvosa/seca (Feitosa et al., 2001). A média anual de precipitação é de 1277 mm e 148 dias chuvosos, com dois períodos distintos bem definidos: um chuvoso, entre outubro e abril, e um seco, entre maio e setembro. A temperatura média anual fica em torno dos 23,0°C e a umidade relativa média anual próxima a 83% (Silva et al., 2008).

A figura 01 apresenta os dados climáticos de temperatura e precipitação da região coletados na estação meteorológica do INMET no Aeroporto de Linhares (ES) durante o período experimental.

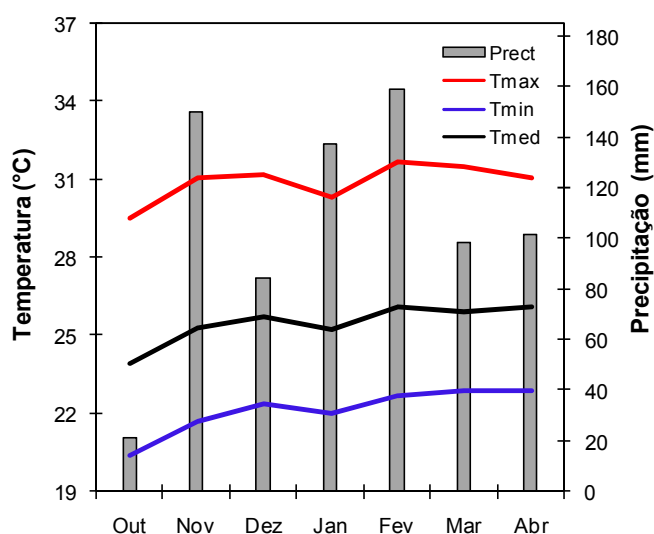


Figura 1 – Diagrama climático do Norte do Espírito Santo para o período de estudo (outubro de 2007 a abril de 2008). Prec – precipitação; Tmax – temperatura máxima mensal; Tmed – temperatura média mensal; Tmin – temperatura mínima mensal. Dados obtidos da estação meteorológica do INMET no Aeroporto/Linhares – ES (www.incaper.es.gov.br).

Na primeira semana de transplântio das mudas para o campo e, a partir dessa data, efetuaram-se amostragens durante o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo aos: 0, 30, 60, 90, 120, 160 e 190 dias após plantio (DAP). Foram selecionadas e marcadas 40 plantas aleatoriamente na primeira amostragem, sendo o crescimento destas plantas analisado até dezembro de 2007.

Por ser uma planta que produz flores femininas, masculinas e hermafroditas, o mamoeiro sofre, ao início do florescimento (em torno de três a quatro meses após o plantio) o desbaste de plantas, ou sexagem. Preferencialmente, deixam-se as plantas hermafroditas, uma vez que o formato do fruto a ser originado atende às exigências do mercado consumidor interno e externo (Costa et al, 2003). Após a sexagem, realizada no final de dezembro de 2007, mantiveram-se 17 plantas úteis das 40 plantas anteriormente marcadas, sendo que os dados coletados a partir destas plantas foram analisados ao final do estudo.

Avaliou-se o crescimento das plantas (altura, diâmetro do caule, número de folhas por planta, número de flores abertas e número de frutos) e o acúmulo de massa seca e de macronutrientes nas plantas nos estádios de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo.

As plantas foram selecionadas ao acaso dentro da lavoura, e a determinação das características de crescimento e a coleta das amostras de plantas e de solo foram realizadas no período da manhã. A parte aérea foi seccionada ao nível do solo e o sistema radicular coletado. Para completa obtenção das raízes, amostras de solo de 30 cm de raio do caule e 30 cm de profundidade, foram retiradas e acondicionadas em sacos plásticos escuros.

Em laboratório, a parte aérea foi separada em limbo, pecíolo, caule, flores e frutos e o solo coletado foi passado em peneira para a separação de raízes remanescentes. O material vegetal foi lavado e colocado para secar em estufa de circulação forçada a, aproximadamente, 70°C, até atingir massa seca constante. Após a secagem, as amostras foram imediatamente pesadas para a obtenção da massa seca e armazenadas para posterior análise dos nutrientes. A

avaliação dos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) foi realizada segundo método descrito por Malavolta et, al. (1997).

De posse desses resultados, foram estimadas as quantidades acumuladas desses nutrientes nas diferentes partes da plantas por período de desenvolvimento:

$$A = \frac{MS \times CN}{1000}$$

em que, *MS* representa a massa seca em mg e *CN* a concentração de macronutrientes nos diferentes tecidos, em g/kg.

Por meio do acúmulo de nutrientes e da massa seca das diferentes partes das plantas, foi possível obter o Acúmulo Relativo Diário (ARD), que representa a diferença entre o mínimo e o máximo de acúmulo por dia em cada estágio de desenvolvimento.

$$ARD_N = \frac{A_2 - A_1}{t_2 - t_1}$$

$$ARD_{MS} = \frac{MS_2 - MS_1}{t_2 - t_1}$$

em que, ARD_N e ARD_{MS} representam o acúmulo relativo diário do nutriente considerado e de massa seca, respectivamente. A_1 e MS_1 representam o acúmulo de nutrientes e massa seca obtidos no tempo inicial t_1 e, A_2 e MS_2 , o acúmulo de nutrientes e massa seca obtidos no tempo final t_2 .

O delineamento adotado foi o inteiramente casualizado com sete épocas de coletas, 17 repetições para as medidas de crescimento, e cinco repetições para as análises de massa seca e análises de nutrientes. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e o erro-padrão das médias calculado. Os resultados foram também ajustados a modelos de regressão, conforme Pimentel-Gomes (1990).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O crescimento do mamoeiro apresentou, no início da fase vegetativa, rápido aumento em altura, diâmetro do caule e no número de folhas por planta.

O crescimento em altura das plantas foi contínuo, ajustando-se ao modelo de regressão logarítmica, com base nos valores do coeficiente de regressão R^2 (Fig. 2A). O diâmetro do caule mostrou um crescimento linear e, apresentando ao final das análises média de 85,57 mm aos 160 DAP (Fig. 2B).

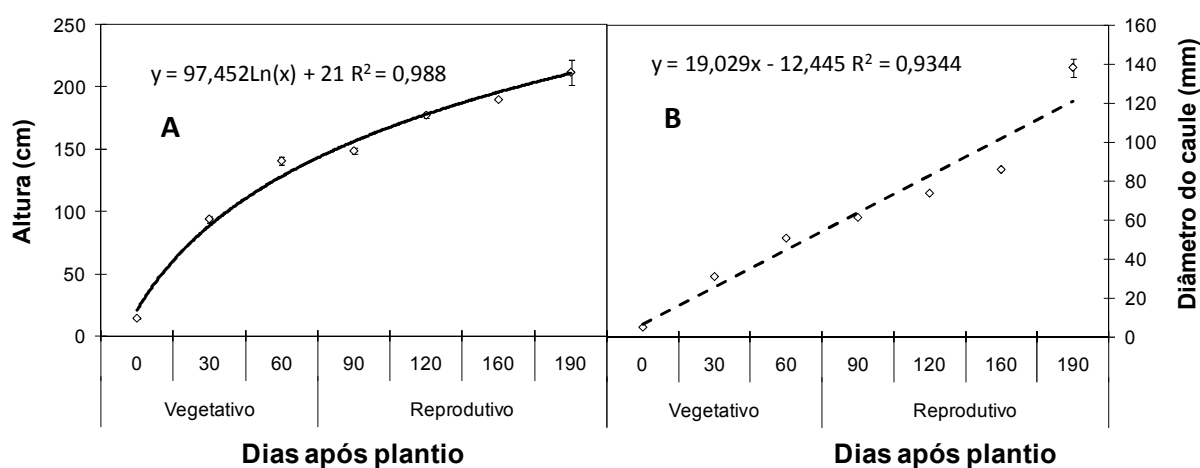


Figura 2 – Curvas e equações de regressão de altura (A) e diâmetro do caule (B) ao longo das fases vegetativa e reprodutiva. Barras verticais representam o erro padrão das médias nos DAP (n=17).

Na fase vegetativa a altura da planta apresentou maior velocidade de expansão, indicada pela maior inclinação das curvas, principalmente observada para a altura das plantas até 60 DAP. Entretanto, diâmetro do caule apresentou tendência de crescimento linear, tendo, portanto, indicado pouca diferença entre as fases.

O número de folhas apresentou uma curva polinomial com valores máximos aos 60 DAP, seguida de redução a partir da qual apresentou poucas alterações (Fig. 3A). A redução do número de folhas aos 90 DAP está relacionada à própria arquitetura morfológica do mamoeiro. Ao alcançar a fase adulta, com início do estágio reprodutivo, o mamoeiro reduz seu número de folhas e passa a concentrá-las em um grupo denso de grandes folhas na região apical, adquirindo uma conformação espiralada (Silva et al, 2008).

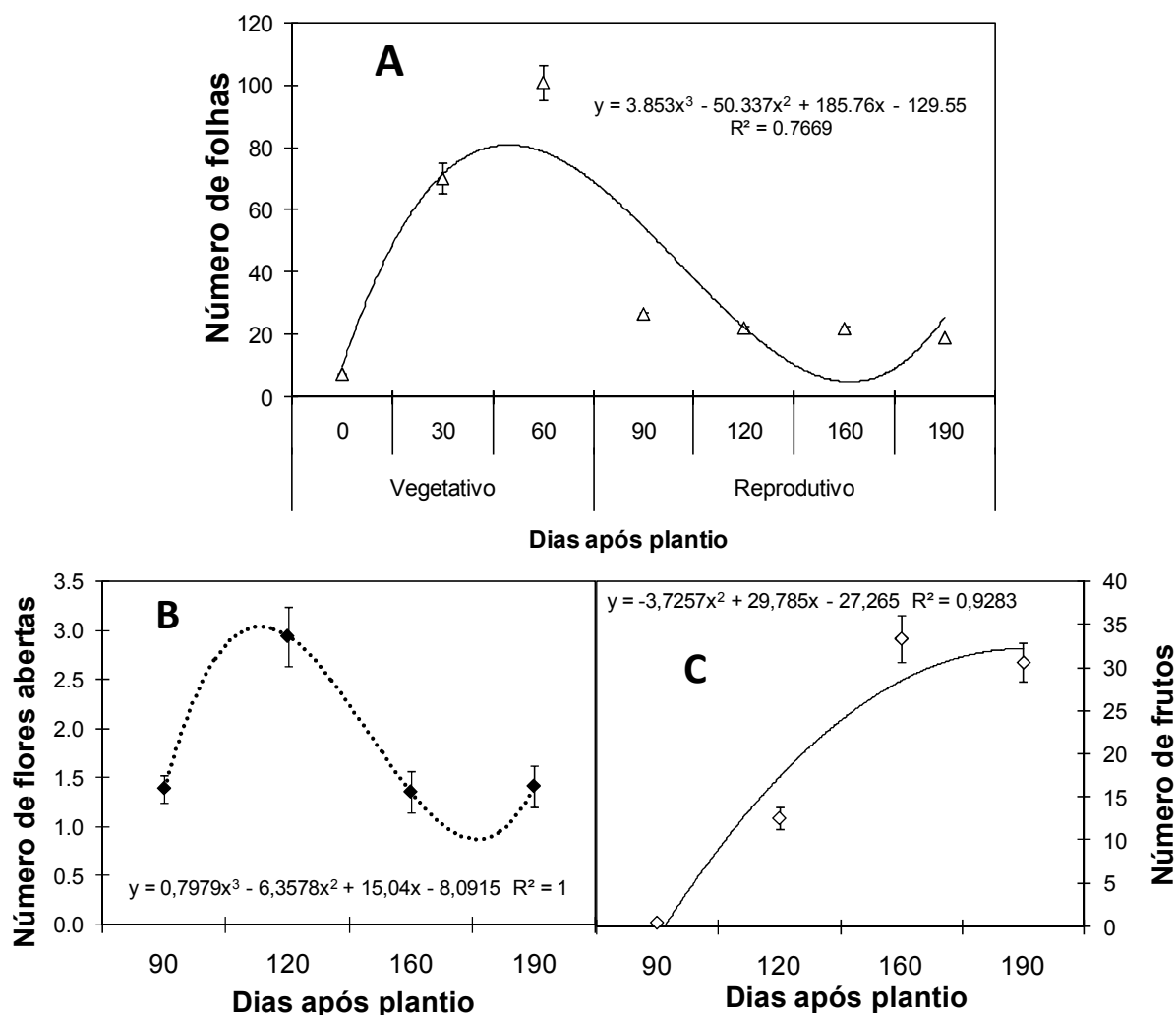


Figura 3 – Curvas e equações de regressão do número de folhas (A), de flores abertas (B) e frutos (C) ao longo das fases vegetativa e reprodutiva. Barras verticais representam o erro padrão das médias nos DAP (n=17).

A fase reprodutiva teve início, aproximadamente três meses após o plantio das mudas, com baixo número de flores abertas (50% das plantas amostradas possuíam a 1ª flor aberta), seguido de aumento de cerca de 50% aos 120 DAP e posterior redução (Fig. 3B). O número de frutos aumentou entre 120 e 160 DAP, seguido de estabilização, alcançando valores próximos a 35 frutos por planta (Fig. 3C).

A duração do período vegetativo poderia ser considerada curta, desde o transplantio das mudas até a primeira floração, quando comparada ao tempo de quatro meses, citado por Martins e Costa (2003), com início da fase de floração/ frutificação aos 120 DAP. Entretanto, apresenta-se semelhante ao observado por Silva et al. (2007).

O acúmulo relativo diário de massa seca (ARD_{MS}) permite avaliar a quantidade de MS acumulada em um determinado período. O ARD_{MS} apresentou elevados valores entre 0 e 30 DAP da fase vegetativa, com redução aos 60 DAP. O início da fase reprodutiva foi bem evidenciado mediante um acréscimo de MS dos órgãos vegetativos que, ao decorrer dessa fase, apresentou menores acúmulos (Fig. 4A).

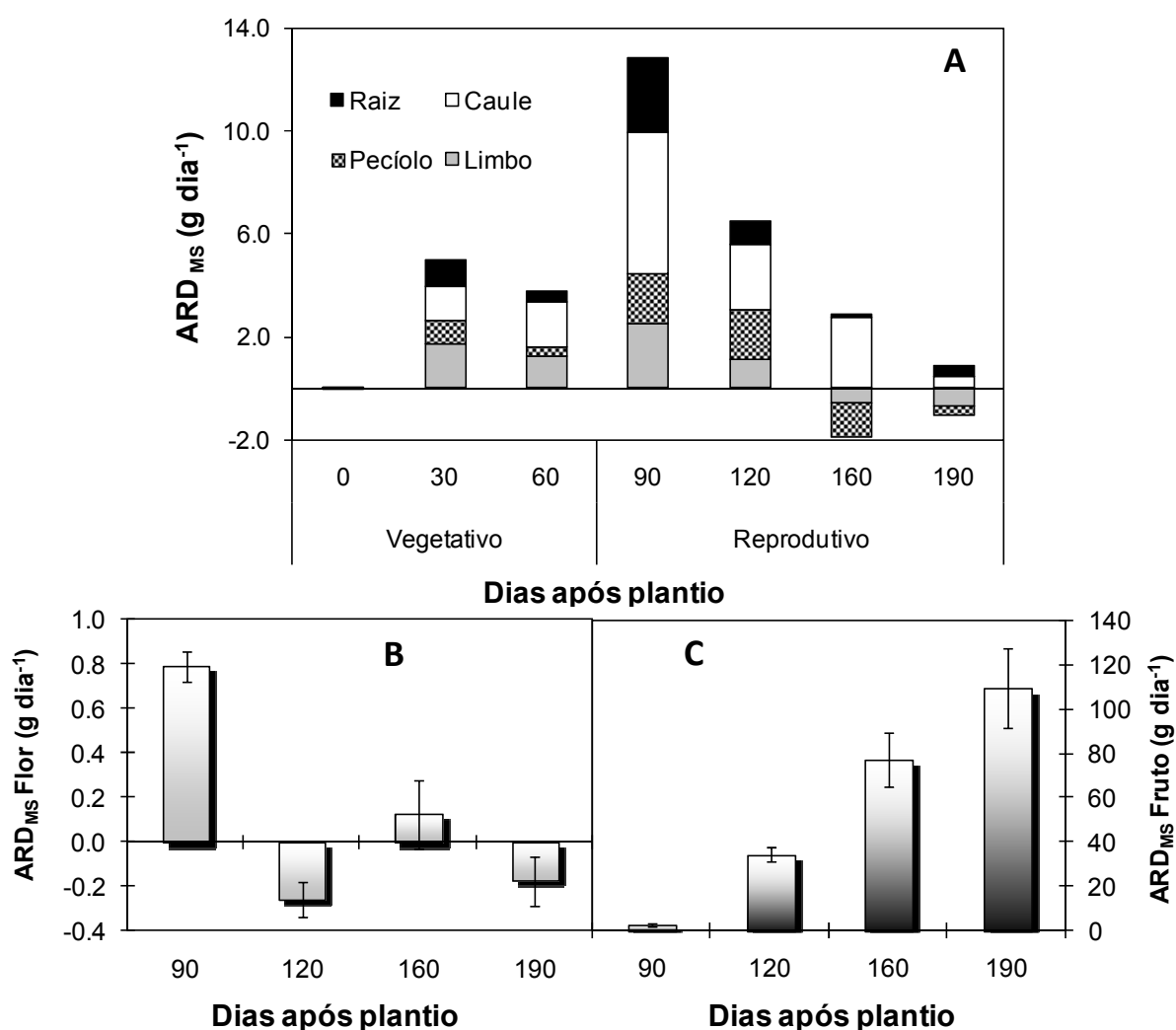


Figura 4 - Acúmulo relativo de matéria seca (ARD_{MS} em $g \cdot dia^{-1}$) nos órgãos vegetativos (limbo, pecíolo, caule e raiz - A) e reprodutivos (flor - B - e fruto - C) em plantas de mamoeiro durante as duas fases de desenvolvimento. Barras verticais representam o erro padrão das médias nos DAP (n=05).

Todas as diferentes partes da planta apresentaram acúmulo máximo de massa seca ao iniciar a fase reprodutiva (90 DAP). O expressivo aumento do caule poderia ser atribuído a um direcionamento para seu crescimento em altura e diâmetro, caracterizando o crescimento vertical e horizontal das plantas do mamoeiro.

O número de folhas foi o principal responsável pelo maior acúmulo apresentado pelo limbo ao início da fase vegetativa, com significativo aumento de 7 para 70 folhas por planta de 0 a 30 DAP, respectivamente, sendo estas pouco desenvolvidas, ou seja, com pequena área de interceptação luminosa (Fig. 3A). Entretanto, com o início da fase reprodutiva, o número de folhas passou a diminuir, apresentando uma grande área.

O rápido crescimento inicial das plantas após o plantio a campo, observado pelo elevado acúmulo de MS após o transplante (Fig. 4), poderia ser responsável pela antecipação do início da fase reprodutiva, refletindo a influência das condições climáticas favoráveis do local de experimento no crescimento do mamoeiro.

A transição do desenvolvimento vegetativo para o reprodutivo é reconhecidamente uma fase crítica no ciclo de vida das plantas, sendo controlada por fatores ambientais bem como de origem endógena (Defavari & Moraes, 2002). Tais fatores parecem atuar sobre a juvenilidade prevenindo a floração até que a planta esteja suficientemente desenvolvida para suprir, com assimilados, o crescimento de estruturas reprodutivas (Davies, 1995).

Siqueira e Botrel (1986) afirmam que, em regiões mais quentes, o crescimento do mamoeiro é mais rápido e os frutos são de melhor qualidade do que os de regiões frias. Por ser uma cultura tropical, a necessidade hídrica do mamoeiro durante o período vegetativo é elevada e a falta de água, geralmente, induz a uma diminuição ou até mesmo uma estabilização no crescimento (Carvalho, 2002). O período deste estudo apresentou características favoráveis ao crescimento da cultura, com temperaturas elevadas e alta precipitação pluviométrica (Fig. 1) e, dessa forma, favoreceu o rápido crescimento observado na fase vegetativa, o que proporcionou a antecipação do início da primeira floração das plantas.

Os órgãos reprodutivos apresentaram diferenças ao longo dos dias após o plantio quanto ao acúmulo de massa seca (Fig. 4B-C). A taxa de acúmulo de MS das flores apresentou valores iniciais altos (90 DAP), seguida de redução com valores negativos aos 120 DAP e 190 DAP.

Tais valores negativos indicam menores valores de MS da referente amostragem em relação à anterior, ou seja, perda de MS. Tal redução poderia estar relacionada ao aumento do nível de chuvas que ocasionaria a queda de flores, uma vez que também foi observado redução do número dessas estruturas.

Após o início de sua formação, os frutos apresentaram taxas de acúmulo em MS crescente e contínuo, até o final do período de análise, indicando aumento linear (Fig. 4C). Entre os órgãos da planta, os frutos foram os que mais acumularam massa seca, demonstrando ser o dreno principal na partição de fotoassimilados. Entretanto, até 190 DAP, período anterior ao início da colheita, estes órgãos não alcançaram valores máximos de ARD_{MS} , apresentando cerca de 110g/dia, indicando a continuidade do desenvolvimento do fruto e acúmulo de MS.

A redução do acúmulo de MS foliar, indicada pelos valores negativos após 160 DAP, pode estar diretamente relacionada à queda de folhas. Embora o número de folhas tenha apresentado pouca variação após entre 120 e 190 DAP, uma queda de folhas mais antigas e, portanto, mais expandidas, pode ter ocasionada a diminuição na MS da folha.

O acúmulo relativo diário total de nutrientes (ARD_{Total}) no mamoeiro mostrou um crescente aumento no acúmulo dos elementos com o acúmulo de MS no decorrer da época de desenvolvimento. De forma geral, as curvas de nutrientes ajustaram-se ao modelo polinomial, com reduzidos acúmulos nos primeiros 30 DAP, seguido de aumento até 120 (para Ca) e 160 DAP (P, K, S), (Fig. 5; Tab. 1). N e Mg aumentaram continuamente até 190 DAP, não apresentando, portanto, acúmulos máximos no período analisado, da fase de transplântio das mudas e produção dos primeiro frutos.

Embora um aumento do acúmulo de nutrientes seja esperado ao longo do desenvolvimento e com o aumento de massa seca das plantas, definir as fases de maiores acúmulos se reveste de importância, pois permite definir os períodos de exigência mais expressivos do mamoeiro,

uma vez que maiores acúmulos acarretam na necessidade de quantidades adequadas de nutrientes no solo para a eficiente absorção pelas plantas via raiz.

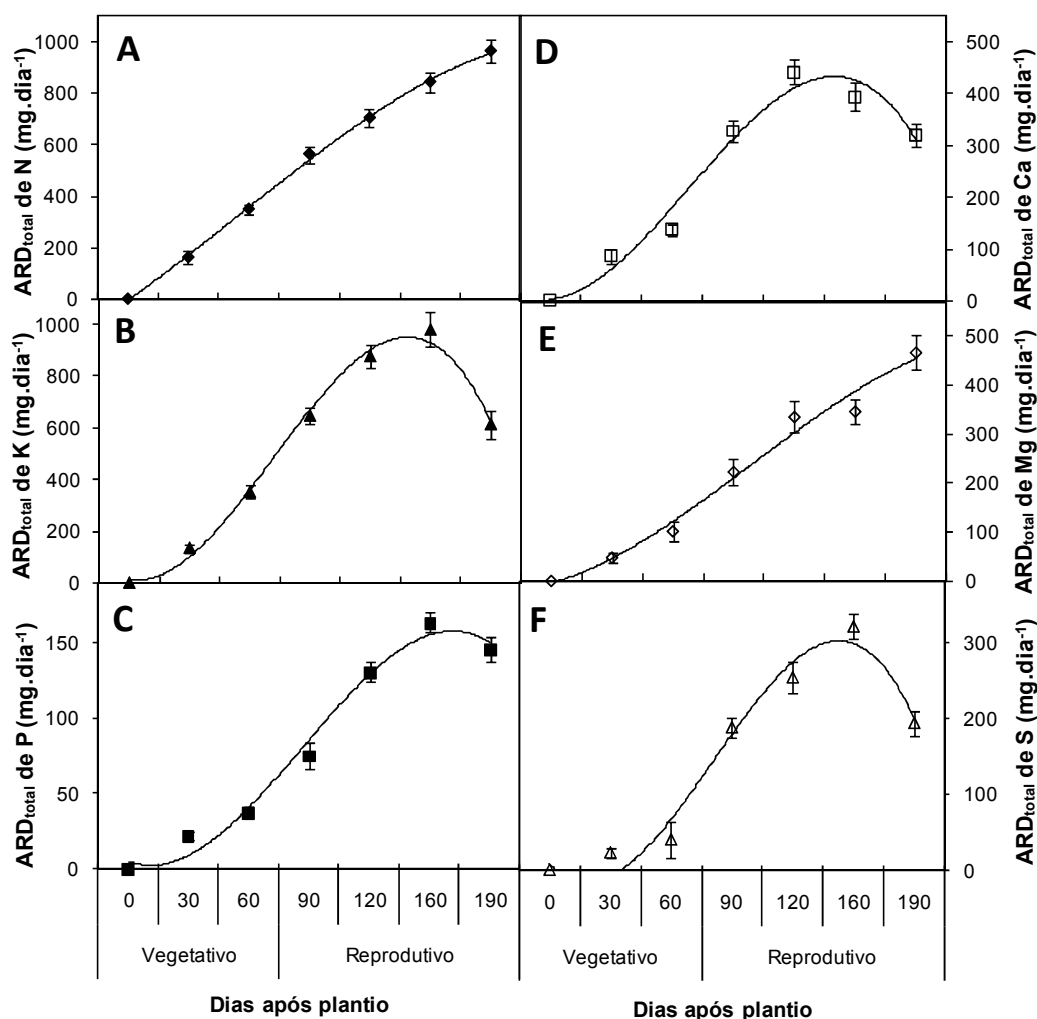


FIGURA 5 – Acúmulo Relativo Diário total de macronutrientes: nitrogênio (A), potássio (B), fósforo (C), cálcio (D), magnésio (E) e enxofre (F), de plantas de mamoeiro cv. Golden em função dos dias após plantio. Barras verticais representam o erro padrão das médias nos DAP (n=5).

Verifica-se que houve diferentes demandas por macronutrientes nas diferentes fases de desenvolvimento das plantas (Fig. 5; Tab 1). O N e K foram os nutrientes absorvidos em maior quantidade nas duas fases de desenvolvimento (vegetativo e reprodutivo). O ARD seguiu a ordem: $N > K > Ca > Mg > S > P$, para a fase vegetativa, correspondendo à a valores médios durante a fase de $170,9 > 19,9 > 163,1 > 75,0 > 50,0 > 21,1$ mg dia⁻¹ por planta, respectivamente.

A fase reprodutiva, por outro lado, apresentou variação quanto à ordem de exportação dos elementos N e K. Com o início do florescimento e frutificação o mamoeiro apresentou a seguinte ordem de requerimento: $K > N > Ca > Mg > S > P$, sendo $648,3 > 562,7 > 328,5 > 223,2 > 188,6 > 75,2$ mg dia⁻¹, respectivamente.

Tabela 1 – Equações de regressão do acúmulo de macronutrientes em diferentes partes de mamoeiro cv. Golden em função dos dias após o plantio (DAP).

Partes	Nutrientes	Modelos	R ²
Total		$y = -4,7792x^3 + 53,856x^2 - 0,3548x - 43,049$	0,9902
Raiz		$y = -1,1815x^2 + 27,717x - 30,659$	0,9622
Caule	N	$y = 2,5459x^2 + 34,407x - 48,188$	0,9789
Pecíolo		$y = -2,7156x^2 + 31,038x - 33,343$	0,728
Limbo		$y = -16,829x^2 + 181,85x - 186,17$	0,9357
Flor/Fruto		$y = 14,686x^2 - 79,421x + 83,263$	0,957
Total		$y = -2,4615x^3 + 28,636x^2 - 64,698x + 43,856$	0,9838
Raiz		$y = -0,2953x^2 + 6,2697x - 6,6133$	0,9328
Caule	P	$y = -0,3749x^2 + 14,599x - 19,99$	0,8404
Pecíolo		$y = -0,5213x^2 + 5,6491x - 5,8943$	0,673
Limbo		$y = -2,1488x^2 + 22,714x - 25,722$	0,804
Flor/Fruto		$y = 2,4391x^2 - 13,01x + 13,463$	0,9555
Total		$y = -19,403x^3 + 194,65x^2 - 349,24x + 202,01$	0,9847
Raiz		$y = -14,602x^2 + 134,44x - 148,81$	0,7891
Caule	K	$y = -16,003x^2 + 194,67x - 228,3$	0,8471
Pecíolo		$y = -7,3913x^2 + 69,581x - 67,983$	0,7842
Limbo		$y = -9,6425x^2 + 95,518x - 98,732$	0,8589
Flor/Fruto		$y = 9,4538x^2 - 47,917x + 47,326$	0,9355
Total		$y = -8,0914x^3 + 79,856x^2 - 126,59x + 60,046$	0,972
Raiz		$y = -1,571x^2 + 18,742x - 21,998$	0,8258
Caule	Ca	$y = -6,2154x^2 + 79,225x - 99,781$	0,823
Pecíolo		$y = -4,0169x^2 + 39,67x - 41,447$	0,7501
Limbo		$y = -8,2336x^2 + 81,366x - 81,394$	0,9141
Flor/Fruto		$y = 2,7961x^2 - 13,842x + 13,373$	0,9261
Total		$y = -1,8243x^3 + 23,475x^2 - 7,7178x - 16,702$	0,9809
Raiz		$y = 0,3506x^2 + 9,8389x - 13,199$	0,9779
Caule	Mg	$y = 2,3929x^2 + 18,398x - 28,073$	0,9763
Pecíolo		$y = -1,4179x^2 + 18,214x - 20,236$	0,7693
Limbo		$y = -3,2764x^2 + 39,995x - 41,405$	0,9361
Flor/Fruto		$y = 3,5337x^2 - 19,366x + 20,536$	0,953
Total		$y = -8,8631x^3 + 98,418x^2 - 250,05x + 170,71$	0,9709
Raiz		$y = -2,0929x^2 + 24,175x - 30,986$	0,7415
Caule	S	$y = -2,9492x^2 + 47,796x - 66,04$	0,7674
Pecíolo		$y = -1,4934x^2 + 14,356x - 16,475$	0,7248
Limbo		$y = -3,8304x^2 + 38,951x - 46,319$	0,7462
Flor/Fruto		$y = 2,4266x^2 - 11,943x + 11,46$	0,9204
Total			

Aos 190 DAP, houve decréscimo das taxas de ARD_{total} de macronutrientes, havendo menor extração de K em relação à de N. Costa e Costa (2003) sugerem que, para o Estado do

Espírito Santo, uma proporção de 1,15:1 da relação K/N é a adequada para a obtenção de elevadas produções de mamoeiro. Embora ao início da fase reprodutiva essa proporção tenha ocorrido, aos 190 DAP esta apresentou menores valores.

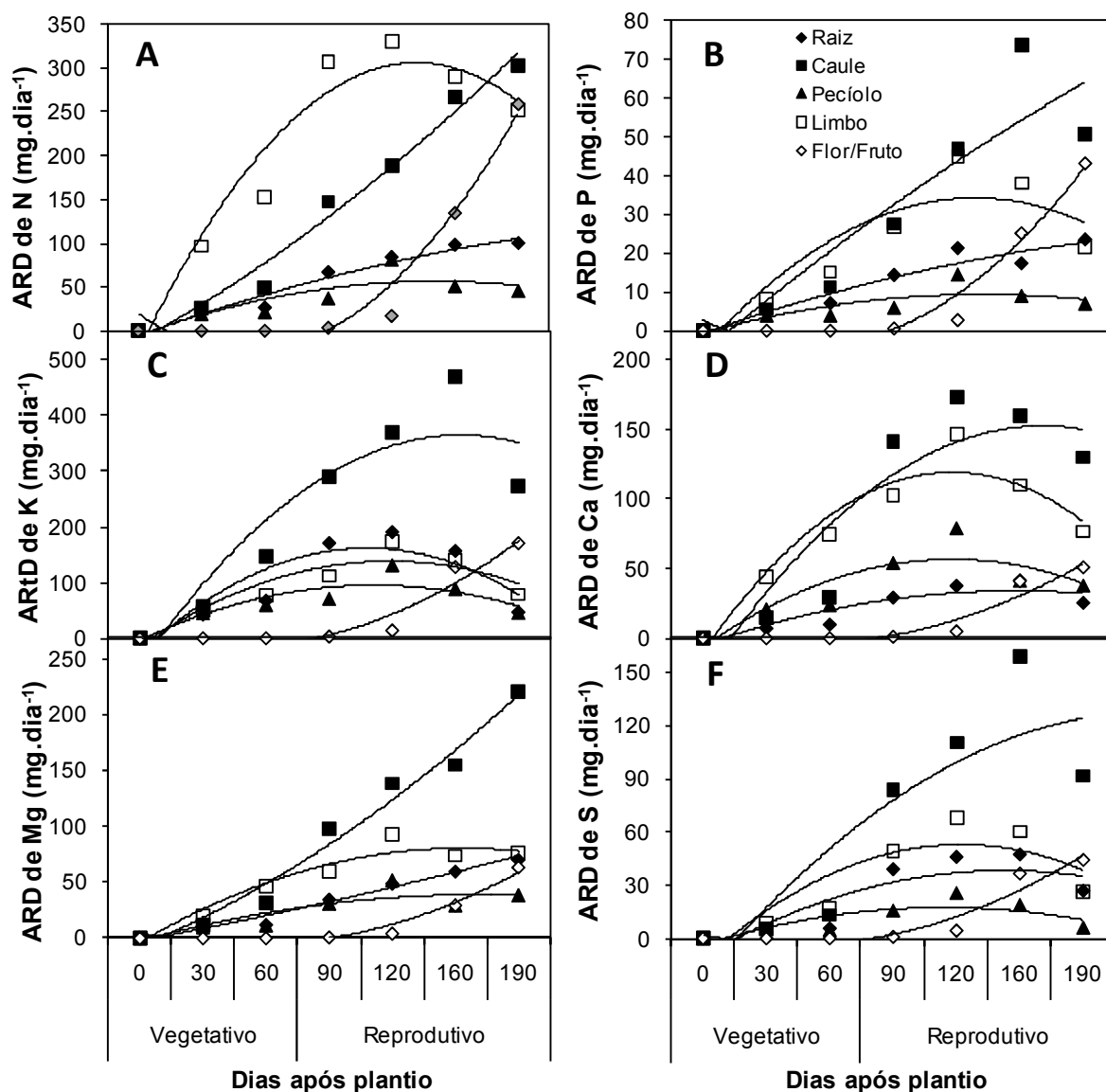


FIGURA 6 – Acúmulo Relativo Diário de macronutrientes: nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D), magnésio (E) e enxofre (F); de diferentes partes de plantas de mamoeiro Golden função dos dias após plantio. Barras verticais representam o erro padrão das médias nos DAP (n=5).

O acúmulo relativo diário de K, em função dos períodos de desenvolvimento, ajustou-se ao modelo quadrático de regressão para os diferentes tecidos (Fig. 6C; Tab. 1). O acúmulo total máximo do período foi alcançado aos 160 DAP, com acúmulos de 982,38 mg.dia⁻¹ por planta

(Fig. 5B). O ARD_{total} máximo de um nutriente representa a necessidade total do nutriente para a cultura e varia em função da cultivar e das condições de cultivo.

O K teve seu acúmulo mais representativo no caule, com máximo de $469,96 \text{ mg dia}^{-1}$ aos 160 DAP. As maiores taxas de acúmulo de K nas raízes, limbo e pecíolo ocorreram aos 120 DAP, apresentando valores de 191, 34, 174,19 e $129,86 \text{ mg dia}^{-1}$, respectivamente. O acúmulo diário nos órgãos reprodutivos, para todos os macronutrientes, foi crescente e contínuo ao longo do período analisado, alcançando, aos 190 DAP, acúmulos diários de K de $169,49 \text{ mg dia}^{-1}$.

Embora, o K não faça parte de um componente orgânico da planta, este desempenha diversas funções importantes, como na fotossíntese, síntese de proteínas e ativação enzimática, além do transporte de carboidratos (Marschner, 1995; Taiz & Zeiger, 2004;). O elevado acúmulo de K nos frutos aos 190 DAP, observado no presente estudo, poderia ser explicado por uma destas funções na planta, ou seja, a participação deste elemento no transporte de carboidratos. Segundo Souza et al. (2000), no mamoeiro, o K é o nutriente requerido em maior quantidade, sendo exigido de forma crescente e constante, principalmente a partir do florescimento. Entretanto, embora no início da floração o K tenha sido o nutriente mais requerido, durante a fase vegetativa o N foi o mais acumulado.

O N não apresentou ARD máximo, alcançando aos 190 DAP acúmulos de $961,5 \text{ mg dia}^{-1}$ por planta (Fig. 5A). A curva de acúmulo ajustou-se ao modelo quadrático de regressão para os diferentes tecidos do mamoeiro (Fig. 6A) tendo, entretanto, o pecíolo apresentado os menores valores de coeficiente de determinação (R^2), como observado na tabela 1.

O limbo apresentou o maior acúmulo de N ($330,8 \text{ mg dia}^{-1}$) aos 120 DAP, seguido de caule, raiz e pecíolo ($45,56 \text{ mg dia}^{-1}$ em média). Os demais tecidos apresentaram taxas de acúmulo crescente e contínua, apresentando, aos 190 DAP, $303,4$, $259,71$, $99,84 \text{ mg dia}^{-1}$, para caule, flores/frutos e raiz, respectivamente. Aos 190 DAP, com a redução do acúmulo de N pelo

limbo, a ordem da demanda torna-se: caule > limbo = flores/frutos > raízes > pecíolo, com exportação para os órgãos reprodutivos de 27,01%.

Coelho Filho et al (2007), ao analisarem a influência da adubação níttrica e amídica na absorção de nutrientes em mamoeiro ‘Sunrise Solo’, nas condições de Cruz das Almas (BA) durante 360 dias após o plantio, obtiveram aumento na extração de N aos 120 DAP com o início da floração/frutificação e de K aos 150 DAP, com valores de cerca de $0,2 \text{ g planta}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ e $0,4 \text{ g planta}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente. Estes picos de absorção observados coincidem com os picos máximos de acúmulo de N (embora apenas para o limbo) e K, contudo neste trabalho os valores máximos de K apresentaram maiores acúmulos diários aos 160 DAP, $469,96 \text{ mg dia}^{-1}$ ($0,47 \text{ g dia}^{-1}$), em mamoeiro cv. Golden.

O acúmulo diário total de cálcio no mamoeiro foi lento até 60 DAP, ajustando-se ao modelo quadrático de regressão para os diferentes tecidos do mamoeiro (Fig. 6D). As taxas máximas de ARD ocorreram aos 120 DAP, com exceção dos órgãos reprodutivos, com total de $442,37 \text{ mg dia}^{-1}$ por planta. Na fase vegetativa o limbo foi o tecido que mais acumulou Ca, entretanto com o início da fase reprodutiva, aos 90 DAP, o caule passa a ter maior demanda deste nutriente. Os frutos apresentaram baixo acúmulo de Ca, provavelmente acarretado pela distribuição deste elemento na planta ocorrer praticamente via xilema, por meio da corrente transpiratória, o que permite o seu maior acúmulo de Ca na parte vegetativa em relação aos frutos.

O ARD de magnésio foi crescente e contínuo durante todo o período analisado e, juntamente com o N, não apresentou acúmulos máximos, com taxas de acúmulo aos 190 DAP de $467,39 \text{ mg dia}^{-1}$ (Fig. 6E). Apenas limbo e pecíolo apresentaram picos máximos de acúmulo de nutrientes aos 120 DAP no período analisado, com $95,53$ e $51,14 \text{ mg dia}^{-1}$, respectivamente. A ordem de demanda de Mg ao final aos 190 DAP foi de caule ($219,99 \text{ mg dia}^{-1}$) > limbo ($76,78 \text{ mg dia}^{-1}$) > raiz ($70,18 \text{ mg dia}^{-1}$) > flor/fruto ($62,40 \text{ mg dia}^{-1}$) > pecíolo ($38,02 \text{ mg dia}^{-1}$).

¹). As menores taxas de exportação de nutrientes para as flores e frutos foram observadas para magnésio, com 13,35% desse nutriente para esses órgãos, em relação ao total da planta.

Para o enxofre, a taxa máxima de acúmulo diária foi de 321,96 mg dia⁻¹ (Fig. 6F; Tab 1). O caule apresentou maior acúmulo de S, seguido de limbo, raiz, flores/frutos e pecíolo. As taxas máximas de acúmulo diário para caule ocorreram aos 160 DAP, com 158,82 mg dia⁻¹. Limbo e pecíolo apresentaram maiores acúmulos aos 120 DAP, com 68,44 e 26,03 mg dia⁻¹, respectivamente. Os acúmulos máximos diários para raízes ocorreram aos 160 DAP, embora a diferença de acúmulo a partir de 90 DAP tenha sido pequena. Os órgãos reprodutivos apresentaram acúmulo de S aos 190 DAP de 44,02 mg dia⁻¹, tendo este nutriente sido exportado para estes tecidos com percentuais de 22,64 % em relação ao total da planta.

O acúmulo diário de P ajustou-se ao modelo de regressão quadrática para os diferentes tecidos do mamoeiro (Fig. 6B; Tab. 1). Os maiores acúmulos diários (para este elemento) foram observados aos 160 DAP, com valores 163,41 mg dia⁻¹.

A demanda de P pelas plantas do mamoeiro foi pequena na fase vegetativa, sendo a absorção do caule e do limbo bastante semelhantes, apresentando maiores acúmulos diários até 120 DAP, no qual limbo, pecíolo e raiz apresentaram valores máximos. O caule apresentou acúmulo máximo aos 160 DAP, com 73,93 mg dia⁻¹. Flores/frutos apresentaram aos 190 DAP, acúmulos de 43,06 mg dia⁻¹. Embora tenha sido o nutriente extraído em menor quantidade, o P foi o mais exportado para os órgãos reprodutivos, principalmente, para o fruto, com 29,55% do total extraído pela planta.

Em resumo, aos 190 DAP, a ordem de exportação de macronutrientes para os órgão reprodutivos foi a seguinte: P (29,55%) > K (27,55%) > N (27,01%) > S (22,64%) > Ca (15,80%) > Mg (13,35%).

De acordo com Medeiros e Oliveira (2007) no primeiro ano de cultivo do mamoeiro, 30% do P total absorvido é acumulado nas flores e frutos, enquanto N, K e S apresentam acúmulos de

24 a 25% dos totais absorvidos. Os resultados deste trabalho, embora semelhantes para o acúmulo de P, encontram-se acima da faixa citada pelos autores para N e K e abaixo para S. Portanto, a quantidade de nutrientes exportados é um componente importante, devendo ser considerado na hora de definir o manejo da adubação para reposição de nutrientes.

Embora tenham variado quanto à ordem para as diferentes partes da planta, as maiores taxas de acúmulos diários de macronutrientes ocorreram aos 120 e 160 DAP, o que demonstra a necessidade de maior disponibilidade desses nutrientes nestas épocas.

O conhecimento das épocas de maiores acúmulos de massa seca e de macronutrientes, assim como a ordem de exigência destes em função da idade da planta, permitiria uma melhor eficiência nas práticas de manejo de adubação da cultura. Estas informações recobrem-se de fundamental importância, pois auxiliam na tomada de decisão do produtor tanto nas épocas de aplicação de insumos, indicada neste trabalho como sendo no período entre 120 e 160 DAP, quanto nas estimativas de suas quantidades, sem desperdícios e com menores probabilidades de impactos ao meio ambiente.

CONCLUSÕES

As fases de desenvolvimento apresentaram caracterização marcante quanto à arquitetura da copa, principalmente relacionado ao número de folhas. Maiores número de folhas foram observados na fase vegetativa, com ampla distribuição na parte aérea.

O maior acúmulo relativo diário de massa seca ocorreu aos 90 DAP, variando com os tecidos analisados: caule > raiz > limbo > pecíolo > flores/frutos. O acúmulo de macronutrientes aumentou com o desenvolvimento das plantas e o acúmulo de MS.

A seqüência de acúmulo máximo na fase vegetativa foi: N > K > Ca > Mg > S > P. Por outro lado, na fase reprodutiva houve a troca de posição entre N e K: K > N > Ca > Mg > S > P. A seqüência de exportação para os órgãos reprodutivos foi: P (29,55%) > K (27,55%) > N

(27,01%) > S (22,64%) > Ca (15,80%) > Mg (13,35%). Sob as condições de campo analisadas, observa-se para a cv. 'Golden', picos de ARD de macronutrientes entre 120 e 160 DAP, quando considerado o período do transplante das mudas e o início da produção dos frutos. Tais picos de acúmulo de macronutrientes sugerem esse como o período indicado para a aplicação de insumos, de forma a permitir práticas de cultivo mais eficiente.

REFERÊNCIAS

- CARVALHO, R. I. N. Fisiologia de Produção de Espécies Frutíferas. In: WACHOWICZ, C. M., CARVALHO, R. I. N. (Org.) **Fisiologia Vegetal: Produção e Pós-Colheita**. Curitiba: CHAMPAGNAT, p.424. 2002.
- COELHO FILHO, M. A. ; COELHO, E. F.; CRUZ, J. L.; SOUZA, L. F. S.; OLIVEIRA, A. M. G.; SILVA, T. S. M. Marcha de absorção de macro e micronutrientes do mamoeiro Sunrise Solo. IN: MARTINS, D. dos.; COSTA, A. N. da; COSTA, A. F. S. da (eds). **Papaya Brasil: manejo, qualidade e mercado do mamão**. Vitória, ES: Incaper, 2007. 704p.
- COSTA, A. N. da; COSTA, A. F. S. da. Nutrição e adubação. IN: MARTINS, D. dos.; COSTA, A. F. S. da (eds). **A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção**. Vitória, ES: Incaper, 2003. 497p.
- COSTA, A. N. da; COSTA, A. F. S. da; SANTOS, F. A. M. dos; BARRETTO, F. C. ZUFFO, V. J. Plantio, formação e manejo da cultura. IN: MARTINS, D. dos.; COSTA, A. F. S. da (eds). **A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção**. Vitória, ES: Incaper, 2003. 497p.
- CRUZ, J. L.; COELHO, E. F.; PELACANI, C. R.; COELHO FILHO, M. A.; ANTONIVALDA TOSTA DIAS, A. T.; SANTOS, M. T. Crescimento e partição de matéria

seca e de carbono no mamoeiro em resposta à nutrição nitrogenada. **Bragantia**, Campinas, v.63, n.3, p.351-361, 2004.

DEFAVARI, D.; MORAES, L.A.C. Fisiologia da floração. In: CASTRO, P.R.C.; SENA, J.O.A.; KLUGE, R.A. **Introdução à fisiologia do desenvolvimento vegetal**. Maringá: Eduem, 2002. p.191-210.

DAVIES, P. J. **Plant hormones: Physiology, biochemistry and molecular biology**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishes, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise do solo**. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FEITOSA, L. R.; STOCKING, M.; RESENDE, M. **Natural resources information systems for rural development: approaches for Espirito Santo State, Brazil**. Vitória: INCAPER, 2001. 223p.

MALAVOLTA, E. VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: PATAFOS, 1997. 319p.

MARINHO, C. S., MONNERAT, P. H., CARVALHO, A. C, Análise química do pecíolo e limbo foliar como indicadora do estado nutricional dos mamoeiros ‘Solo’ e ‘Formosa’. **Scientia Agricola**, v.59, p.373-381, 2002.

MARSCHNER H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.

MARTINS, D. S. e COSTA, A. de F. S. da (Org.). **A cultura do mamoeiro: Tecnologias de Produção**. 1. ed. Vitória: INCAPER, v. 1, 2003. 497p

MEDEIROS, J. F. de; OLIVEIRA, F. A. De. Fertirrigação da cultura do mamoeiro. IN: MARTINS, D. dos.; COSTA, A. N. da; COSTA, A. F. S. da (eds). **Papaya Brasil: manejo, qualidade e mercado do mamão**. Vitória, ES: Incaper, 2007. 704p.

MENDONÇA, V.; ARAÚJO NETO, S. E.; RAMOS, J. D.; PIO, R.; GONTIJO, T. C. A. Diferentes substratos e recipientes na formação de mudas de mamoeiro 'Sunrise Solo'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.25, n.1, 2003.

NÓBREGA, N. E. F. da.; SILVA, J. G. F. da; RAMOS, H. E. dos A.; PAGUNG, F. dos S. Balanço hídrico climatológico e classificação climática de Thornthwaite e Köppen para o município de Linhares – ES. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 18., 2008, São Mateus. **Anais...** São Mateus, 2008.

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

PIMENTEL-GOMES, F. (1990). **Estatística experimental**. 13ed. Piracicaba: Nobel.

SIQUEIRA, D. L.; BOTREL, L. **Clima e solo para cultura do mamoeiro**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte. v. 12, n. 134, p. 80, 1986.

SILVA, J. G. F. DA; NÓBREGA, N. E. F. DA; RAMOS, H. E. A. Estudo do comportamento médio mensal de elementos meteorológicos da região produtora de mamão de Linhares – ES. In: XX Congresso Brasileiro de Fruticultura. **Anais...** Vitória, 2008.

SILVA, M. M.; BROETTO, S. G.; VALBÃO, S. C.; ZAMPERLINI, G. P.; FONTES, R. V.; SILVA, D. M. **Crescimento e produtividade do mamoeiro (*Carica papaya* L.) obtido sob seleção em campo.** IN: Papaya Brasil: Manejo, qualidade e mercado do mamão. Martins, D. S. (ed.). p. 564-567, 2007.

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

SIMMONS, R. S. Growth development and physiology. In: HEYNE, E. G. ed. **Wheat and Wheat Improvement.** ASA. Madison, Wisconsin, p. 77-113, 1987.

SOUZA, L. F. da; TRINDADE, A. V.; OLIVEIRA, A.M. G. Calagem, exigências nutricionais e adubação. In: **Mamão, produção:** aspectos técnicos. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, p.26-34. 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

4.2 ATIVIDADE DA REDUTASE DO NITRATO, CONCENTRAÇÃO DE N E FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA DURANTE FASES DE DESENVOLVIMENTO DE MAMOEIRO CV. 'GOLDEN' EM CONDIÇÕES DE CAMPO

Submetido a Ciência Rural,

ISSN 0103-8478,

Santa Maria, 2009

Mariela Mattos da Silva; Sabrina Garcia Broetto; Sigrid Costa Valbão; Gabriela Pessotti Zamperlini; Diolina Moura Silva

**ATIVIDADE DA REDUTASE DO NITRATO, CONCENTRAÇÃO DE N E
FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA DURANTE FASES DE DESENVOLVIMENTO
DE MAMOEIRO CV. ‘GOLDEN’ EM CONDIÇÕES DE CAMPO¹**

**Nitrate reductase activity, N concentration e chlorophyll fluorescence during
development stages of papaya tree cv. ‘Golden’ in field conditions**

Mariela Mattos da Silva²; Sabrina Garcia Broetto³; Sigrid Costa Valbão³; Gabriela Pessotti
Zamperlini³; Diolina Moura Silva⁴.

RESUMO

A atividade da redutase do nitrato (RN) e a fluorescência da clorofila *a* são importantes ferramentas indicadoras de estresses e de mudanças no crescimento das plantas, principalmente considerando-se a interdependência destes processos metabólicos, pois a energia necessária para a assimilação do nitrogênio deriva direta ou indiretamente da fotossíntese, ao passo que esta depende do suprimento de nitrogênio. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência das fases vegetativa e reprodutiva sobre a atividade da redutase do nitrato, concentração foliar de nitrogênio e fluorescência da clorofila *a* em mamoeiro cv. ‘Golden’ durante seu desenvolvimento em condições de campo. Os parâmetros básicos da fluorescência e Teste OJIP foram avaliados em folhas adaptadas ao escuro. As mesmas folhas foram avaliadas quanto à atividade da enzima RN. Para a determinação da concentração de nitrogênio cinco plantas foram coletadas, aleatoriamente, e os teores deste elemento foram quantificados no limbo e pecíolo. A atividade da RN apresentou diferenças entre os estádios de desenvolvimento, com maiores atividades na fase vegetativa, e redução de 75% com a fase reprodutiva. A concentração de N no pecíolo variou entre as fases, mostrando correlação com a atividade da enzima RN. Os parâmetros básicos

¹ Parte da dissertação de mestrado do 1º autor.

² Mestranda, Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal – PPGBV, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES. marielamtt@yahoo.com.br;

³ Aluna de mestrado em Biologia Vegetal do PPGBV – UFES;

⁴ Bióloga, DSc. Profª Associada, Departamento de Ciências Biológicas, UFES.

da fluorescência apresentaram maiores valores na fase vegetativa. Por outro lado, dentre os parâmetros OJIP o fluxo de fótons absorvidos por centro de reação (ABS/RC), a dissipação de energia de excitação por RC ativo (DI_0/RC), o índice de desempenho (PI) e a densidade de RCs ativos do FSII (RC/CS) mostraram respostas mais específicas às perturbações já indicadas pelos parâmetros básicos. Estes resultados apontam à eficiência da cinética da fluorescência da clorofila *a* em detectar modificações acarretadas por fatores abióticos, como observado no transplântio das mudas a campo, bem como indicou modificações ocorridas ao início da fase reprodutiva, podendo este ter atuado como um fator isolado, ou associado a outros estresses do ambiente. Houve paralelismo entre atividade da RN e parâmetros fotoquímicos da fotossíntese, haja vista que, as duas variáveis apresentaram tendência a maiores valores durante a fase vegetativa, com reduções ao início do estágio reprodutivo.

Palavra-chave: mamoeiro, fluorescência da clorofila *a*, redutase do nitrato, estádios de desenvolvimento.

ABSTRACT

The nitrate reductase activity (RN) and the chlorophyll fluorescence are important tools as indicative of stresses and of other changes in the growth of the plants, mainly being considered the interdependence of these processes, because the necessary energy for the assimilation of the nitrogen derives direct or indirectly from photosynthesis, while this depends on the supply of nitrogen. Accordingly, this work aimed to evaluate the influence of vegetative and reproductive phases on the nitrate reductase activity, leaf nitrogen concentration and chlorophyll fluorescence in papaya tree cv. Golden in field conditions. The basic parameters of the fluorescence and Test OJIP were measured in dark adapted leaves. The same leaves were the RN activity measured. For the nitrogen determination, five plants were collected randomly, and the contents of this element in the leaf blade and petiole were

quantified. The RN activity presented differences between the development stages, with higher activity in the vegetative phase, and reduction of 75% with the reproductive phase. The N concentration in the petiole varied between the phases, showing correlation with the enzyme. The basic parameters of the fluorescence presented higher values in the vegetative phase. Moreover, among the parameters OJIP, the flux of photons absorbed by RC (ABS/RC), the dissipation of radiant energy by active RC (DI_0/RC), the performance index (PI) and the density of active RCs of PSII (RC/CS) already showed more specific answers to the disturbances suitable for the basic parameters. These results show the efficiency of the kinetics of the chlorophyll fluorescence to detect changes due to abiotic factors, as observed in transplanting of seedlings in the field, as well as changes indicated the beginning of the reproductive phase, which may have acted as an isolated factor, or linked to other environmental stresses. There was a correlation between RN activity and photosynthesis photochemical parameters, given that the two variables tended to have higher values during the vegetative stage, with reductions to the beginning of the reproductive stage.

Keyword: papaya, fluorescence of chlorophyll a, the nitrate reductase, stages of develop

INTRODUÇÃO

No Brasil, a maior parte da cultura do mamoeiro encontra-se implantada em solos de baixa fertilidade (norte do Espírito Santo e extremo sul da Bahia e, atualmente, na área leste do Rio Grande do Norte), o que leva à utilização de altas doses de fertilizantes (MEDEIROS & OLIVEIRA, 2007). Em face do aumento da competitividade na fruticultura, principalmente na cultura do mamoeiro, bem como da instabilidade de preços obtidos pelo produto final, torna-se necessário minimizar os custos de produção e, também, aumentar a sua produtividade (ESPINDULA NETO, 2007).

O estudo dos teores de nutrientes absorvidos durante os vários estádios de crescimento da planta pode auxiliar na determinação da composição dos nutrientes na adubação. A absorção de nutrientes difere quantitativa e qualitativamente, de acordo com a fase de desenvolvimento da cultura, intensificando-se no florescimento, na formação e no crescimento dos frutos ou do órgão a ser colhido (MARTINS & COSTA, 2003). Por isso, além da quantidade absorvida de nutrientes, deve ser considerada, também, a sua concentração nos diferentes estádios de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo.

Um dos nutrientes mais exigidos pelo mamoeiro é o nitrogênio, sendo sua demanda crescente e constante durante todo o ciclo de vida da planta. O íon nitrato (NO_3^-) é a principal forma nitrogenada absorvida pelas plantas do mamoeiro, independente da natureza química que o nitrogênio é aplicado no solo (FONTES et al., 2008).

A redutase do nitrato (RN) é a primeira enzima na via de assimilação do nitrato, e evidências sugerem que é a principal enzima que limita a assimilação do nitrogênio em plantas superiores (LEA et al., 1997). Em função de sua importância, bem como da fácil análise, ela tem sido freqüentemente utilizada como indicadora de estresses e de outras mudanças associadas aos fatores moduladores do crescimento das plantas. De acordo com SRIVASTAVA (1980), a atividade da redutase do nitrato (ARN) pode servir como um índice para se aferir o “status” de N na planta e correlaciona-se muito freqüentemente com crescimento e produção.

A diminuição da atividade da RN com a idade da folha tem sido correlacionada com a habilidade do tecido em sintetizar proteínas (BEEVERS & HAGEMAN, 1969; TRAVIS & KEY, 1971). ALVES et al. (1985) verificaram que as plantas adultas de café tiveram um mecanismo de assimilação do N diferente daquele do das mudas. Esses autores observaram que a atividade da RN nas plantas jovens, com seis meses de idade, foi maior no escuro do que a pleno sol, ao contrário do apresentado nas plantas adultas, com 36 meses de idade.

ARN é influenciada por fatores como luz, teor de nitrato, ATP e NADPH, sendo estes dois últimos produzidos durante o processo fotossintético (TISCHNER, 2000).

A fotossíntese ocupa uma posição central no metabolismo, fornecendo uma ligação entre processos internos da planta e o ambiente externo. O uso de parâmetros da fluorescência das clorofilas tem sido difundido, principalmente no estudo da capacidade fotossintética das plantas, por ser um método não-destrutivo que permite a análise qualitativa e quantitativa da absorção e aproveitamento da energia luminosa pelo aparelho fotossintético. Essa técnica tem permitido um aumento no conhecimento dos processos fotoquímicos e não-fotoquímicos que ocorrem na membrana dos tilacóides, além de possibilitar o estudo de características relacionadas à capacidade de absorção e transferência da energia luminosa na cadeia de transporte de elétrons (KRAUSE & WEIS, 1991).

A atividade da redutase do nitrato e a fluorescência da clorofila *a* são importantes ferramentas indicadoras de estresses e de outras mudanças no crescimento das plantas, principalmente considerando-se a interdependência destes processos, pois a energia necessária para a assimilação do nitrogênio deriva direta ou indiretamente da fotossíntese, ao passo que esta depende do suprimento de nitrogênio (CARELLI et al., 1996; OLIVEIRA et al., 2005).

Fontes et al (2008) avaliou a relação entre atividade da RN e eficiência fotoquímica em plantas de mamoeiro ‘Sunrise Solo’ e ‘Formosa’, e observaram aumento da atividade da enzima com o aumento da eficiência fotoquímica. Entretanto, poucos são os trabalhos que avaliam a influência da idade sobre a atividade da RN e parâmetros de fluorescência durante o desenvolvimento de plantas de mamoeiro.

Neste sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência dos estádios de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo sobre a atividade da redutase do nitrato nas folhas, a concentração foliar de nitrogênio e a fluorescência da clorofila *a* em mamoeiro cv. Golden.

MATERIAL E MÉTODOS

Material Vegetal: Foram analisadas plantas de mamoeiro (*Carica papaya* L. cv. 'Golden') sob condições de campo, de uma lavoura comercial (Fazenda Sossego – empresa Gaia Importação e Exportação Ltda), localizada no município de Linhares (19° 23' S; 40° 04' W), ES. A irrigação foi realizada por gotejamento e as adubações seguiram as recomendações para a cultura.

As plantas foram analisadas a partir da primeira semana após o transplântio das mudas para o campo, com coletas de dados realizadas aos: 0, 30, 60, 90, 120, 160 e 190 dias após plantio (DAP). A avaliações de fluorescência da clorofila a e coleta das folhas para atividade da redutase do nitrato e concentração de nitrogênio realizadas nas primeiras horas após o nascer do sol (entre 7:00 - 8:00 h), determinadas em folhas jovens mais expandidas, ainda no estágio de mudas e a partir do início do estágio reprodutivo em folhas jovens totalmente expandidas, contendo na base da inserção do pedúnculo a 1º flor aberta.

Atividade da redutase do nitrato: A determinação da atividade da RN (E.C.1.6.6.1) nas folhas seguiu a metodologia descrita por JAWORSKI (1971) e ajustada para o mamoeiro segundo FONTES et al. (2008). Esse método se baseia no princípio de que a concentração de nitrito (NO_2^-) liberada pelos discos foliares em uma solução tampão, na presença de um agente permanente (propanol), do substrato (NO_3^-) e de um saponificador (triton), reflete a atividade potencial da RN “*in situ*”. As folhas foram coletadas e acondicionadas em sacos plásticos escuros e mantidas em gelo até análise (Falar da curva de estabilidade? O mesmo questionamento de antes). A atividade da enzima (ARN) foi estimada e expressa em μmol de NO_2^- liberados pelo tecido vegetal, na solução de incubação por hora, por grama de matéria fresca.

Determinação da concentração de nitrogênio: Para a determinação do nitrogênio no mamoeiro, cinco plantas foram selecionadas ao acaso dentro da lavoura, no período da manhã, e de cada uma delas retirada uma amostra de limbo e de pecíolo, que foram levadas ao Laboratório de Ecofisiologia Vegetal da Universidade Federal do Espírito Santo, para posterior análise química. O material vegetal foi, então, lavado e colocado para secar em estufa de circulação forçada, a aproximadamente 70°C, até atingirem massa constante. Após a secagem, estas amostras foram acondicionadas para posterior análise dos teores de nitrogênio, quantificados por digestão ácida a quente, de acordo com MALAVOLTA et al. (1997).

Análise de fluorescência da clorofila: Para a análise da fluorescência foi utilizado um fluorômetro portátil (HandyPEA-Plant Efficiency Analyzer, Hanstech, King's Lynn, Norkfolk, UK) utilizando um fluxo de fótons saturante ($3000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em folhas adaptadas ao escuro, por um período de 30 min, tempo suficiente para a oxidação completa do sistema fotossintético de transporte de elétrons. A tabela 1 sumaria os dados técnicos da curva O-J-I-P e dos parâmetros selecionados e sua descrição, usando os dados do teste JIP extraídos da fluorescência transiente da clorofila *a*.

Foram avaliados os parâmetros da fluorescência rápida da clorofila *a*, sendo eles: fluorescência inicial ou fluorescência a um tempo de 50 μs (F_0), a fluorescência máxima (F_M), o rendimento quântico máximo potencial do fotossistema II (F_V/F_M) e rendimento quântico máximo efetivo de conversão de energia (F_V/F_0). Os resultados da análise da fluorescência foram tabulados com o programa do Handy PEA (PEA Plus) para uma planilha eletrônica. A partir do software PEA Plus, pode-se derivar uma série de parâmetros biofísicos adicionais que quantificam o comportamento do FSII. Os parâmetros biofísicos que quantificam o fluxo de energia através do FSII foram analisados segundo o Teste OJIP (STRASSER & STIRBET,

2001; FORCE et al., 2003, CHRISTEN et al., 2007). Esses parâmetros fornecem informações estruturais e funcionais, permitindo quantificar o comportamento do FSII nos diferentes períodos avaliados.

Tabela 1 – Parâmetros técnicos da curva OJIP da fluorescência transiente da clorofila *a* e parâmetros selecionados de fluxo de energia do JIP - teste.

PARÂMETROS	DESCRIÇÃO
F_0	Fluorescência inicial (fluorescência mínima). Intensidade da fluorescência aos 50 μ s obtidas em amostras adaptadas ao escuro. É considerada como a intensidade da fluorescência quando todos os centros de reação (RC) do FSII estão abertos, isto é ou quando Q_A está totalmente oxidada.
F_M	Fluorescência máxima. Considerada como a intensidade da fluorescência quando todos os RCs do FSII estão fechados e o acceptor Q_A está completamente reduzido.
F_V/F_M	Rendimento quântico máximo potencial do FSII. Eficiência de captura de energia de excitação pelos centros de reação do FSII abertos representando $\phi_{P0} = 1 - (F_0/F_M) = TR_0/ABS$
F_V/F_0	Rendimento quântico máximo efetivo de conversão de energia.
ABS/RC	Fluxo de fótons absorvidos por RC. Expressa o tamanho efetivo da antena de um centro de reação ativo. Expressa o número total de fótons absorvidos por molécula de clorofila de todos os centros de reação dividido pelo número total de reação ativos.
TR_0/RC	Fluxo de energia capturada por centro de reação, no tempo zero. Representa o fluxo de energia de excitação efetivamente capturada pelo centro de reação do FSII, a fim de reduzir Q_A .
ET_0/RC	Fluxo de transporte de elétrons por centro de reação, no tempo zero. Representa o fluxo de energia que foi efetivamente destinada ao transporte de elétrons pelo centro de reação o que resultará na reoxidação das Q_A reduzidas.
DI_0/RC	Dissipação de energia de excitação do centro de reação ativo. Representa a energia absorvida e não capturada por centro de reação, ou seja, $DI_0/RC = (ABS/RC) - (TR_0/RC)$.
RC/ CS_0	Densidade de centros de reação ativos do FSII. Representa a razão de número de centros de reação ativos por seção transversal de tecido foliar.
ET_0/TR_0	Expressa a probabilidade (no tempo zero) de um éxciton capturado pelo RC do PSII, mover um elétron na cadeia de transporte para além de Q_A^-
PI	Índice de desempenho. É o produto de três parâmetros independentes: RC/ABS, ϕ_{P0} e Ψ_{P0} e é considerado um indicador da vitalidade da amostra, ou seja, a densidade de centros de reação expressos com base na absorção (RC/ABS), o rendimento quântico máximo potencial do FSII ($\phi_{P0} = TR_0/ABS$) e a habilidade de transferência de elétrons, na cadeia transportadora, entre o FSII e FSI ($\Psi_{P0} = ET_0/TR_0$).

As seguintes razões foram usadas em nível de centro de reação (RC) do FSII: fluxo de fótons absorvidos (ABS/RC), fluxo de energia capturada (TR_0/RC), índice de fluxo de transporte de elétrons (ET_0/RC), probabilidade de um elétron seguir na cadeia de transporte de elétrons (ET_0/TR_0), dissipação de energia radiante por RC ativo (DI_0/RC), densidade de RCs ativos do FSII (RC/CS_0), probabilidade de um elétron de Q_A seguir na cadeia de transporte de elétrons (ET_0/TR_0) e índice de desempenho (PI).

Delineamento experimental: O delineamento foi inteiramente casualizado, com sete épocas de coletas (0, 30, 60, 90, 120, 160 e 190 DAP). Foram utilizadas 17 repetições para medidas de fluorescência da clorofila *a*. Destas, 10 foram utilizadas para a análise da atividade da redutase do nitrato. Para as determinações de N no limbo e no pecíolo, foram utilizadas cinco repetições ao acaso.

Os dados para ARN e concentração de N no limbo e no pecíolo foram submetidos à análise de variância e o erro padrão das médias calculado. Os resultados foram também ajustados em modelos de regressão, conforme PIMENTEL-GOMES (1990). Os dados de fluorescência foram analisados segundo a estatística descritiva, considerando que essas medidas não apresentam distribuição normal (LAZAR, 1998).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pôde-se constatar que a atividade da enzima redutase do nitrato foi influenciada pelo estágio de desenvolvimento das plantas de mamoeiro cv. 'Golden' sob condições de campo, ajustando-se ao modelo quadrático de regressão, segundo valores de R^2 (Fig. 1). No início do desenvolvimento, as folhas do mamoeiro apresentaram alta atividade da RN, seguida de redução a partir dos 90 DAP, quando as plantas iniciaram seu período reprodutivo.

A variação na ARN nas folhas do mamoeiro entre o estágio vegetativo e reprodutivo ocorreu de forma expressiva, com valores passando de cerca de 800 para 200 $\mu\text{mol NO}_2^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$, o que representa uma redução de 75% na atividade da RN. A redução observada coincide com o início da fase reprodutiva, na qual 50% das plantas iniciaram seu período de floração/frutificação. FONTES et al (2008), ao avaliarem as cultivares Tainung 1 e Sunrise Solo 72/12, aos 18 meses no estágio reprodutivo, observaram valores próximos a 270 e 200 $\mu\text{mol NO}_2^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$, respectivamente, em ARN.

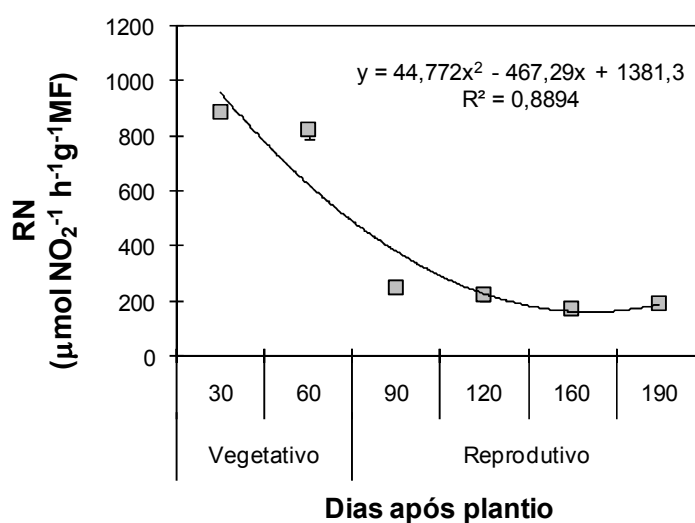


Figura 1 – Atividade da redutase do nitrato em folhas de mamoeiro (*Carica papaya* L.) cv. Golden em função dos dias após colheita. Barras verticais representam o erro padrão das médias nos DAP (n=10).

OLIVEIRA et al. (2005) avaliaram a atividade da RN em pupunheira em duas idades (aos 9 e 12 meses), também como no presente estudo, observaram maior atividade da enzima nas plantas mais jovens (9 meses de idade). Segundo CARELLI et al. (2006), em plantas de café a ARN é baixa durante o início da expansão foliar, alcança seu máximo em folhas recentemente expandidas e declina naquelas mais velhas. Nas plantas de mamoeiro, avaliadas aqui, a baixa atividade relacionada a estádios de menor desenvolvimento das folhas não foi observada na fase vegetativa., provavelmente, devido a utilização das folhas mais expandidas para a quantificação da ARN.

A redução da atividade da RN com o início da fase reprodutiva, pode estar relacionada com a habilidade do tecido em sintetizar proteínas (BEEVERS & HAGEMAN, 1969; TRAVIS &

KEY, 1971). A baixa atividade da enzima encontrada em folhas mais velhas de plantas cultivadas é, principalmente, devido ao baixo nível de RN-proteínas, provavelmente, relacionada à redução na capacidade de síntese de formas ativas em resposta ao substrato decorrente da diminuição na abundância do mRNA desta proteína com a idade (KENIS et al., 1992). Maiores atividades da RN em folhas do mamoeiro durante os estádios iniciais poderiam garantir maior eficiência no crescimento inicial, ocasionando em maior produção de RN-proteínas.

Outra hipótese para a maior atividade da RN na fase vegetativa seria a maior disponibilidade do íon nitrato (NO_3^-) a ser reduzido, propiciadas pelas maiores taxas transpiratórias. Segundo SODEK (2004), não é o teor de NO_3^- pré-existente neste órgão que induz a síntese da enzima, mas a quantidade de nitrato conduzida pelo fluxo transpiratório via xilema. Tecidos mais jovens possuem maiores taxas transpiratórias em respostas às maiores taxas de crescimento que tecidos mais velhos, acarretando em maiores influxos de nitrato para as folhas que conseqüentemente o favorecimento da atividade da RN.

A concentração de N no limbo não mostrou relação com as fases de desenvolvimento das plantas (Fig. 2A). Maiores concentrações foram observadas até 90 DAP. Aos 120 DAP houve redução expressiva na concentração desse elemento, seguida do restabelecimento de concentrações próximas às concentração iniciais. No pecíolo, a concentração de N, ao longo do período, ajustou-se ao modelo quadrático de regressão (Fig. 2B), apresentando redução contínua até 90 DAP, com posterior aumento dos teores, embora em concentrações menores que as iniciais.

A atividade da RN é um fator limitante ao crescimento, desenvolvimento e síntese de proteínas das plantas (SAGI & LIPS, 1998). De acordo com KHOURI (2007), a atividade desta enzima pode servir como um índice para se aferir o “status” de N na planta e correlaciona-se muito freqüentemente com crescimento e produção.

A concentração de N no limbo não apresentou correlação com a atividade da RN (Fig. 3 A). Entretanto, houve associação direta ($P < 0,05$) entre concentração de N peciolar e ARN (Fig. 3B).

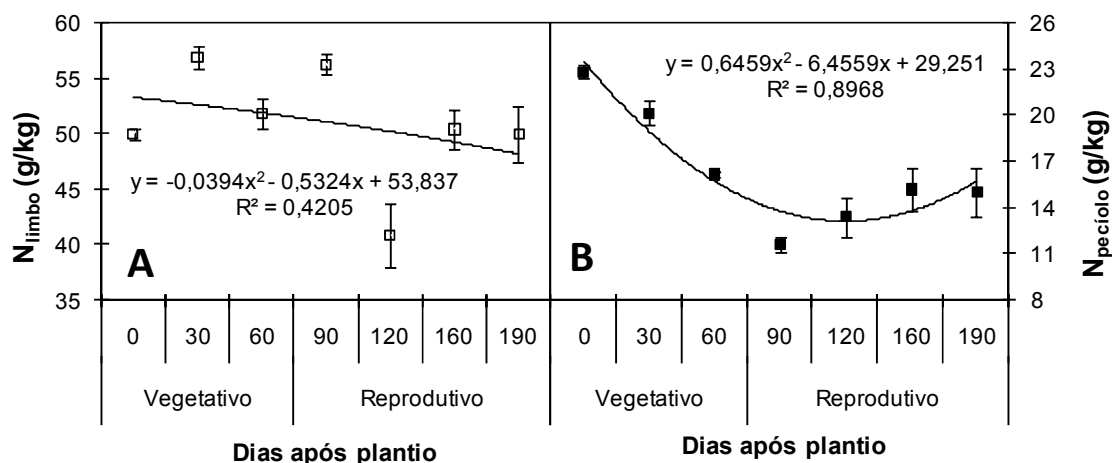


Figura 2 – Concentração foliar de N em plantas de mamoeiro (*Carica papaya* L.) cv. Golden em função dos dias após colheita. Barras verticais representam o erro padrão das médias nos DAP (n=5)

Muitos pesquisadores têm comparado a sensibilidade do limbo e do pecíolo, para detectar a disponibilidade de nutrientes para o mamoeiro encontrando resultados variáveis. MARINHO (1999) verificou que a melhor parte da folha para indicar o estado nutricional do mamoeiro pode variar de acordo com o nutriente em questão.

Foi verificado que o pecíolo se mostrou mais efetivo para detectar oscilações na disponibilidade de N. COSTA (1995) verificou que os teores médios de N na matéria seca do pecíolo variaram quando foram amostrados no período da seca e das chuvas, enquanto os teores no limbo se apresentaram mais estáveis.

Os resultados deste trabalho corroboram com as observações de outros trabalhos, fortalecendo a utilização dessa parte da folha como melhor indicadora do status de N em mamoeiro, haja vista sua correlação com a ARN, a análise do pecíolo permite avaliar, com maior precisão, o balanço de N nas plantas do mamoeiro.

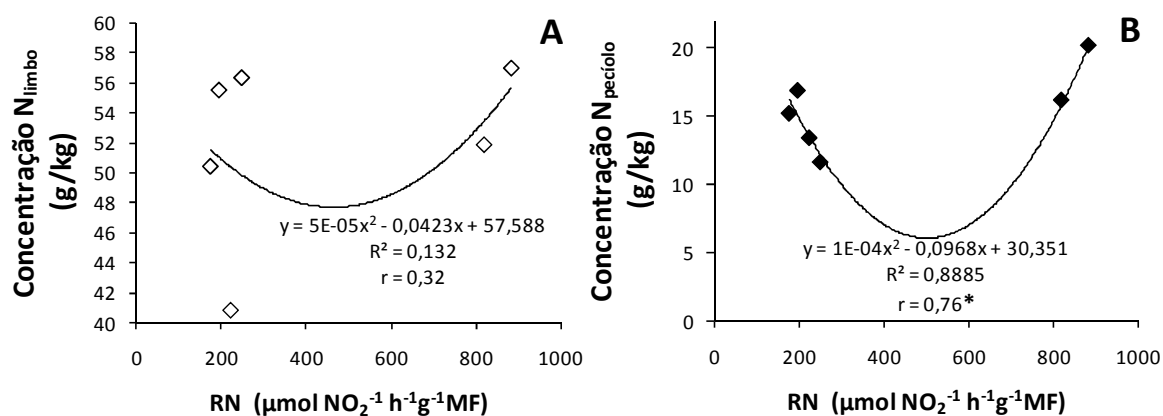


Figura 3 – Relação entre a atividade da redutase do nitrato e a concentração de N no limbo e no pecíolo de plantas de mamoeiro (*Carica papaya L.*) cv. Golden.

É bem conhecida a relação entre fotossíntese e atividade da redutase do nitrato em diversas espécies (KAIZER & HUBER, 2001; OLIVEIRA et al., 2005). Segundo CARELLI et al. (1996), o metabolismo do nitrogênio e do carbono é interdependente, pois a energia necessária para a assimilação do nitrogênio deriva direta ou indiretamente da fotossíntese, ao passo que esta depende do suprimento de nitrogênio.

A fotossíntese ocupa uma posição central no metabolismo, fornecendo uma ligação entre processos internos da planta e o ambiente externo (FONTES et al., 2008).

A análise dos parâmetros de fluorescência mostra a influência de diferentes fatores sobre sua cinética. Dentre os fatores que poderiam promover modificações na eficiência de absorção da luz, o estágio fenológico contribuiu marcadamente para as respostas das plantas (Figura 4).

Os parâmetros básicos da fluorescência apresentaram tendência a maiores valores no período vegetativo. Os chamados parâmetros básicos da fluorescência têm sido utilizados há vários anos como uma ferramenta para determinar a performance fotossintética da planta e seu estado fisiológico geral (SCHREIBER et al., 1998; MARENCO et al., 2007). Fluorescência mínima (F_0), fluorescência máxima (F_M), rendimento quântico máximo potencial do FSII (F_V/F_M) e rendimento quântico efetivo de conversão da energia fotoquímica (F_V/F_0) apresentaram queda na fase reprodutiva, mostrando grande diferença entre as duas fases. Os

parâmetros de rendimento F_V/F_M e F_V/F_0 apresentaram menores diferenças entre as duas fases, entretanto, a fase reprodutiva também mostrou redução.

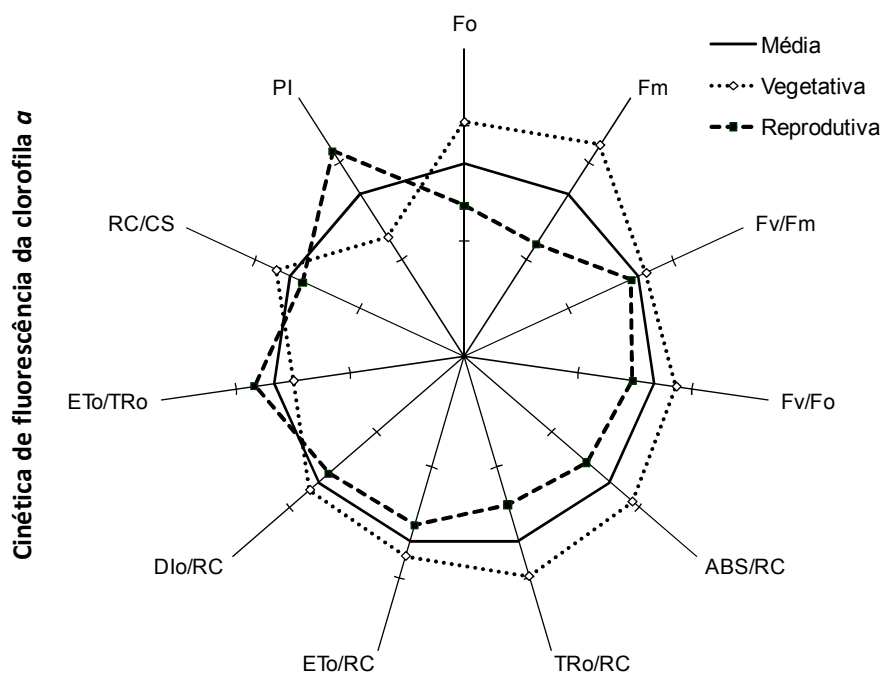


Figura 4 – Comparação entre os valores relativos de cinética de emissão de fluorescência da clorofila *a* em planta de mamoeiro em duas fases de desenvolvimento: vegetativo e reprodutivo. A média de cada período foi considerada como controle e atribuída valor igual a 1 ($n=17$).

F_0 permitiu caracterizar diferenças marcantes entre as duas fases, mostrando a evidente influência dos estádios de desenvolvimento, com uma diminuição contínua de seu valor da fase vegetativa para a reprodutiva (Fig. 5A). A fluorescência inicial refere-se à emissão de fluorescência pelas moléculas de clorofila *a* do complexo coletor de luz do FSII. Sendo assim, reflete o estado da clorofila nos centros antena e pode ser considerada uma medição da distribuição da energia inicial para o FSII, bem como a eficácia de captura da mesma (SEPPANEN et al, 1998).

De acordo com KONRAD et al. (2005), F_0 é a fluorescência quando Q_A (quinona receptora primária de elétrons do FSII) está totalmente oxidada e o centro de reação do FSII está aberto, situação iminente à ativação das reações fotoquímicas. Desta forma, as reduções de F_0 são independentes dos eventos fotoquímicos e refletem destruição do centro de reação do FSII ou

diminuição na capacidade de transferência da energia de excitação da antena para o centro de reação.

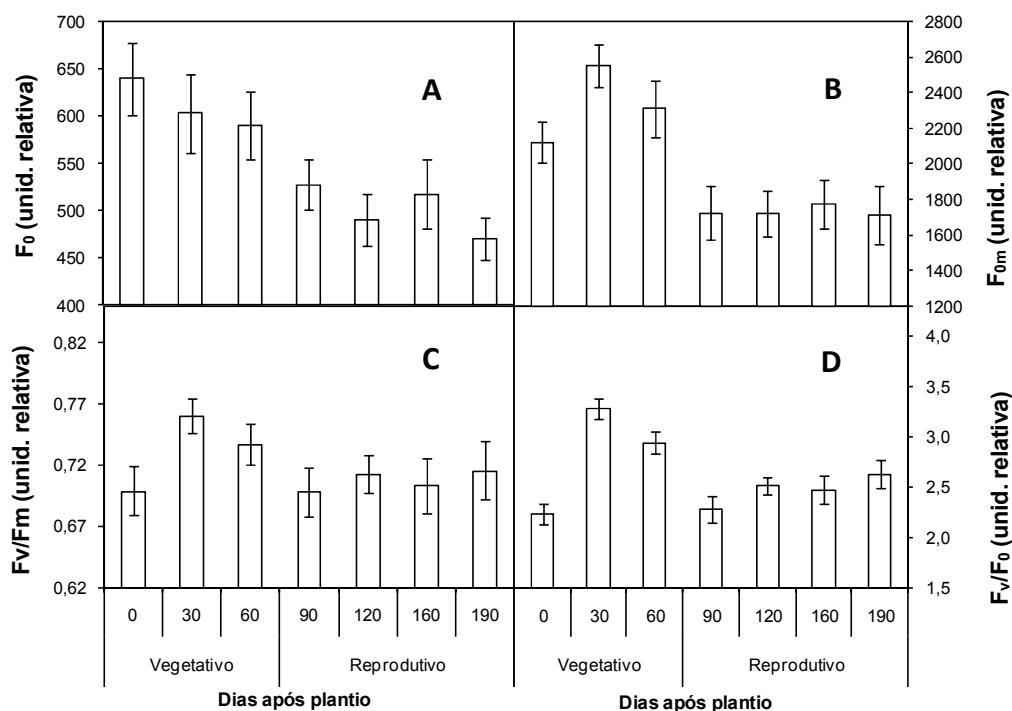


Figura 5 – Fluorescência da clorofila a em mamoeiro (*Carica papaya* L.) cv. Golden em função dias após plantio. Fluorescência inicial ou fluorescência a um tempo de 50 μ s (A), a fluorescência máxima (B), o rendimento quântico máximo potencial do fotossistema II (C) e rendimento quântico máximo efetivo de conversão de energia (C). Barras verticais representam o erro padrão das médias nos DAP (n=17).

F_M parece ter sido influenciada pelas fases de desenvolvimento, apresentando altos valores na fase vegetativa, seguida de redução com o início da fase reprodutiva (Fig. 5B) (ao longos dos DAP). Ao contrário do F_0 , que apresentou redução da fase vegetativa e reprodutiva de forma contínua, os valores de F_M mostraram uma transição mais abrupta com marcada redução com o início da floração/frutificação do mamoeiro cv. ‘Golden’. Por outro lado, menor F_M observado a 0 DAP poderia ser o indicativo de ocorrência de fotoinibição das plantas. Reduções em F_M em respostas a danos fotoinibitórios podem estar relacionados ao aumento de processos de dissipação não-fotoquímica, associada ao ciclo da xantofila (no complexo coletor de luz) ou a possíveis danos na proteína D_1 (DIAS & MARENCO, 2007). Por ser a amostragem da semana de transplante, já se era esperado que as plantas respondessem ao estresse ocasionado, devido à aclimação às condições de campo.

Reduções no rendimento quântico efetivo de conversão da energia fotoquímica (F_V/F_0) e no rendimento quântico máximo potencial do fotossistema II (F_V/F_M), também foram observadas aos 0 e 90 DAP, embora F_V/F_M tenha mostrado uma grande variação dentro de cada período. Enquanto as reduções observadas após o transplântio indicam respostas às adaptações ocasionadas pela aclimação das mudas a campo, as reduções dos parâmetros básicos aos 90 DAP, podem indicar uma resposta direta às modificações acarretadas pelo início do período reprodutivo.

O parâmetro F_V/F_M fornece uma estimativa da eficiência quântica máxima da atividade fotoquímica do FSII, quando todos os centros de reação deste fotossistema estão abertos (KONRAD et al., 2005). Em geral, estresses ambientais ou bióticos que afetam a eficiência do FSII levam ao decréscimo de F_V/F_M (KRAUSE & WEIS, 1991). Por outro lado, a razão F_V/F_0 é muitas vezes utilizada para corroborar os resultados de F_V/F_M , uma vez que essa razão amplifica as pequenas variações detectadas em F_V/F_M , como pôde ser observado.

Alguns autores vêm contestando, entretanto, a sensibilidade do parâmetro F_V/F_M em fornecer resultados apurados a respeito do estado do aparelho fotossintético (LU et al., 2002; STRASSER et al, 2000; SILVA et al, 2007). Esses trabalhos têm mostrado que, embora o processo fotossintético tenha sofrido desordens, este parâmetro não mostrou variações significativas dos seus valores, como também indicado neste estudo.

SILVA et al. (2007), ao trabalharem com mamoeiro cv. Golden em condições de campo observaram indicativos de processos de fotoinibição sem, no entanto, observarem variações no rendimento quântico máximo do FSII. Outros parâmetros da fluorescência podem ser usados para evidenciar efeitos da iluminação, incluindo fotoinibições, que não a razão F_V/F_0 (FORCE et al., 2003).

Devido a este fato, os parâmetros do JIP-teste propostos por STRASSER (1978) baseados na Teoria de Fluxo de Energia pelo PSII em Bio-membranas têm sido bastante utilizado para

elucidar detalhadamente o fluxo de energia através FSII em nível de centro de reação (RC), auxiliando no estudo de processos fisiológicos. No presente estudo, a maioria dos parâmetros do JIP – teste apresentou relação com os períodos de desenvolvimento (Fig. 6).

O fluxo de energia capturada por centro de reação (TR_0/RC), o fluxo de transporte de elétrons por centro de reação (ET_0/RC) e a probabilidade de um elétron de Q_A seguir na cadeia de transporte de elétrons (ET_0/TR_0) (Fig. 6B, 6C, 6D). TR_0/RC e ET_0/RC apresentaram tendência a maiores valores no período vegetativo, enquanto ET_0/TR_0 apresentou menores valores nesse período.

O fluxo de fótons absorvidos por centro de reação (ABS/RC), a dissipação de energia radiante por RC ativo (DI_0/RC), o índice de desempenho (PI) e a densidade de centros de reação ativos do FSII (RC/CS) apresentaram menores disparidades entre as fases vegetativa e reprodutiva, podendo indicar menor relação aos períodos de desenvolvimento (Fig. 6A, 6E, 6F, 6G). Entretanto, estes parâmetros mostram respostas mais específicas às perturbações já indicadas pelos parâmetros básicos.

Maiores ABS/RC e TR_0/RC foram observados no momento de transplântio das mudas a campo (0 DAP). Entretanto, o maior fluxo de fótons absorvidos associado à maior captura da energia de excitação pelo FSII a fim de reduzir Q_A não parece ter sido eficiente, pois ET_0/TR_0 mostrou baixos valores.

Ao início da floração/ frutificação das plantas, aos 90 DAP, também apresentou maiores valores de ABS/RC . O maior fluxo de fótons absorvidos observado nestas duas amostragens, provavelmente, teria o intuito de disponibilizar maiores quantidades de energia em momentos de alta necessidade adaptativa às mudanças aí ocorridas.

A queda da eficiência fotossintética, entretanto, parece ter sido ocasionada pela redução da captura e transporte da energia de excitação em relação ao elevado fluxo de fótons, ocasionando os altos valores de DI_0/RC observados. O aumento destes processos de

dissipação pode ser observado pelo aumento de DI_0/RC , podendo ser atribuído à redução nos valores de RC/CS e do rendimento quântico máximo do FSII. O decréscimo da fração de centro de reação totalmente ativa (centros de reação redutores de Q_A e Q_B) a favor de um aumento da fração de não-redutores é considerado um mecanismo de ‘*down-regulation*’, para a dissipação controlada do excesso de energia absorvida (BUSSOTTI et al. 2007) e, nesse caso, parece ter influenciado diretamente sobre o PI das plantas nestas amostragens.

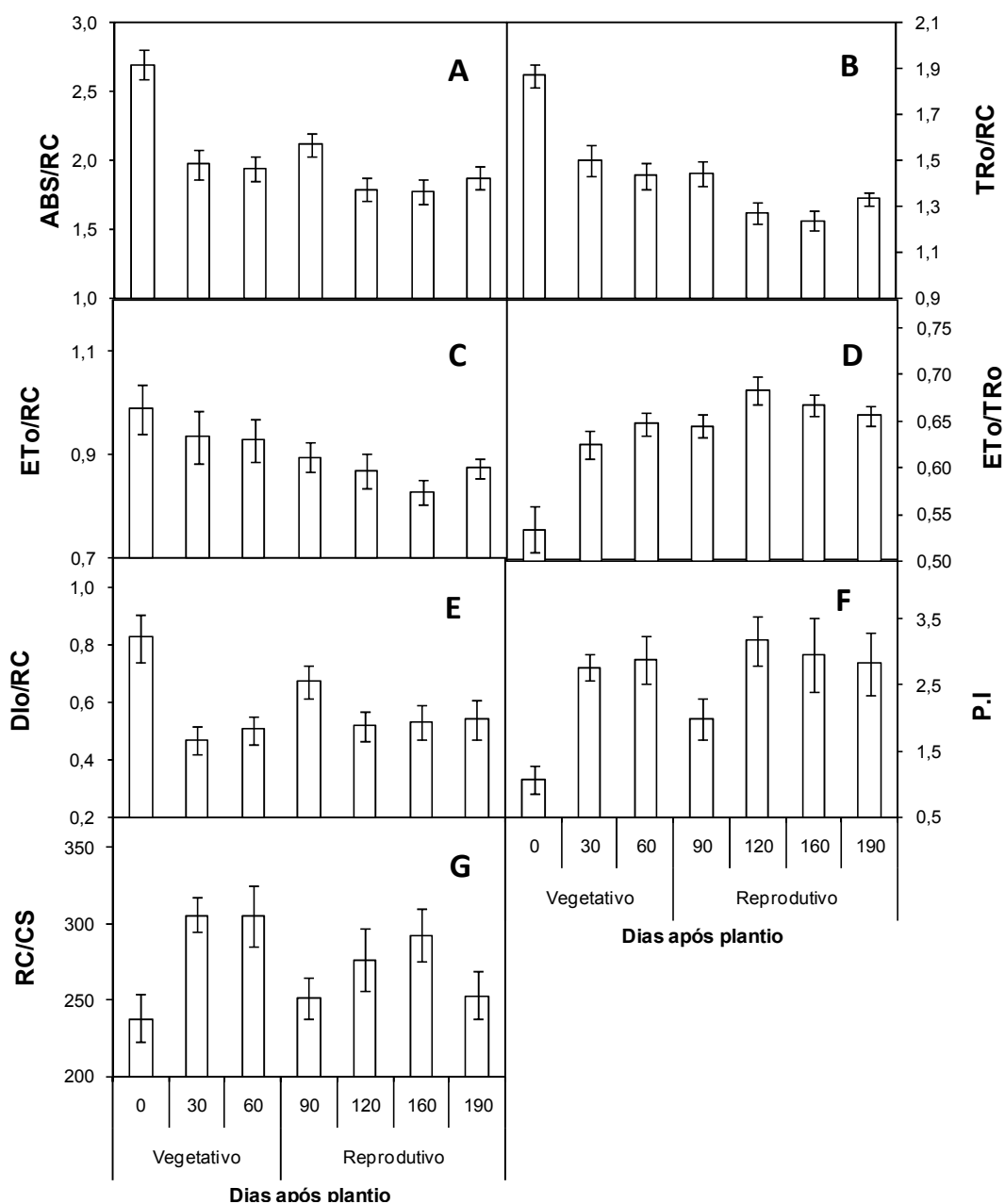


Figura 6 – Derivação dos parâmetros do Teste OJIP a partir dos parâmetros de indução da fluorescência rápida em folhas de mamoeiro (*Carica papaya* L. cv. ‘Golden’) em função dos dias após plantio. Barras verticais representam o erro padrão das médias nos DAP (n=17).

Um melhor índice de desempenho vai depender da intensidade da absorção luminosa, da probabilidade do transporte da energia de excitação seguir na cadeia transportadora de elétrons, e de seu máximo de rendimento quântico (CHRISTEN et al, 2007). Entretanto, os resultados também mostram uma grande influência da taxa de dissipação no índice de desempenho das plantas de mamoeiro em campo, mostrando que apenas um parâmetro isolado pode não ser representativo quanto ao “status” do aparelho fotossintético.

Sabe-se que a transição do desenvolvimento vegetativo para o reprodutivo é reconhecidamente uma fase crítica no ciclo de vida das plantas, sendo controlada por fatores ambientais bem como de origem endógena (DEFAVARI; MORAES, 2002). As reduções observadas ao início da fase reprodutiva, podem indicar uma redução da capacidade de transporte de elétrons na fotoquímica da fotossíntese, podendo estar relacionado a redução da capacidade de utilização de assimilados pelos drenos.

Modelos onde um componente decresce, por exemplo, a capacidade de assimilação de CO₂, podem representar uma situação de estresse extremo para a planta uma vez que a produção de um poder assimilatório poderia exceder a taxa dessa utilização. Desta forma, a irradiância, por exemplo, previamente benéfica para a fotossíntese, poderia tornar-se excessiva (PAUL & FOYER, 2001). Evidências sugerem que a capacidade relativa para o transporte de elétrons e metabolismo são igualmente combinadas (OTT et al., 1999).

Em mamoeiro, FONTES et al. (2008) ao estudarem as cultivares Tainung 1 e Sunrise Solo 72/12 aos 18 meses observaram correlações positivas entre ARN e eficiência fotossintética.

No presente trabalho, a atividade da RN mostrou-se com tendências a maiores valores durante a fase vegetativa, assim como os parâmetros da cinética da fluorescência da clorofila *a* neste período. Estes resultados corroboram com o paralelismo já citado entre a atividade da RN e o processo fotossintético, mostrado em evidente resposta as fases de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo.

Esses resultados podem indicar a eficácia da utilização da cinética da fluorescência em diagnosticar não apenas modificações ocasionadas por fatores climáticos, mas também modificações do próprio desenvolvimento das plantas de mamoeiro durante seu desenvolvimento, a exemplo da atividade da RN, e diagnosticar a transição do desenvolvimento vegetativo para o reprodutivo nesta espécie, podendo, assim, auxiliar em um manejo de adubação nitrogenada mais adequado para a lavoura.

CONCLUSÕES

- A atividade da RN apresentou diferenças entre os estádios de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, com maiores atividades na fase vegetativa e redução ao início da floração/frutificação de 75%.
- A concentração de N no pecíolo mostrou variação em função das fases de desenvolvimento, apresentando correlação com a atividade da RN, confirmando ser esta a melhor parte da folha para fornecer informações sobre o estado nutricional do mamoeiro.
- Respostas fotoquímicas das plantas, medida pela fluorescência da clorofila *a*, apresentaram maiores valores na fase vegetativa, mostrando sua eficiência ao detectar modificações acarretadas, por fatores abióticos, como observado no transplântio das mudas a campo, bem como indicou modificações ocorridas ao início da fase reprodutiva, podendo este ter atuado como um fator isolado, ou associado a outros estresses do ambiente.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J. D.; CORDEIRO, A. T.; RENA, A. B. Relações entre fotossíntese, resistência difusiva e variação circadiana da redutase do nitrato em *Coffea arabica* L. In: **Anais ... XXII Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras**, Caxambu, Brasil, p.142-145, 1985.
- BEEVERS, L.; HAGEMAN, R. H. Nitrate reduction in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**. v.20, p.495-522, 1969.
- BUSSOTTI, F.; STRASSER, R. J.; SCHAUB, M. Photosynthetic behavior of woody species under high ozone exposure probed with the JIP-test: A review. **Environmental Pollution**, v.147 p.430-437, 2007.
- CARELLI, M. L. C.; UNGARO, M. R. G.; FAHL, J. I. e NOVO, M. do C. S. S. Níveis de nitrogênio, metabolismo, crescimento e produção de girassol. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.8, n 2, p.123-130, 1996.
- CARELLI, M. L. C.; FAHL, J. I.; RAMALHO, J. D. C. Aspects of nitrogen metabolism in coffee plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.18, n.1, p.9-21, 2006.
- CHRISTEN, D.; SCHÖNMANN, S.; JERMINI, M.; STRASSER, R. J.; D'EFAGO, 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**. 60:504–514. 2007.
- COSTA, A. N. Uso do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS), na avaliação do estado nutricional do mamoeiro (*Carica papaya* L.) no Estado do Espírito Santo. 93 f. **Tese**

(Doutorado em Fitotecnia) - Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

DIAS, D. P.; MARENCO, R. A. Efeito da Nebulosidade nos Parâmetros da Fluorescência em *Minquartia guianensis* Aubl. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v.5, supl.2, p.54-56, 2007.

ESPINDULA NETO, D. Resposta do mamoeiro a diferentes lâminas de irrigação, sistemas de microirrigação e manejo do solo utilizados na região norte do Espírito Santo. 133f. **Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)** - Universidade Federal de Viçosa, MG, 2007.

FONTES, R. V.; SANTOS, M. P.; FALQUETO, A. R.; SILVA, D. M. Atividade da redutase do nitrato e fluorescência da clorofila a em mamoeiro. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 251-254, 2008.

FORCE, L.; CRITCHLEY, C.; VAN RENSEN, J. J. S. New fluorescence parameters for monitoring photosynthesis in plants: 1. The effect of illumination on the fluorescence parameters of the JIP-test. **Photosynthesis Research**, v. 78, p. 17-33, 2003.

JAWORSKI, E. G. Nitrate reductase assay in intact plant tissues. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, Orlando, v.43, n.6, p.1274-1279, 1971.

KAISER, W. M.; HUBER, S.C. Post-translation regulation of nitrate reductase: mechanism, physiology relevance and environmental triggers. **Journal of Experimental Botany**, v.52, n.363, p. 1981-1989, 2001.

KENIS, J. D.; SILVENT, S.T.; LUNA, C.M.; CAMPBELL, W.H. Induction of nitrate reductase in detached corn leaves: the effect of the age of the leaves. **Physiologia Plantarum**. v.85, p.49-56, 1992.

KHOURI, C. R. Atividade da redutase do nitrato, teores de nitrogênio e de carboidratos em cafeeiro influenciados pelo sombreamento e estágio fenológico. 63f. **Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)** – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

KONRAD, M. L. F.; SILVA, J. A. B. da; FURLANI, P. R.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.3, p.339-347, 2005.

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.

LAZAR, D.; NAUS, J. Statistical properties of chlorophyll fluorescence inductions parameters. **Photosynthetica**, v. 35, n.1, p.121-127, 1998.

LEA, P. J. Primary nitrogen metabolism. In: DEY, P. M.; HARBORNE, J. B. (Ed.). **Plant biochemistry**. New York: Academic Press, p. 273-313, 1997.

LU, Q., LU, C., ZHANG, J., KUANG, T. Photosynthesis and chlorophyll *a* fluorescence during flag leaf senescence of field-grown wheat plants. **Journal of Plant Physiology** V.159, 1173–1178. 2002.

MALAVOLTA, E. VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: PATAFOS, 1997. 319p.

MARENCO, R. A.; NEVES, T. DOS S. N.; CAMARGO, M. A. B.; DIAS, D. P.; COSTA, G. F. DA; RODRIGUES, J. C. Fotoinibição dinâmica da fotossíntese em árvores de dossel da Amazônia Central. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 150-152, 2007.

MARINHO, C. S. Avaliação do estado nutricional e adubação do mamoeiro (*Carica papaya* L.) no Norte Fluminense. 80 f. **Tese (Doutorado em Produção Vegetal)** - Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos, 1999.

MARTINS, D. S. e COSTA, A. de F. S. da (Org.). **A cultura do mamoeiro: Tecnologias de Produção**. 1. ed. Vitória: INCAPER, v. 1. 497f., 2003.

MEDEIROS, J. F. de; OLIVEIRA, F. A. De. Fertirrigação da cultura do mamoeiro. IN: MARTINS, D. dos.; COSTA, A. N. da; COSTA, A. F. S. da (eds). **Papaya Brasil: manejo, qualidade e mercado do mamão**. Vitória, ES: Incaper, 2007. 704p.

OLIVEIRA, M. A. J. de; BOVI, M. L. A.; MACHADO, E. C.; RODRIGUES, J. D. Atividade da redutase de nitrato em mudas de pupunheira (*Bactris gasipaes*). **Ciência Rural**, v.35, n.3, 2005.

OTT, T.; CLARKE, J.; BIRKS, K.; JOHNSON, G. Regulation of the photosynthetic electron transport chain. **Planta**, v. 209, p.250–258, 1999

PAUL, M. J.; FOYER, C. H. Sink regulation of photosynthesis. **Journal of Experimental Botany**, v. 52, n. 360, p.1383-1400, 2001.

PIMENTEL-GOMES, F. (1990). **Estatística experimental**. 13ed. Piracicaba: Nobel.

SAGI, M.; LIPS, S. H. The levels of nitrate reductase and MoCo in annual ryegrass as affected by nitrate and ammonium nutrition. **Plant Science**, v.135, p.17-24, 1998.

SCHREIBER, U.; BILGER, W.; HORMANN, H. NEUBAUER, C. Chlorophyll fluorescence as diagnostic tool: basics and some aspects of practical relevance. In: RAGHAVENDRA,

A.S. **Photosynthesis**: a comprehensive treatise. Cambridge University Press, cap. 24, p. 320-336, 1998.

SEPPANEN, M. M.; MAJAHARJU, M. SOMERSALO, S.; PEHU, E. Freezing tolerance, cold acclimation and oxidative stress in potato: Paraquat tolerance is related to acclimation but it is a poor indicator of freezing tolerance. **Physiologia Plantarum**, Oxford, v.2, p. 454-460, 1998.

SILVA, M. M.; BROETTO, S. G.; VALBÃO, S. C.; REPINALDO FILHO, F. P. M.; FONTES, R. V.; SILVA, D. M. **Influências e controvérsias da fluorescência da clorofila a em mamoeiro (*Carica papaya* L.)**. IN: Papaya Brasil: Manejo, qualidade e mercado do mamão. Martins, D. S. (ed.). p. 568-571, 2007.

SRIVASTAVA, H.S. Regulation of nitrate reductase activity in higher plants. **Phytochemistry**, v.19, p.725-731, 1980.

SODEK, L. Metabolismo do nitrogênio. In: KERBAUY, G. B. (Ed.). **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. p. 94-113.

STRASSER, R. J. The grouping model of plant photosynthesis. In: AKOYUNOGLU, G., ARGYROUDI-AKOYUNOGLU, J. H. (eds) **Chloroplast Development, Developments in Plant Biology**, Elsevier: North-Holland Biomedical Press, Amsterdam. v. 2, p. 513-524. 1978.

STRASSER R. J, STIRBET A. D. Estimation of the energetic connectivity of PS II centres in plants using the fluorescence rise O–J–I–P. Fitting of experimental data to three different PS II models. **Mathematics and Computers in Simulation** 56, 451–461, 2001.

STRASSER, R.J.; SRIVASTAVA, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M. The fluorescence transient as a tool to characterise and screen photosynthetic samples. In: Yunus, M., Pathre, U., Mohanty, P. (Eds.), **Probing Photosynthesis: Mechanism, Regulation and Adaptation**. Taylor & Francis, London, UK, 25, p. 443–480, 2000.

TISCHNER, R. Nitrate uptake and reduction in higher and lower plants. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.23, n.10, p.1005-1024, 2000.

TRAVIS, R. L.; KEY, J. L. Correlation between polyribosome level and the ability to induce nitrate reductase in dark-grown corn seedlings. **Plant Physiology**. v.48, p.617-620, 1971.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da análise do crescimento e do acúmulo nutrientes e massa seca para o mamoeiro Golden em condições de campo, apresentou resultados satisfatórios, permitindo analisar a absorção de nutrientes pela cultura bem como as características morfológicas e fisiológicas, e mostrando sua relação com os diferentes estádios de desenvolvimento.

Nas condições do Norte do Espírito Santo, a fase reprodutiva foi antecipada, com início aos 90 DAP. O crescimento e o acúmulo de massa seca ocorrem de forma rápida após o transplântio das mudas para o campo, com aumento contínuo até o início da floração/frutificação do mamoeiro, onde ocorrem os maiores acúmulos relativos diários de MS. Na fase reprodutiva, os picos de acúmulo relativo diários de nutrientes ocorrem entre 120 e 160 DAP, o que demonstra a necessidade de maior disponibilidade desses nutrientes nestas épocas.

O estágio de desenvolvimento influenciou a ordem de acúmulo de nutrientes. N, K e Ca foram os nutrientes mais acumulados durante a fase vegetativa, com o início da fase reprodutiva, o K passou a ser o nutriente mais acumulado nas plantas de mamoeiro. Embora tenha sido acumulado em menores quantidades, o S foi o macronutriente mais exportado para os órgãos reprodutivos.

A atividade da enzima redutase do nitrato apresentou redução expressiva com o início do período reprodutivo, mostrando a influência do estágio de desenvolvimento sobre o metabolismo de assimilação do N. As concentrações de N no pecíolo apresentaram reduções em função dos dias após plantio, mostrando correlação entre atividade da enzima e concentração do nutriente na folha. Os resultados corroboraram a utilização do pecíolo como a melhor parte da folha para indicar o status de N em plantas de mamoeiro.

A fluorescência da clorofila *a* mostrou redução dos valores em função do desenvolvimento, principalmente observada nos parâmetros básicos. Por outro lado, dentre os parâmetros OJIP o fluxo de fótons absorvidos por centro de reação, a dissipação de energia radiante por RC ativo, o índice de desempenho e a densidade

de centros de reação ativos do FSII, indicaram estresses ocasionados pelo transplântio das plantas a campo, e início do estágio reprodutivo. Estes resultados apontam a eficiência dessa técnica tanto ao detectar modificações acarretadas, por fatores abióticos, como observado no transplântio das mudas a campo, bem como indicou modificações ocorridas ao início da fase reprodutiva, podendo este ser atuado como um fator isolado, ou associado a outros estresses do ambiente. Por outro lado, também auxiliam em corroborar o paralelismo entre a atividade da RN e o processo fotossintético, mostrado em evidente resposta as fases de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo. Nesse sentido, a utilização da cinética da fluorescência para diagnosticar não apenas modificações ocasionadas por estresses climáticos, mas também modificações intrínsecas do metabolismo normal das plantas de mamoeiro durante seu desenvolvimento, a exemplo da atividade da RN, e diagnosticar a transição do desenvolvimento vegetativo para o reprodutivo nesta espécie, pode auxiliar em um manejo de adubação nitrogenada mais adequado para a lavoura.

Estas informações recobrem-se de fundamental importância, pois auxiliam na tomada de decisão do produtor tanto nas épocas de aplicação de insumos quanto nas estimativas de suas quantidades, sem desperdícios e com menores probabilidades de impactos ao meio ambiente.