

METABOLISMO FOTOSSINTÉTICO, CRESCIMENTO E ESTADO  
NUTRICIONAL DO MAMOEIRO (*Carica papaya* L.) EM RESPOSTA  
À CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA SOLUÇÃO DE CULTIVO

**ANDERSON LOPES PEÇANHA**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE  
DARCY RIBEIRO - UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ  
DEZEMBRO - 2010

METABOLISMO FOTOSSINTÉTICO, CRESCIMENTO E ESTADO  
NUTRICIONAL DO MAMOEIRO (*Carica papaya* L.) EM RESPOSTA  
À CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA SOLUÇÃO DE CULTIVO

**ANDERSON LOPES PEÇANHA**

Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Eliemar Campostrini

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ  
DEZEMBRO - 2010

METABOLISMO FOTOSSINTÉTICO, CRESCIMENTO E ESTADO  
NUTRICIONAL DO MAMOEIRO (*Carica papaya* L.) EM RESPOSTA  
À CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA SOLUÇÃO DE CULTIVO

**ANDERSON LOPES PEÇANHA**

Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal.

Aprovada em 01 de dezembro de 2010

Comissão Examinadora:

---

Prof. Marco Antônio da Silva Vasconcellos (D.Sc. Agronomia) - UFRuralRJ

---

Prof. Alena Torres Netto (D.Sc. Produção Vegetal) - UENF

---

Prof. Pedro Henrique Monnerat (Ph.D. Nutrição Mineral de Plantas) - UENF  
(Co-orientador)

---

Prof. Eliemar Campostrini (D.Sc. Produção Vegetal) - UENF  
(Orientador)

## **AGRADECIMENTOS**

A Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro e ao Conselho do Curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pela oportunidade;

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, pela concessão da bolsa de estudos;

Ao mestre Eliemar Campostrini, pela orientação, ensinamentos, amizade e participação direta na realização deste sonho;

Ao mestre Pedro Henrique Monnerat, pelos ensinamentos e por contribuições que permitiram executar este trabalho;

À mestra Alena Torres Netto, pela ajuda nas avaliações fisiológicas e o apoio constante em todas as etapas do experimento, e a amizade;

A Caliman Agrícola, em especial ao Geraldo Ferregueti e Elieuder Celin, pelas informações e o material necessário para o experimento;

Ao mestre Fábio Lopes Olivares e à mestra Carla de Salles Pessanha, pelo convívio, e a ajuda principalmente nesta fase do doutoramento;

Ao mestre Cláudio Roberto Marciano, pela colaboração e ensinamentos;

Ao mestre Geraldo de Amaral Gravina pela ajuda na análise estatística;

Ao Sr. José Acácio da Silva pela ajuda na análise foliar;

Ao mestre Elias Fernandes de Sousa pela colaboração;

Aos professores do Curso de Agronomia da UFRuralRJ, em especial ao mestre Marco Antônio da Silva Vasconcellos, pelos ensinamentos iniciais;

Ao Núcleo de Desenvolvimento de Insumos Biológicos para a Agricultura (Nudiba), em especial ao mestre Luciano Pasqualoto Canellas pelo incentivo e ao Leonardo Barros Dobbs pela ajuda e amizade;

A todos do Setor de Fisiologia Vegetal do Laboratório de Melhoramento Genético Vegetal, principalmente Tiago Ferraz, Omar Schmildt, Amanda Martins, Georgia Bechara, Tatiana Lopes, Roberta de Lima, Marcelo Ribeiro, Tarcísio Couto, Marcos Athayde, Marcos Goes, Juliana Guimarães, Gleidson de Moraes, Katia Murakami, Bruna Pintor, Bruna de Deus e Daniel Pinheiro, pela ajuda e o convívio tranqüilo;

A todos da Unidade de Apoio à Pesquisa da UENF, em especial ao Gilberto Miranda dos Santos, pela ajuda na irrigação do experimento;

A todos que, direta ou indiretamente participaram na realização deste trabalho;

Em especial, à minha mulher Leticia e à minha filha Paula, pelo amor, carinho e apoio em todos os momentos;

Aos meus pais, Ciléa e Aroldo, por quem sou;

À minha madrinha Andréia e ao padrinho Alexandre pela ajuda, e aos sobrinhos Andrei e Julia, pelas alegrias;

À comadre Said e ao compadre Alexandre pela afilhada Livia, maravilhosa, que ganhei;

Às minhas tias Cidnéa e Cidléa e a todos os primos, pela convivência harmoniosa, conselhos e apoio constante;

A Leila pelo apoio e incentivo;

Às minhas avós Hermínia e Gilda, pelo apoio, carinho e por proporcionarem a formação dessa família maravilhosa.

Ao meu avô Paulo, exemplo de ser humano;

E a Deus, pela vida e saúde.

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b>	<b>iv</b>
<b>SUMÁRIO</b>	<b>vi</b>
<b>RESUMO</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>10</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>14</b>
<b>2.1 A cultura do mamoeiro no Brasil e no mundo</b> .....	<b>14</b>
2.1.1 Classificação botânica, morfologia e genótipos	15
<b>2.2 Ecofisiologia do mamoeiro</b> .....	<b>19</b>
2.2.1 Nutrição mineral	22
2.2.2 Irrigação	25
2.2.3 Fertirrigação	27
<b>2.3 Salinidade</b> .....	<b>29</b>
2.3.1 Fisiologia de plantas em resposta à salinidade	32
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>40</b>
<b>3.1 Localização</b> .....	<b>40</b>
<b>3.2 Delineamento experimental</b> .....	<b>40</b>
<b>3.3 Plantio dos mamoeiros e tratos culturais</b> .....	<b>41</b>
<b>3.4 Caracterização físico-hídrica do substrato</b> .....	<b>41</b>

<b>3.5</b>	<b>Condições de cultivo e irrigação.....</b>	<b>43</b>
<b>3.6</b>	<b>Implementação dos tratamentos.....</b>	<b>45</b>
<b>3.7</b>	<b>Características avaliadas .....</b>	<b>48</b>
3.7.1	Análises biométricas	48
3.7.2	Análises fisiológicas	49
3.7.3	Termografia por infravermelho	55
3.7.4	Análises nutricionais	55
<b>3.8</b>	<b>Análise de resultados.....</b>	<b>56</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>57</b>
<b>4.1</b>	<b>Condições de cultivo.....</b>	<b>57</b>
<b>4.2</b>	<b>Análise biométrica.....</b>	<b>59</b>
<b>4.3</b>	<b>Análises fisiológicas .....</b>	<b>72</b>
4.3.1	Trocas gasosas	72
4.3.2	Fluorescência da clorofila a	81
4.3.3	Fotorrespiração	95
4.3.4	Curva de luz da fotossíntese	100
<b>4.4</b>	<b>Termografia por infravermelho.....</b>	<b>102</b>
<b>4.5</b>	<b>Análise de macronutrientes no limbo foliar .....</b>	<b>104</b>
<b>5</b>	<b>RESUMO E CONCLUSÕES</b>	<b>112</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>114</b>

## RESUMO

PEÇANHA, Anderson Lopes; D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Dezembro de 2010. **Metabolismo fotossintético, crescimento e estado nutricional do mamoeiro (*Carica papaya* L.) em resposta à condutividade elétrica da solução de cultivo.** Orientador: Professor Eliemar Campostrini; Co-orientador: Professor: Pedro Henrique Monnerat

O objetivo do trabalho foi avaliar a assimilação fotossintética do carbono, a eficiência fotoquímica, o crescimento e os teores de macronutrientes no mamoeiro em resposta a diferentes condutividades elétricas, promovidas por elevação na concentração de fertilizantes. O experimento foi realizado em casa de vegetação entre os meses de março e outubro de 2010, na UENF, em Campos dos Goytacazes, RJ. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com esquema fatorial 2 x 5, sendo dois genótipos (Sunrise Golden e o híbrido UENF-Caliman 01), cultivados sob hidroponia em vasos de 100 litros com areia e cinco soluções nutritivas (com condutividades elétricas - CE de 1,0, 1,6, 2,2, 2,8 e 3,4 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente) com quatro repetições. Após 80 dias de cultivo em solução com 1,6 dS m<sup>-1</sup>, os tratamentos (CE de 1,0, 1,6, 2,2, 2,8 e 3,4 dS m<sup>-1</sup>) foram aplicados por um período de 75 dias. As avaliações das trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* e biometria foram realizadas em épocas com intervalo de quinze dias. As análises foliares foram realizadas em duas épocas, no início e aos 75 dias após início dos tratamentos. A elevação nas condutividades elétricas promoveu redução nas variáveis altura de planta, no diâmetro do caule, no número de folhas, e esta redução foi em valores acima de CE 2,2 dS m<sup>-1</sup>. A assimilação fotossintética do carbono decresceu com o tempo e nas soluções de maiores concentrações de fertilizantes. A partir dos 60 dias

após início dos tratamentos, a fotossíntese líquida decresceu 56%. A queda na taxa fotossintética foi associada ao fechamento estomático, isto é, houve um controle estomático da taxa fotossintética. As variáveis do JIP-Test obtidas, não foram afetadas pela condutividade elétrica das soluções nutritivas aplicadas, porém, todas essas variáveis foram diferentes entre os genótipos, sendo que o UENF-Caliman apresentou maiores índices de vitalidade em relação ao Sunrise Golden. Os resultados da fluorescência da clorofila *a* podem caracterizar uma maior eficiência fotoquímica em função do melhor aproveitamento da energia luminosa pelo UENF-Caliman 01. A fotorrespiração foi diferente entre os genótipos, com o Sunrise Golden apresentando um valor 34% maior em relação ao UENF-Caliman 01. Os teores de macronutrientes no limbo foliar dos mamoeiros, submetidos à fertirrigação com diferentes condutividades elétricas da solução de cultivo foram encontrados em uma faixa considerada adequada, uma vez que estes não apresentaram sintomas visuais de deficiência.

Palavras-chave: Salinidade, fertirrigação, trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a*, biometria, nutrição mineral.

## ABSTRACT

PEÇANHA, Anderson Lopes; D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. December 2010. **Photosynthetic metabolism, growth and nutritional condition of papaya plants (*Carica papaya* L.) under different electrical conductive of cultivation solution**; Adviser: Professor Eliemar Campostrini; Co-adviser: Professor: Pedro Henrique Monnerat

This study aimed to evaluate the growth and the gas exchange of papaya to salinity promoted by fertilizers. The experiment was conducted in a greenhouse between March and October 2010, at UENF, in Campos dos Goytacazes, RJ. The experimental design was in complete randomized blocks, factorial 2 x 5, as follows: two genotypes (Sunrise Golden and hybrid UENF-Caliman 01), grown in 100 liters pots with washed sand and with five nutrient solutions (with electrical conductivity - EC 1.0, 1.6, 2.2, 2.8 and 3.4 dS m<sup>-1</sup>, respectively) with four replications. During 80 days after transplanting, two to three times per day, the plants were irrigated with the solution of 1.6 dS m<sup>-1</sup> (as control). After this period, the treatments were implemented for a period of 75 days. The measures for biometrics and gas exchange were carried out during an interval of fifteen days. The UENF-Caliman 01 showed six more flower buds, in the EC 1.6 dS m<sup>-1</sup>, than the Sunrise Golden. In the last period, the dead leaves were two times higher in the EC 3.4 dS m<sup>-1</sup> than EC 1.0 dS m<sup>-1</sup>. From 30 days after initiation of treatment, photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation (A) reached 23 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, and decreased to 8.8 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> at the highest salinity (3.4 dS m<sup>-1</sup>) in the last period evaluated. From the EC 2.2 dS m<sup>-1</sup>, stomatal conductance (gs) decreased to values of 0.15 mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> in the last period. The papayas had higher

rates of transpiration (E) 30 days after beginning the treatments, with values around  $11 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , and decreased at higher salinity level to  $5 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , in last period. The photosynthetic carbon assimilation decreased during the time and in the solutions of higher fertilizer concentrations. From 60 days after beginning the treatments, net photosynthesis decreased by 56%. The decline in photosynthetic rate was associated with stomatal closure, ie, there was a stomatal control of photosynthetic rate. The variables obtained from the JIP test, were not affected by electrical conductivity of nutrient solutions applied, however, all these variables were different among genotypes, and the UENF Caliman had higher rates of vitality in relation to the Golden Sunrise. The results of the chlorophyll a fluorescence can characterize a higher photochemical efficiency due to the better utilization of light energy by UENF Caliman 01. The photorespiration was different between the genotypes, with the Golden Sunrise which had a value 34% higher compared to UENF Caliman 01. The macronutrient content in the leaves of papaya trees, submitted to fertirrigation with different electrical conductivity of the cultivation solution , were found in a range considered adequate, since they did not show deficiency symptoms.

Key words: Salinity, fertirrigation, electrical conductive, gas exchange, chlorophyll fluorescence, biometry, mineral nutrition.

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a fruticultura é uma das principais atividades socioeconômicas da agricultura, e dentro desta importante atividade agrícola, o cultivo do mamoeiro tem-se destacado de maneira significativa, o que permite que o mamão seja uma das frutas mais consumidas no país. A produção mundial de mamão representa 10% da produção mundial de frutas tropicais, e está em torno de oito milhões de toneladas (IBRAF, 2010). O Brasil apresenta uma produção anual de mamão que supera 1,9 milhões de toneladas em 36,5 mil hectares, com um valor da produção estimado em R\$ 1 bilhão. Essa espécie é cultivada praticamente em todo o território nacional, e a produção comercial está concentrada na Bahia e no Espírito Santo (IBGE, 2010).

O mamoeiro tem crescimento rápido e contínuo. Durante o ciclo do mamoeiro, as fases como floração, crescimento e maturação dos frutos ocorrem simultaneamente. Em virtude desse intenso desenvolvimento, a planta, para atingir o potencial de produção, exige durante todo o ciclo um suprimento constante e adequado de água e nutrientes. A fertirrigação, ou seja, a aplicação de fertilizantes via água de irrigação, permite flexibilizar a época de aplicação dos nutrientes, que pode ser fracionada conforme a necessidade da cultura nas suas diversas fases de desenvolvimento. Esta técnica pode resultar em máxima eficiência na adubação.

Um dos impactos mais comumente observados da fertirrigação tem sido relacionado à salinização do solo. Esta salinização pode ser devido ao manejo inadequado da aplicação de fertilizantes, que, em quantidades elevadas, pode elevar o potencial osmótico e a condutividade elétrica, com conseqüências negativas e significativas sobre o potencial total de água no solo. Os valores de condutividade elétrica do extrato de saturação acima de  $1,0 \text{ dS m}^{-1}$  podem ser prejudiciais à cultura do mamoeiro (Coelho et al., 2008).

A fotossíntese e transpiração são as características que respondem rápido aos efeitos da salinidade. A taxa fotossintética de espécies sensíveis decresce devido ao efeito tóxico de íons nos cloroplastos, bem como pelos efeitos osmóticos diretos causados na redução do potencial hídrico do solo, com conseqüências negativas na absorção de água (Munns e Tester, 2008). A queda na transpiração pode ser atribuída a um baixo potencial hídrico de plantas. Em plantas, outros efeitos negativos da salinidade estão relacionados com a diminuição na área foliar, na altura, no comprimento de folhas, de raízes, e alterações na qualidade do fruto. Em condições de salinidade, o rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), a dissipação fotoquímica e a taxa de transporte de elétrons decrescem significativamente, enquanto a dissipação não-fotoquímica da energia luminosa aumenta substancialmente (Moradi e Ismail, 2007).

A introdução da cultura do mamoeiro na região Norte e Noroeste Fluminense é uma alternativa para a diversificação agrícola, devido à proximidade aos grandes centros consumidores e às condições edafoclimáticas semelhantes às encontradas nas principais regiões produtoras do país. Portanto, torna-se necessário, escolher as variedades com melhor adaptação nessa região. Recentemente, foi desenvolvido o primeiro mamoeiro híbrido brasileiro UENF-Caliman 01 pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, em parceria com as empresas Caliman Agrícola S/A e Pesagro-Rio. Entretanto, pouco se conhece como os fatores do ambiente como a água e os teores de nutrientes minerais podem afetar o metabolismo fotossintético desse genótipo. Esse conhecimento é de fundamental importância para que se permita otimizar os efeitos desses fatores com grandes expectativas de aumento na produtividade.

Desta maneira, este trabalho tem como objetivos estudar os efeitos das condutividades elétricas promovidas pela elevação na concentração de fertilizantes, sobre a biometria, as trocas gasosas, a fluorescência da clorofila *a* e os teores de macronutrientes do mamoeiro. Neste contexto, a principal hipótese testada pode ser assim enunciada: “A exposição do sistema radicular a diferentes condutividades elétricas da solução de cultivo, por elevação nas concentrações de fertilizantes, poderá influenciar o crescimento, a assimilação fotossintética do carbono, a eficiência fotoquímica e o estado nutricional do mamoeiro”.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A cultura do mamoeiro no Brasil e no mundo

O mamoeiro é uma das mais importantes espécies frutíferas cultivadas nas regiões tropicais, provavelmente originário da América Central (Sul do México e Nicarágua). O fruto maduro desta planta, conhecido como *pawpaw*, na Inglaterra, *lechosa*, na Espanha, *mugua*, na China, *melonenbaum*, na Alemanha, *malakor*, *loko*, *ma kuai thet*, na Tailândia, *papayer*, na França, *du du*, no Vietnã, e mamão no Brasil, pode ser consumido como “fresco”, enquanto que o fruto não-maduro é usado em saladas, ou pode ser cozido (Dhekney, 2004; Crane, 2005). Em uma lista de importância nutricional com 38 frutos considerados comuns, o mamão está na primeira posição, baseado na porcentagem de ingestão diária recomendada nos Estados Unidos, para a Vitamina A, C, potássio, ácido fólico, niacina, tiamina, riboflavina, ferro, cálcio e fibra (Ming et al. 2008). O pigmento amarelo encontrado nos frutos não é devido ao caroteno, mas sim devido à xantofila denominada caricaxantina (Dhekney, 2004).

A planta de mamoeiro também é cultivada para a produção de papaína, uma importante enzima proteolítica, encontrada no látex dos frutos verdes. A papaína é utilizada na indústria têxtil, farmacêuticas e cosméticos. Em termos de evolução, a papaína pode estar associada com a proteção ao ataque de predadores herbívoros e frugívoros (El Moussaoui et al., 2001).

O mamão é uma das frutas mais consumidas pelos brasileiros, e os paulistas são os maiores consumidores. Em 2009, o Entrepósito Terminal de São Paulo (ETSP) da Ceagesp registrou a comercialização, de mais de 90 mil toneladas por ano, apenas do grupo Solo (BRAPEX, 2010). O Brasil apresenta uma produção anual de mamão

que supera 1,9 milhões de toneladas em 36,5 mil hectares, com um valor da produção estimado em R\$ 1 bilhão (IBGE, 2010). Essa fruta é cultivada praticamente em todo o território nacional e a produção comercial está concentrada na Bahia, com 902 mil toneladas, e no Espírito Santo, com 630 mil toneladas, além do Rio Grande do Norte e Ceará, somados com 206 mil toneladas de frutos. Em 2009, o Brasil exportou cerca de 30 mil toneladas, produzindo uma receita de US\$ 38,6 milhões. O Estado do Espírito Santo foi o maior exportador, e respondeu por 50% do total. Neste estado, a produção média anual está estimada em 750 toneladas, e a produtividade chegou a 80 toneladas do fruto por hectare. Esta produtividade é considerada uma das mais altas do País. No ES, o 'Pólo de Linhares' é o mais importante exportador de mamão do Brasil, responsável por 70% da exportação nacional (BRAPEX, 2010).

Segundo a FAO (2010), a produção mundial de mamão representa 10% da produção mundial de frutas tropicais, e está em torno de oito milhões de toneladas, das quais 39% são produzidas na América Latina e Caribe. Os principais produtores mundiais são o Brasil, México, Nigéria, Índia e Indonésia, enquanto os maiores exportadores são o México e a Malásia. A Comunidade Européia (Holanda, Portugal, Espanha, Reino Unido, França, Itália, Alemanha e Suíça) e os Estados Unidos são os principais importadores do mamão brasileiro, representando 80% e 14%, respectivamente (BRAPEX, 2010).

### **2.1.1 Classificação botânica, morfologia e genótipos**

O mamoeiro é pertencente à classe Dicotyledoneae, subclasse Archichlamydeae, ordem Violales, subordem Caricaceae, família Caricaceae e gênero *Carica*. A família Caricaceae possui cinco gêneros e 34 espécies, nativas da zona neotropical, excetuando-se apenas duas da África Equatorial. Dentro do gênero *Carica*, a espécie *Carica papaya* L. é a única conhecida comercialmente. Entretanto, algumas espécies, possuem caracteres valiosos, que podem ser úteis em programas de melhoramento genético do mamoeiro (Badillo, 1971).

O sistema radicular desta espécie é do tipo pivotante, apresenta ramificações radiais, e enquadra-se no tipo de raiz principal denominada napiforme. Em estudos realizados por Costa et al. (1998), para avaliar a distribuição do sistema radicular das cultivares Sunrise Solo, Improved Sunrise Solo Line 72/12 e Baixinho de Santa Amália, com dois anos de idade, em três tipos de solos do Tabuleiro Costeiro (franco-

arenoso, franco-argilo-arenoso e argilo-arenoso) na região norte do Estado do Espírito Santo, estes autores verificaram que a concentração do sistema radicular foi em um raio inferior a 0,6 m ao redor do tronco e a profundidade foi de 0,3 m. A maior parte das raízes foi encontrada até 0,35 m de distância do tronco. À medida que aumentou o teor de argila, com menor teor de areia grossa, o sistema radicular apresentou menor crescimento. O sistema radicular não apresentou diferenças significativas entre as cultivares estudadas.

O mamoeiro é uma planta de crescimento rápido, raramente ramificada, apresenta uma fase juvenil curta (três a oito meses) e é considerada como uma planta semi-lenhosa (Ming et al., 2007). Segundo estes autores, nesta espécie, o número de genes envolvidos na síntese de lignina está em um número intermediário entre o Poplar (*Populus* sp.) e a *Arabidopsis thaliana*, o que foi concluído que o mamoeiro está evoluindo de uma planta herbácea para uma planta lenhosa. A planta apresenta um tronco verde oco, reto, cilíndrico, com espessura na base de até 40 cm, afinando até uns 5 a 7,5 cm no topo, e este tronco pode ter até 10 m. As folhas emergem do meristema apical e estão distribuídas em forma de espiral. Dependendo das condições climáticas e disponibilidade hídrica, a longevidade de uma folha varia de 2,5 a 8 meses, e novas folhas são lançadas na taxa de 1,5 a 4 folhas por semana (Australian Government, 2008). A planta do mamoeiro possui folhas alternadas, com grandes limbos foliares (até 0,7 m de diâmetro), longo-pecioladas, lâminas ovais ou orbiculares, profundamente palmatilobadas, com 7 a 11 nervuras principais. Estas nervuras apresentam-se mais salientes na face abaxial. Os pecíolos são fistulosos, cilíndricos, geralmente de 0,5 a 0,7 m de comprimento, e podem chegar a 1 m (Martins e Costa, 2003). Nos trópicos, esta espécie pode ser colhida após oito a nove meses depois da sementeira, e, em variedades melhoradas, as produções podem atingir cerca de 100 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Chan, 2009).

O mamoeiro é uma planta diplóide com nove pares de cromossomos, e apresenta um genoma pequeno de 372 Mb (Arumuganathan e Earle, 1991). Esta espécie é polígama com três tipos de sexo: plantas masculinas, femininas ou hermafroditas. Na literatura, é relatado que a longevidade do mamoeiro pode ser de até 20 anos (Marler, 1994). Entretanto, em plantios comerciais, as áreas são renovadas a cada 2 a 3 anos, pois acima deste período, as plantas tornam-se altas, e a colheita torna-se economicamente inviável (Caliman Agrícola S/A).

Em várias regiões do mundo, em plantios comerciais, as plantas hermafroditas são as mais cultivadas, pois são mais produtivas. Em temperaturas baixas, nas flores das plantas hermafroditas, a antera se funde com os carpelos, o que produz frutos deformados (Ming et al, 2008). Nas flores das plantas hermafroditas, a temperatura baixa causa redução no número de estames, e este fenômeno é conhecido como carpeloidia. Em cultivares hermafroditas como o Solo, as temperaturas abaixo de 17°C podem causar até 100% de flores carpelóides. Em temperaturas superiores a 35°C, existe uma tendência das partes masculinas e femininas das flores hermafroditas apresentarem complicações no desenvolvimento, e serem não-funcionais, respectivamente (Chang, 2009).

O fruto do mamoeiro é descrito como ovóide, esférico, ou piriforme, desde pequeno (2 a 10 cm de comprimento por 1,5 a 6 cm de largura) até muito grande (em cultivo). O fruto é oco e pode possuir polpa amarela, alaranjada, ou avermelhada, (Badillo, 1993). Em plantas silvestres, o interior pode ser completamente preenchido por sementes ou massa placentária. As sementes são pequenas, 5 a 7 mm, com sarcotesta mucilagínosa, lisa e com esclerotesta (endotesta) com numerosas protuberâncias irregularmente dentadas, em formas de cristas meridianas agudas e irregulares, bastante próximas. O embrião é reto, com cotilédones ovóides e achatados, circundados por endosperma carnoso, rico em ácidos graxos. A germinação é relativamente rápida (duas a três semanas), e é epígea (Costa e Pacova, 2003).

No Brasil, os genótipos de mamoeiros mais cultivados são classificados em dois grupos, conforme o tipo de fruto, o grupo Solo, e o grupo Formosa. As cultivares do grupo Formosa são adequadas à comercialização no mercado interno, enquanto que as cultivares do grupo Solo são comercializadas nos mercados interno e externo (Trindade et al., 2000). Na região norte do Estado do Espírito Santo, as principais cultivares plantadas são o Sunrise Solo, *Improved Sunrise Solo Line 72/12*, Sunrise Golden e Taiwan, todas do grupo Solo. No grupo Formosa, o genótipo Tainung 01 é o mais plantado (Silva et al., 2006).

A cultivar 'Sunrise Solo' é procedente da Estação Experimental do Havaí (EUA), foi introduzida no Brasil há mais de 15 anos, e é também conhecida como *mamão havaí*, *papaya* e *mamão da amazônia*. Este genótipo apresenta grande aceitação no mercado nacional e internacional, e inicia a floração aos três ou quatro meses após o transplante, com altura de inserção das primeiras flores variando de 70

a 80 cm, e apresenta-se bem produtivo (podendo chegar a 60 t ha<sup>-1</sup> no primeiro ano e 40 t ha<sup>-1</sup> no segundo ano de colheita). Os frutos são de casca lisa e firme, com polpa vermelho-alaranjada, de boa qualidade, de tamanho pequeno (peso médio variando de 425 a 625 g), formato piriforme a ovalado e cavidade interna do tipo estrelada (Costa e Pacova, 2003).

O genótipo Sunrise Golden é uma cultivar proveniente de seleção massal de plantas, em campos de produção de Sunrise Solo, na empresa Caliman Agrícola S/A, no Estado do Espírito Santo. Neste genótipo, os frutos hermafroditas são do tipo piriforme, com cor da polpa rosa-salmão, cavidade interna do tipo estrelada, casca lisa, tamanho uniforme, com peso médio de 450 g e excelente aspecto visual. No estágio imaturo, apresenta cor da casca verde mais clara, quando comparado com a variedade que lhe deu origem. O Sunrise Golden tem boa aceitação no mercado internacional, porém possui teor de sólidos solúveis dos frutos e produtividade inferiores ao do Sunrise Solo (Costa e Pacova, 2003).

O mamoeiro híbrido Tainung 01 foi desenvolvido pela Estação Experimental de Fengshan, em Formosa, China, e é resultante do cruzamento entre Sunrise Solo e uma seleção da Costa Rica, de polpa vermelha. Este genótipo é bastante produtivo, os frutos são alongados nas plantas hermafroditas, e oblongo-obovados (redondo-alongados), nas femininas. Os frutos do híbrido apresentam casca de coloração verde-clara e cor da polpa laranja-avermelhada. O peso dos frutos varia entre 900 e 1100 g, tem ótimo sabor, possui boa durabilidade, resistência ao frio e tem grande aceitação no mercado interno (Costa e Pacova, 2003).

Recentemente, foi desenvolvido pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, em parceria com as empresas Caliman Agrícola S/A e Pesagro-Rio, o primeiro mamoeiro híbrido brasileiro UENF-Caliman 01. O fruto deste genótipo apresenta-se com a casca fina, de cor verde, polpa de cor avermelhada, com aroma intermediário e ótima qualidade de mesa. Este híbrido apresenta peso médio de aproximadamente 1200 gramas por fruto, diâmetro de 9,9 cm, comprimento de 21,5 cm, diâmetro da cavidade ovariana de 5 cm e comprimento do pedúnculo de 5,05 cm. A semente apresenta brilho intermediário, formato ovóide, com pouca mucilagem e peso médio de 10 g por 100 sementes frescas. Estas sementes apresentam pouco tecido placentário, com ausência de cera. O híbrido apresenta pubescência nas folhas, com bordos foliares de formato reto e cavidade do limbo foliar aberta (Pereira et al., 2003).

Para a comercialização nos mercados externo e interno, há uma distinção no tamanho dos frutos, que variam de acordo com o peso. Para as cultivares do grupo 'Solo', os frutos entre 280 e 890 g são comercializados no mercado interno, e os de 290 a 650 g são comercializados no mercado externo (Marin e Silva, 1996). Em se tratando do híbrido UENF-Caliman 01, os frutos de 400 a 1800 g são comercializados no mercado interno, e os de 800 a 1800 g destinados ao mercado externo.

## 2.2 Ecofisiologia do mamoeiro

No Brasil, a cultura do mamoeiro está situada em segmentos dos Tabuleiros Costeiros, onde predominam solos de baixa fertilidade, e em muitas classes, horizontes subsuperficiais adensados (coesos). Os estudos de crescimento do sistema radicular e da cinética de absorção de água e nutrientes continuam sendo um grande desafio para a ciência, uma vez que o solo funciona como uma barreira para a observação e avaliação dos processos fisiológicos associados à raiz. As recomendações de manejo para a cultura do mamoeiro variam de acordo com as cultivares, e das condições edafoclimáticas de cada região.

Por ser uma fruteira tropical, o mamoeiro adapta-se bem em regiões com temperaturas entre 21 e 33 °C, sendo a ótima em torno de 25 °C e a umidade relativa do ar adequada de 60 a 85%. Em temperaturas abaixo de 15°C, o mamoeiro paralisa o crescimento vegetativo, reduz o florescimento, atrasa a maturação e produz frutos de qualidade inferior (Marin *et al.*, 1995). Os locais com temperaturas na faixa de 22 a 27 °C são considerados excelentes para o rápido crescimento vegetativo, precocidade de florescimento e para a colheita dos primeiros frutos maduros, os quais apresentam excelente sabor, com altos teores de sólidos solúveis e com grande rendimento por planta e por hectare (Manica *et al.*, 2006). No mundo, as principais áreas comerciais do mamoeiro se localizam entre as latitudes compreendidas entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, a 23° de latitude Norte e 23° de latitude Sul. Entretanto, podem-se encontrar plantios em latitudes de até 32° Norte e 32° Sul (Chan, 2009).

O mamoeiro, que é originário de áreas tropicais, as quais apresentam pluviosidade elevada e bem distribuída, encontra nos solos de textura arenosa e argilo-arenosa dos Tabuleiros Costeiros condições favoráveis ao crescimento e desenvolvimento (Alves, 2003). Nesse ecossistema, concentra-se a maioria das áreas cultivadas com mamoeiro no Estado do Espírito Santo. Ao longo do ano, o

crescimento e o desenvolvimento da cultura são favorecidos por pequenas variações de temperatura e pela presença de chuvas, média anual de 1500 mm, e com períodos secos que variam de três a seis meses. Em geral, com relação aos solos, o mamoeiro é cultivado em Latossolos, os quais ocupam maiores extensões, seguidos pelos Argissolos, os quais são pobres em nutrientes, são álicos (saturação por alumínio > 50%), e com maiores concentrações de nutrientes e de matéria orgânica no horizonte superficial. Na maioria das vezes, a textura é arenosa na superfície, com presença, em muitas classes de solo, de horizontes coesos, que restringem o movimento de água no perfil do solo, e o aprofundamento do sistema radicular (Resende et al., 1993).

Com relação às necessidades edáficas, o mamoeiro cresce e desenvolve bem em solos com baixo teor de argila, bem drenados e ricos em matéria orgânica. Considera-se adequado para o cultivo, os solos com textura areno-argilosa, cujo pH varie de 5,5 a 6,7. Para o cultivo do mamoeiro, devem-se evitar solos compactados, sujeitos ao encharcamento, pois nessas condições as plantas se apresentam raquíticas e estioladas, podem produzir uma quantidade reduzida de frutos, ou até apresentarem mortalidade. Caso seja necessário, em solos argilosos e rasos, e/ou com presença de camadas adensadas, deve-se efetuar subsolagem a 0,50 m ou mais de profundidade. O mamoeiro cresce em todas as classes de solos, desde que não sejam mal-drenadas ou que ressequem facilmente devido à baixa capacidade de retenção de água. No Extremo Sul da Bahia e Norte do Espírito Santo, os produtores efetuam o plantio do mamoeiro formando camalhões, em função de camada coesa presente nos solos de Tabuleiros destas regiões (Oliveira et al., 2004).

Com relação à compactação do solo, Campostrini e Yamanishi (2001) observaram que genótipos de mamoeiro cultivados em área com restrição mecânica do solo (4,12 MPa de resistência mecânica a penetração) apresentaram em média profundidade efetiva do sistema radicular de 0,35 m, e na área sem restrição mecânica (2,30 MPa de resistência mecânica a penetração) apresentaram em média profundidade efetiva de 0,60 m. A resistência mecânica do solo ao sistema radicular afetou as trocas gasosas do mamoeiro. Esses autores mostraram que todos os genótipos crescidos com restrição mecânica apresentaram uma menor taxa fotossintética líquida, condutância estomática, concentração interna de carbono e maior temperatura foliar do que os crescidos na área sem restrição mecânica.

O mamoeiro tem crescimento rápido e contínuo, e entre três e quatro meses pós-plantio da muda, já inicia o florescimento. A partir do oitavo mês, podem-se ter as primeiras colheitas. Nesta época de colheita, as plantas apresentam durante o ciclo fases em que os processos de floração, crescimento e maturação dos frutos ocorrem simultaneamente. Em virtude desse intenso desenvolvimento, e durante todo o ciclo, a cultura exige um suprimento constante e adequado de água e nutrientes, para atingir o potencial de produção (Cibes e Gaztambide, 1978). O estresse hídrico pode causar a redução do diâmetro do caule e do crescimento da planta, e pode aumentar a produção de flores estéreis, o que pode reduzir a produtividade (Marinho, 2007).

Em relação à salinidade, vários níveis de tolerância do mamoeiro foram sugeridos. Maxwell (1984) atribuiu baixa tolerância, Maas (1993), atribuiu moderada tolerância, e Ogden, (1981) atribuiu nenhuma tolerância. Contudo, Raheja (1966) considerou que o mamoeiro é extremamente sensível ao estresse salino. Segundo Mass (1993), o mamoeiro pode ser classificado como moderadamente sensível à salinidade, ou seja, nesta espécie, os efeitos, principalmente do cloreto de potássio, acontecem a uma condutividade elétrica de  $3 \text{ dS m}^{-1}$ .

Em hidroponia, o crescimento de plântulas de mamoeiro foi estimulado por soluções salinas de até 3200 ppm de NaCl, equivalente à uma condutividade elétrica de  $5 \text{ dS m}^{-1}$  (Kottenmeier, 1983). O estímulo no crescimento não foi nutricional, pois todos os tratamentos receberam solução nutritiva completa. As plântulas mais jovens foram mais sensíveis e o estímulo no crescimento não aconteceu antes da 6ª até 8ª semana de idade. Além disso, o crescimento relativo da parte aérea de plantas que receberam 6400 ppm de NaCl ( $10 \text{ dS m}^{-1}$ ) não diferiram das plantas controle (Kottenmeier, 1983). Neste estudo, entretanto, o período de cultivo com a solução salina e avaliação do crescimento foram de apenas duas semanas. Contrariamente, em um período mais longo, a irrigação do mamoeiro com 550 ppm de NaCl ( $0,8 \text{ dS m}^{-1}$ ) e 1500 ppm NaCl ( $2,3 \text{ dS m}^{-1}$ ) causou a redução de 79% e 73%, respectivamente, no peso seco das plantas em relação ao tratamento controle (Makhija, 1983).

O crescimento de plântulas de mamoeiro foi pouco afetado por uma condutividade elétrica da solução de  $2 \text{ dS m}^{-1}$ , entretanto, foi reduzido cerca de 50% no tratamento com condutividade elétrica de  $4 \text{ dS m}^{-1}$ . As plantas tratadas com soluções de condutividade elétrica de 6 e  $8 \text{ dS m}^{-1}$  morreram antes do término do experimento. A redução no crescimento do mamoeiro causado pela irrigação com

mistura de NaCl e CaCl<sub>2</sub> não diferiu estatisticamente da redução causada pelo tratamento somente de NaCl (Makhija e Jindal, 1983).

A sensibilidade do mamoeiro à salinidade é mais aparente durante a germinação e estágios iniciais do desenvolvimento. A salinidade atrasa a germinação e a emergência de plântulas. Irrigação com águas salinas de condutividade elétrica de 5 dS m<sup>-1</sup> reduziu em 50% o crescimento, quando comparado com a água da chuva, uma vez que água com condutividade elétrica 14 dS m<sup>-1</sup> resultou em completa inibição da germinação (Ritter, 1990). Entretanto, Makhija e Jindal (1983) reportaram um pequeno aumento na germinação, aproximadamente 14% de emergência em relação ao tratamento controle, quando as sementes foram irrigadas com água salina de condutividade elétrica 12 dS m<sup>-1</sup>.

Em plantios comerciais do mamoeiro, os efeitos da salinidade do solo sobre o metabolismo das plantas são principalmente devido à elevação na concentração dos sais associada à aplicação de fertilizantes. Desta maneira, os estudos sobre os efeitos salinos da aplicação em excesso de nutrientes minerais por meio da fertirrigação podem ser mais realísticos do que os efeitos salinos associados à alta concentração de NaCl na região da rizosfera do mamoeiro. Portanto, estudar a salinidade associada à elevada aplicação de fertilizantes pode ser mais representativa do problema de salinidade nas condições de cultivo comercial do mamoeiro no Brasil.

### **2.2.1 Nutrição mineral**

Os estudos realizados com a cultura do mamoeiro para determinar a absorção e a exportação de nutrientes pela colheita demonstraram que o mamoeiro é uma planta que absorve quantidades relativamente altas de nutrientes, e apresenta exigências contínuas durante o primeiro ano, atingindo o máximo aos doze meses de idade. A partir do início de produção, por ter colheitas intermitentes, demonstra 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 (Coelho e Oliveira, 2003).

No Brasil, a maior parte da cultura do mamoeiro encontra-se implantada em solos de baixa fertilidade, principalmente no que se refere aos níveis de fósforo, o que leva à utilização de altas doses de fertilizantes. As faixas de recomendações (compiladas de tabelas de adubações para o mamoeiro nos Estados da Bahia,

Espírito Santo, Minas Gerais, São Paulo e Pernambuco), nos dois primeiros anos de cultivo, e tomados como base os níveis baixos dos nutrientes no solo, são: 180 a 400 g planta<sup>-1</sup> de nitrogênio, 90 a 300 g planta<sup>-1</sup> de fósforo, e 72 a 449 g planta<sup>-1</sup> de potássio. Essas variações nas doses recomendadas estão ligadas não só às diferenças edafoclimáticas, mas também às produtividades esperadas e condições de irrigação. Com o manejo adequado de fatores importantes de produção, como água e nutrientes, espera-se que as produtividades dos cultivos de mamoeiro possam ser aumentadas. Os produtores do Extremo Sul da Bahia e Norte do Espírito Santo vêm obtendo, em cultivos irrigados, produtividades médias de 60 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> com a variedade Sunrise Solo e 80 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> com Formosa (Oliveira et al., 2004).

Para a nutrição mineral, o mamoeiro apresenta três fases de desenvolvimento distintas: i) formação da planta, ii) floração e frutificação e iii) produção. A distribuição percentual de cada nutriente absorvido ao longo do ciclo fenológico do mamoeiro mostra que a demanda em cada fase de desenvolvimento é distinta e crescente, com os maiores percentuais na fase de produção. Dos macronutrientes, o potássio (K), o nitrogênio (N) e o cálcio (Ca) são os mais absorvidos, enquanto o fósforo (P) é o menos extraído. Nos órgãos reprodutivos do mamoeiro, as menores quantidades relativas acumuladas são de magnésio (Mg) e cálcio (Ca), o que representa, respectivamente, taxas de 12,5% e 13,5% dos totais absorvidos. No primeiro ano de cultivo do mamoeiro, apesar da baixa quantidade total de P absorvida, 30% são acumulados nas flores e frutos. O N, K e enxofre (S) apresentam acúmulos nos órgãos reprodutivos na faixa de 24 a 25% dos totais absorvidos (Oliveira et al., 2004).

Dos micronutrientes, o ferro (Fe), manganês (Mn) e boro (B) são os nutrientes mais absorvidos, enquanto o molibdênio (Mo) é o menos absorvido. Apesar de as pequenas quantidades absorvidas, o Mo é, em termos relativos, o mais acumulado nas flores e frutos (36% do total absorvido). Para o B, Cu e Zn, as taxas de acumulação nos órgãos reprodutivos situam-se em torno de 20%. O Mn e Fe, apesar das maiores quantidades absorvidas, no primeiro ano de cultivo, apresentam menores taxas relativas de acumulação (14 e 16%) nas flores e frutos (Oliveira et al., 2004).

No segundo ano de cultivo, o mamoeiro inicia o processo de colheitas contínuas. Os estudos desenvolvidos por Cunha (1980), considerando produtividade média estimada de 49 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, demonstraram que a exportação de macronutrientes, em kg ha<sup>-1</sup>, durante doze meses de colheita, ficou na ordem de 87 de N, 10 de P, 103 de K, 17 de Ca, 10 de Mg e 10 de S. Na colheita,

o potássio é o nutriente mais exportado, em seguida, o nitrogênio. O Ca ocupa o terceiro lugar na exportação pelos frutos. Quantidades similares de P, Mg e S são exportadas pela colheita. Para os micronutrientes, os valores são, em  $\text{g ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ , na ordem de 48 de B, 16 de Cu, 164 de Fe, 90 de Mn, 0,38 de Mo e 68 de Zn. Embora o B ocupe o quarto lugar na exportação pela colheita, a manifestação da deficiência deste micronutriente é comum em plantios onde não são efetuadas adubações com micronutrientes ou adubos orgânicos.

Para se determinar as necessidades de adubação do mamoeiro, é necessário realizar previamente a análise química do solo para o conhecimento dos teores dos nutrientes da área (disponibilidades e deficiências). Para a coleta das amostras de solo, deve-se separar a área em glebas homogêneas, medindo no máximo 10 hectares. Na separação das áreas, deve-se levar em conta a idade das plantas e a variedade cultivada. Em cada talhão a ser amostrado, coletar o solo antes da aração, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, em cerca de 20 pontos tomados ao acaso. Nesta condição, torna-se importante formar uma amostra composta que deverá ser enviada ao laboratório. Após o estabelecimento do plantio, as amostras de solo devem ser retiradas na zona de aplicação dos adubos (Oliveira et al., 2004).

Quando o plantio está estabelecido, além da análise química do solo, é importante a realização da análise de folhas para a confirmação de deficiências e/ou o conhecimento do estado nutricional da planta. O uso da análise foliar, na diagnose do estado nutricional das plantas, baseia-se no fato de existir uma correlação entre a taxa de crescimento ou de produção e o teor de nutrientes nos tecidos. Dessa correlação, são estabelecidos pontos limites dos teores de nutrientes, correspondentes às mudanças na resposta das plantas em termos de produção. Tais teores são considerados “níveis críticos” e delimitam faixas de teores relacionados às deficiências nutricionais, aos níveis adequados ou à toxidez de minerais (Marinho et al., 2002).

A avaliação do estado nutricional do mamoeiro, quando efetuada por meio do limbo ou do pecíolo foliar leva a diagnósticos diferentes quando comparados. Segundo Marinho et al. (2002), a análise do limbo mostrou-se mais efetiva que o pecíolo na avaliação do estado nutricional do mamoeiro, o que diferenciou melhor as variedades em relação a N, P, K e Cl, e não diferiu em relação aos demais nutrientes. Portanto, deve ser utilizada como melhor indicadora do estado nutricional do mamoeiro. A interpretação da análise foliar deve considerar também, a época de

amostragem, uma vez que, alguns períodos, são mais críticos para determinados nutrientes.

### 2.2.2 Irrigação

O manejo racional da irrigação pode proporcionar melhorias na produtividade e na qualidade dos frutos, e pode aumentar o lucro da produção. Tanto o déficit quanto o excesso de água afetam a resposta da planta nos estádios fenológicos, e pode comprometer a qualidade e a produtividade dos frutos. Durante o período inicial de crescimento dos frutos, a deficiência hídrica pode proporcionar redução de tamanho. Durante a maturação, este estresse abiótico atrasa o amadurecimento, altera a coloração e favorece a queima dos frutos pela radiação solar. O excesso hídrico, combinado com temperaturas elevadas, torna a cultura muito susceptível a doenças, tanto na parte aérea quanto nas raízes (Teixeira, 2001).

O mamoeiro é uma cultura exigente em água, mas não tolera excesso. Desta forma, em regiões onde existem veranicos prolongados, a cultura não apresenta rendimentos satisfatórios, tornando obrigatório o uso da irrigação (Silva e Coelho, 2003). Segundo Marler (1994) e Marin et al. (1995), o mamoeiro não suporta encharcamento por mais de 24 horas. Em caso de encharcamento prolongado, ocorre morte das raízes por deficiência de oxigênio ou por aparecimento de doenças causadas por fungos do tipo *Phytophthora sp* (Campostrini e Glenn, 2007). Em regiões com precipitações inferiores a 1500 mm por ano, ou mesmo com precipitações superiores a esta, mas distribuídas irregularmente, faz-se necessário o uso da irrigação suplementar. Em regiões com precipitações inferiores a 1000 mm por ano, o uso da irrigação é fundamental ao cultivo racional e econômico do mamoeiro (Bernardo et al., 1996).

A transpiração da planta é de extrema importância para a estimativa do volume de água a ser aplicado na irrigação. Segundo Reis (2007), nas condições climáticas do norte do Espírito Santo, os valores máximos de transpiração, medidos por meio do fluxo de seiva xilemático de mamoeiros, no inverno, foram de  $3 \text{ L h}^{-1} \text{ m}^{-2}$  de folha (aproximadamente  $15 \text{ L dia}^{-1} \text{ m}^{-2}$  de folha), e no verão,  $1,1 \text{ L h}^{-1} \text{ m}^{-2}$  de folha (aproximadamente  $11 \text{ L dia}^{-1} \text{ m}^{-2}$  de folha). Nesse estudo foram verificados em média, área foliar total de  $4,53 \text{ m}^2$ , e a média total da área do xilema ativo de  $80,48 \text{ cm}^2$ , o

que confere ao mamoeiro um valor de 0,09 m<sup>2</sup> de folha para cada cm<sup>2</sup> de área do xilema ativo.

O mamoeiro é uma planta muito sensível às variações climáticas. São José (1996) mostrou que, no período de verão, no extremo sul da Bahia, são necessários aproximadamente 90 dias da abertura da flor até a colheita do fruto. No período de inverno, o tempo é maior, variando de 140 a 180 dias. O autor informa ainda que, provavelmente, em decorrência de altas temperaturas nos meses mais quentes do ano, nas regiões semi-áridas, tem sido observado elevado percentual de frutos carpelóides, bem como da mancha fisiológica, que segundo o autor pode estar associada à baixa umidade relativa do ar. Segundo Manica (1982), as plantas jovens são tolerantes ao déficit de umidade no solo. Contudo, na fase de florescimento, a ocorrência de uma semana ou mais de déficit hídrico pode causar queda de flores. As plantas adultas, embora sejam mais resistentes ao déficit de umidade, não produzem o máximo nessas condições de limitação de água no sistema radicular (Marinho, 2007).

Awada e Ikeda (1957), estudando a importância da irrigação sobre o crescimento e os tipos de fruto, concluiu que a idade da planta e o nível de umidade do solo são os dois fatores mais importantes que afetam o crescimento do mamoeiro. Os autores, ainda, constataram que um dos efeitos do estresse hídrico nos mamoeiros hermafroditas foi a produção em grande quantidade de flores estéreis. Em estudos sobre a interação da irrigação com a adubação nitrogenada, na cultura do mamoeiro no Havaí, Awada e Ikeda (1957) observaram que o conteúdo de cálcio, boro e sódio no pecíolo aumentou com as doses de irrigação, enquanto o magnésio e o cloro diminuíram a concentração. A máxima produção comercial foi obtida com a aplicação semanal, por gotejamento, de lâmina de água de 129% da água evapotranspirada.

Na cultura do mamoeiro, para se aplicar fertilizantes, pode-se utilizar qualquer método de irrigação pressurizado. A irrigação por gotejamento destaca-se como a mais adequada para aplicação de fertilizantes, por suas características e formas de aplicação de água de maneira pontual, junto à zona de maior concentração radicular das plantas (Coelho et al., 2000). Esse sistema vem sendo usado na cultura do mamoeiro, propiciando melhores condições de crescimento e produção, quando comparado aos sistemas de irrigação por sulco e aspersão (Rungsimanop et al., 1988). A irrigação localizada vem sendo usada em ritmo crescente pelos fruticultores,

por proporcionar maior economia de água e energia, o que incrementa o uso de fertirrigação (Coelho Filho et al., 2007).

### **2.2.3 Fertirrigação**

A fertirrigação é definida como a aplicação de fertilizantes via água de irrigação, e tem como objetivos, aplicar os nutrientes na região da zona radicular das culturas conforme a curva de absorção da planta, e permitir que a concentração na solução do solo seja suficiente para proporcionar a absorção dos nutrientes em quantidade necessária. Para atingir a máxima eficiência, pressupõe uma equilibrada adubação de correção. Essa adubação deve levar em conta os teores dos diferentes nutrientes existentes no solo e elevá-los para valores de concentrações considerados altos e, ao mesmo tempo, ter uma relação catiônica e uma fração da capacidade de troca catiônica (CTC) do solo adequadas (Medeiros e Oliveira, 2007).

De acordo com Coelho (1999), a fertirrigação permite flexibilizar a época de aplicação dos nutrientes, a qual pode ser fracionada conforme a necessidade da cultura nas diversas fases de desenvolvimento, o que pode resultar em máxima eficiência na adubação. Esta máxima eficiência acontece, pois a aplicação de adubos é feita diretamente na zona de maior concentração de raízes, onde, conseqüentemente, o sistema radicular é mais ativo.

Dentre as vantagens da fertirrigação, podem-se citar, as quantidades e concentrações dos nutrientes podem ser adaptadas às necessidades da planta em função de seu estágio fenológico e das condições climáticas; economia de mão-de-obra e redução de atividades de pessoas ou máquinas na área de cultivo, evitando a compactação do solo. A fertirrigação também apresenta desvantagens, como, possibilidade de retorno do fluxo de solução à fonte de água e possibilidade de contaminação do manancial subsuperficial ou subterrâneo, além da salinização do solo. A aplicação de fertilizantes via água de irrigação deve obedecer aos seguintes critérios, uniformidade de distribuição de água do sistema de pelo menos 90%; os nutrientes devem ser completamente solúveis; e os nutrientes aplicados não devem reagir formando precipitados na solução (Coelho e Oliveira, 2003).

A fertirrigação via gotejamento ou microaspersão é a forma que mais se aproxima do ritmo de absorção de água e de nutrientes pela planta. Para que essa seja eficiente, é necessário um equilíbrio entre a quantidade de nutriente e a

quantidade de água a ser aplicada durante cada fase do ciclo da cultura, o que determina a concentração de fertilizantes na água de irrigação. Por sua vez, esta concentração deve ser suficiente para proporcionar a absorção dos nutrientes nas quantidades requeridas pelas plantas sem causar o acúmulo de fertilizantes no solo, o que pode resultar em salinização e, conseqüentemente, na redução da produtividade (Blanco e Folegatti, 2002).

A irrigação por gotejamento possui as melhores condições de proporcionar alto controle e alta uniformidade na aplicação de água e fertilizantes. A alta uniformidade, próxima de 90%, proporciona maior eficiência da fertirrigação, sendo considerada, atualmente, como um dos mais importantes fatores de produtividade para a agricultura. Este tipo de irrigação tem sido citado como o método mais racional para a otimização da adubação (Lopez 1998).

A fertirrigação pode ser usada para qualquer cultura, mas, por ser uma prática relativamente recente, inclusive para o mamoeiro, as recomendações de aplicação de fertirrigação nesta cultura ainda são escassas, face às demandas existentes. Um dos principais pontos para o manejo correto da fertirrigação se refere ao adequado parcelamento dos nutrientes durante o ciclo da cultura, que deve considerar quantidades exigidas pelas plantas e a marcha de absorção dos mesmos ao longo do ciclo. Os estudos básicos desta natureza são importantes, principalmente porque as quantidades absorvidas de nutrientes e, por conseqüência, as suas concentrações em folhas, frutos caules e pecíolos são dependentes de inúmeras variáveis que dificultam as extrapolações de dados, tais como: fertilidade do solo e níveis de adubação (Awada e Ikeda, 1957); fontes de nutrientes (Marinho et al., 2002); manejo de água no pomar, estágio fenológico da cultura e épocas do ano (Almeida et al., 2002; Costa, 1995; Marinho et al., 2002).

Na literatura não são apresentadas informações de marcha de absorção em condições fertirrigadas para a cultura do mamoeiro, o que tem dificultado o parcelamento correto dos fertilizantes pelos produtores, ao longo do cultivo. As aplicações ficam distribuídas sem critérios técnicos bem definidos e têm se baseado muitas vezes em recomendações advindas de pesquisas realizadas com adubação convencional, via sólida (Coelho Filho et al., 2007).

Um dos impactos da fertirrigação mais comumente observado tem sido relacionado à salinização do solo, o que pode ocorrer pela aplicação de fertilizantes em quantidades elevadas, o que reduz o potencial osmótico e eleva a condutividade

elétrica, com conseqüente redução do potencial hídrico do solo. A salinização pode ser agravada com uso de fontes de maior índice salino. Os valores de condutividade elétrica do extrato de saturação acima de  $1,0 \text{ dS m}^{-1}$  podem ser prejudiciais à cultura do mamoeiro (Coelho et al. 2008). Entretanto, a ocorrência da salinização, está relacionada à operação inadequada da fertirrigação, principalmente pelo uso de elevada concentração da solução de injeção. A salinização, se ocorrer, deverá ser corrigida com uso de métodos tais como lavagem do perfil com irrigação excessiva associados à melhoria da infiltração desses perfis (Coelho et al. 2008).

### 2.3 Salinidade

Segundo Epstein e Rains (1987), o termo “salinidade” se refere a numerosas condições, tantas que deveria mais apropriadamente discutir “salinidades” mais que “salinidade”, uma vez que diferentes concentrações de nutrientes alteram o potencial osmótico do solo da forma diferente em relação ao cloreto de sódio, o sal mais abundante do planeta. As concentrações de outros íons podem variar grandemente em diferentes tipos de solo, como o pH e outras características. Os solos “sódicos” têm altas proporções de sódio adsorvido em seu complexo de troca catiônica, e este mineral pode ficar disponível para absorção pelas plantas, sem necessariamente ter altas concentrações de sódio na solução do solo. Adicione a essa, outras possibilidades, como toxicidade de boro e deficiências de outros micronutrientes, bem como a complexidade de solos afetados por sais, torna-se clara (Epstein e Bloom, 2006).

Em plantas, o estresse salino pode ser decorrente do uso de águas salinas e sódicas (com elevadas concentrações de sais e sódio respectivamente), ou do crescimento das plantas em solos salinizados. Esses dois fatores reduzem a qualidade da água para utilização na agricultura, e como conseqüência desse processo, se tem a perda da capacidade produtiva dos solos e enormes prejuízos sócioeconômicos (Lacerda, 2005).

Pela praticidade, a condutividade elétrica é o indicador de qualidade das águas de irrigação mais utilizado, uma vez que pode ser determinada em laboratório ou diretamente no campo por um condutivímetro. Como existe uma estreita relação entre a concentração salina e a condutividade elétrica, a equivalência entre ambos pode ser calculada ou fornecida em tabelas (Ayres e Westcot, 1991). Essa relação pode variar

em função da quantidade de outros sais que não sejam o cloreto de sódio. O rendimento de plantas sensíveis ao estresse salino é reduzido se a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo ( $CE_{es}$ ) ultrapassar o valor de  $4 \text{ dS m}^{-1}$  e, por este motivo, a condutividade elétrica máxima da água de irrigação na saída dos gotejadores deve ser inferior a  $2,3 \text{ dS m}^{-1}$  (Frizzone, 1993). Ao atingir o equilíbrio, a  $CE_{es}$  é aproximadamente igual a 1,5 vezes a condutividade elétrica da água de irrigação (Ayres e Westcot, 1991).

Quanto aos teores e tipos de sais presentes, a água usada na irrigação deve ser monitorada para minimizar o acúmulo destes sais nos solos. Contudo, isto raramente ocorre na prática. Esta água pode complementar os sais do solo com aportes da ordem de  $4 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de sal em  $10.000 \text{ m}^3$  de água aplicada. Segundo Valdivieso et al. (1988), em um período de dez anos, a salinidade na camada superficial do solo pode apresentar elevação de  $1 \text{ dS m}^{-1}$  para valores médios superiores a  $15 \text{ dS m}^{-1}$ .

O processo de salinização dos solos é comum nas regiões áridas e semi-áridas, e se dá pelo acúmulo predominante dos cátions  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e dos ânions  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ . Nessas regiões, o acúmulo de sais nos solos sob irrigação é inevitável, uma vez que os sais não participam do processo de evaporação, ou seja, a água retorna à atmosfera e os sais permanecem no solo (Santos, 1997). Deste modo, os problemas de salinidade podem evoluir com o tempo, quando não se utilizam técnicas apropriadas de manejo da irrigação (Rhoades et al., 2000).

No Brasil, principalmente no Estado de São Paulo, têm-se informações sobre a salinização dos solos em ambiente protegido, devido, provavelmente, ao controle inadequado da lâmina de irrigação, embora a água de irrigação utilizada seja de boa qualidade. Porém, a aplicação de fertilizantes em ambiente protegido é feita via água de irrigação, o que a torna salina, sendo o nível de salinidade da água diretamente proporcional à quantidade de fertilizantes adicionada. Os fertilizantes minerais, por apresentarem, na sua maioria, efeitos osmóticos e salinos, podem comprometer a germinação e o desenvolvimento das plântulas e raízes, principalmente em um ambiente com disponibilidade hídrica deficiente (Blanco e Folegatti, 2002).

O teor de sais na zona radicular varia com a profundidade. Logo após a irrigação, o teor de sais próximo da superfície do solo é aproximadamente igual ao da água de irrigação e muito mais elevado no limite inferior da zona radicular. A concentração de sais aumenta com a profundidade devido ao fato de que a água de

irrigação evapotranspirada pela cultura deixa os sais na zona radicular para serem deslocados por irrigações subseqüentes para sua parte inferior, onde se acumulam até serem lixiviados a maiores profundidades. Assim, o grau de salinidade da parte inferior da zona radicular depende do grau de lixiviação que nela tenha ocorrido (Ayres e Westcot, 1991).

As águas de alta salinidade requerem maior quantidade de água para lixiviar os sais acumulados, aumentando conseqüentemente o risco de nível freático alto, tornando praticamente impossível manter por longo prazo a agricultura irrigada, sem adequado sistema de drenagem. Se a drenagem for suficiente, o controle da salinidade exigirá simplesmente bom manejo para assegurar a água necessária às culturas e a lixiviação dos sais dentro dos limites de tolerância das plantas (Ayres e Westcot, 1991).

Assim como outras propriedades químicas e físicas do solo, a salinidade é uma propriedade bastante variável no espaço (distribuição dos sais no solo) e no tempo, devido à natureza dinâmica do processo e às interações causadas pelos diversos fatores edáficos (permeabilidade dos solos, nível do lençol freático, etc.), climáticos (quantidade e distribuição de chuvas, umidade relativa, temperatura, etc.) e ação do homem (irrigação, práticas culturais, etc.). A aplicação de resultados de pesquisas sobre a tolerância das culturas à salinidade requer conhecimentos a respeito da resposta das plantas à salinidade, em relação ao tempo e à profundidade do solo (Hoffman et al., 1992).

Em geral, o cultivo hidropônico é aquele em que a nutrição das plantas é feita por meio de uma solução aquosa que contém todos os elementos essenciais ao crescimento em quantidades e proporções definidas e isenta de quantidades elevadas de elementos tóxicos. Os cultivos hidropônicos podem ser realizados em soluções nutritivas aeradas, sem qualquer tipo de substrato ou usando substratos quimicamente pouco ativos, como areia, para dar sustentação adequada às plantas (Martinez e Silva-Filho, 2006). Esta técnica permite estudar os efeitos da salinidade, medida por meio da condutividade elétrica da solução de cultivo, no crescimento, na fisiologia e na nutrição mineral de plantas sem a influência do solo.

### 2.3.1 Fisiologia de plantas em resposta à salinidade

Os efeitos da salinidade sobre as plantas são conseqüências de fatores osmóticos e iônicos. O componente osmótico resulta das elevadas concentrações de sais dissolvidos na solução do solo, os quais reduzem o potencial osmótico dessa solução, diminuindo, consecutivamente, a disponibilidade de água para a planta. O aumento da pressão osmótica pode atingir um valor em que as plantas não terão força de sucção suficiente para superar esse potencial e, conseqüentemente, não conseguirão absorver água, mesmo em solo aparentemente úmido, fenômeno conhecido por seca fisiológica (Medeiros e Gheyi, 1997).

Por outro lado, o efeito iônico, refere-se aos íons absorvidos pelas plantas, os quais podem provocar um desequilíbrio iônico e/ou efeitos tóxicos para o metabolismo da planta (Willadino e Câmara, 2004). Os sintomas de toxicidade podem aparecer em qualquer cultura, desde que as concentrações de sais no interior da planta estejam acima de seus níveis de tolerância. Os danos devido à toxicidade podem reduzir significativamente o rendimento das culturas, sendo sua magnitude dependente do tempo, concentração de íons, tolerância das plantas e do uso da água pelas culturas. Freqüentemente, os problemas de toxicidade, acompanham ou potencializam os de salinidade ou de permeabilidade, podendo surgir mesmo quando a salinidade for baixa (Ayres e Westcot, 1991).

Em muitos casos, a concentração de sais não atinge níveis osmóticos ou tóxicos capazes de prejudicar a absorção de água pelas plantas, no entanto, a concentração de íons diversos pode provocar interferências e ser um obstáculo à boa absorção de nutrientes essenciais e, conseqüentemente a um processo metabólico normal (Medeiros e Gheyi, 1997).

O estresse por cloreto de sódio (NaCl) induz uma série de respostas morfológicas, fisiológicas, bioquímicas que dependem de processos moleculares. Essas respostas variam amplamente dependendo do genótipo e da fase fenológica da planta. Enquanto algumas espécies apresentam elevada tolerância à salinidade, outras são altamente susceptíveis. As plantas tolerantes a elevadas concentrações salinas são classificadas como halófitas, as quais requerem, para o crescimento ótimo, elevadas concentrações de eletrólitos (tipicamente  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ ). Algumas halófitas apresentam mecanismos de exclusão de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  que envolvem glândulas secretoras e pêlos vesiculares. As glicófitas, por sua vez, apresentam menor tolerância à salinidade, em sua maioria, apresentam redução no crescimento quando

a salinidade supera 10 mM, ou condutividade elétrica de  $0,8 \text{ dS m}^{-1}$ , enquanto que as halófitas crescem em ambientes nos quais a concentração salina varia de 50 a 500 mM, ou condutividades elétricas de 4,0 e  $8,0 \text{ dS m}^{-1}$  respectivamente (Orcutt e Nilsen, 2000).

Entre as espécies cultivadas, as plantas frutíferas são consideradas muito sensíveis à salinidade do solo. A condutividade elétrica (CE) de  $4 \text{ dS m}^{-1}$  (o que corresponde a 40 mM NaCl ou 0,27% de sal) do extrato de saturação é considerado crítico em pomares. A CE da água de irrigação para frutíferas não deve ultrapassar  $2 \text{ dS m}^{-1}$  (Ebert et al., 1997). Apesar da sensibilidade das plantas frutíferas, existem, entre as espécies, variações significativas de tolerância à salinidade. Segundo Maas (1993), a sensibilidade de plantas frutíferas à salinidade por NaCl pode ser classificada em relação às características de crescimento e injúrias nas folhas como, sensível (efeitos a  $1 \text{ dS m}^{-1}$ ); moderadamente sensível (efeitos a  $3 \text{ dS m}^{-1}$ ); moderadamente tolerante (efeitos a  $6 \text{ dS m}^{-1}$ ); tolerante (efeitos a  $10 \text{ dS m}^{-1}$ ). Os recursos genéticos, assim como métodos de cultivo adaptados são as ferramentas mais promissoras para a sustentabilidade na produção de frutas em áreas afetadas por sais (Ebert et al., 1997).

De maneira geral, o estresse salino restringe o crescimento das plantas e, níveis excessivamente elevados de salinidade causam necrose das células tanto do sistema radicular quanto da parte aérea. A manutenção do estresse a esse conjunto de danos permanente pode resultar na morte da planta. O modelo bifásico de redução do crescimento identifica diminuição do potencial osmótico como primeiro fator de redução do crescimento e, o efeito específico dos íons, como o segundo (Munns, 1993). Na primeira fase, o crescimento da planta é afetado pelos sais que estão no exterior da planta e é regulado por sinalização proveniente da raiz, sobretudo por meio do ácido abscísico. A segunda fase caracteriza-se pela redução no crescimento resultante do acúmulo de sais no interior da planta. A causa desta injúria é função da elevada quantidade de sal absorvida, a qual ultrapassa a capacidade da planta de compartimentalizá-lo no vacúolo. Conseqüentemente, a concentração de sais aumenta no citoplasma e inibe a atividade de enzimas de várias rotas metabólicas (Willadino et al., 1996). Alternativamente à compartimentalização no vacúolo, os sais podem ser transportados para a parede celular o que resulta, por sua vez, na desidratação da célula (Muhling e Lauchli, 2002)

Os solutos compatíveis, acumulados de forma proporcional às variações do potencial osmótico do meio, reduzem o potencial hídrico da planta, garantindo o fluxo contínuo da água no sistema solo-planta-atmosfera. Essa redução no potencial hídrico, ou ajuste osmótico ocorre tanto em halófitas quanto em glicófitas (Hasegawa et al., 2000). O ajuste osmótico ocorre por meio da síntese e acúmulo de solutos orgânicos no citoplasma, lúmen, matriz ou estroma das organelas (Niu et al., 1995; Yeo, 1998), os quais equilibram a pressão osmótica dos íons (tipicamente  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ ) seqüestrados no vacúolo. Esses solutos orgânicos são conhecidos como solutos compatíveis, uma vez que não inibem as reações metabólicas normais. Dentre os solutos compatíveis destacam-se carboidratos, polióis, compostos de amônio quaternário e derivados de aminoácidos (MacCue e Hanson, 1990).

Não existem evidências de adaptação de enzimas a elevadas concentrações de sal. Portanto, os mecanismos de tolerância em nível celular envolvem a manutenção de baixos níveis de sais no citoplasma por meio do seqüestro desses sais para o vacúolo (Munns et al., 2002). A necessidade de deposição dos sais no vacúolo exige consumo energético de bombas de prótons que garantam esta compartimentalização (Hasegawa et al., 2000). Em várias espécies a presença deste mecanismo é evidenciada pelas elevadas concentrações salinas em folhas, as quais mantêm o funcionamento normal destes órgãos quando as concentrações salinas ficam na ordem de 2000 mM, concentração esta que inibe a atividade enzimática *in vitro* (Munns, 1993).

#### 2.3.1.1 Trocas gasosas e eficiência fotoquímica

A fotossíntese e a transpiração são características que respondem rápido ao estresse salino. Sob salinidade, a taxa fotossintética de espécies sensíveis sempre decresce devido ao efeito tóxico dos íons nos cloroplastos, bem como devido à redução do potencial hídrico da solução do solo, redução esta causada diretamente pela presença dos sais. Esta última ação causa uma redução na disponibilidade hídrica na planta. A queda na transpiração pode ser atribuída a um baixo potencial hídrico de plantas estressadas pela salinidade (Ebert et al., 1997).

O fechamento estomático é freqüentemente um efeito inicial da salinidade ou estresse salino. Em trigo, James et al. (2002) mostraram que a diminuição na condutância estomática foi observada na emergência das folhas, mas depois de

algum tempo, houve um declínio adicional, provavelmente causado pelo efeito tóxico, quando as concentrações de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  no tecido foliar aumentaram mais. Chen e Gallie (2004) sugeriram que o estado redox do ascorbato poderia ter uma função importante no funcionamento do estômato, por meio da regulação da concentração de peróxido de hidrogênio como sinalizador no movimento da célula estomática.

Uma importante propriedade da enzima ribulose 1,5 bisfosfato carboxilase oxigenase (rubisco) é a capacidade de catalisar tanto a reação de carboxilação quanto a oxigenação da ribulose 1,5 bisfosfato (RuBP). A oxigenação é a reação primária em um processo conhecido como fotorrespiração. Em condições de estresse hídrico, o fechamento dos estômatos limita a difusão do  $\text{CO}_2$  do meio externo para o mesófilo da folha, ocasionando uma redução da pressão parcial de  $\text{CO}_2$  no interior da folha. Uma das primeiras conseqüências desta redução é o aumento da atividade oxigenase da Rubisco, e conseqüente estímulo da fotorrespiração (Gaudillere, 1982). Devido ao fato de a fotossíntese e a fotorrespiração trabalharem em direções diametralmente opostas, a fotorrespiração resulta em perda de  $\text{CO}_2$  de células que estejam simultaneamente fixando  $\text{CO}_2$  por meio do Ciclo de Calvin (Leegood et al., 1995).

Dionisio-Sese e Tobita, (2000) reportaram que a taxa fotossintética líquida, medida em termos de assimilação de  $\text{CO}_2$ , de folhas jovens completamente expandidas de quatro variedades de arroz, declinou com o aumento do nível de salinidade. Eles sugeriram que isto poderia ser devido a um efeito direto dos sais na resistência estomática via redução de turgor da célula estomática.

Em plantas de arroz, a assimilação fotossintética do carbono, tanto na fase juvenil quanto reprodutiva, diminuiu devido ao estresse salino. Entretanto, as reduções na condutância estomática e na transpiração foram substancialmente maiores. Ao contrário, a concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ), reduziu muito pouco. Em geral, após quatro horas de exposição ao estresse salino, a resposta foi relativamente rápida, com redução em todos os atributos. Entretanto, uma recuperação parcial pôde ser observada após 72 horas da implantação dos tratamentos (condutividades elétricas de 6 e 12  $\text{dS m}^{-1}$ ) nas cultivares tolerantes (Moradi e Ismail, 2007).

O conteúdo de pigmentos fotossintéticos, principalmente as clorofilas, pode ser afetado devido à ação de fatores do ambiente como deficiências minerais, estresse hídrico, poluição industrial, baixas e altas temperaturas (Hendry e Price, 1993). Este

fato mostra que a determinação dos pigmentos fotossintéticos, em plantas, pode ser uma importante ferramenta no diagnóstico de estresse. Em plantas de milho, Khodary (2004) relatou decréscimo significativo na atividade fotossintética e no conteúdo de pigmentos fotossintéticos (clorofila *a* e *b*), e pigmentos acessórios (carotenóides) submetidas ao estresse salino.

Como qualquer outro processo de troca de energia, a conversão de energia luminosa em energia química no processo fotossintético não é perfeita. Nem todos os elétrons que estão em um nível energético elevado (molécula de clorofila excitada) são passados para os aceptores. Esses elétrons retornam ao estado inicial (estado antes das moléculas receberem energia dos fótons), sem a produção de ATP e NADPH<sub>2</sub>. Ao retornar ao estado inicial, a energia é dissipada em forma de calor ou luz (fluorescência). Segundo Bolhar-NordenKampf e Öquist (1993), na temperatura fisiológica, praticamente toda a fluorescência é proveniente das moléculas de clorofilas associadas ao fotossistema II.

A fluorescência da clorofila pode ser utilizada para se obter informações sobre a inibição ou danos na transferência de elétrons. A emissão da fluorescência avalia o funcionamento do fotossistema II, indicando possíveis níveis do estresse. A medição da fluorescência da clorofila *a* é uma técnica rápida, precisa e não-destrutiva para detectar o desequilíbrio energético e metabólico da fotossíntese (Araus et al., 1998). Segundo Bolhar-NordenKampf et al. (1989), o rendimento quântico máximo do fotossistema II pode variar em uma faixa de 0,75 a 0,85 em plantas não submetidas a estresses. Essa relação é altamente correlacionada com o rendimento fotossintético das folhas. A diminuição da relação  $F_v/F_m$  é um excelente indicador de efeito fotoinibitório quando as plantas estão submetidas a qualquer tipo de estresse (Yang et al., 1996). Essa redução em  $F_v/F_m$  pode representar tanto uma regulação fotoprotetora reversível ou uma inativação irreversível do fotossistema II (Long et al., 1994; Araus e Hogan, 1994).

Segundo Krause e Weiss (1991), a medição da fluorescência pode ser considerada como uma medida complementar as medições do processo fotossintético. A emissão da fluorescência mostra o nível da energia de excitação nos complexos pigmentos/proteínas, energia esta que controla a fotossíntese (Scholes e Horton, 1993). Por meio da fluorescência, é possível obter informações detalhadas sobre a estrutura, a distribuição de energia e função do aparato fotossintético, em especial o fotossistema II (Strasser et al., 2000). É uma técnica que

permite, em condições de campo, efetuar o diagnóstico da distribuição da energia no fotossistema II, antes mesmo que os sintomas do dano neste fotossistema sejam externados (Bölhar-Nordenkampf et al., 1989).

Por meio de fluorímetro não-modulado, Strasser e Strasser (1995), têm otimizado as interpretações da cinética rápida da fluorescência ( $F_0= 50$  ms;  $F_j= 2$  ms e  $F_i= 30$  ms), que estão entre os dois extremos da intensidade da fluorescência ( $F_0= 50$   $\mu$ s e  $F_m= 300$  ms). Neste tempo, Strasser et al. (2000) têm usado os valores da fluorescência ( $F_0$ ,  $F_j$  e  $F_i$ ) e têm proposto um teste avaliador denominado JIP-Test. Este teste é baseado na teoria do fluxo de energia em biomembranas, utiliza relações para a obtenção de variáveis que explicam o fluxo de energia através do fotossistema II (Strasser e Strasser, 1995). Por meio de variáveis associadas aos fenômenos biológicos e biofísicos (estruturais e funcionais) do fotossistema II, o JIP-Test é utilizado como um indicador da vitalidade do material vegetal analisado (Strasser et al., 2000). Essa técnica pode ser um método altamente eficiente para medir diferenças entre genótipos e para avaliar os efeitos dos sais e íons e suas interações na planta (Misra et al., 2001).

Em sorgo, Netondo et al. (2004) reportaram que, em condições salinas, o rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), quenching fotoquímico e a taxa de transporte de elétrons decresceram significativamente, mas o quenching não-fotoquímico aumentou substancialmente. Entretanto, entre cultivares de arroz contrastantes na tolerância à salinidade, o rendimento quântico máximo do fotossistema II não foi afetado pelo estresse salino, ao passo que o quenching não-fotoquímico aumentou em cultivares sensíveis com o aumento do estresse salino. A sensibilidade de cereais à salinidade deve estar conseqüentemente associada com a redução na eficiência fotoquímica do fotossistema II e com o aumento no quenching não-fotoquímico para dissipar o excesso de energia (Dionisio-Sese e Tobita, 2000).

Segundo Moradi e Ismail (2007), nenhuma diferença significativa, tanto no estágio vegetativo quanto reprodutivo do arroz, foi observada no rendimento quântico atual da fotossíntese ( $\Phi_{FSII}$ ) devido à salinidade, embora a taxa de transporte de elétrons (ETR) tenha decrescido progressiva e significativamente com o aumento do nível deste estresse. Porém, uma tendência similar e oposta foi também observada com o quenching não-fotoquímico ( $q_N$ ), que aumentou substancialmente de acordo com o aumento no nível de salinidade, o que sugere que mecanismos associados à dissipação da energia, como o ciclo das xantofilas, tenham atuado.

### 2.3.1.2 Fotoinibição

O processo fotossintético se inicia com a utilização da luz solar para efetuar oxidação de moléculas de água. A energia química armazenada na reação de oxidação é processada pela cadeia de transporte de elétrons nos tilacóides dos cloroplastos por uma série de carreadores e, desta maneira, produz o poder redutor (NADPH) e moléculas de alta energia (ATP), os quais serão utilizados nas reações de redução de carbono (Melis, 1999). A luz é capturada pelos complexos coletores de luz que afunilam a energia luminosa para os centros de reação fotoquímica nos fotossistemas I e II (Cruz et al., 2004). Porém, o excesso desta energia pode ter como consequência a redução ou mesmo a inibição da taxa fotossintética líquida.

O aumento excessivo da luz acima da capacidade de utilização pela fotossíntese pode resultar em uma condição de estresse conhecido como fotoinibição. Este processo causa diminuição da eficiência na incorporação do carbono (Barber e Anderson, 1992). Esta energia em excesso, pode resultar em acúmulo de compostos danosos ao metabolismo. Estes compostos (radicais livres) podem destruir os pigmentos nos cloroplastos e membranas lipídicas (Taiz e Zeiger, 2009).

A fotoinibição é uma condição de estresse em que se verifica uma diminuição do rendimento quântico da fotossíntese, e é acompanhada pelas alterações nas atividades do fotossistema II (FSII) (Krause e Weiss, 1991). De acordo com o tempo requerido para reverter mudanças no decréscimo da eficiência fotossintética do FSII, esse fenômeno pode ser crônico ou dinâmico (depressão da fotossíntese do meio-dia). Na fotoinibição, a energia de excitação excessiva é dissipada como calor, resultando em dano de uma proteína específica (D1), que é essencial na manutenção da integridade do centro de reação do fotossistema II, o qual pode ser danificado ou apenas inativado (Osmond, 1994). Assim, o fenômeno conhecido como dinâmico ocorre quando a luz excessiva promove uma queda temporária e reversível na eficiência quântica (energia em excesso é desviada em calor e o FSII é apenas inativado). Neste caso, não há redução na taxa máxima de assimilação de CO<sub>2</sub>. Quando o fenômeno é crônico, ou seja, quando o excesso de luz é alto, este excesso provoca dano à proteína D1 (FSII danificado). E, nesse caso, a planta inicia o processo de reparo e, desse modo, tanto a eficiência quântica quanto a taxa máxima de assimilação de CO<sub>2</sub> decaem. Estes efeitos podem durar semanas e até meses (Taiz e Zeiger, 2009).

O dissipador não-fotoquímico (*quenching não-fotoquímico*,  $q_N$ ) é incrementado em condições fotoinibitórias (Schreiber e Bilger, 1993). O dissipador fotoquímico (*quenching fotoquímico*,  $q_P$ ) está relacionado com a transferência de elétrons do fotossistema II para a redução da Quinona a ( $Q_a$ ) (Baker, 1991) e o  $q_N$  é o mais utilizado entre os dois tipos de dissipadores utilizados na determinação dos efeitos de elevados fluxos de fótons fotossintéticos (FFF) sobre o processo fotoquímico. O *quenching* não-fotoquímico é diretamente proporcional à taxa de dissipação da energia na forma de calor (Osmond, 1994). Segundo este autor, em condições fotoinibitórias os valores do  $q_N$  tornam-se elevados e os valores da relação  $F_v/F_m$  são reduzidos.

O mamoeiro apresenta os estômatos extremamente responsivos à variação no fluxo de fótons fotossintéticos (FFF) e, por ser uma espécie característica de países tropicais, as folhas desta planta estão constantemente submetidas a elevadas flutuações nos valores do FFF (Clemente e Marler, 1996). Este fato revela a grande importância do manejo da fertirrigação da cultura, pois em condição de limitação de água no solo e/ou excesso de nutrientes causando o estresse hídrico, a sensibilidade negativa dos estômatos (fechamento estomático) ao incremento do fluxo de fótons fotossintéticos é ainda maior, ou seja, ocorre o fechamento dos estômatos em maior intensidade, provocando assim uma redução na assimilação fotossintética líquida, o que pode resultar em uma queda da produtividade desta espécie.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização

O experimento foi realizado em casa de vegetação, localizada no campus da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, em Campos dos Goytacazes-RJ, coordenadas geográficas 21° 44' 47" S e 41° 18' 24" W e altitude aproximada de 10 m. A casa de vegetação possui 147 m<sup>2</sup> (7 m de largura e 21 m de comprimento), cobertura em arco com plástico de 150 µm de espessura, com 80% de transmitância da radiação solar, fechada nas laterais com tela anti-afídeo, e orientação leste-oeste. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, isto é, tropical úmido, com verão chuvoso, inverno seco.

#### 3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com esquema fatorial 2 x 5, sendo dois genótipos (Sunrise Golden e o híbrido UENF-Caliman 01), cultivados, sob hidroponia, em vasos de 100 litros com areia lavada e cinco soluções nutritivas (com condutividades elétricas - CE de 1,0, 1,6, 2,2, 2,8 e 3,4 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente) com quatro repetições, totalizando 40 parcelas experimentais, cada parcela correspondeu a uma planta de mamoeiro por vaso.

### 3.3 Plantio dos mamoeiros e tratos culturais

Foram semeadas, no dia 26/03/10, três sementes de mamoeiro em substrato Plantmax Hortaliças<sup>®</sup> em potes com volume de 500 cm<sup>3</sup>, a uma profundidade de 1,5 cm, com rega diária. As sementes germinaram 16 dias após a semeadura.

No dia 12/05/10, ou 30 dias após a emergência, três plântulas foram transplantadas para vasos plásticos de 100 litros (0,4 m de altura e 0,6 m de diâmetro) preenchidos com areia de rio, lavadas com água para a eliminação de impurezas e sais. No momento do transplante, as raízes foram podadas para evitar o enovelamento e lavadas em água para a retirada do substrato.

O controle fitossanitário foi realizado com os fungicidas Score<sup>®</sup>, nos dias 16 e 23/08/10, e Comet<sup>®</sup>, nos dias 21 e 28/09/10, no final de tarde, conforme recomendações para a cultura, de maneira uniforme em todas as parcelas.

### 3.4 Caracterização físico-hídrica do substrato

A composição granulométrica do substrato (areia de rio), apresentada no Quadro 1, foi determinada conforme Embrapa (1997), com pequenas modificações. Para isso, 50 g da amostra foram colocadas em um copo plástico, adicionadas de 10 mL de NaOH 1 mol L<sup>-1</sup> e 100 mL de água e agitadas com bastão de vidro. Após descansar por uma noite, o conteúdo foi transferido para o copo de um agitador “stirrer”, adicionando-se água para elevar o volume a 300 mL. Após 5 minutos sob agitação em alta rotação, a areia foi separada da suspensão por tamisamento em peneira de malha 0,053 mm, transferida para uma placa de petri e levada para secagem em estufa a 105°C. Durante o tamisamento, a suspensão contendo argila e silte foi coletada em proveta de 1 L, cujo volume foi completado com água, sendo submetida ao processo de sedimentação para determinação da fração argila pelo método da pipeta. O silte foi determinado pela diferença entre a amostra original e as demais frações. A areia foi fracionada em um conjunto de peneiras, por agitação manual.

Quadro 1. Composição granulométrica do substrato usado no experimento (areia de rio).

Fração granulométrica	Composição percentual
Areia muito grossa (2 - 1mm)	15,4%
Areia grossa (1 - 0,5 mm)	49,4%
Areia média (0,5 - 0,25 mm)	27,7%
Areia fina (0,25 - 0,1 mm)	7,2%
Areia muito fina (0,1 - 0,05 mm)	0,2%
Silte (0,05 - 0,002 mm)	0,1%
Argila (< 0,002 mm)	0,1%

A densidade das partículas ( $\rho_p$ ) foi determinada pelo método do balão volumétrico com álcool (Embrapa, 1997), obtendo-se o valor de  $2,625 \text{ Mg m}^{-3}$ . A densidade do substrato ( $\rho$ ) foi estimada acondicionando-se o material em cápsulas de alumínio de volume conhecido, obtendo-se o valor de  $1,635 \text{ Mg m}^{-3}$ . A porosidade total (PT) foi determinada a partir dos valores de densidade das partículas e do substrato, aplicando-se a equação  $PT = 1 - \rho/\rho_p$ , obtendo-se o valor de  $0,377 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . Todas as determinações foram feitas em triplicata.

Para caracterizar a condição hídrica do substrato durante o experimento, três vasos foram escolhidos aleatoriamente entre as unidades experimentais. Nesses vasos, um amostrador tipo sonda foi utilizado para a coleta de amostras e determinação da umidade gravimétrica ( $U$ ,  $\text{kg kg}^{-1}$ ) ao longo da profundidade, em camadas de 0,10 m de espessura. Essa coleta foi realizada ao final do experimento, no período da manhã, às 11 horas e 30 minutos, meia hora antes da segunda irrigação diária (ou seja, em um momento que se aproxima da condição de menor umidade a que as plantas estiveram submetidas). A umidade volumétrica ( $\theta$ ,  $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) e a porosidade de aeração (ou porosidade livre de água, PA,  $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) foram determinadas, respectivamente, pelas equações  $\theta = U \rho / \rho_a$  e  $PA = PT - \theta$ , onde  $\rho_a$  é a densidade da água. No Quadro 2 são apresentados os valores médios de umidade gravimétrica, volumétrica e a porosidade de aeração no substrato em profundidade.

Quadro 2. Umidade gravimétrica (U), umidade volumétrica ( $\theta$ ) e porosidade de aeração (PA) do substrato em profundidade (média de três vasos) , em camadas de 0,10 m de espessura.

Camadas (m)	U (kg kg <sup>-1</sup> )	$\theta$ (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	PA (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )
0,0 - 0,1	0,068	0,111	0,267
0,1 - 0,2	0,053	0,086	0,291
0,2 - 0,3	0,085	0,139	0,239
0,3 - 0,4	0,197	0,322	0,055

### 3.5 Condições de cultivo e irrigação

Neste experimento, as condições de cultivo são similares ao cultivo hidropônico com substrato de areia, porém, com soluções nutritivas de níveis crescentes de fertilizantes aplicadas como tratamentos. O sistema de irrigação de precisão, instalado dentro da casa de vegetação, consistiu em duas caixas d'água de polietileno de 1 m<sup>3</sup> como reservatórios, uma bomba hidráulica de 1/4 cv, um filtro e um gotejador por vaso, de vazão 4,6 L h<sup>-1</sup>. A irrigação foi realizada em até três turnos de 20 minutos por dia (1,5 L turno<sup>-1</sup>), em função da tensão de água no substrato medida por meio de sensores.

Como fonte de nutrientes foram utilizados fertilizantes comerciais, uréia, sulfato de potássio (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), sulfato de magnésio heptahidratado (MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O), fosfato monoamônico purificado (MAP), micronutrientes e nitrato de cálcio tetra hidratado (Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O). Assim, essa solução nutritiva foi denominada controle (Quadro 3): A solução controle foi preparada separadamente em A e B para evitar a precipitação de sais, principalmente o fosfato de cálcio, sendo solução A= 0,475 g L<sup>-1</sup> de uréia, 0,236 g L<sup>-1</sup> de MAP, 0,593 g L<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 0,592 g L<sup>-1</sup> de MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O e 0,07 g L<sup>-1</sup> de micronutrientes, e solução B= 1,124 g L<sup>-1</sup> de Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O, ambas apresentando condutividade elétrica aproximada de 1,6 dS m<sup>-1</sup>.

Durante 80 dias após o transplante, de duas a três vezes por dia, e de forma alternada, as plantas foram irrigadas, manualmente, com a solução A e B de

condutividade elétrica de  $1,6 \text{ dS m}^{-1}$  (considerada controle). Nos primeiros 40 dias após o transplante, o volume das soluções aplicado foi de 0,5 L, aplicado de forma alternada totalizando um máximo de 1,5 L por dia. O volume passou para 1 L por aplicação nos 40 dias subsequentes; este volume permaneceu na aplicação dos tratamentos.

Quadro 3: Solução nutritiva, considerada controle (dividida em A e B), aplicada durante 80 dias antes da implementação dos tratamentos (fonte, concentração dos fertilizantes comerciais e condutividades elétricas (CE) das soluções, com pH variando entre 5,5 e 7,0).

	Fertilizantes comerciais (fonte)	Teor (%)	Conc. ( $\text{g L}^{-1}$ )	CE ( $\text{dS m}^{-1}$ )
Solução controle A	Uréia ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ )	45 N	0,475	1,5
	Fosfato monoamônico purificado ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ )	61 P, 12 N	0,236	
	Sulfato de potássio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ )	50 K, 18 S	0,593	
	Sulfato de magnésio ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )	9 Mg, 11 S	0,592	
	Micronutrientes (fórmula comercial)	6 B, 3 Cu, 3 Fe, 4 Mn, 0,1 Mo, 8 S, 6 Zn	0,07	
Solução controle B	Nitrato de cálcio ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )	16 N, 18,5 Ca	1,124	1,6

Uma estação meteorológica (modelo 450, Spectrum Technologies, Inc., Illinois, USA) foi instalada dentro da casa de vegetação para coleta de dados como temperatura, umidade relativa do ar e radiação solar. O déficit de pressão de vapor do ar foi calculado segundo equação proposta por Jones (1992) (Figura 1). Durante o período de avaliação, a tensão de água no substrato (areia) foi monitorada por sensores, modelo 6450 WD (Watermark Soil Mixture Sensor, USA), assim como sensores de temperatura, ambos instalados a 20 cm de profundidade. Os sensores

foram acoplados a um coletor de dados modelo Watchdog 200 (Spectrum Technologies, Inc., Illinois, USA) e as informações foram tomadas ao longo do dia, por todo o período, com intervalos de uma hora.

### **3.6 Implementação dos tratamentos**

Após o período de 80 dias de cultivo com a solução controle, e aos 113 dias após a emergência, no dia 05/08/10, foi feito o desbaste, onde foram retiradas duas plantas e deixando apenas uma planta mais vigorosa de mamoeiro por vaso. Antes de iniciar os tratamentos foram realizadas aplicações de água, por três dias consecutivos, para a lavagem do substrato (areia).

A partir da solução considerada controle (solução 2) foram determinados os tratamentos: o tratamento 1 com decréscimo de 50% da concentração dos fertilizantes em relação à solução controle; solução controle como tratamento 2; tratamento 3 com acréscimo de 50%; o tratamento 4 com acréscimo de 100 % e o tratamento 5 com acréscimo de 150% dos fertilizantes em relação à solução controle. A salinidade promovida por níveis crescentes de fertilizantes foi medida pela condutividade elétrica (CE) das soluções nutritivas, esta foi determinada em amostras com um condutivímetro digital, com leituras autocompensadas para temperatura de 25°C. As condutividades elétricas obtidas para os cinco tratamentos foram, 1,0, 1,6, 2,2, 2,8 e 3,4 dS m<sup>-1</sup> respectivamente (Quadro 4).

A solução controle (tratamento 2) foi determinada em função das concentrações de fertilizantes comerciais aplicados, por hectare, na fertirrigação de mamoeiros a partir dos três meses de idade pela Caliman Agrícola S/A.

Quadro 4. Soluções nutritivas (tratamentos) que foram aplicadas durante 75 dias (fonte, concentração dos fertilizantes comerciais e condutividades elétricas - CE - das soluções preparadas em 100 L de água, com pH variando entre 5,5 e 7,0).

Fertilizantes comerciais (g)		Trat.1 (- 50%)	Trat.2 (Controle)	Trat.3 (+50%)	Trat.4 (+100%)	Trat.5 (+150%)
Solução A	Uréia	23,7	47,5	71,3	95,1	118,8
	MAP Purificado	11,8	23,6	35,4	47,3	59,1
	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	29,6	59,3	88,9	118,6	148,3
	MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	29,6	59,2	88,8	118,4	148
	Micronutrientes	3,5	7,0	10,5	14	17,5
	CE (dS m <sup>-1</sup> )	1,0	1,6	2,2	2,8	3,4
Solução B	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	56,2	112,4	168,6	224,8	281
	CE (dS m <sup>-1</sup> )	1,0	1,5	2,0	2,6	3,2

Os tratamentos foram iniciados aos 96 dias após o transplante das mudas de mamoeiro, ou 126 dias após a emergência. O volume aplicado, de forma alternada, foi de 1 L, totalizando no máximo 3 litros por dia (até três irrigações). O volume das soluções nutritivas chegou a 2 L por turno, a partir dos 45 dias de aplicação dos tratamentos, com no máximo três turnos diários. Ao longo do experimento, o volume de água aplicado pelo sistema de irrigação por gotejamento, variou de 4,6 a 9,2 litros diários, em três turnos de irrigação, em função da demanda evapotranspiratória monitorada por meio dos sensores de tensão de água instalados no substrato (areia).



Figura 1. Plantas de mamoeiro (*Carica papaya* L.) Sunrise Golden e UENF-Caliman 01, logo após o desbaste (05/08/2010), com sistema de irrigação de precisão e detalhe do gotejador à direita, UENF, Campos dos Goytacazes, RJ.



Figura 2. Visão geral do experimento aos 75 dias após início dos tratamentos (27/10/2010), UENF, Campos dos Goytacazes, RJ.

## **3.7 Características avaliadas**

### **3.7.1 Análises biométricas**

As medições das variáveis biométricas, ou de crescimento, foram realizadas com intervalo de 15 dias após início dos tratamentos, dos 126 até os 201 dias após emergência.

#### **3.7.1.1 Altura da planta de mamoeiro (AM)**

A altura da planta de mamoeiro foi determinada a partir do coleto até a folha recém-lançada no tufo apical, por meio de uma trena.

#### **3.7.1.2 Diâmetro do caule (DC)**

O diâmetro do caule foi determinado a um centímetro acima do coleto por meio de um paquímetro digital Starret® modelo 2001.

#### **3.7.1.3 Número de folhas (NF), folhas mortas (NFM), botões florais (NBF) e frutos (FRU)**

O número de folhas, folhas mortas, botões florais e frutos foram determinados pela contagem desses órgãos. As folhas consideradas mortas ou não-funcionais apresentavam clorose total e ausência de turgescência, estas foram contadas e destacadas da planta.

#### **3.7.1.4 Comprimento da nervura central (CNC)**

O comprimento da nervura central da primeira folha (folha número um contada a partir do ápice), recém-lançada no meristema apical, foi obtido semanalmente, por meio de régua milimetrada, ao longo de seu ciclo, ou seja, da emergência até a senescência.

### 3.7.1.5 Área foliar total (AFT)

A área foliar total da planta de mamoeiro, aos 75 dias após início dos tratamentos (ou 201 dias após emergência), foi estimada por meio de método não destrutivo, de acordo com a seguinte equação proposta por Posse et al. (2009).

$$\text{AFT} = [-89,6623 + (5,0328 \times \text{NF}) + (4,9998 \times \text{NF} \times \text{CNC2}) - (7,5120 \times \text{CNC2})]^{1,2607} \times 10^{-4} \quad (1)$$

Onde AFT= área foliar total da planta de mamoeiro, NF= o número de folhas da planta e CNC2= a média do comprimento da nervura central de duas folhas completamente expandidas (maduras) da base da planta.

### 3.7.1.6 Massa foliar específica (MFE)

Aos 75 dias após início dos tratamentos (ou 201 dias após emergência), a área de uma folha com uma flor recém-aberta (5ª, 6ª ou 7ª folha contada a partir do ápice) foi determinada utilizando um medidor de área foliar de bancada modelo LI-3100 (LI-COR, Lincoln, NE, USA). A massa seca foi obtida após a permanência desta em estufa a 70°C por 48 horas. A massa foliar específica (MFE) foi obtida pela razão entre massa seca e área da folha.

## 3.7.2 Análises fisiológicas

### 3.7.2.1 Taxa fotossintética líquida (A), condutância estomática ( $g_s$ ), transpiração (E) e déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar ( $DPV_{\text{folha-ar}}$ ).

A taxa fotossintética líquida, condutância estomática, transpiração e o déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar foram determinados em folhas desenvolvidas (4ª, 5ª ou 6ª folha contada a partir do ápice), entre 8 e 10 horas da manhã (luz artificial em torno de  $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) por meio de Sistema Portátil de Medição de Trocas Gasosas por Infravermelho (IRGA), modelo LI-6200 (LI-COR, Lincoln, NE, USA). As medições foram realizadas antes da aplicação dos tratamentos, 30, 60 e 75 dias após aplicação dos tratamentos, totalizando quatro dias de avaliações. Foi utilizada uma câmara com 250 mL de volume e área de  $7,5 \text{ cm}^2$ . Durante as medições, a concentração inicial do  $\text{CO}_2$  na câmara foi mantida em  $380 \pm 30 \mu\text{mol mol}^{-1}$ .

### 3.7.2.2 Curva de luz da fotossíntese

Foram traçadas curvas de luz (A- assimilação fotossintética do carbono *versus* FFF- fluxo de fótons fotossintéticos), por meio do Sistema Portátil de Medição de Trocas Gasosas por Infravermelho (IRGA), modelo LI-6400 (LI-COR, Lincoln, NE, USA). As medições foram determinadas em folhas desenvolvidas (4<sup>a</sup>, 5<sup>a</sup> ou 6<sup>a</sup> folha contada a partir do ápice) entre 8 e 10 horas da manhã. As medições foram realizadas aos 15, 45 e 75 dias de aplicação dos tratamentos, totalizando três dias de avaliações. Para o traçado desta curva, foram escolhidas cinco intensidades luminosas (0, 500, 1000, 1500, e 2000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), a área da folha exposta à luz foi de 9  $\text{cm}^2$  e o tempo foi de aproximadamente um minuto para cada intensidade luminosa.

### 3.7.2.3 Estimativa da fotorrespiração

Para determinação da respiração mitocondrial ( $R_{dm}$ ), as variáveis de trocas gasosas na ausência de luz foram obtidas antes da aplicação dos tratamentos e aos 30, 60 e 75 dias de aplicação dos tratamentos, entre 3 e 5 horas da manhã, por meio de Sistema Portátil de Medição de Trocas Gasosas por Infravermelho (IRGA), modelo LI-6200 (LI-COR, Lincoln, NE, USA), totalizando quatro avaliações. A taxa total do transporte de elétrons no fotossistema II destinada para a fotossíntese e fotorrespiração ( $J_t$ ) foi calculada de acordo com Long e Bernacchi (2003) pela seguinte equação:

$$J_t = \Phi_e \times \text{PAR} \quad (2)$$

Em que  $\Phi_e$  representa o rendimento quântico máximo do fluxo de elétrons linear através do fotossistema II, obtido a partir da inclinação inicial da resposta à curva de luz (ETR/PAR) com nove níveis de irradiância (0 a 1500  $\mu\text{mol fótons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (Rascher et al., 2000), esta curva foi obtida entre 8 e 10 horas da manhã, com auxílio do fluorímetro modulado portátil Mini-PAM (Heinz Walz, Effeltrich, Germany). Em que ETR representa a taxa de transporte de elétrons e PAR representa a radiação fotossinteticamente ativa para a obtenção da curva. Usando a equação de Valentini et al. (1995), a partição de elétrons para a fotossíntese ( $J_c$ ) e para a fotorrespiração ( $J_o$ ), pode ser determinada como:

$$J_t = J_c + J_o \quad (3)$$

A partir disso, foi estimada a taxa fotorrespiratória ( $R_L$ ), pela equação:

$$R_L = ((J_t - 4(A + R_{dm}))/12) \quad (4)$$

Em que  $R_{dm}$  e  $R_L$  representam o  $CO_2$  liberado pela respiração mitocondrial e fotorrespiração respectivamente.  $A$  representa a taxa de assimilação fotossintética líquida. Assumindo-se que quatro elétrons são necessários para fixar uma molécula de  $CO_2$  via fotossíntese e oito elétrons para liberar uma molécula de  $CO_2$  via fotorrespiração, têm-se então:

$$J_c = 4 \times (A + R_{dm} + R_L) \quad (5)$$

$$J_o = 8 \times R_L \quad (6)$$

#### 3.7.2.4 Fluorescência da clorofila *a*

As variáveis de fluorescência da clorofila *a* foram obtidas entre 5 e 10 horas da manhã, a partir do fluorímetro modulado portátil Mini-PAM, na mesma área da folha que foram realizadas as medições das trocas gasosas. As folhas foram adaptadas ao escuro por 30 minutos para que os centros de reações estivessem completamente abertos (todos os aceptores primários oxidados) com perda mínima de calor. As variáveis da fase rápida de indução da fluorescência como fluorescência mínima ( $F_0$ ) foi obtida com a excitação da área amostrada por uma luz vermelha modulada de baixa intensidade ( $0,03 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), e a fluorescência máxima ( $F_m$ ) obtida pela aplicação de um pulso de 0,8 s de luz actínica saturante ( $>6000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). A fluorescência variável ( $F_v$ ) foi determinada pela diferença entre  $F_0$  e  $F_m$ . Com os valores de  $F_v$  e  $F_m$  foi obtido o rendimento quântico potencial do fotossistema de acordo com Genty et al. (1989). O  $F_v/F_m$  foi obtido aos 0, 15, 30, 45, 60 e 75 dias de aplicação dos tratamentos.

$$F_v/F_m = (F_m - F_0) / F_m \quad (7)$$

As variáveis da fase lenta de indução da fluorescência (“variáveis de claro”) foram obtidas aos 0, 30, 60 e 75 dias de aplicação dos tratamentos, com a aplicação de uma iluminação actínica ( $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) por 30 s. Após esse tempo, foi aplicado um pulso de luz actínica saturante ( $>6000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) de 0,8 s, para a

determinação das variáveis, fluorescência em amostra adaptada à luz antes do pulso de saturação (F) e fluorescência máxima em amostra adaptada à luz ( $F_m'$ ).

O rendimento quântico efetivo do fluxo linear de elétrons no FSII (Y(II)), rendimento quântico da dissipação regulada de energia não-fotoquímica no FSII Y(NPQ) e o rendimento quântico da dissipação não-regulada de energia não-fotoquímica no fotossistema II Y(NO) foram calculados de acordo com Genty et al., (1989) e Hendrickson et al., (2004) pelas seguintes equações:

$$Y(II) = (F_m' - F) / F_m' \quad (8)$$

$$Y(NPQ) = (F / F_m') - (F / F_m) \quad (9)$$

$$Y(NO) = F / F_m \quad (10)$$

Em princípio, o rendimento quântico efetivo pode variar entre 0 e 1. Como exemplo, o valor de Y(II) = 0,5 mostra que a metade da energia absorvida pelos fótons foi utilizada na separação de cargas nos centros de reação do fotossistema II. Os maiores valores desta variável mostram maior atividade do fotossistema II.

A variável Y(NPQ) está relacionada com mecanismos de proteção associados ao excesso de energia luminosa. Ou seja, elevados valores de Y(NPQ) indicam que em fluxo de fótons fotossintéticos excessivos, a folha amostrada apresenta mecanismos para se proteger do excesso de energia luminosa, e esta dissipação é na forma de calor. Caso a folha não consiga ter a capacidade de dissipar esta energia com eficiência (ou seja, apresentar baixo valor Y(NPQ)), poderá ocorrer a formação de oxigênio na forma de singleto e a formação de radicais livres, que poderão causar significativos danos à folha amostrada.

A variável Y(NO) também está associada ao quenching não-fotoquímico e regula o mecanismo de proteção da folha ao excesso de energia luminosa. Os elevados valores de Y(NO) indicam que a conversão da energia química e os mecanismos regulatórios de proteção ao excesso de energia luminosa estão ineficientes. Estes valores elevados de Y(NO) são indicativos de que a planta apresenta comprometimentos para escapar de um possível excesso de energia luminosa.

Desta forma, a soma dos processos de dissipação de energia absorvida pelo fotossistema II tem soma igual a 1, de acordo com as Equações 8, 9 e 10.

$$Y(II) + Y(NPQ) + Y(NO) = 1 \quad (11)$$

Ainda, o  $Y(II)$  (Equação 8) foi utilizado para estimar a taxa de transporte de elétrons no FSII (ETR) de acordo com Bilger et al., (1995) pela equação:

$$ETR=Y(II) \times PAR \times 0,5 \times 0,84 \quad (12)$$

Onde PAR é o fluxo de fótons fotossinteticamente ativos ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) incidente sobre a folha; 0,5 é o valor correspondente à fração da energia de excitação distribuída para o FSII (Laisk e Loreto, 1996); e 0,84 é o valor correspondente à fração de luz incidente que é absorvida pelas folhas (Ehleringer, 1981).

### 3.7.2.5 Variáveis do JIP-test

As variáveis da fluorescência emitida pela clorofila *a* foram determinadas na mesma folha em que foram medidas as trocas gasosas (4<sup>a</sup>, 5<sup>a</sup> ou 6<sup>a</sup> folha contada a partir do ápice), por meio de um fluorímetro de luz não modulada modelo PEA (Plant Efficiency Analyser, Hansatech Ltd., King's Lynn, Norfolk, UK). As medidas foram feitas às 8 e 12 horas aos 0, 30 e 75 dias de aplicação dos tratamentos. As folhas dos mamoeiros foram adaptadas ao escuro por 30 minutos com o auxílio de pinças, após este período, a indução da fluorescência foi feita por um pulso de luz vermelha (650 nm) e intensidades de 0 a 3500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , por meio de seis LEDs (*Light Emitting Diodes*), localizados na sonda do aparelho.

O JIP-test é um teste o qual utiliza variáveis propostas por Strasser *et al.* (1999), e fornece informações sobre a estrutura e função do fotossistema II. Com os cinco níveis de fluorescência obtidos no primeiro segundo,  $F_1$  ( $t=50\mu\text{s}$ ),  $F_2$  ( $t=100\mu\text{s}$ ),  $F_3$  ( $t=300\mu\text{s}$ ),  $F_4$  ( $t=2\text{ms}$ ) e  $F_5$  ( $t=30\text{ms}$ ), várias expressões foram determinadas para o modelo da área de seção transversal da amostra: a área sob a curva da fluorescência que estima o tamanho do 'pool' de plastoquinona do fotossistema II (FSII), o número total de fótons absorvidos por moléculas antenas ativas e inativas dos centros de reação do FSII por seção transversal da amostra ( $ABS/CS_0$ ), máxima taxa de captura de excitação que irá reduzir quinona a por seção transversal da amostra ( $TR/CS_0$ ), transporte de elétrons no FSII por seção transversal da amostra ( $ET/CS_0$ ), concentração de centros de reação ativos por seção transversal

da amostra ( $RC/CS_0$ ), dissipação de energia na forma de calor e fluorescência por unidade de seção transversal da amostra ( $DI_0/CS_0$ ).

As variáveis para o modelo 'pipeline' de membrana são, energia absorvida por unidade de centro de reação ( $ABS/RC$ ), quantidade de energia capturada (que reduziu  $Q_a$ ) por unidade de centro de reação ( $TR_0/RC$ ), máximo transporte de elétrons por centro de reação ( $ET_0/RC$ ), razão de dissipação total de energia de excitação não-capturada dos centros de reação RCs relacionado ao número de RCs ativos ( $DI_0/RC$ ). Estes são denominados por Strasser e Strasser (1995) como índices de vitalidade que representam, por meio de modelos matemáticos, o fluxo de energia em membranas biológicas e o desempenho do processo fotoquímico da fotossíntese

### 3.7.2.6 Índice fotossintético ("Performance index")

A vitalidade da planta pode ser caracterizada pelo índice fotossintético ou performance index (PI). Esse parâmetro, obtido por meio do fluorímetro Pocket-PEA, integra três outras variáveis independentes como a densidade de centros de reação ativos (RCs), a eficiência do elétron a ser capturado pela Quinona a ( $Q_a$ ) na cadeia transportadora de elétrons e a probabilidade de um fóton absorvido ser capturado pelos centros de reação ativos (RCs) (Equação 13). A variável PI reflete a atividade dos fotossistemas I e II, e fornece uma informação quantitativa sobre o estado atual da atividade fotoquímica da folha sobre condições de estresse (Strasser et al. 2000). As medições foram realizadas aos 0, 15, 30, 45, 60 e 75 dias de aplicação dos tratamentos.

$$PI = 1 - (F_0/F_m) / (M_0 / V_J) \times (F_m - F_0) / F_0 \times (1 - V_J) / V_J \quad (13)$$

Onde:  $F_0$  é a fluorescência a 50  $\mu s$ ,  $F_J$  é a fluorescência no tempo J (2 ms),  $F_m$  representa a fluorescência máxima,  $V_J$  é a variável da fluorescência relativa à 2 ms calculada como  $V_J = (F_J - F_0) / (F_m - F_0)$ ,  $M_0$  representa a inclinação inicial da curva referente à cinética da fluorescência, que pode ser derivada da equação:  $M_0 = 4 \times (F_{300\mu s} - F_0) / (F_m - F_0)$

### 3.7.2.7 Intensidade de cor verde das folhas

A intensidade de verde das folhas do mamoeiro (IVF) foi estimada por meio do Medidor Portátil de Clorofila, modelo SPAD-502 "Soil Plant Analyser Development"

(Minolta, Japão), os valores médios foram obtidos com cinco repetições a cada 15 dias, nas mesmas folhas e logo após a medição da fluorescência.

### **3.7.3 Termografia por infravermelho**

As imagens termais, ou termográficas, com escalas de temperaturas indicadas por gradientes, foram obtidas com intervalos de 15 dias após início dos tratamentos por meio de termógrafo modelo FLIR i50 (FLIR Systems AB, Sweden) e analisadas por meio do software FLIR QuickReport, versão 1.2. As medidas foram feitas aproximando o equipamento a uma distância de 20 cm da folha amostrada (4<sup>a</sup>, 5<sup>a</sup> ou 6<sup>a</sup> folha totalmente expandida). O horário das medições foi entre 11 e 12:00 horas. A termografia é uma técnica que permite a visualização de diferentes temperaturas na superfície da folha de plantas por meio da detecção da radiação infravermelha emitida (infravermelho longo 8-14  $\mu\text{m}$ ). A temperatura foliar pode variar por ação dos fatores ambientais como radiação solar e pela transpiração (Nobel, 1991).

### **3.7.4 Análises nutricionais**

Foram retiradas amostras foliares em duas épocas, no início dos tratamentos (tempo 0) e aos 75 DAIT (tempo 75). Para análise de nutrientes foi coletada a folha recém-madura, caracterizada por apresentar uma flor recém-aberta em sua axila ou a folha de mesma idade (ou de mesmo número contado a partir do ápice) em plantas que não apresentaram flores. A coleta das folhas foi efetuada entre 9 e 10 horas da manhã. Imediatamente após o corte, as folhas foram separadas em limbo e pecíolo, secas em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 70°C por 48 horas e trituradas em moinho (tipo Wiley) com peneira de 20 “mesh”. A matéria seca do limbo foliar, assim obtida, foi submetida às análises químicas. As análises de P, K, Ca, Mg e S foram realizadas de acordo com metodologias descritas por Malavolta et al. (1997) e Jones Jr. et al. (1991). O N foi determinado pelo método de Nessler (Jackson, 1965), após digestão da matéria seca com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  e  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

### **3.8 Análise de resultados**

Os efeitos das condutividades elétricas das soluções nutritivas sobre a biometria, a fisiologia e a nutrição mineral dos mamoeiros ao longo do tempo foram analisados por meio do programa estatístico SAEG 9.0. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste Tukey para a obtenção da diferença mínima significativa a 5% de probabilidade. Os efeitos dos níveis de salinidade e dos períodos (dias após o início dos tratamentos) foram avaliados por meio de modelos de regressão, linear ou quadrático, ajustados na planilha eletrônica Excel 2007.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Condições de cultivo

Os dados meteorológicos obtidos pela estação instalada dentro da casa de vegetação são apresentados na Figura 3. O experimento que foi semeado no outono, se desenvolveu com temperaturas variando entre 14°C e 35°C ao longo do dia, e com umidade relativa do ar variando em torno de 80%, ao longo do tempo. A partir do inverno, a umidade relativa do ar diminuiu para valores em torno de 70%. Os tratamentos foram aplicados durante a primavera, com as temperaturas médias aumentando e temperaturas máximas chegando a 40°C às 12 horas. O fluxo máximo de fótons fotossintéticos aumentou ao longo do experimento de 600  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  no outono até valores máximos de 800  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , em média, na primavera. O déficit de pressão de vapor do ar também aumentou com as mudanças das estações, no outono ficou entre 0,9 KPa e na primavera subiu para valores em torno de 1 KPa em média.

Os valores de tensão de água no substrato (areia) foram mantidos em até  $10 \pm 5$  KPa em todas as parcelas experimentais (dados não-apresentados). Não foi evidenciada a salinização do substrato, fato constatado por meio da condutividade elétrica da solução drenada, que apresentou CE igual à da solução aplicada. A temperatura do substrato, medida por meio de termopares, instalados a 20 cm de profundidade, não diferiu da temperatura do ar média obtida pela estação meteorológica localizada na casa de vegetação (Figura 3).

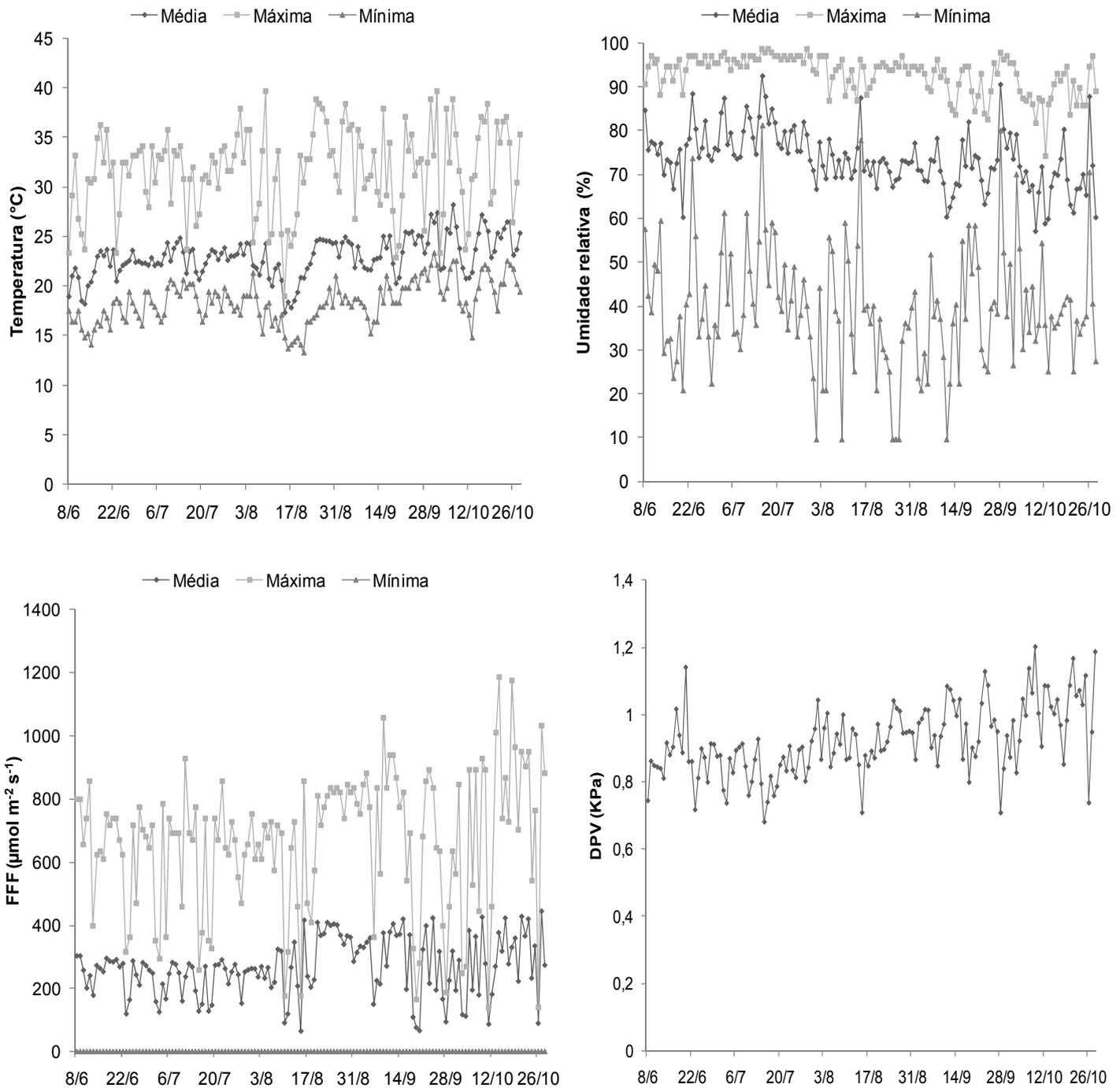


Figura 3. Temperatura, umidade relativa do ar, fluxo de fótons fotossintéticos (FFF) máximo, médio e mínimo e déficit de pressão de vapor do ar (DPV) dentro da casa-de-vegetação. Os pontos das curvas representam a média diária ao longo do tempo, UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, 2010.

## 4.2 Análise biométrica

Na Tabela 1 são apresentados os valores de F obtidos na análise de variância das variáveis biométricas, bem como a indicação do nível de significância e o coeficiente de variação. Os genótipos Sunrise Golden e o híbrido UENF-Caliman apresentaram diferenças significativas em todas as variáveis biométricas avaliadas independente do período e da condutividade elétrica. O híbrido UENF-Caliman apresentou maior área foliar, massa foliar específica e altura de planta. Este fato evidencia as diferenças entre os mamoeiros dos grupos Solo e Formosa, relacionadas à partição de fotoassimilados, bem como possíveis diferenças na conversão de energia luminosa em produtos a serem utilizados para construção de biomassa.

Tabela 1. Valores de F, níveis de significância e coeficientes de variação (CV) para as variáveis biométricas: altura do mamoeiro (AM), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), comprimento da nervura central (CNC), intensidade de verde das folhas (IVF), número de folhas mortas (NFM), número de botões florais (NBF) e número de frutos (FRU) em mamoeiros submetidos à fertirrigação com diferentes condutividades elétricas da solução de cultivo.

Fonte de variação	AM	DC	NF	CNC	IVF	NFM	NBF	FRU
Bloco	65,70**	50,98**	4,68**	14,59**	1,70 <sup>ns</sup>	3,84*	17,64**	3,51*
Genótipo	144,81**	279,87**	6,36*	82,42**	604,81**	4,85*	292,16**	20,31**
Condutividade elétrica	11,49**	19,60**	6,49**	1,46 <sup>ns</sup>	4,08**	1,20 <sup>ns</sup>	2,61*	1,95 <sup>ns</sup>
Época	248,65**	276,35**	58,77**	248,39**	18,17**	40,99**	58,97**	13,41**
CE*Genótipo	1,31 <sup>ns</sup>	2,33 <sup>ns</sup>	2,60*	2,29 <sup>ns</sup>	1,05 <sup>ns</sup>	1,79 <sup>ns</sup>	2,81*	2,05 <sup>ns</sup>
Genótipo*Época	0,61 <sup>ns</sup>	2,58*	1,01 <sup>ns</sup>	11,16**	4,52**	0,64 <sup>ns</sup>	35,92**	12,36**
CE*Época	1,09 <sup>ns</sup>	2,07**	1,12 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>	1,17 <sup>ns</sup>	2,51**	0,63 <sup>ns</sup>	0,91 <sup>ns</sup>
CE*Gen*Época	0,08 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>	1,34 <sup>ns</sup>	1,06 <sup>ns</sup>	1,05 <sup>ns</sup>	0,86 <sup>ns</sup>	0,95 <sup>ns</sup>
CV (%)	12,56	14,11	15,49	27,54	6,02	81,14	76,16	332,66

Obs.: Os níveis de significância são indicados por: \* = P<0,05; \*\* = P<0,01 e ns = não significativo.

Em resposta à salinidade promovida pelas soluções nutritivas, a altura dos mamoeiros (AM) foi maior na condutividade elétrica  $2,8 \text{ dS m}^{-1}$ , com valor médio de  $0,78 \text{ m}$ . O modelo ajustado mostra que a altura variou cerca de  $0,1 \text{ m}$  entre as soluções nutritivas de condutividade elétrica  $1,0$  e  $2,8 \text{ dS m}^{-1}$ , e a partir de  $2,8 \text{ dS m}^{-1}$ , houve o decréscimo nesta variável a medida que se incrementou a concentração de nutrientes (Figura 4A).

A intensidade de verde das folhas do mamoeiro (IVF), medida pelo medidor portátil de clorofilas, aumentou proporcionalmente em função das soluções nutritivas com maiores concentrações de nutrientes. Esse comportamento é devido principalmente ao nitrogênio, que é o componente principal das clorofilas. Segundo Castro (2005), em plantas com 90 e 100 dias após a emergência, a variável IVF se mostrou eficiente na avaliação do teor de clorofilas totais, do nitrogênio orgânico e do processo fotossintético em folhas de mamoeiros (Figura 4B). Esta resposta pode mostrar que nas condições experimentais deste estudo, os maiores valores de condutividade elétrica promovidos pela aplicação dos nutrientes minerais não causaram danos na concentração de clorofilas.

A folha do híbrido UENF-Caliman amostrada apresentou uma coloração mais verde do que a folha do mamoeiro Sunrise Golden. Aos 75 DAIT, o valor adimensional médio mostrado pelo medidor portátil de clorofilas (IVF) foi de 58 para as folhas do UENF-Caliman, enquanto que a medida realizada no Golden apresentou valor 44 (dados não mostrados). De fato, Torres-Netto et al. (2009), mostraram que este híbrido do grupo Formosa apresenta maior intensidade de cor verde, quando comparado ao genótipo Sunrise Golden. Segundo Torres-Netto (2005) e Castro (2005), os valores da IFV medidos por meio do medidor portátil de clorofila mostram uma relação direta e positiva com a concentração de clorofila nas folhas do mamoeiro. Essa menor IVF é característica deste genótipo, por isso o nome Golden, de "dourado" ou menos verde. Segundo Hoel e Solhaug (1998), o valor do medidor portátil de clorofilas pode ser considerado um índice avaliador de senescência foliar, quando se seleciona genótipos de milho com elevada longevidade foliar. Neste experimento, foi observado que o genótipo Sunrise Golden apresentou uma menor longevidade foliar (maior taxa de senescência foliar), uma vez que, em comparação ao híbrido, os valores da IVF diminuíram precocemente a partir dos 30 DAIT. Para o híbrido UENF-Caliman, esta taxa de decréscimo da IVF se mostrou mais reduzida.

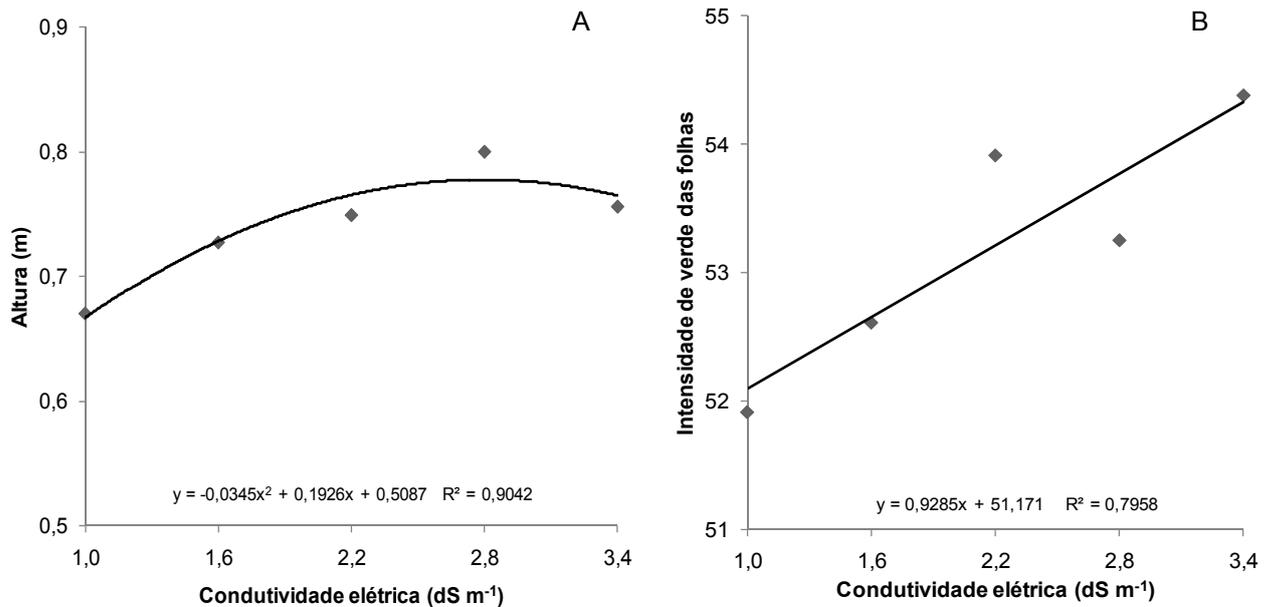


Figura 4. (A) Altura e (B) intensidade de verde da folha dos mamoeiros Sunrise Golden e UENF-Caliman 01 submetidos à fertirrigação com diferentes condutividades elétricas da solução de cultivo. Os modelos fornecem a média entre os genótipos e as épocas avaliadas.

A redução no crescimento das folhas pode ser devido ao sais do lado de fora das raízes. Esta redução é amplamente associada ao efeito osmótico dos sais, e é baseado em experimentos onde foram usados misturas de sais, como a solução de Hoagland (Termaat e Munns, 1986), sais simples, como cloreto de potássio (Yeo et al., 1991), e solutos não iônicos, como manitol ou polietileno glicol (Sümer et al., 2004; Yeo et al., 1991). Todas essas diferenças osmóticas têm efeitos qualitativos similares do cloreto de sódio (NaCl) na expansão foliar. Entretanto, neste presente experimento com mamoeiro, não foi verificado efeito da concentração das soluções utilizadas (diferentes CE) sobre a taxa de expansão foliar avaliada pelo comprimento da nervura central da folha (CNC) (Tabela 1). Possivelmente, os efeitos da CE sobre a expansão foliar possam acontecer em valores de CE maiores que os utilizados no experimento.

O comprimento da nervura central não apresentou diferenças entre as soluções nutritivas aplicadas. Porém, no experimento, apresentou em ambos os genótipos, valores máximos encontrados em torno de 45 DAIT. O UENF-Caliman apresentou uma CNC de 0,22 m aos 45 DAIT, e foi 30% maior do que Sunrise Golden (dados não mostrados). Torres-Netto et al. (2009) mostraram que o híbrido UENF-Caliman apresentou uma maior área foliar, o que pode representar

em associação com os valores do CNC um maior vigor híbrido deste genótipo. Os valores de CNC foram medidos por um período aproximado de 60 DAIT, período em que a maioria dessas folhas começou a apresentar clorose e perda de turgescência, este provavelmente é o número de dias, neste experimento, que representa para as condições estudadas, o ciclo de vida das folhas do mamoeiro. De fato esta senescência foliar foi observada a partir dos 45 DAIT, por meio da utilização dos valores da IVF (dados não mostrados).

O diâmetro do caule (DC) do mamoeiro UENF-Caliman foi superior por todo o experimento, apresentando 34 mm de diâmetro no último período avaliado, 11 mm maior em comparação ao Sunrise Golden. Torres-Netto et al. (2009) têm mostrado que assim como a área foliar, o diâmetro do caule deste híbrido apresentou uma maior taxa de crescimento ( $0,26 \text{ mm dia}^{-1}$ ), evidenciando novamente o vigor deste genótipo UENF-Caliman (dados não mostrados).

Munns e Tester (2008) mostraram que em dicotiledôneas sob estresse salino moderado, promovido por cloreto de sódio, em semanas, houve inibição no crescimento de brotações laterais, e em meses, houve efeitos no desenvolvimento reprodutivo, como florescimento antecipado e/ou redução no número de botões florais. Durante esse tempo, houve mortalidade considerável de folhas velhas. Entretanto, o lançamento de folhas jovens continuou. Segundo Munns e Tester (2008), todas essas mudanças no crescimento foliar foram em resposta ao efeito osmótico dos sais, e estas respostas foram similares ao efeito do estresse hídrico. O que não ocorreu neste experimento, logo, pode se concluir que as concentrações usadas nas soluções de fertirrigação não foram suficientes para promover salinidade severa no tempo estudado. Apesar das plantas de mamoeiro terem apresentado uma redução na taxa de crescimento nas condições experimentais em comparação às condições de cultivo comercial no campo.

Em cereais, o maior efeito da salinidade, promovida por cloreto de sódio, sobre a área foliar total é a redução no número de perfilhos. Em dicotiledôneas, o maior efeito é o encurtamento no tamanho de folhas individuais e/ou no número de brotações (Munns e Tester, 2008). As respostas na parte aérea são mais negativas do que no sistema radicular, e esta resposta é a mesma verificada em plantas que crescem em condições de déficit hídrico no solo. Segundo Munns e Tester (2008), a redução na área foliar, em relação ao sistema radicular, pode decrescer o uso da água pela planta, e como consequência permitir a

conservação da umidade do solo, este fato pode prevenir o aumento na condutividade elétrica no solo.

Os solutos dissolvidos na zona radicular podem causar um potencial osmótico mais negativo, que reduz o potencial hídrico do solo. Portanto, o balanço hídrico geral das plantas pode ser afetado, e, desta maneira, as raízes necessitam desenvolver potenciais hídricos ainda mais baixos, para manter um gradiente de potencial hídrico bem inferior de modo que facilite o movimento da água do solo para as raízes e conseqüentemente para as folhas. Esse efeito osmótico de solutos dissolvidos é similar ao de um déficit hídrico do solo, ou seja, as respostas iniciais das plantas em níveis excessivos de salinidade no solo são as mesmas do déficit hídrico.

O UENF-Caliman apresentou os primeiros botões florais a partir dos 5 DAIT (ou 101 dias após transplântio), enquanto o Sunrise Golden apresentou botões florais somente aos 20 DAIT (ou 116 após transplântio), uma diferença de 15 dias. Essa resposta se refletiu no número de frutos, em que o Sunrise Golden não apresentou frutos aos 75 DAIT, enquanto o UENF-Caliman apresentou, em média, 1,5 frutos com cerca de 3 e 4 cm de comprimento. Normalmente, em condições de campo, uma planta de mamoeiro UENF-Caliman inicia o florescimento entre 55 e 60 dias após o transplântio, e o mamoeiro Golden inicia o florescimento entre 60 e 70 dias após o transplântio. (Caliman Agrícola S/A: comunicação pessoal)

O número de folhas e botões florais nos mamoeiros variou com a interação entre os níveis de salinidade e os genótipos de mamoeiros estudados (Figura 5). O UENF-Caliman e o Sunrise Golden apresentaram maior número de folhas na solução de condutividade elétrica  $2,2 \text{ dS m}^{-1}$ , enquanto o UENF-Caliman, em comparação ao Golden, apresentou um maior número de folhas em todos os níveis de salinidade (Figura 5A). O UENF-Caliman apresentou o maior número de botões florais na condutividade elétrica  $1,6 \text{ dS m}^{-1}$  (seis botões) e o Sunrise Golden, apesar de uma queda expressiva, apresentou maior NBF na CE  $2,2 \text{ dS m}^{-1}$  (um botão em média). Uma vez que os botões florais podem expressar a capacidade produtiva da planta, os valores de CE em torno de  $2,2 \text{ dS m}^{-1}$ , podem ser um indicativo do nível adequado de condutividade elétrica na fertirrigação a ser utilizado na cultura do mamoeiro.

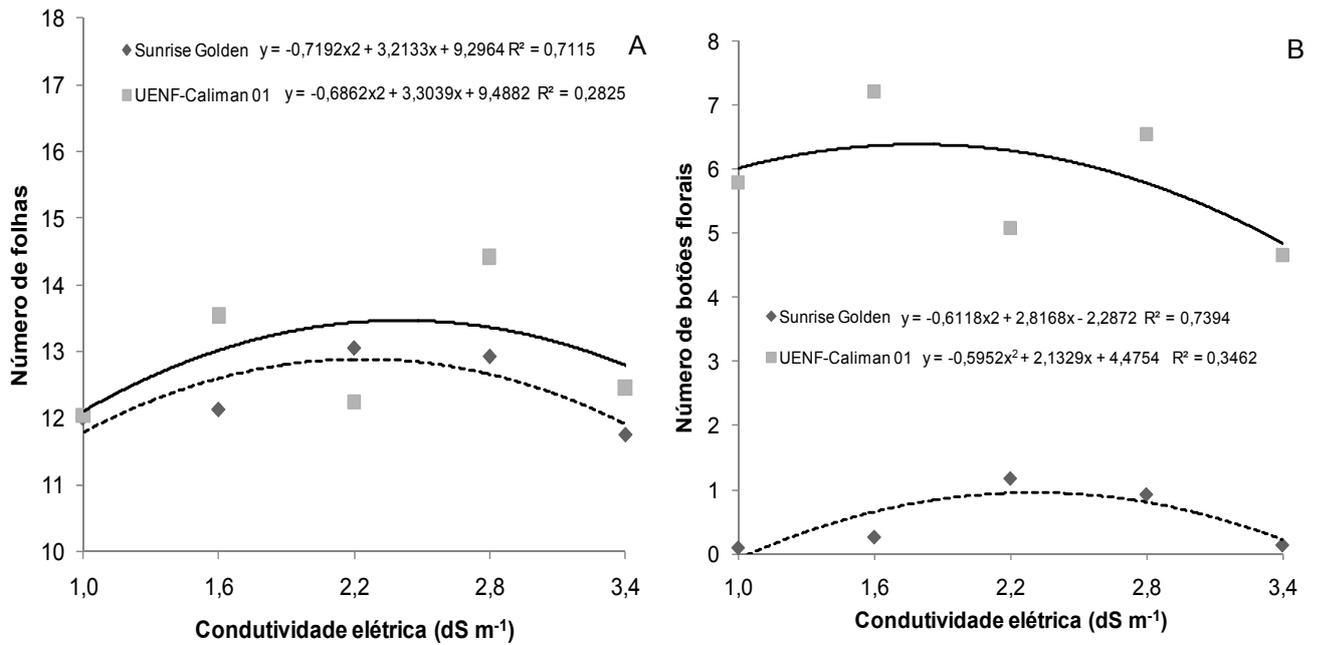


Figura 5. (A) Número de folhas e (B) número de botões florais dos mamoeiros Sunrise Golden e UENF-Caliman 01 submetidos à fertirrigação com diferentes condutividades elétricas da solução de cultivo. Os modelos apresentam a média entre as épocas avaliadas.

Neste experimento, nos dois genótipos estudados, foi observada uma queda acentuada de botões florais. Essa queda nos botões florais ou flores pode estar associada ao estresse osmótico promovido pelas concentrações de fertilizantes. Segundo Manica (1982), a ocorrência de uma semana ou mais de déficit hídrico na fase de florescimento, pode causar a queda de flores no mamoeiro. O UENF-Caliman apresentou alguns frutos carpelóides e pentândricos, estes frutos são provenientes de flores hermafroditas. Este fato pode estar associado a baixas ou altas temperaturas (Ming et al. 2008, São José, 1996). Dentro da casa de vegetação, valores abaixo de 20°C e acima de 40°C foram observados em alguns dias ao longo do experimento (Figura 3).

Segundo São José (1996), o mamoeiro é uma planta muito sensível às variações climáticas. No período de verão, no extremo sul da Bahia, são necessários aproximadamente 90 dias da abertura da flor até a colheita do fruto. No período de inverno, o tempo é maior, variando de 140 a 180 dias. O autor informa ainda que, provavelmente, em decorrência de altas temperaturas nos meses mais quentes do ano, nas regiões semi-áridas, tem sido observado elevado percentual de frutos carpelóides (redução no número de estames), bem

como da mancha fisiológica, que segundo o autor pode estar associada à baixa umidade relativa do ar. Segundo Ming et al. (2008), em temperaturas baixas, nas flores das plantas hermafroditas, a antera se funde com os carpelos, o que produz frutos deformados. Em cultivares hermafroditas do grupo Solo, as temperaturas abaixo de 17°C podem causar até 100% flores carpelóides. Em temperaturas superiores a 35°C, existe uma tendência das partes masculinas e femininas das flores hermafroditas apresentarem complicações no desenvolvimento, e serem não-funcionais (Chang, 2009).

Até aos 75 DAIT, não foram evidenciados efeitos da condutividade elétrica (CE) sobre o número de frutos, estes com tamanho entre 3 e 4 cm. Possivelmente, para que se pudesse ter obtido efeitos da CE sobre esta variável (FRU), as plantas teriam que ter sido expostas por mais tempo aos tratamentos. Esperava-se que quanto maior a duração dos tratamentos durante o estágio de floração e frutificação do mamoeiro, maiores seriam os efeitos dos níveis de salinidade por fertilizantes, no crescimento e principalmente na produção de frutos.

Segundo Posse et al. (2009), é possível calcular a área foliar da planta inteira de mamoeiro, utilizando o comprimento da nervura central de pelo menos duas folhas do dossel da planta. A área foliar, estimada por meio de método não-destrutivo (Posse et. al. 2009), não apresentou diferenças entre as condutividades elétricas das soluções nutritivas nas condições deste experimento. Essa variável, estimada aos 75 dias após início dos tratamentos (DAIT), foi diferente somente entre os genótipos, onde as plantas do genótipo UENF-Caliman apresentaram maior área foliar em comparação ao Sunrise Golden (Figura 6A).

Neste experimento, os maiores valores de condutividade elétrica não causaram efeito na espessura das folhas do mamoeiro, espessura esta avaliada pelos valores da massa foliar específica (MFE). Porém, a MFE foi diferente entre os genótipos, sendo que o UENF-Caliman apresentou maior massa foliar específica em relação ao Sunrise Golden (Figura 6B). Segundo Larcher (2000), esta variável pode estar relacionada com um maior conteúdo de células no mesofilo foliar, o que pode mostrar maior quantidade da maquinaria fotossintética, o que poderia explicar o maior vigor híbrido do genótipo UENF-Caliman.

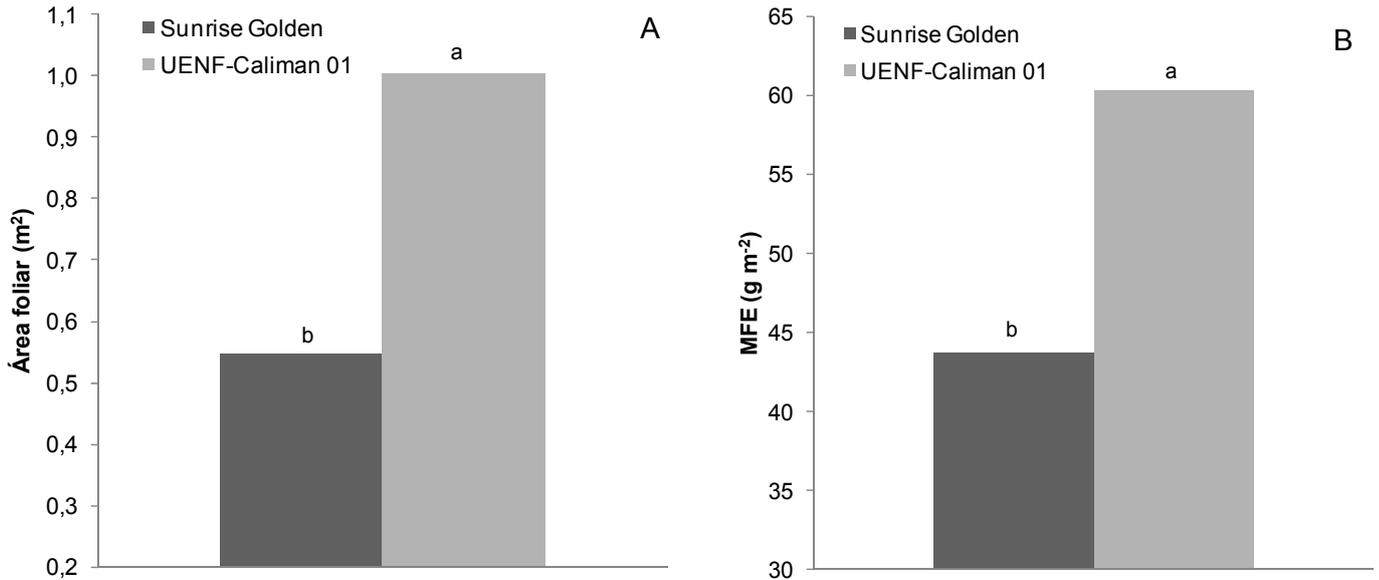


Figura 6. (A) Área foliar e (B) massa foliar específica (MFE) dos genótipos de mamoeiro Sunrise Golden e UENF-Caliman aos 75 dias após início dos tratamentos (DAIT). Cada barra representa a média dos mamoeiros sob todas as condutividades elétricas das soluções de cultivo. As letras diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Sob condição de estresse salino, o mecanismo que regula o crescimento/desenvolvimento da parte aérea não é precisamente conhecido. Acredita-se que a redução no crescimento foliar deve ser regulada pela sinalização a longa distância, por meio de hormônios, ou de precursores associados a estes hormônios, uma vez que a taxa de redução do crescimento foliar é independente do suprimento de carboidratos e do potencial hídrico (Fricke e Peters, 2002; Munns et al., 2000). Mudanças nas propriedades da parede celular devem ocorrer (Cramer e Bowman, 1991), mas a natureza destas mudanças permanece desconhecida. A sinalização local e a longa distância que regulam essas propriedades da parede celular e a taxa de expansão continuam obscuras (Munns e Tester, 2008).

Um estresse salino extremo, promovido por cloreto de sódio, acarreta redução no crescimento da parte aérea e inibição do crescimento da raiz. O desenvolvimento da gema para a condição reprodutiva é tardio, os ramos ficam atrofiados, e as folhas apresentam-se com menor área (Munns, 2002). As folhas

das plantas cultivadas nestas condições aparecem com necroses, bem como nas raízes e nas gemas. As folhas tornam-se cloróticas e dessecam antes do fim da estação de crescimento terminar. Os baixos níveis de citocinina e um aumento de ácido abscísico e etileno estão envolvidos nesse processo prematuro de senescência (Larcher, 2000). Neste experimento, por meio dos efeitos das diferentes condutividades elétricas sobre as características de crescimento e desenvolvimento, nos dois genótipos de mamoeiro estudados, não foi observado estresse salino extremo. Porém, diferenças significativas no número de folhas mortas ocorreram a partir da solução de condutividade elétrica  $2,2 \text{ dS m}^{-1}$ . Ou seja, aos 60 e 75 DAIT, os menores valores de CE causaram uma menor queda de folhas (Figura 7B). Este fato mostra que o efeito da CE foi mais evidenciado quando as plantas permanecem mais tempo em contato com os tratamentos. Tal efeito, também foi verificado com a variável DC (Figura 7A). Aos 75 DAIT, verificou-se decréscimo no valor do DC em valores de CE acima de  $2,2 \text{ dS m}^{-1}$ .

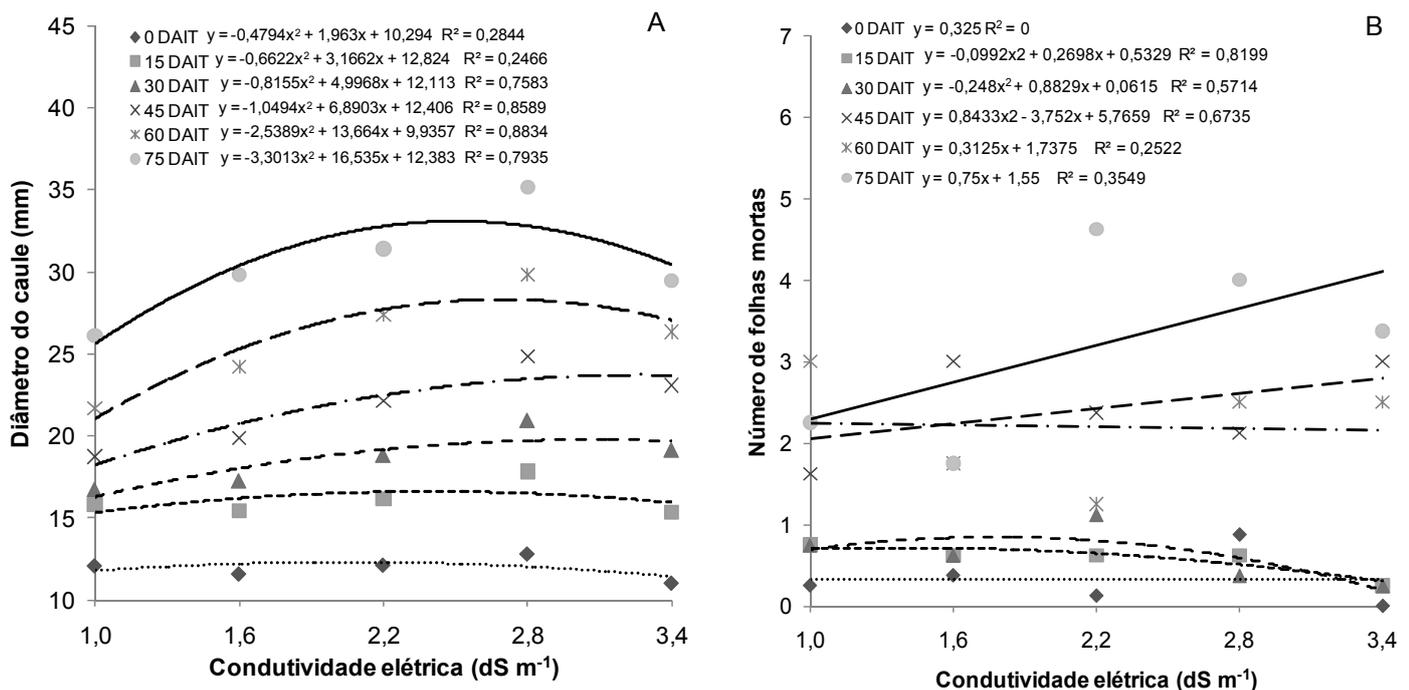


Figura 7. (A) Diâmetro do caule e (B) número de folhas mortas de mamoeiros submetidos à fertirrigação com diferentes condutividades elétricas da solução de cultivo. As seis épocas avaliadas estão representadas como dias após o início dos tratamentos (DAIT). Os pontos fornecem o valor para a média dos genótipos Sunrise Golden e UENF-Caliman.

O estresse osmótico não apresenta somente um efeito imediato no crescimento, como também tem um maior efeito na taxa de crescimento do que o estresse iônico. O impacto do estresse iônico acontece depois, e com menor intensidade do que o estresse osmótico, especialmente em níveis baixos a moderados de salinidade. Somente em altos níveis de salinidade, ou em espécies sensíveis, em que falta a capacidade de controlar o transporte de sais, o efeito iônico domina sobre o efeito osmótico (Munns e Tester, 2008). Nas respostas osmóticas, uma significativa variação genética dentro das espécies pode existir, mas isso não tem sido bem documentado. Um aumento na tolerância iônica leva tempo para surgir. Dentro de várias espécies, existem registros de variações genéticas na taxa de acumulação de íons em folhas, assim como, dos níveis em que esses íons podem ser tolerados. Um aumento na tolerância a ambos os estresses pode permitir o crescimento da planta em uma taxa razoavelmente rápida. Sendo assim, nas condições experimentais deste trabalho com mamoeiro, pode-se inferir que as alterações nas características de crescimento possam estar mais relacionadas aos efeitos osmóticos do que os efeitos iônicos, uma vez que as concentrações salinas não foram tão intensas.

Em adição a variável altura de planta, as variáveis diâmetro do caule, número de folhas e o número de folhas mortas se apresentaram mais afetadas à concentração de sais das soluções nutritivas aplicadas. Essas variáveis associadas a valores de condutividade elétrica do extrato de saturação do solo, podem ser utilizadas como parâmetros para avaliação da salinidade promovida por fertilizantes. Não sendo recomendado, portanto, a solução de condutividade elétrica  $3,4 \text{ dS m}^{-1}$  em condições de fertirrigação (Figura 7).

Em resposta ao estresse osmótico, as células vegetais podem ajustar o potencial hídrico. Na literatura, são relatados dois processos intracelulares que contribuem para o decréscimo do potencial osmótico. O primeiro está relacionado à acumulação de íons potencialmente tóxicos no vacúolo, e o segundo está relacionado à síntese de solutos compatíveis no citosol. Este processo é denominado ajuste osmótico, e permite às plantas suportar o estresse iônico hiperosmótico. Este ajuste é de extrema importância para o crescimento e desenvolvimento em ambientes salinos. Durante a adaptação ao sal, existem evidências que as plantas halófitas e as glicófitas acumulam similarmente íons em regiões intracelulares, e os usa para o ajuste osmótico necessário à expansão celular. Entretanto, este processo é implementado mais efetivamente por plantas

tolerantes aos sais (Hasegawa et al., 2000). Futuros trabalhos deverão ser realizados objetivando quantificar os teores de prolina, bem como os teores de glicina betaína, sorbitol e manitol nas folhas, na tentativa de estudar a possível capacidade do mamoeiro em sintetizar solutos osmoticamente ativos em condição de elevação na condutividade elétrica na região da rizosfera.

A tolerância ao estresse salino é um caráter genético quantitativo que envolve diversos genes (Winicov, 1998). É provável que a tolerância à salinidade envolva adaptações nas membranas que afetem a permeabilidade e facilitem o transporte de íons, porém a resposta das plantas à salinidade depende de vários fatores, como o estágio fisiológico no qual é imposto o estresse, a sua duração e intensidade, as condições ambientais externas e, principalmente, o genótipo utilizado (Silveira et al., 2001). Quando comparada com outra da mesma espécie, e dependendo do tipo de estratégia experimental adotada como dosagem de sais, tipo de substrato, tempo de exposição e estágio fisiológico, uma mesma cultivar pode apresentar resposta diferenciada, (Munns, 2002). Nos dois genótipos estudados, com base nas análises das medidas biométricas, não foi verificada resposta diferencial entre eles.

O mamoeiro é considerado por Mass (1993), como uma fruteira moderadamente sensível, com efeitos da salinidade por cloreto de sódio, a  $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ . Segundo Coelho et al. (2008), em condições de fertirrigação, valores de condutividade elétrica do extrato de saturação acima de  $1,0 \text{ dS m}^{-1}$  podem ser prejudiciais à cultura do mamoeiro. Neste experimento, os decréscimos na altura, número de folhas e no número de botões florais do mamoeiro ocorreram acima de  $2,2 \text{ dS m}^{-1}$ , o que pode indicar uma sensibilidade moderada ao excesso de nutrientes, similar à salinidade por cloreto de sódio.

Na Figura 8, são apresentadas as variáveis, altura e número de folhas mortas entre os genótipos de mamoeiros estudados. Estas características não apresentaram interação entre a concentração de sais e o tempo de tratamento. A altura do mamoeiro UENF-Caliman foi maior no final do experimento, aos 75 dias após início dos tratamentos (Figura 8A). O número de folhas senescentes e mortas no híbrido foi cerca de 20% menor do que o encontrado no Sunrise Golden (Figura 8B). Esta resposta diferencial na longevidade foliar do genótipo Golden pode estar associada ao reduzido valor na intensidade de verde das folhas, avaliada por meio do medidor portátil de clorofilas. De fato, como relatado por Castro (2005), este genótipo apresenta um teor de clorofilas muito mais baixo

que os demais genótipos de mamoeiro cultivados, o que pode mostrar maior senescência foliar deste genótipo.

Em condições de salinidade na região da rizosfera, o crescimento radicular é usualmente menos afetado do que o crescimento foliar (Munns, 2002). A velocidade baixa de desidratação do solo e da folha pode causar uma elevação na concentração de ácido abscísico (ABA) no xilema (Hartung et al., 2002) e causar alteração da condutância hidráulica da raiz e do xilema. Nas horas mais quentes do dia, estas respostas poderão induzir o fechamento estomático (Tardieu e Simonneau, 1998), e a diminuição do crescimento na folha (Chaves et al., 2002). Enquanto isso, a expansão celular da raiz se mantém, pois o ABA, que foi acumulado na raiz, impede a produção de etileno nesta, alterando a elasticidade de parede das células da raiz, permitindo o crescimento radicular (Hsiao e Xu, 2000), uma vez que o etileno inibe o crescimento da raiz.

Após o aumento na salinidade do solo promovida por cloreto de sódio, inicialmente o decréscimo na taxa de crescimento é devido ao efeito osmótico dos sais em torno das raízes. Um rápido aumento da salinidade do solo causa uma perda de água das células das folhas, mas em plantas que apresentam tolerância osmótica, essa perda de volume celular e turgor são transientes. Em algumas horas, a célula readquire seu volume e turgor originais devido ao ajustamento osmótico. Entretanto, devido a isso, as taxas do alongamento celular são reduzidas. Em dias, as reduções no alongamento, e também na divisão celular levam ao decréscimo na emergência e tamanho final de folhas. As dimensões celulares mudam, com mais redução na área do que em espessura, então as folhas se apresentam menores e espessas (Fricke e Peters, 2002; Passioura e Munns, 2000). Neste presente experimento, estas condições não foram evidenciadas, quando se analisa o comprimento da nervura central, bem como na massa foliar específica (estima a espessura da folha), ou seja, no mamoeiro, estas variáveis não foram boas variáveis indicadoras dos efeitos da elevação da condutividade elétrica causada pela adição das soluções nutritivas na região da rizosfera.

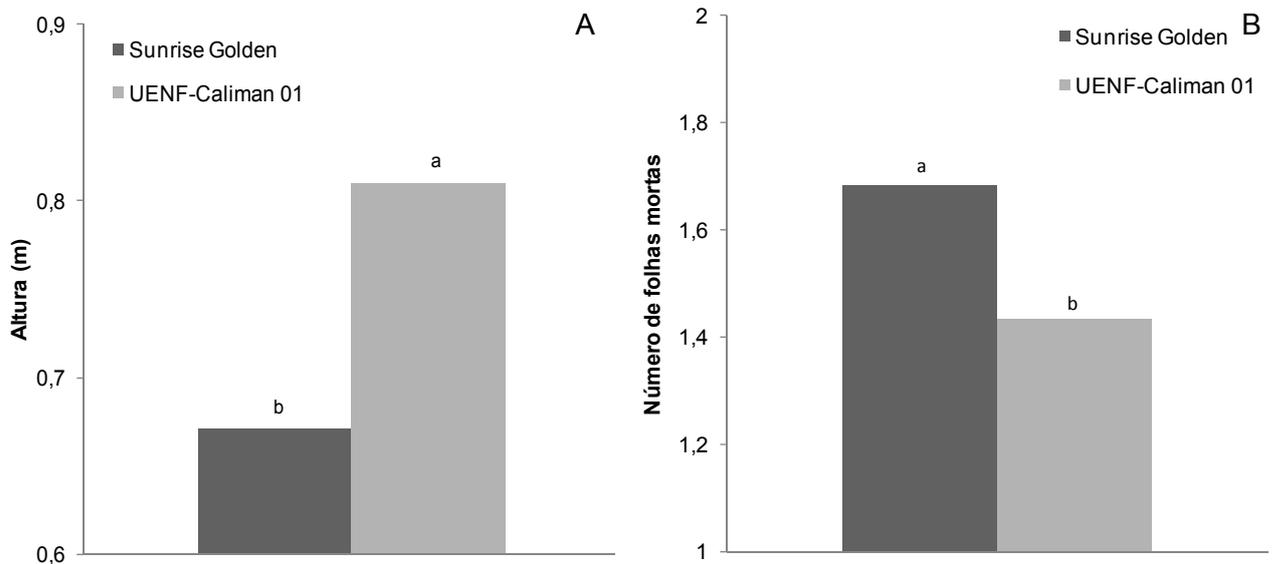


Figura 8. (A) Altura, (B) número de folhas mortas dos genótipos de mamoeiro Sunrise Golden e UENF-Caliman 01. Cada barra representa a média dos mamoeiros sob todas as condutividades elétricas das soluções de cultivo e as épocas avaliadas no experimento. As letras diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Para entender os mecanismos fisiológicos responsáveis pela tolerância à salinidade nas espécies, é necessário saber quando o crescimento é limitado pelo efeito osmótico dos sais no solo, ou pelo efeito tóxico dos sais dentro da planta. A redução no crescimento da parte aérea ocorre em duas fases, uma resposta rápida para o aumento na pressão osmótica externa, e uma resposta lenta devido ao acúmulo de sais nas folhas (Munns e Tester, 2008).

Primeiro, a fase osmótica, em que a taxa de crescimento da parte aérea cai significativamente e logo após o aumento da concentração de sais em um nível limite em torno das raízes (Chaves et al., 2009). Essa concentração limite é de aproximadamente 40 mM de cloreto de sódio ( $CE\ 3,2\ dS\ m^{-1}$ ) para a maioria das plantas, ou menos, para plantas sensíveis como o arroz e *Arabidopsis* (Munns e Tester, 2008). Em sua maioria, isto é devido ao efeito osmótico dos sais em torno das raízes. A taxa em que as folhas em crescimento se expandem é reduzida, novas folhas emergem mais lentamente, gemas laterais se desenvolvem devagar ou se mantêm quiescentes, e poucas brotações ou ramos laterais se formam.

Ao que tudo indica, neste trabalho com mamoeiro, os efeitos da elevação na condutividade elétrica, embora esta elevação não tenha promovido um

estresse salino severo, mas possivelmente apenas um reduzido estresse osmótico, causou comprometimento na altura de planta, no diâmetro do tronco, no número de folhas e número de botões florais. Estes efeitos sobre as características de crescimento podem ser devido a um comprometimento nas relações hídricas dos genótipos estudados, e esse comprometimento pode ter causado um incremento na concentração de ABA, e a ação deste ABA causou efeitos negativos sobre as características biométricas. De fato, Gomes et al. (2007) mostraram que o mamoeiro UENF-Caliman e Sunrise Golden sintetizaram uma significativa quantidade de ABA em condição de estresse hídrico em relação às plantas controle. Com o objetivo de verificar maiores efeitos da condutividade elétrica sobre as características do crescimento do mamoeiro, os futuros experimentos deverão ser realizados utilizando soluções que possam promover maiores valores de condutividade elétrica do que os que foram estudados neste presente trabalho.

### **4.3 Análises fisiológicas**

#### **4.3.1 Trocas gasosas**

Na Tabela 2, são apresentados os valores de F obtidos na análise de variância dos variáveis das trocas gasosas dos mamoeiros, bem como a indicação do nível de significância e o coeficiente de variação. A taxa fotossintética líquida (A) das plantas de mamoeiros foi diferente nas condutividades elétricas ao longo do experimento. Aos 30 dias após início dos tratamentos (DAIT), a assimilação de CO<sub>2</sub> chegou a valores máximos de 23  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  na solução de CE 3,4 dS m<sup>-1</sup> e 22  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , na solução nutritiva CE 1,6 dS m<sup>-1</sup>, e decresceu para 10  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  no último período avaliado e CE 3,4 dS m<sup>-1</sup>, o maior nível de salinidade. Os mamoeiros cultivados com a solução nutritiva de 1,0 dS m<sup>-1</sup> apresentaram maior assimilação fotossintética do CO<sub>2</sub> no último período avaliado, com média de 19  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Figura 9A).

Tabela 2. Valores de F, níveis de significância e coeficientes de variação (CV) para a taxa fotossintética líquida (A), condutância estomática ( $g_s$ ), concentração de  $CO_2$  no mesofilo foliar (Ci), transpiração (E), déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar ( $DPV_{folha-ar}$ ), eficiência no uso da água (A/E) e a eficiência carboxilativa (A/Ci).

Fonte de variação	A	$g_s$	Ci	E	$DPV_{folha-ar}$	A/E
Bloco	1,57**	1,46 <sup>ns</sup>	5,48**	2,48 <sup>ns</sup>	12,88**	7,41**
Genótipo	0,06 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	2,62 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>
Condutividade elétrica	8,54**	5,01**	2,76*	7,96**	5,37**	4,09**
Época	36,53**	30,30**	99,08**	100,97**	36,21**	12,59**
CE*Genótipo	0,76 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	1,42 <sup>ns</sup>	1,47 <sup>ns</sup>	0,76 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>
Genótipo*Época	1,54 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>	1,43 <sup>ns</sup>	0,91 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	1,38 <sup>ns</sup>
CE* Época	4,00**	3,32**	0,62 <sup>ns</sup>	4,40**	2,91**	1,44 <sup>ns</sup>
CE*Gen* Época	0,88 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>	0,83 <sup>ns</sup>	0,85 <sup>ns</sup>	0,74 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>
CV (%)	28,23	40,02	7,34	17,69	18,59	20,32

Obs.: Os níveis de significância são indicados por: \* =  $P < 0,05$ ; \*\* =  $P < 0,01$  e ns = não significativo.

A condutância estomática ( $g_s$ ) se manteve constante nas duas soluções de condutividades elétricas mais baixas de 1,0 e 1,6 dS  $m^{-1}$ , em torno de 0,55 mol  $m^{-2} s^{-1}$  ao longo do experimento. A partir da solução de CE 2,2 dS  $m^{-1}$ , a  $g_s$  decresceu até valores de 0,15 mol  $m^{-2} s^{-1}$  aos 75 DAIT (Figura 9B).

Quando imposta lentamente, a salinidade, além das alterações na fotossíntese e no crescimento celular, freqüentemente, induz ao ajustamento osmótico, que é considerado um importante mecanismo que pode permitir a manutenção da absorção de água e a turgidez celular sob condições de estresse salino e hídrico. Os efeitos da salinidade na fotossíntese atingem desde a restrição da difusão do  $CO_2$  para dentro do cloroplasto, via limitação na condutância estomática (mediada por hormônios produzidos na parte aérea e raiz) e condutância mesofílica, até alterações na eficiência fotoquímica e bioquímica da fotossíntese. Esses efeitos variam de acordo com a intensidade e duração do estresse, assim como, o estágio fenológico (folhas mais velhas são mais afetadas pela seca e acumulam grandes quantidades de sal), e as espécies de plantas (Lawlor e Cornic, 2002; Munns, 2002; Chaves *et al.*, 2003).

Os mamoeiros apresentaram taxas de transpiração ( $E$ ) crescentes até os 30 dias após início dos tratamentos, com valores em torno de  $12 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , não apresentando diferenças entre os níveis de salinidade. A partir dos 60 dias após início dos tratamentos, os níveis de salinidade afetaram a transpiração dos mamoeiros, com queda significativa nos valores desta variável na solução de maior condutividade elétrica, para  $6 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . O último período (75 DAIT) apresentou o mesmo comportamento de declínio, porém com valores um pouco maiores de transpiração do que aos 60 DAIT. Possivelmente, este fato seja devido ao microclima dentro da casa-de-vegetação no período avaliado (Figura 9C).

Nos cinco valores de condutividade elétrica, o déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar ( $DPV_{\text{folha-ar}}$ ) dos mamoeiros apresentou correspondências com os valores de  $E$  obtidos. Ou seja, quanto maiores valores de  $E$  observados, menores valores de  $DPV_{\text{folha-ar}}$  (Figura 9D). Os valores de  $DPV_{\text{folha-ar}}$  de 2,5 e 3,0 KPa foram observados nas soluções de 1,0 e 1,6  $\text{dS m}^{-1}$  respectivamente. No último período avaliado, essas soluções de 1,0 e 1,6  $\text{dS m}^{-1}$  apresentaram as maiores taxas transpiratórias (Figura 9C). O déficit de pressão de vapor é obtido subtraindo o valor da pressão de vapor de água do ar ( $e_{\text{ar}}$ ) em torno da folha, da pressão de saturação do vapor de água na temperatura da folha ( $e_{\text{folha}}$ ). Ou seja, a equação que representa o DPV é representada por  $DPV_{\text{folha-ar}} = e_{\text{folha}} - e_{\text{ar}}$ . Desta maneira, qualquer fator do ambiente que afeta a condutância estomática, como foi observado neste experimento com mamoeiro (Figura 3), e que promova redução da transpiração, pode elevar o valor desta variável DPV, uma vez que a transpiração contribui para a redução da temperatura da folha, e a variável  $e_{\text{folha}}$  é dependente da temperatura foliar. Maiores valores da temperatura foliar estão relacionados com maiores valores de  $e_{\text{folha}}$ , admitindo que dentro da folha a umidade relativa é 100% (Taiz e Zeiger, 2009).

O déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar ( $DPV_{\text{folha-ar}}$ ) dos mamoeiros nos cinco níveis de salinidade apresentou correspondências com os valores de  $E$  obtidos, ou seja, quanto menores os valores de  $E$  observados, maiores diferenças entre a pressão de vapor d'água entre a folha e o ar ( $DPV_{\text{folha-ar}}$ ) foram estimadas. Valores de  $DPV_{\text{folha-ar}}$  de 4,2 KPa foram observados nas soluções de CE 3,4  $\text{dS m}^{-1}$  aos 60 dias após início dos tratamentos (DAIT) (Figura 9D), evidenciando que aos 60 e 75 DAIT, o fechamento estomático promoveu

redução nos valores da transpiração, o que reduziu a refrigeração foliar, refletindo dessa maneira em maiores valores do  $DPV_{\text{folha-ar}}$ .

Em sua maioria, as respostas iniciais ao estresse hídrico e salino têm sido consideradas, idênticas (Munns, 2002). Em todos os órgãos da planta, a seca e a salinidade apresentam um déficit hídrico fisiológico (ou seca fisiológica), mais ou menos intenso, entretanto, sob estresse salino prolongado as plantas respondem adicionalmente à desidratação, o estresse hiper-iônico e/ou hiper-osmótico. O déficit hídrico no tecido foliar *per si* pode ser iniciado não-somente pelo baixo conteúdo de água no solo, mas também pelo alto déficit de pressão de vapor da atmosfera (Chaves et al., 2009).

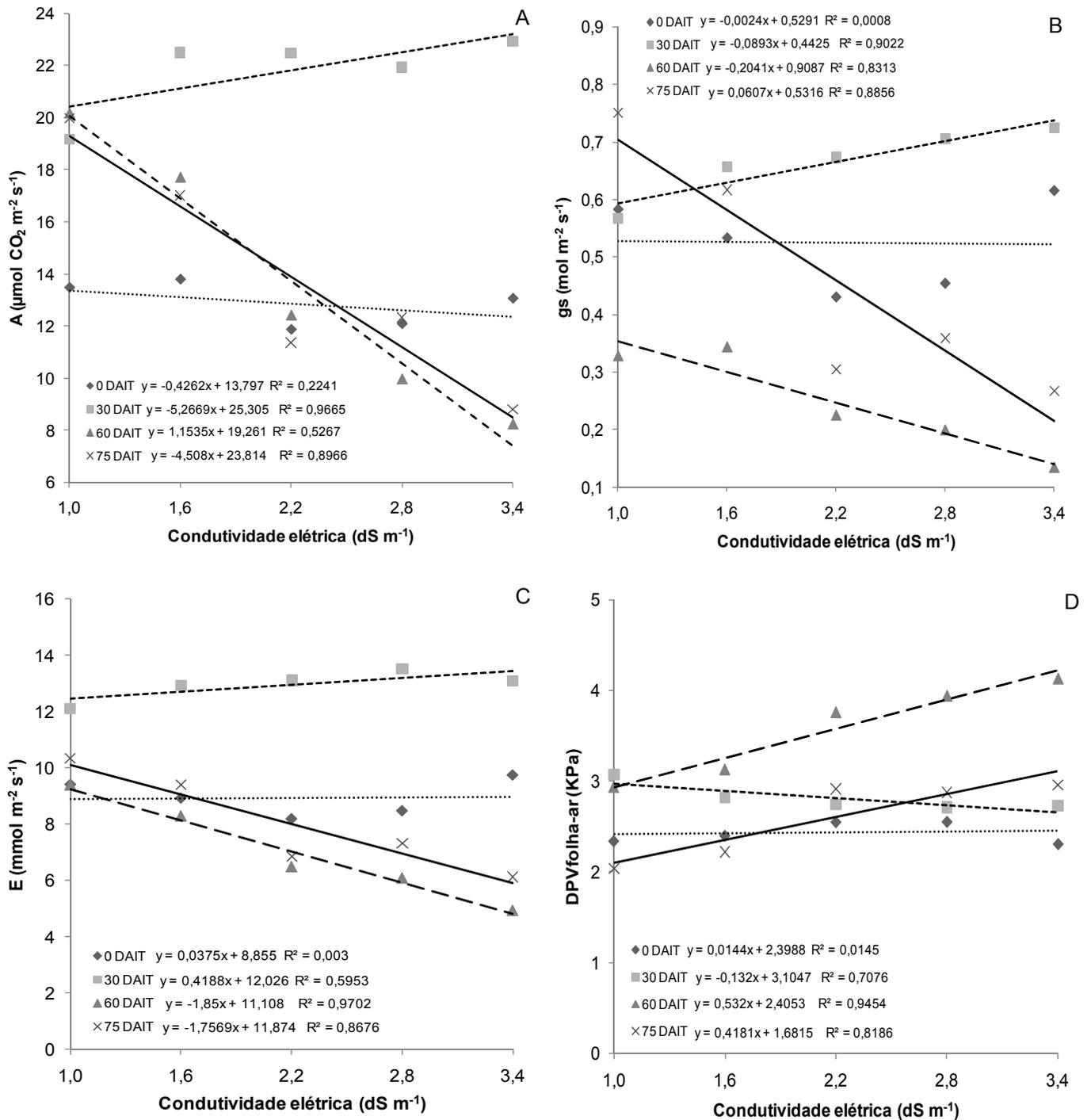


Figura 9. (A) Assimilação fotossintética do carbono ( $A$ ), (B) condutância estomática ( $g_s$ ), (C) transpiração ( $E$ ) e (D) déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar ( $DPV_{folha-ar}$ ) de mamoeiros submetidos à fertirrigação com diferentes condutividades elétricas da solução de cultivo. Os pontos fornecem a média entre os genótipos Sunrise Golden e UENF-Caliman 01.

A resposta fotossintética ao estresse salino é altamente complexa. Ela envolve a interação de diferentes limitações locais da célula/folha e em escalas de tempo diferentes em relação ao desenvolvimento de plantas. A intensidade, duração e a taxa de progressão do estresse irão influenciar as respostas para a salinidade. Esses fatores irão ditar quando irão ou não ocorrer os processos de mitigação associados à aclimatação. As respostas de aclimatação sob salinidade, que indiretamente afetam a fotossíntese, incluem aquelas relacionadas à inibição do crescimento ou abscisão foliar. Esta inibição do crescimento pode restringir a perda de água pelos tecidos fonte, irá ajudar a manter o status hídrico, e conseqüentemente, ocorrer a assimilação de carbono pela planta. As respostas à salinidade também incluem a síntese de solutos compatíveis e ajustes no transporte de íons. Essas respostas irão eventualmente levar a restauração da homeostase celular, desintoxicação e conseqüentemente a sobrevivência sob condição de estresse (Chaves et al., 2009).

A assimilação fotossintética do CO<sub>2</sub> (A) decresceu com o tempo e nas soluções de maiores concentrações de fertilizantes. A partir dos 60 dias após início dos tratamentos (DAIT), a fotossíntese líquida passou de 20  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para 8,8  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  entre as soluções de condutividade 1,0 e 3,4 dS  $\text{m}^{-1}$  respectivamente, um decréscimo de 56%. Os mesmos valores foram observados no período 75 DAIT (Figura 9A). Ao se efetuar uma relação entre a Figura 9A e 9B, observa-se que a queda na taxa fotossintética foi associada ao fechamento estomático (menores valores de  $g_s$ ), ou seja, houve um controle estomático da taxa fotossintética.

O relacionamento de causa e efeito entre fotossíntese e crescimento pode ser difícil de separar. É sempre difícil saber quando a taxa de redução da fotossíntese é a causa da redução no crescimento, ou o resultado. Com o início do estresse salino, a redução na taxa fotossintética não é a única causa da redução no crescimento, devido à rápida mudança na taxa de expansão foliar (Fricke et al., 2004; Passioura e Munns, 2000), e também devido ao aumento no acúmulo de carboidratos, o que indica a não-utilização dos assimilados (Munns et al., 2000). Entretanto, com o tempo, a inibição do 'feedback' entre dreno e fonte pode ajustar melhor a taxa fotossintética para igualar a demanda reduzida, conseqüência da inibição do crescimento (Paul e Foyer, 2001). A redução na expansão foliar, resultado do aumento de fotoassimilados não utilizados por tecidos em crescimento, pode gerar sinais e reações que vão atuar no decréscimo

da fotossíntese. Neste experimento com mamoeiro, a elevação nos valores de CE promoveu redução nas variáveis altura de planta, no diâmetro do caule e no número de folhas, e esta redução foi em valores de CE acima de  $2,2 \text{ dS m}^{-1}$ . Possivelmente, neste experimento, esta redução nestas variáveis de crescimento possa estar relacionada com o comprometimento da taxa fotossintética (A), observada nas Figuras 9A e 9B e este comprometimento em A foi causado pela redução de  $g_s$  (fechamento dos estômatos) nos maiores valores de condutividade elétrica. De fato, a condutância estomática ( $g_s$ ) se manteve constante nos dois períodos avaliados, no início e aos 30 dias após início dos tratamentos (DAIT), e permanecendo entre  $0,52$  e  $0,72 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  nas condutividades elétricas de  $1,0$  e  $1,6 \text{ dS m}^{-1}$ . A partir dos 60 DAIT, os valores de  $g_s$  decresceram de forma linear com incremento das condutividades elétricas nas soluções nutritivas, com valores de  $0,15 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  na CE  $3,4 \text{ dS m}^{-1}$ .

A resposta mais prontamente medida de plantas à salinidade é o fechamento estomático. As respostas estomáticas são induzidas por efeitos osmóticos dos sais no solo próximo a raízes. A salinidade afeta a condutância estomática imediatamente, primeiro e de forma transiente, devido aos distúrbios nas relações hídricas e sobre a rápida síntese local de ácido abscísico (ABA). Um aumento transiente de ABA foi detectado no tecido fotossintético dentro de 10 minutos após a adição de  $100 \text{ mM}$  de  $\text{NaCl}$  ( $8,0 \text{ dS m}^{-1}$ ) em plantas de cevada. A rapidez nesse aumento sugere a síntese de ABA *in situ*. Entretanto, uma menor taxa de transpiração se estabiliza dentro de horas enquanto os níveis de ABA no tecido retornam às concentrações controle (Fricke et al., 2006). Esta resposta estomática de plantas ocorre provavelmente por meio de sinais das raízes semelhante ao déficit hídrico (Davies et al., 2005). Esta informação foi baseada em experimentos, no qual foi observado o fechamento estomático em plantas tratadas com sais, em que o potencial hídrico foi mantido elevado, por meio de aplicação de pressão proporcional (Termaat et al., 1985).

Neste experimento, a taxa fotossintética foi diminuída por efeitos estomáticos, (Figura 9B), devido provavelmente ao estresse osmótico proporcionado ao longo do tempo pelas soluções nutritivas aplicadas em condições hidropônicas. O fechamento estomático é considerado uma defesa contra o dessecamento, mesmo antes de ocorrer diminuição do conteúdo de água da folha (Chaves, 1991). Contudo, segundo Cochard et al. (2002), o principal objetivo do fechamento estomático é evitar a cavitação e uma falha do sistema de

condução de água, em vez de objetivar apenas a redução das perdas de água pela transpiração, visto que os estômatos podem responder diretamente ao aumento da tensão de água no xilema, fechando-se (Netting, 2000). Sob seca, segundo Lauer e Boyer (1992), a limitação da fotossíntese pelo fechamento estomático é pequena, e menor que o efeito estomático na transpiração, sendo que a maior limitação é metabólica (Ghannoum et al., 2003). Tang et al. (2002) ressaltam também que a variação da condutância estomática ( $g_s$ ) é proporcional à da transpiração, mas esta proporcionalidade não é uniforme na folha.

As soluções nutritivas não promoveram diferenças nas trocas gasosas entre os genótipos de mamoeiros estudados. Resultados similares foram obtidos por Torres-Netto (2005), trabalhando com os genótipos cultivados na ausência de estresse em casa de vegetação, o que sugere que as diferenças de crescimento entre os genótipos estariam mais relacionadas à partição de fotoassimilados entre os diferentes órgãos da planta do que pela diferença nas trocas gasosas *per se*.

A concentração de  $CO_2$  no mesofilo foliar do mamoeiro ( $C_i$ ) variou significativamente entre as soluções nutritivas (Figura 10A). As soluções de condutividade elétrica 1,6 e 2,2  $dS\ m^{-1}$  apresentaram menor concentração interna de  $CO_2$ , devido a maiores assimilações fotossintéticas, uma vez que os valores de  $C_i$  estão relacionados com a capacidade do Ciclo de Calvin em assimilar o  $CO_2$  no mesofilo foliar, bem como com a capacidade de entrada do  $CO_2$  no mesofilo (condutância estomática) e pela concentração externa deste gás. Portanto admitindo que a concentração externa do  $CO_2$  tenha sido constante, o superávit de  $CO_2$  no mesofilo ( $C_i$ ) pode ter sido causado por algum comprometimento da assimilação deste gás no Ciclo de Calvin, ou seja, efeitos não-estomáticos associados à fase bioquímica podem ter contribuído também para a redução nos valores de  $A$ .

Uma redução na eficiência no uso da água (EUA) pelo mamoeiro foi observada, devido principalmente, à redução na taxa fotossintética líquida nas soluções nutritivas mais concentradas (Figura 10B), uma vez que  $EUA = A/E$ , e os valores de  $E$  nestas soluções nutritivas foram menores. Durante o ingresso do sal no ambiente das raízes, a redução da disponibilidade de água é o estresse inicial percebido pela parte aérea, e as respostas são semelhantes às de plantas sob déficit hídrico (Chaves et al., 2009). As plantas minimizam o dano, reduzindo a exposição ao sal nos meristemas, no caule em particular, e nas folhas que estão crescendo ativamente, e realizando fotossíntese. À medida que o estresse

aumenta, a desidratação das células do mesofilo inibe a fotossíntese, o metabolismo do mesofilo pode ser prejudicado e a eficiência no uso da água geralmente decresce (Figura 10B).

Embora seja conveniente examinar individualmente cada um dos fatores de estresse, a maioria está inter-relacionada, e um conjunto comum de respostas celulares, bioquímicas e moleculares, acompanha muito dos processos individuais de aclimatação e adaptação. O déficit hídrico, por exemplo, muitas vezes está associado à salinidade da biosfera das raízes e ao estresse por calor nas folhas (resultante de diminuição do esfriamento evaporativo devido à baixa transpiração) (Chaves et al., 2009).

Os efeitos iniciais do estresse hídrico, seja por menor disponibilidade hídrica, ou por excesso de sais no sistema radicular, são por meio de controle estomático. O fechamento estomático leva a uma menor transpiração, que aumenta o déficit de pressão de vapor de água entre a folha e o ar, e como consequência uma menor eficiência do uso da água.

As plantas muitas vezes apresentam tolerância cruzada, isto é, tolerância a um estresse induzido por aclimatação a outro (Chaves et al., 2009), esse comportamento faz com que mecanismos de resistência a vários estresses compartilhem muitas características em comum. A tolerância varia com as espécies (a estratégia para responder ao estresse salino de uma planta em particular), mas também varia com o tempo de exposição, a intensidade do estresse, e as condições do ambiente local, especialmente o suprimento de água no solo e a umidade do ar, e como consequência, a taxa de transpiração e potencial hídrico da folha (Munns e Tester, 2008).

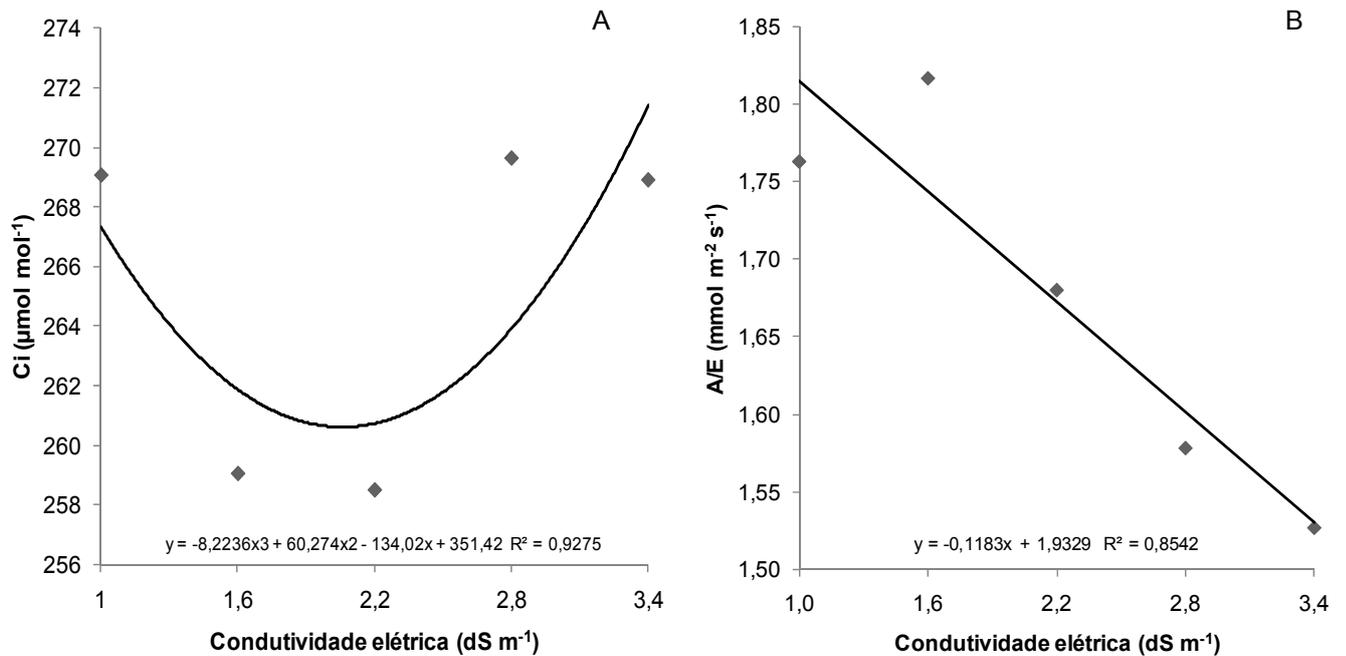


Figura 10. (A) Concentração de CO<sub>2</sub> no mesofilo foliar (*C<sub>i</sub>*) e (B) eficiência no uso da água (*A/E*) de mamoeiros submetidos à fertirrigação com diferentes condutividades elétricas da solução de cultivo. Os pontos fornecem a média entre os genótipos Sunrise Golden e UENF-Caliman 01 e as épocas avaliadas.

#### 4.3.2 Fluorescência da clorofila a

A fluorescência da clorofila é usada no monitoramento do processo fotossintético. Pode ser utilizada para se obter informações sobre a inibição ou danos na transferência de elétrons no fotossistema II (FSII). Essa técnica avalia o funcionamento deste fotossistema, indicando possíveis danos causados por diferentes tipos de estresse. A medição da fluorescência da clorofila *a* é uma técnica rápida, precisa e não-destrutiva utilizada para detectar o desequilíbrio energético e metabólico da fotossíntese (Araus et al., 1998). Na Tabela 3 são apresentados os quadrados médios, níveis de significância e o coeficiente de variação das variáveis da fluorescência obtidas com o fluorímetro modulado Mini-Pam.

Tabela 3. Quadrados médios, níveis de significância e coeficientes de variação (CV) para as variáveis da fluorescência da clorofila *a*: rendimento quântico efetivo do fluxo linear de elétrons no FSII Y(II), rendimento quântico da dissipação regulada de energia não-fotoquímica no FSII Y(NPQ), rendimento quântico de dissipação não-regulada de energia do FSII Y(NO), taxa de transporte de elétrons (ETR), rendimento quântico máximo potencial do FSII às 5 horas da manhã ( $F_v/F_m$  5h), e às 12 horas ( $F_v/F_m$  12h).

Fonte de variação	ETR	Y(II)	Y(NPQ)	Y(NO)	$F_v/F_m$ 5h	$F_v/F_m$ 12h
Bloco	176,93**	0,040 <sup>ns</sup>	0,044 <sup>ns</sup>	0,008 <sup>ns</sup>	0,0025 <sup>ns</sup>	0,014*
Condutividade elétrica	20,97 <sup>ns</sup>	0,004 <sup>ns</sup>	0,005 <sup>ns</sup>	0,0008 <sup>ns</sup>	0,000045 <sup>ns</sup>	0,011 <sup>ns</sup>
Genótipo	6894,73**	0,156**	0,551**	0,0004**	0,41**	0,24**
Época	898,36**	0,203**	0,159**	0,257*	0,027**	0,026**
CE*Genótipo	146,93 <sup>ns</sup>	0,033 <sup>ns</sup>	0,041 <sup>ns</sup>	0,0005 <sup>ns</sup>	0,00048 <sup>ns</sup>	0,0062 <sup>ns</sup>
CE*Época	124,91 <sup>ns</sup>	0,028 <sup>ns</sup>	0,023 <sup>ns</sup>	0,0001 <sup>ns</sup>	0,0015 <sup>ns</sup>	0,0056 <sup>ns</sup>
Genótipo* Época	408,32**	0,092**	0,037 <sup>ns</sup>	0,0001**	0,010**	0,0032 <sup>ns</sup>
CE*Gen* Época	31,38 <sup>ns</sup>	0,007 <sup>ns</sup>	0,007 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>	0,0016 <sup>ns</sup>	0,0061 <sup>ns</sup>
CV (%)	7,29	7,29	21,16	6,02	1,39	2,75

Obs.: Os níveis de significância são indicados por: \* =  $P < 0,05$ ; \*\* =  $P < 0,01$  e ns = não significativo.

As variáveis da fluorescência, obtidas pelo fluorímetro Mini-Pam não foram afetadas pelos valores de condutividades elétricas promovidos por diferentes concentrações de fertilizantes. Essas variáveis, entretanto, apresentaram-se significativas entre os genótipos e as épocas avaliadas. Neste trabalho, serão consideradas somente as diferenças entre os genótipos estudados, pois os modelos ajustados para as épocas de análise ao longo do experimento não foram significativos, ou seja, os valores estimados não refletem os valores observados.

A taxa de transporte de elétrons no fotossistema II (ETR), bem como o rendimento quântico efetivo Y(II), o rendimento quântico da dissipação não-regulada de energia não-fotoquímica no FSII Y(NO), e o rendimento quântico da dissipação regulada de energia não-fotoquímica no FSII não foram comprometidos pelas diferentes condutividades elétricas das soluções nutritivas aplicadas nas plantas de mamoeiro, porém, essas variáveis diferiram entre os genótipos estudados (Tabela 3). Ambos os genótipos, e ao longo do experimento, apresentaram incremento nos valores de ETR (Figura 11A) e Y(II) (Figura 11B),

sendo que o UENF-Caliman apresentou maior taxa de transporte de elétrons, bem como o rendimento quântico efetivo, em comparação ao Sunrise Golden. Este fato mostra que, independente dos tratamentos aplicados, o híbrido apresentou maior eficiência fotoquímica, evidenciado principalmente pelos valores de ETR (taxa de transporte de elétrons através do FSII) (Figura 11A), de  $Y(II)$  (rendimento quântico efetivo) (Figura 11B), e pela queda no  $Y(NO)$  (rendimento quântico da dissipação não-regulada de energia não-fotoquímica no FSII) (Figura 12A).

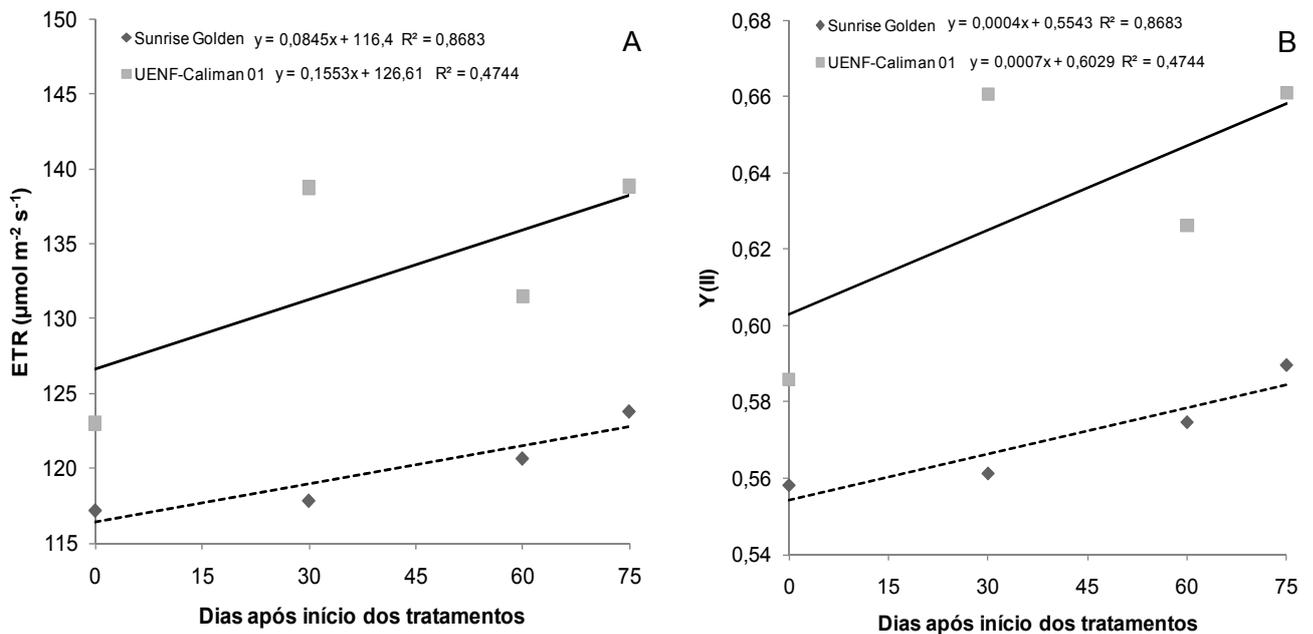


Figura 11. (A) Taxa de transporte de elétrons no fotossistema II (FSII) ( $ETR$ ), (B) rendimento quântico efetivo do fluxo linear de elétrons no FSII ( $Y(II)$ ) de mamoeiros submetidos à fertirrigação. Os pontos fornecem a média entre as diferentes condutividades elétricas da solução de cultivo.

Para o rendimento quântico da dissipação não-regulada da energia não-fotoquímica no fotossistema II,  $Y(NO)$ , o Sunrise Golden apresentou maiores valores em comparação ao UENF-Caliman. Essa variável  $Y(NO)$  está associada ao *quenching* não-fotoquímico, e regula o mecanismo de proteção da folha do mamoeiro ao excesso de energia luminosa. Os elevados valores de  $Y(NO)$  indicam que a conversão da energia química e os mecanismos regulatórios de proteção ao excesso de energia luminosa estão ineficientes. Os valores reduzidos

de  $Y(NO)$  para o UENF-Caliman mostram maior capacidade desse genótipo de suportar o excesso de energia luminosa (Figura 12A). Este fato sugere que o elevado crescimento do híbrido possa estar associado a esta eficiência e principalmente aos maiores valores da variável IVF (Castro, 2005; Torres-Netto, 2005). Entretanto, futuros estudos mais detalhados devem ser realizados objetivando elucidar esta especulação.

O rendimento quântico da dissipação regulada de energia não-fotoquímica no fotossistema II,  $Y(NPQ)$ , corresponde à fração de energia dissipada na forma de calor, que é regulada como mecanismo de fotoproteção (Figura 12B). Os altos valores de  $Y(NPQ)$ , apresentados pelo genótipo Sunrise Golden, indicam que este genótipo necessitou dissipar uma quantidade elevada de energia na forma de calor, evidenciando uma maior sensibilidade deste genótipo ao fluxo de fótons fotossintéticos dentro da casa-de-vegetação. Estas variáveis supracitadas se mostraram eficientes na avaliação diferencial de genótipos de mamoeiro, o que pode sugerir que em futuros trabalhos de caracterização diferencial de genótipos de mamoeiro sob condições de estresse abiótico, tais variáveis podem ser inseridas como características avaliadoras da capacidade fotossintética em *Carica papaya*.

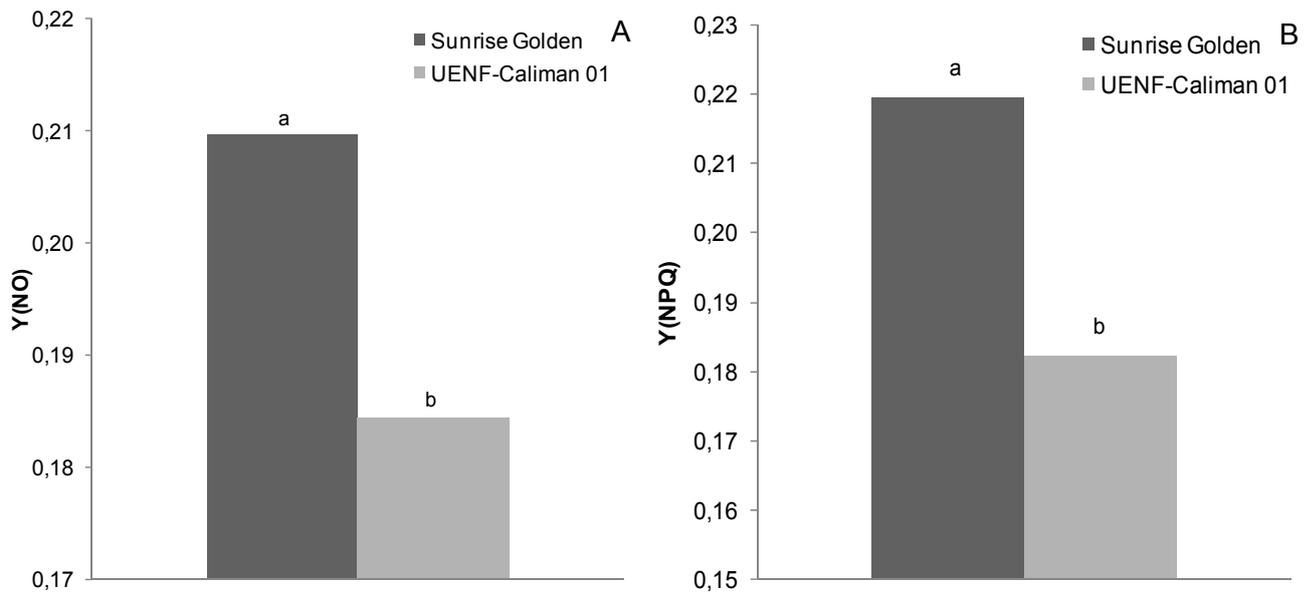


Figura 12. (A) rendimento quântico da dissipação não-regulada de energia no FSII ( $Y(NO)$ ) e (B) rendimento quântico da dissipação regulada de energia não-fotoquímica no FSII ( $Y(NPQ)$ ) de mamoeiros submetidos à fertirrigação. Cada barra representa a média dos mamoeiros sob todas as condutividades elétricas das soluções de cultivo e as épocas avaliadas no experimento. As letras diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O rendimento quântico potencial do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) não variou em relação às diferentes condutividades elétricas promovidas por fertilizantes. Os valores encontrados nesse experimento apresentaram-se entre 0,77 e 0,83. Segundo Bolhar-NordenKampf et al. (1989), em plantas não submetidas a estresses, ou seja, plantas consideradas saudáveis, o rendimento quântico máximo do fotossistema II pode variar em uma faixa de 0,75 a 0,85. Isto indica que, sob condições de valores mais elevados de condutividade elétrica, a eficiência fotoquímica, quando avaliada por esta variável, não foi comprometida em ambos os genótipos.

O UENF-Caliman apresentou valores de  $F_v/F_m$  entre 0,80 e 0,83, enquanto o Sunrise Golden apresentou valores em uma faixa inferior, entre 0,77 e 0,80. O  $F_v/F_m$  diferiu entre os horários avaliados neste experimento (dados não-mostrados), e nas medidas realizadas na ausência de luz, às 5 horas da manhã, os valores observados de  $F_v/F_m$  foram maiores. Na Figura 13, observa-se que, para ambos os genótipos, o modelo apresentou valores máximos em torno de

0,83, por volta de 45 dias após início dos tratamentos. Nas medidas realizadas ao meio dia, esses valores diminuíram para aproximadamente 0,77 no genótipo Golden (Figura 13). O  $F_v/F_m$  foi superior no híbrido UENF-Caliman em ambos os horários avaliados, 5 horas da manhã e ao meio-dia. Estes resultados mostram novamente a superioridade do híbrido, relacionada à eficiência fotoquímica, em relação ao genótipo Sunrise Golden.

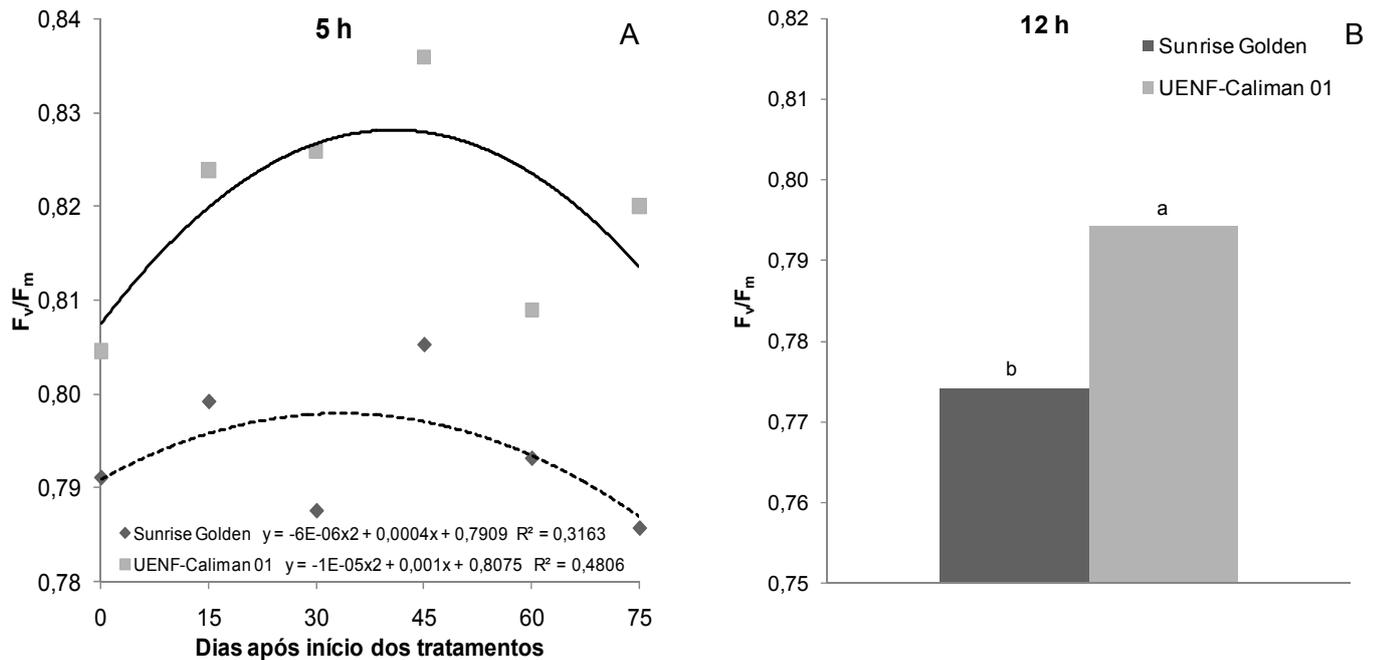


Figura 13. (A) Rendimento quântico potencial do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) dos genótipos de mamoeiro às 5 horas da manhã ao longo do experimento, os pontos fornecem a média entre as condutividades elétricas. (B)  $F_v/F_m$  às 12 horas, cada barra representa a média dos mamoeiros sob todas as condutividades elétricas das soluções de cultivo e as épocas avaliadas no experimento. As letras diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

#### 4.3.2.1 JIP-test

Em sua maioria, a fluorescência da clorofila *a*, é emitida pelo fotossistema II (FSII) e pelo sistema coletor de luz do FSII (LHCII). As alterações na fluorescência podem mostrar a presença de comprometimentos no processo

fotossintético (Strasser et al., 2000). A análise quantitativa da cinética da fluorescência foi baseada na teoria do fluxo de energia em biomembranas (Strasser et al., 2000).

O JIP-Test é utilizado como um indicador da vitalidade do material vegetal analisado (Strasser et al., 2000). Essa análise pode ser usada para explicar cada passo do fluxo de energia através do FSII até o centro de reação (RC) ( $ABS/RC$ ,  $TR_0/RC$  e  $DI_0/RC$ ), assim como o fluxo de energia por área transversal da amostra (CS) ( $ABS/CS_0$ ,  $TR_0/CS_0$ ,  $ET_0/CS_0$  e  $DI_0/CS_0$ ). Os indicadores propostos por Strasser e Strasser (1995) são inter-relacionados por probabilidades que definem a redução da quinona *a* ( $Q_a$ ) pela energia absorvida ( $TR_0/ABS$ ) e o transporte de elétrons em relação à energia capaz de reduzir  $Q_a$  ( $ET_0/TR_0$ ). Embora esse teste seja uma simplificação da teoria do fluxo de energia, ele leva em consideração a complexidade da estrutura do complexo antena (organização dos pigmentos, migração de excitação e conectividade) (Force et al., 2003).

Na Tabela 4, são apresentados os valores de  $F$ , níveis de significância e coeficientes de variação para as variáveis: índice fotossintético (PI) e as variáveis consideradas indicadoras de vitalidade (JIP-Test).

Tabela 4. Valores de F, níveis de significância e coeficientes de variação (CV) para as variáveis da fluorescência da clorofila a índice fotossintético ou performance index (PI), e as variáveis consideradas indicadoras de vitalidade (JIP-Test): área sob a curva da fluorescência que estima o tamanho do 'pool' de plastoquinona do fotossistema II (FSII), o número total de fótons absorvidos por moléculas antenas ativas e inativas dos centros de reação do FSII por seção transversal da amostra (ABS/CS<sub>0</sub>), máxima taxa de captura de excitação que irá reduzir quinona a por seção transversal da amostra (TR/CS<sub>0</sub>), transporte de elétrons no FSII por seção transversal da amostra (ET/CS<sub>0</sub>), concentração de centros de reação ativos por seção transversal da amostra (RC/CS<sub>0</sub>), energia absorvida por unidade de centro de reação (ABS/RC), quantidade de energia capturada (que reduziu Qa) por unidade de centro de reação (TR<sub>0</sub>/RC), máximo transporte de elétrons por centro de reação (ET<sub>0</sub>/RC), razão de dissipação total de energia de excitação não-capturada dos centros de reação RCs relacionado ao número de RCs ativos (DI<sub>0</sub>/RC).

Fonte de variação	PI	Área	ABS/RC	TR <sub>0</sub> /RC	ET <sub>0</sub> /RC	DI <sub>0</sub> /RC
Bloco	0,18 <sup>ns</sup>	1,01 <sup>ns</sup>	2,13 <sup>ns</sup>	0,83 <sup>ns</sup>	1,56 <sup>ns</sup>	5,18 <sup>**</sup>
Hora	651,81 <sup>**</sup>	3,40 <sup>ns</sup>	4,65 <sup>*</sup>	18,58 <sup>**</sup>	9,63 <sup>**</sup>	2,32 <sup>ns</sup>
Época	355,20 <sup>**</sup>	7,00 <sup>**</sup>	8,98 <sup>**</sup>	20,40 <sup>**</sup>	88,36 <sup>**</sup>	0,29 <sup>ns</sup>
Condutividade elétrica	0,46 <sup>ns</sup>	1,48 <sup>ns</sup>	0,93 <sup>ns</sup>	0,95 <sup>ns</sup>	1,84 <sup>ns</sup>	0,78 <sup>ns</sup>
Genótipo	1,12 <sup>ns</sup>	3,63 <sup>ns</sup>	40,36 <sup>**</sup>	64,66 <sup>**</sup>	90,95 <sup>**</sup>	9,81 <sup>**</sup>
Hora* Época	156,43 <sup>**</sup>	0,56 <sup>ns</sup>	9,02 <sup>**</sup>	14,00 <sup>**</sup>	0,68 <sup>ns</sup>	4,61 <sup>*</sup>
Hora*CE	0,94 <sup>ns</sup>	1,28 <sup>ns</sup>	1,16 <sup>ns</sup>	1,37 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	0,86 <sup>ns</sup>
CE* Época	1,47 <sup>ns</sup>	1,66 <sup>ns</sup>	1,14 <sup>ns</sup>	1,32 <sup>ns</sup>	2,45 <sup>*</sup>	0,85 <sup>ns</sup>
Hora*Genótipo	5,58 <sup>*</sup>	1,35 <sup>ns</sup>	0,99 <sup>ns</sup>	1,23 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>
Genótipo* Época	4,23 <sup>**</sup>	5,93 <sup>**</sup>	4,02 <sup>*</sup>	5,97 <sup>**</sup>	7,89 <sup>**</sup>	1,35 <sup>ns</sup>
CE*Genótipo	0,59 <sup>ns</sup>	1,75 <sup>ns</sup>	0,84 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>	1,60 <sup>ns</sup>	1,13 <sup>ns</sup>
Hora*Época*CE	2,23 <sup>**</sup>	0,50 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	1,21 <sup>ns</sup>	1,46 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>
Hora*Época*Genótipo	3,21 <sup>**</sup>	0,34 <sup>ns</sup>	0,76 <sup>ns</sup>	1,19 <sup>ns</sup>	3,37 <sup>*</sup>	0,54 <sup>ns</sup>
Hora*CE*Genótipo	0,61 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	1,29 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>
Época*CE*Genótipo	1,72 <sup>*</sup>	1,89 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>	0,90 <sup>ns</sup>	1,86 <sup>ns</sup>	1,08 <sup>ns</sup>
CV (%)	39,18	53,27	17,63	12,82	11,54	56,03

Continuação Tabela 4.

Fonte de variação	RC/CS <sub>0</sub>	ABS/CS <sub>0</sub>	TR <sub>0</sub> /CS <sub>0</sub>	ET <sub>0</sub> /CS <sub>0</sub>	DI <sub>0</sub> /CS <sub>0</sub>
Bloco	3,84*	6,99**	6,66**	5,44**	6,88**
Hora	93,06**	45,53**	51,21**	103,54**	21,56**
Época	95,58**	45,84**	55,94**	6,76**	15,06**
Condutividade elétrica	0,14 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>
Genótipo	80,61**	4,11*	9,70**	4,16*	1,25 <sup>ns</sup>
Hora* Época	20,88**	7,06**	8,80**	12,55**	3,50*
Hora*CE	0,70 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>ns</sup>
CE* Época	0,80 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	0,95 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>
Hora*Genótipo	0,00 <sup>ns</sup>	1,07 <sup>ns</sup>	1,09 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>
Genótipo* Época	3,62*	1,33 <sup>ns</sup>	1,58 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>
CE*Genótipo	0,67 <sup>ns</sup>	1,15 <sup>ns</sup>	1,01 <sup>ns</sup>	1,22 <sup>ns</sup>	1,29 <sup>ns</sup>
Hora*Época*CE	0,73 <sup>ns</sup>	1,12 <sup>ns</sup>	1,20 <sup>ns</sup>	1,44 <sup>ns</sup>	0,79 <sup>ns</sup>
Hora*Época*Genótipo	0,38 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>
Hora*CE*Genótipo	0,57 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>
Época*CE*Genótipo	0,65 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>	1,08 <sup>ns</sup>
CV (%)	17,83	20,96	18,05	22,67	49,06

Obs.: Os níveis de significância são indicados por: \* = P<0,05; \*\* = P<0,01 e ns = não significativo.

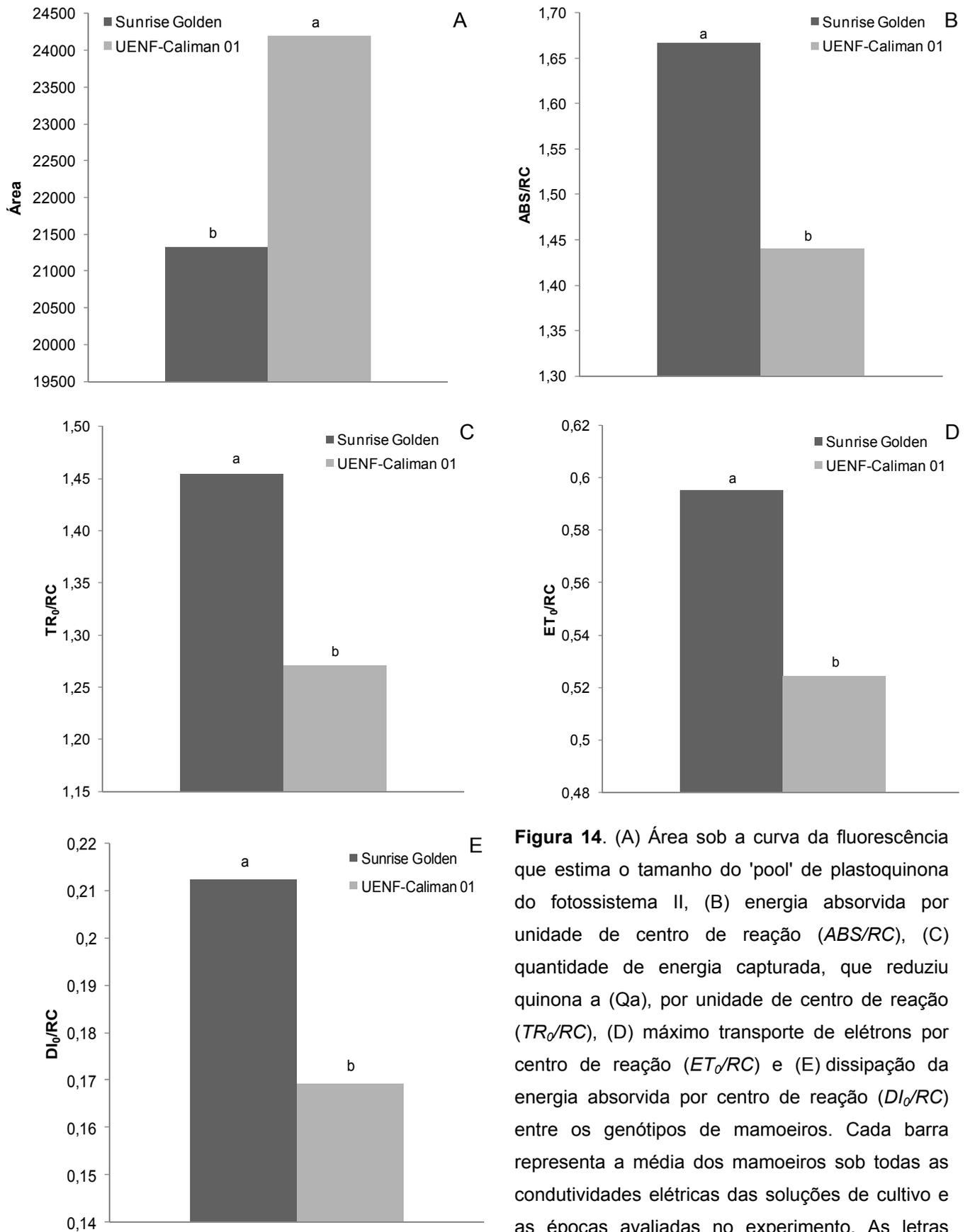
Neste experimento, as variáveis do JIP-Test obtidas não foram afetadas pela condutividade elétrica das soluções nutritivas aplicadas (Tabela 4). Porém, todas essas variáveis foram diferentes entre os genótipos, com exceção da dissipação por seção transversal da amostra foliar dos mamoeiros (DI<sub>0</sub>/CS), que não foi significativa para os fatores estudados.

A energia absorvida por centro de reação (ABS/RC), a energia capturada, que reduziu Quinona a, por centro de reação (TR<sub>0</sub>/RC), a taxa de transporte de elétrons por centro de reação (ET<sub>0</sub>/RC), assim como a dissipação da energia absorvida por centro de reação (DI<sub>0</sub>/RC) apresentaram-se com valores maiores para o genótipo Sunrise Golden, em comparação ao UENF-Caliman (Figura 14). Entretanto, a área acima da curva da cinética da emissão da fluorescência (curva Kautsky), a qual estima o tamanho dos “aceptores” de elétrons no lado redutor do fotossistema II foi maior neste último genótipo (Figura 14).

Quando as avaliações são expressas por seção transversal da folha amostrada (CS *cross section*), o genótipo UENF-Caliman apresentou maiores valores. A energia absorvida por seção transversal de amostra foliar (ABS/CS), a quantidade de energia capturada (que reduziu Qa) por seção da amostra

( $TR_0/CS$ ), o transporte de elétrons por seção da amostra ( $ET/CS_0$ ) e a densidade de centros de reação relacionados à redução da Qa ( $RC/CS_0$ ) foram maiores no genótipo UENF-Caliman (Figura 15), devido, provavelmente, à maior massa foliar específica, que pode promover maior concentração de cloroplasto por área em consequência da maior espessura foliar, bem como o maior teor de clorofilas neste híbrido.

Quando a expressão das variáveis foi feita com base na quantidade de centros de reação ativos (RC) (Figura 14), o genótipo Golden apresentou maiores valores, pois a quantidade de centros de reação ativos ( $RC/CS_0$ ) foi bem menor neste genótipo, do que no genótipo UENF-Caliman (Figura 15C). Tal fato mostra novamente que, independente das variações da condutividade elétrica, ocorre uma menor eficiência fotoquímica deste genótipo. O menor valor da intensidade de verde da folha, obtido por meio do medidor portátil de clorofila, apresentado pelo genótipo Golden, pode ter causado alterações na absorção do fluxo de fótons fotossintéticos por unidade de seção transversal da amostra. A mesma situação aconteceu com o aumento da variável  $DI/RC$ , que está relacionada à capacidade do material vegetal amostrado dissipar energia na forma de calor, fluorescência e transferência de energia para outros sistemas (Figura 14E). A maior energia dissipada pelo genótipo Golden mostra que uma menor energia foi utilizada por este genótipo no transporte de elétrons ( $ET_0/CS_0$ ) e na redução de Qa ( $TR/CS_0$ ) (Figura 15).



**Figura 14.** (A) Área sob a curva da fluorescência que estima o tamanho do 'pool' de plastoquinona do fotossistema II, (B) energia absorvida por unidade de centro de reação ( $ABS/RC$ ), (C) quantidade de energia capturada, que reduziu quinona a ( $Q_a$ ), por unidade de centro de reação ( $TR_0/RC$ ), (D) máximo transporte de elétrons por centro de reação ( $ET_0/RC$ ) e (E) dissipação da energia absorvida por centro de reação ( $DI_0/RC$ ) entre os genótipos de mamoeiros. Cada barra representa a média dos mamoeiros sob todas as condutividades elétricas das soluções de cultivo e as épocas avaliadas no experimento. As letras diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

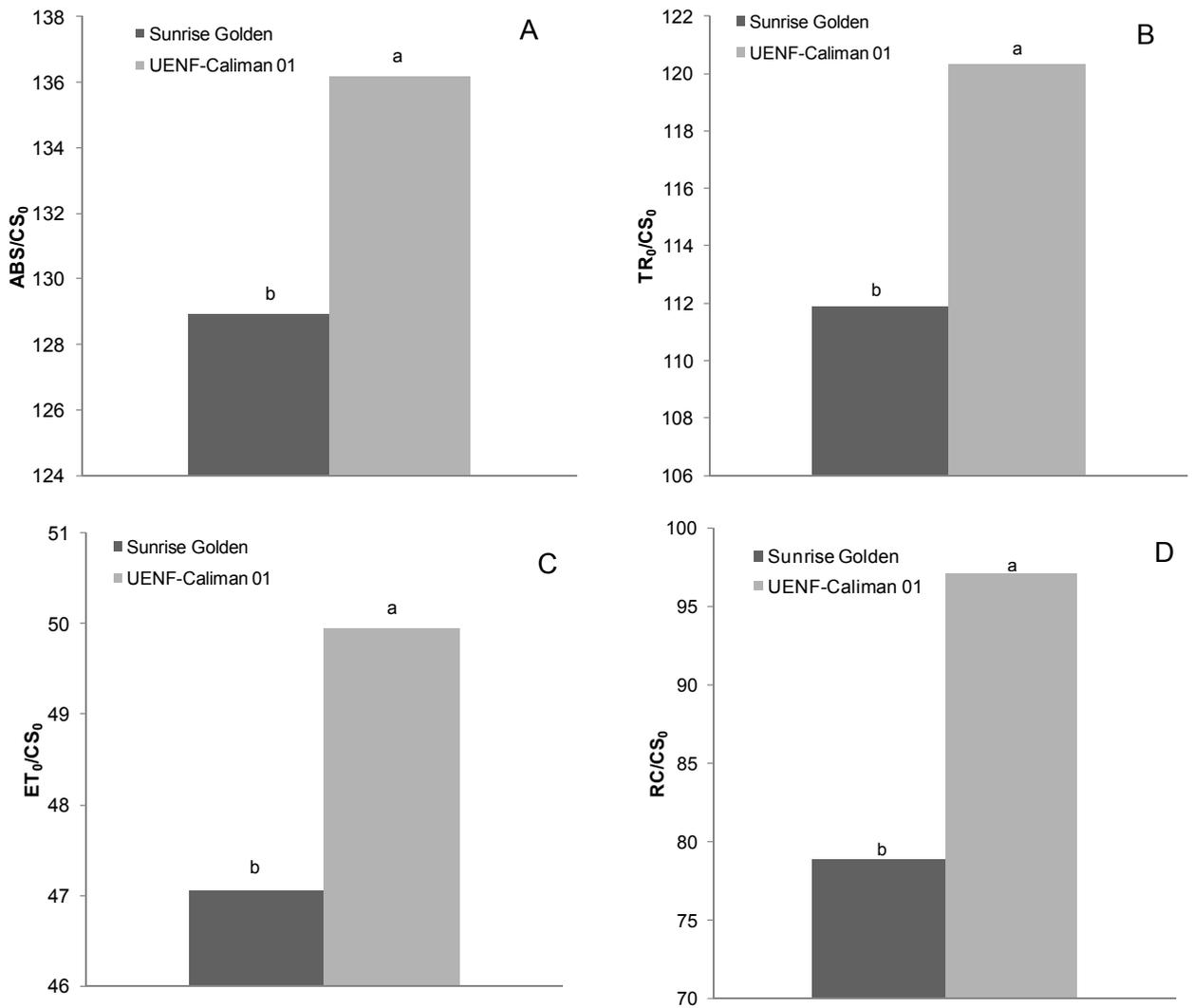


Figura 15. (A) Energia absorvida por seção transversal da amostra foliar ( $ABS/CS$ ), (B) quantidade de energia capturada (que reduziu  $Q_a$ ) por seção da amostra ( $TR_0/CS$ ), (C) transporte de elétrons por seção da amostra ( $ET/CS_0$ ) e (D) densidade de centros de reação relacionados à redução da  $Q_a$  ( $RC/CS_0$ ) entre os genótipos de mamoeiros. Cada barra representa a média dos mamoeiros sob todas as condutividades elétricas das soluções de cultivo e as épocas avaliadas no experimento. As letras diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

#### 4.3.2.2 Índice fotossintético

A variável índice fotossintético ou *performance index* (PI), foi afetada pela condutividade elétrica das soluções nutritivas aplicadas e entre os genótipos estudados. Foi observada uma diminuição principalmente no genótipo UENF-Caliman, que decresceu em unidades relativas de 10, na solução de condutividade  $1,0 \text{ dS m}^{-1}$ , para 7 na solução de condutividade  $3,4 \text{ dS m}^{-1}$ . O Sunrise Golden não variou em função das soluções nutritivas, permanecendo em valores em torno de 8,5 (Figura 16). Segundo Zivcak et al. (2008), o índice fotossintético (PI) foi utilizado na detecção dos efeitos do estresse hídrico sobre a vitalidade do trigo, o que proporcionou um protocolo de seleção para as variedades com mais ou menos tolerantes à seca.

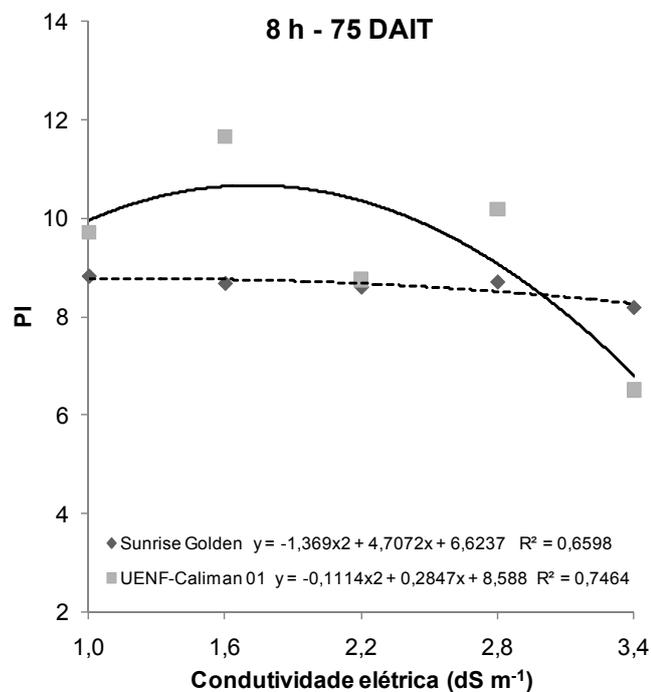


Figura 16. Índice fotossintético (*Performance index* - PI) dos genótipos de mamoeiros submetidos à fertirrigação com diferentes condutividades elétricas da solução de cultivo. Os pontos fornecem a média às 8 horas da manhã e aos 75 dias após início dos tratamentos (DAIT).

Na medida realizada ao meio dia, o PI não foi eficiente na detecção de diferenças entre os valores de condutividade elétrica. Porém, apresentou diferenças entre os genótipos ao longo do experimento. Maiores valores de PI

foram observados no UENF-Caliman em relação ao Sunrise Golden principalmente aos 45 dias após início dos tratamentos (Figura 17). O índice fotossintético (PI) tem sido considerado uma variável muito sensível na maioria dos estresses abióticos, e em diferentes culturas (Strasser et al. 2000, Jiang et al, 2006, Christen et al. 2007). Neste experimento com mamoeiro, com base nos resultados obtidos, este índice se mostrou mais adequado para avaliar os efeitos de elevada condutividade elétrica da solução nutritiva sobre o híbrido do que sobre o Golden. Embora no híbrido esta variável tenha sido mais comprometida aos 75 dias após início dos tratamentos (DAIT), as respostas sobre os efeitos deste comprometimento em PI no crescimento, somente poderão ser observadas após esta data. Ainda, tal redução nesta época (75 DAIT) não promoveu diferenças na taxa fotossintética (A) entre este genótipo e o Sunrise Golden.

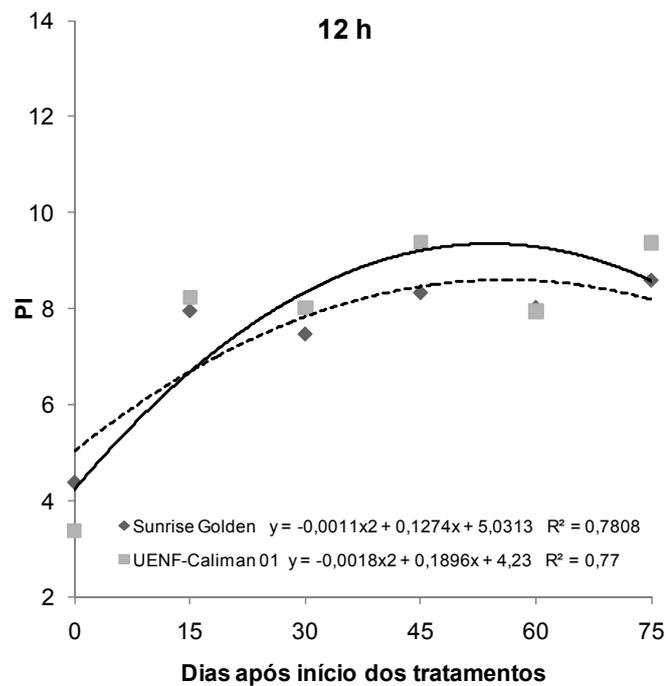


Figura 17. Índice fotossintético (*Performance index* - PI) dos genótipos de mamoeiros submetidos à fertirrigação. Os pontos fornecem a média às 12 horas e entre as diferentes condutividades elétricas da solução de cultivo.

### 4.3.3 Fotorrespiração

Na Tabela 5, são apresentados os valores de  $F$ , níveis de significância e coeficientes de variação para as variáveis da fotorrespiração. O rendimento máximo do fluxo de elétrons linear através do fotossistema II ( $\phi_e$ ) e a taxa total do transporte de elétrons no fotossistema II destinada para a fotossíntese e fotorrespiração ( $J_t$ ) apresentaram diferenças entre os genótipos e diminuíram pela elevação da condutividade elétrica das soluções ao longo do tempo. Os genótipos estudados apresentaram diferenças significativas no  $\text{CO}_2$  liberado pela fotorrespiração ( $R_L$ ), com maiores valores encontrados no Sunrise Golden. As condutividades elétricas das soluções com diferentes concentrações de fertilizantes influenciaram a partição de elétrons para a fotossíntese ( $J_c$ ) e a partição de elétrons para a fotorrespiração ( $J_o$ ), com diminuição do fluxo de elétrons para a carboxilação da Rubisco nas soluções com elevadas condutividades elétricas. A variável  $J_o$  diferiu entre os genótipos de mamoeiro estudados neste experimento, sendo que o mamoeiro Sunrise Golden apresentou maior fluxo de elétrons para as reações de oxigenase da Rubisco em relação ao UENF-Caliman 01.

Em termos de produtividade, a fotorrespiração é um processo que reduz a fixação de carbono e o crescimento das plantas. O processo fotorrespiratório é importante para remover o excesso de energia (ATP e NADPH) produzido sob altos níveis de radiação e/ou sob situação de estresse hídrico, ou salino (Taiz e Zeiger, 2009). Na fotorrespiração são consumidos 7 ATPs e 4 NADPHs, para cada molécula de  $\text{CO}_2$  fixada ou liberada. Para a assimilação fotossintética do carbono são necessários 3 ATPs e 2 NADPHs. Dessa forma, a fotorrespiração tem como função dissipar o excesso de ATP e  $\text{NADPH}_2$ , produzidos na etapa fotoquímica da fotossíntese, protegendo a planta da fotoinibição, e permitindo uma rápida recuperação após o período de estresse (Buchanan, 2000). A competição entre  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$  pela Rubisco (EC 4.1.1.39) pode explicar a forte inibição da fotossíntese das plantas  $\text{C}_3$  em condições de baixo nível de  $\text{CO}_2$  (elevado nível de oxigênio) e o incremento da fotossíntese em baixos níveis de  $\text{O}_2$  (elevado nível de gás carbônico) (Taiz e Zeiger, 2009).

Tabela 5. Valores de F, níveis de significância e coeficientes de variação (CV) para as variáveis da fotorrespiração, rendimento máximo do fluxo de elétrons linear através do fotossistema II ( $\phi_e$ ), taxa total do transporte de elétrons no fotossistema II destinada para a fotossíntese e fotorrespiração ( $J_t$ ), assimilação fotossintética do  $\text{CO}_2$  (A), respiração mitocondrial ( $R_{dm}$ ),  $\text{CO}_2$  liberado pela fotorrespiração ( $R_L$ ), partição de elétrons para a fotossíntese ( $J_c$ ), partição de elétrons para a fotorrespiração ( $J_o$ ).

Fonte de variação	$\phi_e$	$J_t$	A	$R_{dm}$	$R_L$	$J_c$	$J_o$
Bloco	8,13**	8,13**	1,57 <sup>ns</sup>	7,02**	7,86**	1,61 <sup>ns</sup>	9,25**
Condutividade elétrica	1,80 <sup>ns</sup>	1,80 <sup>ns</sup>	8,54**	0,89**	1,33 <sup>ns</sup>	7,00**	1,32**
Genótipo	14,06**	14,06**	0,06 <sup>ns</sup>	0,04**	11,59**	3,12 <sup>ns</sup>	12,03**
Época	25,77**	25,77**	36,53**	22,12**	34,72**	34,45**	37,60**
CE*Genótipo	1,07 <sup>ns</sup>	1,07 <sup>ns</sup>	0,76 <sup>ns</sup>	1,06**	1,27 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	1,88**
CE*Período	3,23**	3,23**	4,00**	1,08**	0,62 <sup>ns</sup>	4,56**	0,54**
Genótipo*Época	0,11 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	1,54 <sup>ns</sup>	1,49**	0,07 <sup>ns</sup>	0,61 <sup>ns</sup>	0,24**
CE*Genótipo* Época	0,85 <sup>ns</sup>	0,85 <sup>ns</sup>	0,88 <sup>ns</sup>	0,71**	0,95 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>ns</sup>	0,81**
CV (%)	26,20	26,19	28,23	61,08	59,03	27,22	55,34

Obs.: Os níveis de significância são indicados por: \* =  $P < 0,05$ ; \*\* =  $P < 0,01$  e ns = não significativo.

O rendimento quântico máximo do fluxo de elétrons linear através do fotossistema II ( $\phi_e$ ), medido por meio da inclinação inicial da curva ETR/PAR, apresentou diminuição ao longo do experimento, em todas as condutividades elétricas, com exceção da solução de condutividade elétrica  $1,0 \text{ dS m}^{-1}$ , em que o valor desta variável permaneceu inalterada ao longo dos dias de aplicação dos tratamentos (Figura 18A). Contudo a condutividade elétrica  $3,4 \text{ dS m}^{-1}$  apresentou os menores valores desta variável, o que pode indicar que a elevação na condutividade elétrica das soluções nutritivas afetou a transferência de elétrons nos tilacóides (Figura 18A).

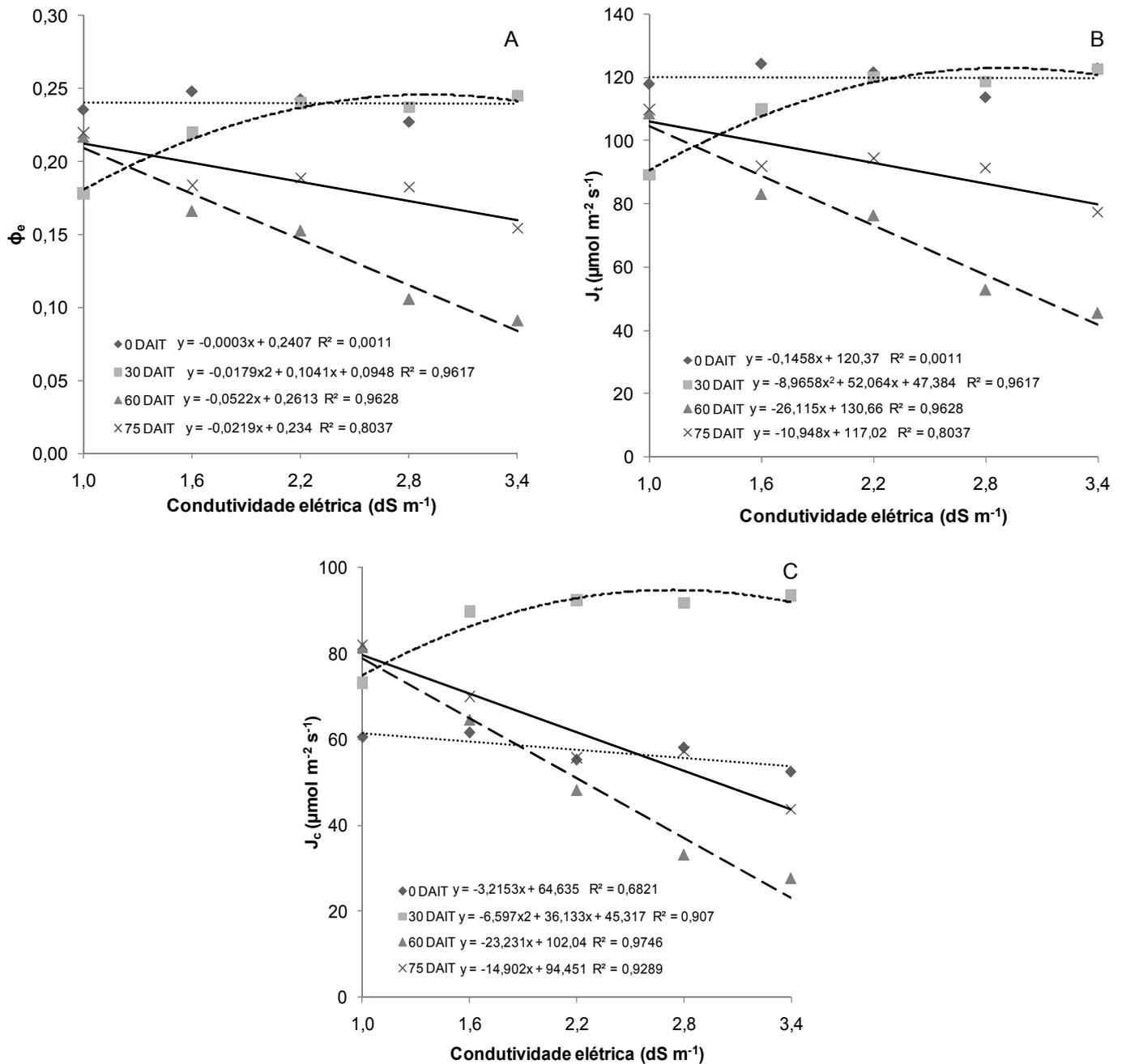


Figura 18. (A) Rendimento quântico máximo do fluxo de elétrons linear através do FSII ( $\phi_e$ ), (B) taxa total do transporte de elétrons no fotossistema II destinada para a fotossíntese e fotorrespiração ( $J_t$ ) e (C) a partição de elétrons para a fotossíntese ( $J_c$ ) de mamoeiros submetidos à diferentes condutividades elétricas ao longo dos dias após início dos tratamentos (DAIT). Os pontos fornecem a média entre os genótipos Sunrise Golden e UENF-Caliman 01.

A taxa total de transporte de elétrons no fotossistema II (FSII) a serem utilizados para a fotossíntese e para a fotorrespiração ( $J_t$ ) apresentou a mesma resposta do  $\phi_e$  (Figura 18B). Ou seja, decresceu em todos os níveis de condutividade elétrica ao longo do tempo, com exceção da solução de CE 1,0 dS  $m^{-1}$ . A partir da CE 1,6 dS  $m^{-1}$   $J_t$  decresceu, variando de 125  $\mu mol m^{-2} s^{-1}$  antes do início dos tratamentos para 60  $\mu mol m^{-2} s^{-1}$  aos 75 dias de tratamento em média (Figura 18B). O fluxo de elétrons direcionados ao processo fotossintético decresceu com o tempo, e aos 75 DAIT foi bem reduzido nas plantas que receberam a solução com maior condutividade elétrica. Uma vez que a taxa fotossintética líquida foi menor neste tratamento (Figura 9A), uma associação entre estas duas variáveis pode ser estabelecida, porque a taxa fotossintética líquida torna-se dependente do fluxo de elétrons, indiretamente por meio do uso do ATP e NADPH no Ciclo de Calvin.

Na Figura 19A, observa-se que para abastecer a fotorrespiração mais elevada do mamoeiro Golden, foi necessário um maior fluxo de elétrons direcionados a este processo metabólico, avaliado pela variável  $J_o$ , do que o híbrido UENF-Caliman.

No mamoeiro Golden, o que se observou foi que a variável  $J_o$  contribuiu com mais intensidade no valor de  $J_t$  do que no mamoeiro UENF-Caliman. Ou seja, tendo o genótipo Golden a fotorrespiração maior, esta exige um maior fluxo de elétrons para abastecer este processo metabólico. Na condição de avaliação da partição de elétrons para a fotossíntese e para a fotorrespiração (entre 8 e 10 horas) foi observado que o genótipo Golden apresentou uma maior taxa de transporte de elétrons (Figura 19A). Esta maior taxa de elétrons foi necessária para abastecer a fotorrespiração, que foi elevada no genótipo Golden. Na condição de medição de taxa de transporte de elétrons (ETR) entre as 8 e 10 horas, estes valores foram diferentes da ETR obtida por meio da Equação 12, em que as medidas foram realizadas às 5 horas (ante-manhã).

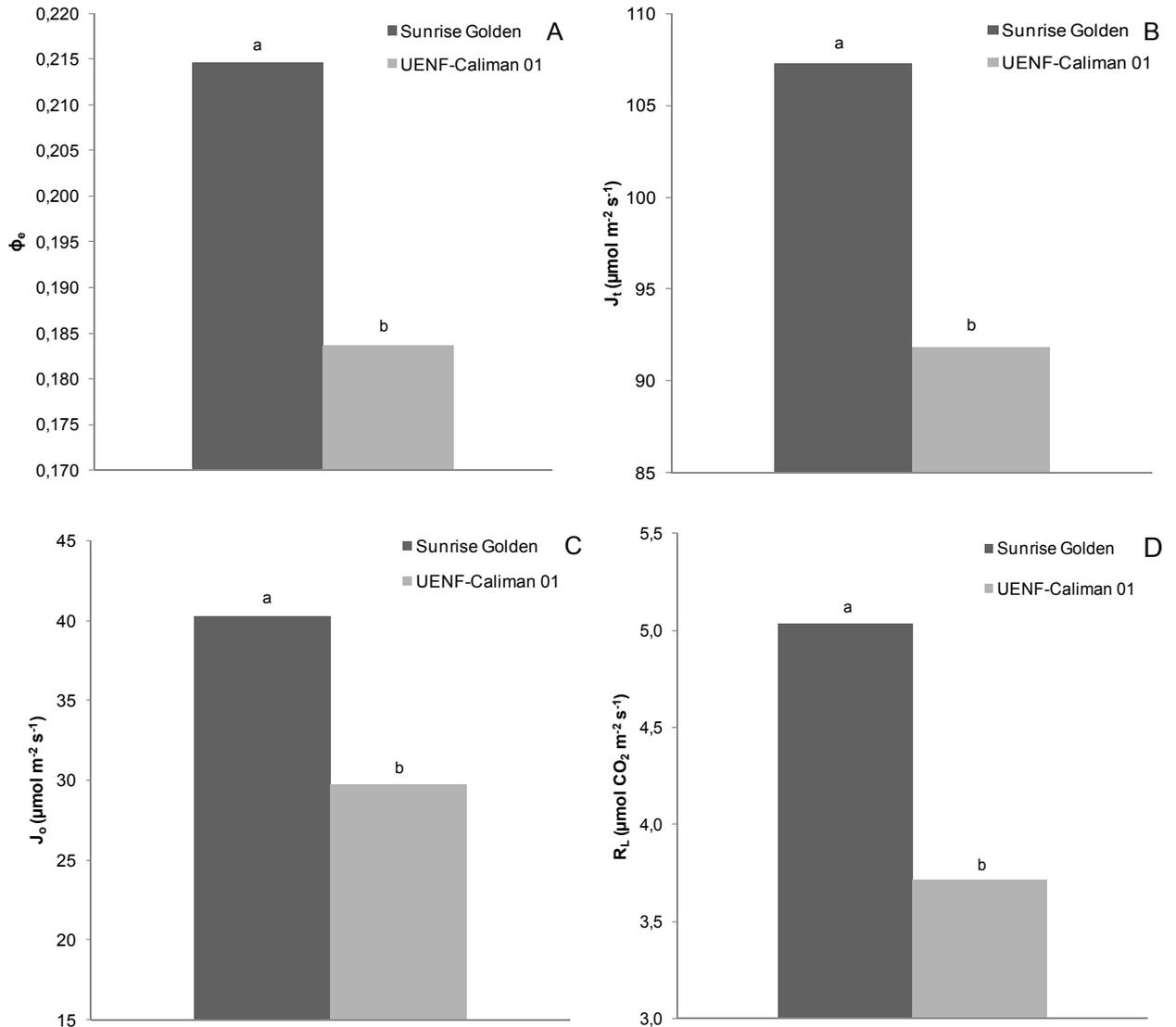


Figura 19. (A) Rendimento quântico máximo do fluxo de elétrons linear através do FSII ( $\phi_e$ ), (B) Taxa total do transporte de elétrons no fotossistema II destinada para a fotossíntese e fotorrespiração ( $J_t$ ), (C) partição de elétrons para fotorrespiração ( $J_o$ ) e (D)  $\text{CO}_2$  liberado pela fotorrespiração ( $R_L$ ) entre os genótipos de mamoeiros. Cada barra representa a média dos mamoeiros sob todas as condutividades elétricas das soluções de cultivo e as épocas avaliadas no experimento. As letras diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Nas condições deste experimento, o Sunrise Golden apresentou taxa fotorrespiratória 34% maior do que o UENF-Caliman (Figura 19D). A origem das

variações de resposta entre os genótipos de mamoeiro estudados pode estar associada aos mecanismos fotorrespiratórios. Segundo Zelitch (1992), a regulação foi específica para cada genótipo de plantas de tabaco. No caso específico do mamoeiro, poucos trabalhos têm comparado as diferenças varietais em termos de valores de fotorrespiração com o objetivo de seleção de genótipos mais adaptados às situações de estresse salino ou osmótico promovido pela elevação da condutividade elétrica. Uma vez que a taxa fotorrespiratória pode causar redução na produtividade das culturas de interesse agrônômico, e a enzima Rubisco, utilizando o oxigênio como substrato, pode deixar de atuar como carboxilase, e desta maneira, não permite a assimilação fotossintética do carbono (Buchanan, 2000). Em condições em que a fotorrespiração acontece em maior quantidade, pode ocorrer queda na fotossíntese e assim ocorrer diminuição da produtividade das culturas.

Desta maneira, o que se observa na produção comercial de frutos, é que o mamoeiro Golden apresenta menor produtividade em relação ao híbrido em termos de peso de fruto produzido. Portanto, futuros trabalhos serão necessários para verificar se a baixa produtividade do genótipo Golden estaria relacionada com a maior fotorrespiração.

#### **4.3.4 Curva de luz da fotossíntese**

A assimilação fotossintética do carbono ( $A$ ) *versus* o fluxo de fótons fotossintéticos (FFF) interceptado pelas folhas das plantas de mamoeiro cultivadas em soluções nutritivas de diferentes condutividades elétricas é mostrada na Figura 11. Nesta Figura, observa-se que a taxa fotossintética diminuiu aos 75 dias após início dos tratamentos (DAIT), quando comparado com as plantas cultivadas aos 15 DAIT. Esta diminuição da taxa fotossintética líquida está associada ao estresse hídrico, possivelmente associado a um estresse osmótico promovido pelas soluções nutritivas de maior condutividade elétrica. Isto pode ser evidenciado nos valores médios de  $g_s$  aos 15 DAIT e aos 75 DAIT (dados não-mostrados). As plantas cultivadas na solução nutritiva de maior CE, aos 75 DAIT, apresentaram uma condutância estomática bem inferior do que as plantas das demais soluções nutritivas, a partir da primeira intensidade luminosa (dados não-mostrados).

Os valores de fotossíntese máxima na solução de condutividade elétrica 3,4 dS m<sup>-1</sup>, que aos 15 dias após início dos tratamentos foi de 16 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (Figura 20A), e no período de 75 dias após início dos tratamentos decresceu para 4 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, na intensidade luminosa de 2000 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (Figura 20B).

Como relatado anteriormente, os valores elevados de condutividade elétrica podem promover uma redução no potencial osmótico da rizosfera, o que causa uma redução no potencial hídrico, comprometendo assim as relações hídricas da planta (Chaves et al., 2009).

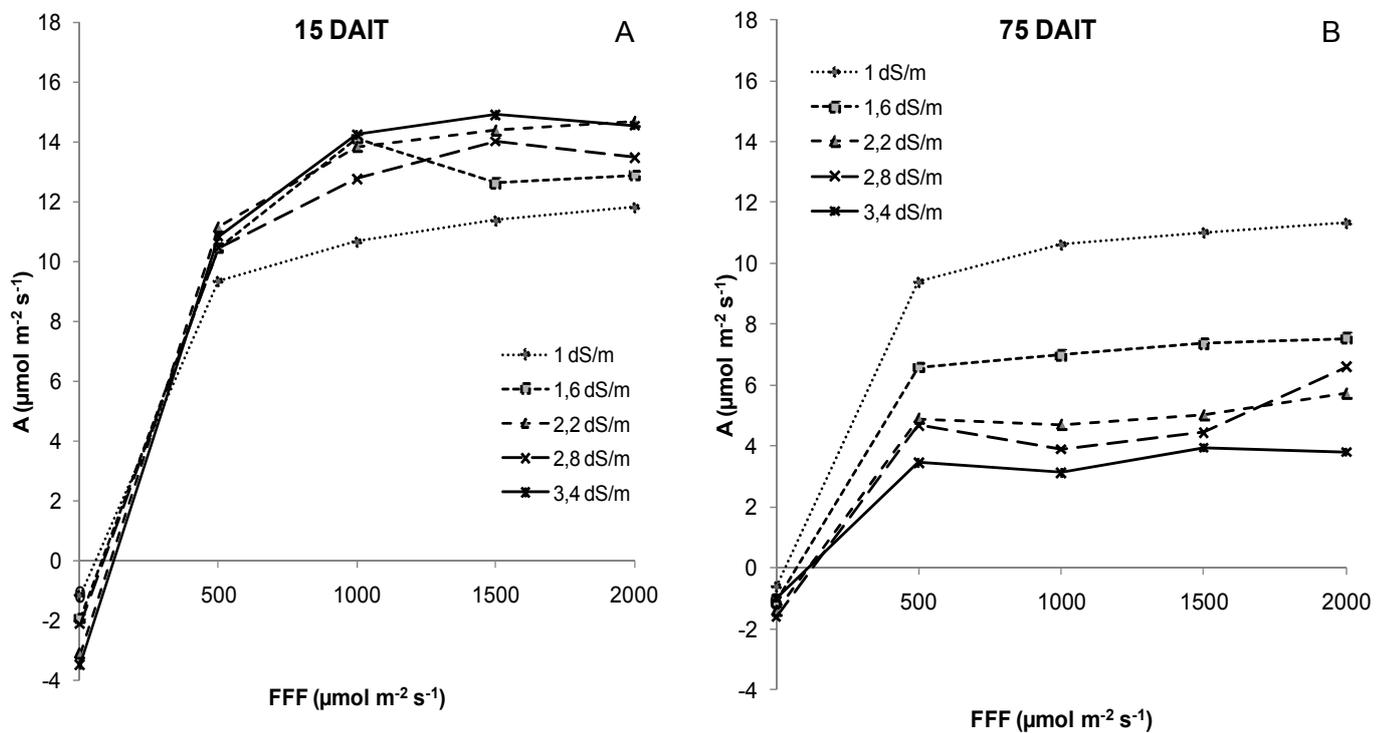


Figura 20. (A) Assimilação fotossintética do CO<sub>2</sub> (A) de mamoeiros submetidos à fertirrigação com diferentes condutividades elétricas da solução de cultivo em função de cinco intensidades luminosas (fluxo de fótons fotossintéticos - FFF) aos 15 dias após início dos tratamentos (DAIT) e (B) aos e 75 DAIT.

#### 4.4 Termografia por infravermelho

As soluções nutritivas influenciaram negativamente a transpiração dos mamoeiros, que conseqüentemente apresentaram temperaturas aumentadas devido à não-refrigeração da folha. As soluções com maiores condutividades elétricas diminuíram a transpiração, devido ao fechamento estomático causado pelo estresse osmótico. Na Figura 21 são apresentadas imagens termais, ou termografias, que mostram a emissão da radiação infravermelha dos mamoeiros tratados com as soluções nutritivas, de menor e maior condutividade elétrica, aplicadas no experimento.

Modificações na condição hídrica da planta causada por condições adversas leva à mudanças na transpiração como resultado da regulação ativa da abertura estomática. As mudanças associadas ao modelo padrão de resfriamento da folha podem ser monitoradas instantânea e remotamente por meio de imagens termográficas (Nilsson, 1995).

Por meio das imagens termográficas foi determinada uma área na superfície do limbo foliar em torno de nove cm<sup>2</sup>, nesta área foi medida a temperatura média indicada na Figura 21. Aos 75 dias de aplicação dos tratamentos, as temperaturas médias nas folhas dos mamoeiros se encontravam entre 27,85°C e 30,7°C. Os mamoeiros Sunrise Golden e UENF-Caliman apresentaram amplitude da temperatura foliar em torno de 2,5°C entre as condutividades elétricas 1,6 dS m<sup>-1</sup> e 3,4 dS m<sup>-1</sup>, ou seja, entre as soluções de maior e menor concentração de nutrientes respectivamente.

Essa técnica apresenta vantagem sobre as medidas diretas de transpiração por meio de porômetros e analisadores de gás por infravermelho, pois estes indicam o aumento médio da umidade do ar circulante em sistema fechado, isto é, a folha permanece enclausurada em uma câmara (medidas de trocas gasosas), além destas técnicas de porometria serem mais trabalhosas e necessitarem de repetidos pontos de medição.

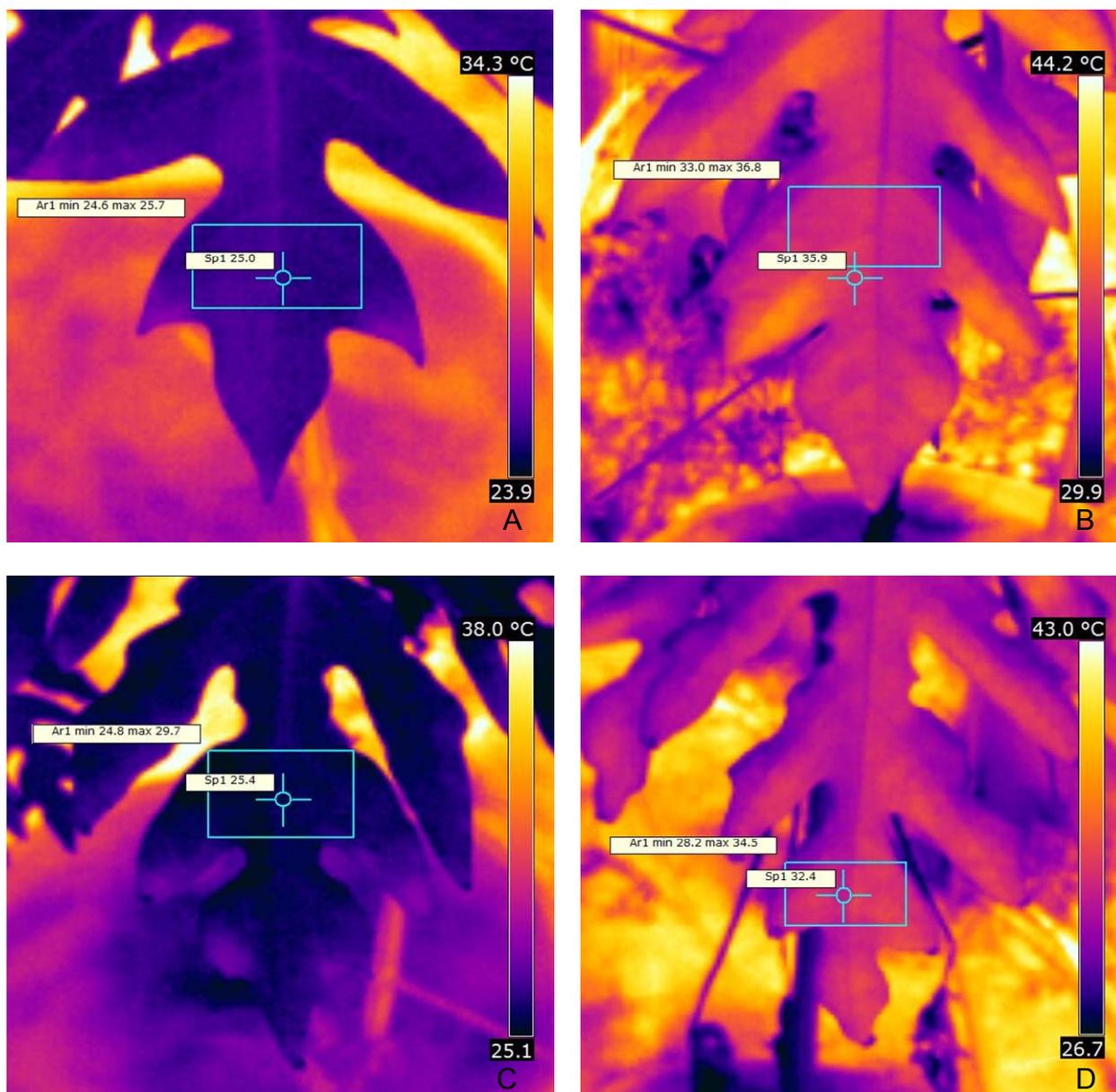


Figura 21. Imagens termográficas de folhas (A) do mamoeiro Sunrise Golden com temperatura de 25°C na condutividade elétrica (CE) 1,6 dS m<sup>-1</sup>, (B) 35,9°C na CE 3,4 dS m<sup>-1</sup>, (C) do mamoeiro UENF-Caliman com temperatura de 25,4°C na CE 1,6 dS m<sup>-1</sup> e 32,4°C na CE 3,4 dS m<sup>-1</sup>, aos 75 dias após início dos tratamentos. Os valores fornecem a média da área definida na folha, as imagens representam uma repetição da CE correspondente.

#### 4.5 Análise de macronutrientes no limbo foliar

Na Tabela 6, são apresentados os valores de F, níveis de significância e coeficientes de variação para os teores de macronutrientes no limbo foliar dos mamoeiros. Todos estes responderam à época em que foi realizada a análise foliar, antes e 75 dias de aplicação dos tratamentos, com exceção do Mg, que variou entre os genótipos estudados. Os teores de nitrogênio apresentaram interação entre as condutividades elétricas e os genótipos, no mamoeiro Sunrise Golden diminuíram acima de CE 2,2 dS m<sup>-1</sup>, ao contrário dos teores observados no UENF-Caliman, que aumentaram linearmente com elevação na CE. Os teores de potássio variaram em função das condutividades elétricas, com menores teores encontrados acima de CE 2,2 dS m<sup>-1</sup>. Os teores de fósforo, cálcio e enxofre apresentaram efeitos das condutividades elétricas e a época avaliada, aos 75 dias de aplicação dos tratamentos, os teores destes nutrientes, em ambos os genótipos, decresceram acima de 2,2 dS m<sup>-1</sup>. Maiores teores de fósforo, enxofre e magnésio foram encontrados no limbo foliar do Sunrise Golden em comparação ao UENF-Caliman.

Tabela 6. Valores de F, níveis de significância e coeficientes de variação (CV) para as variáveis macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S).

Fonte de variação	N	P	K	Ca	Mg	S
Bloco	3,04*	6,81**	3,89*	1,16 <sup>ns</sup>	1,69 <sup>ns</sup>	3,98*
Condutividade elétrica	1,40 <sup>ns</sup>	8,02**	2,97*	3,70**	0,89 <sup>ns</sup>	3,77**
Genótipo	1,95 <sup>ns</sup>	17,61**	0,76 <sup>ns</sup>	87,77**	71,11**	50,46**
Época	20,06**	7,95**	34,38**	30,86**	0,56 <sup>ns</sup>	29,28**
CE*Genótipo	2,79*	1,58 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>ns</sup>	1,05 <sup>ns</sup>
CE* Época	0,47 <sup>ns</sup>	3,27*	1,74 <sup>ns</sup>	7,83**	1,07 <sup>ns</sup>	2,77*
Genótipo* Época	1,75 <sup>ns</sup>	0,88 <sup>ns</sup>	2,32 <sup>ns</sup>	8,25**	0,85 <sup>ns</sup>	3,90 <sup>ns</sup>
CE*Genótipo* Época	0,70 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>	1,73 <sup>ns</sup>	1,97 <sup>ns</sup>	1,81 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>
CV (%)	12,62	13,47	18,68	13,40	12,92	15,98

Obs.: Os níveis de significância são indicados por: \* = P<0,05; \*\* = P<0,01 e ns = não significativo.

Os teores de nitrogênio (N) foram diferentes entre os genótipos de mamoeiro submetidos a diferentes condutividades elétricas das solução de cultivo

(Figura 27). O Sunrise Golden apresentou maior teor de N, em torno de  $45 \text{ g Kg}^{-1}$ , no limbo foliar de plantas cultivadas na condutividade elétrica  $2,2 \text{ dS m}^{-1}$ . O teor de N neste genótipo decresceu com elevação na CE, teor de  $38,5 \text{ g Kg}^{-1}$  na CE  $3,4 \text{ dS m}^{-1}$  foi encontrado aos 75 dias de aplicação dos tratamentos. O UENF-Caliman apresentou modelo linear, com teores crescentes que variou entre  $38,6$  e  $42,76 \text{ g Kg}^{-1}$  nas condutividades elétricas de  $1,0$  e  $3,4 \text{ dS m}^{-1}$  respectivamente (Figura 22).

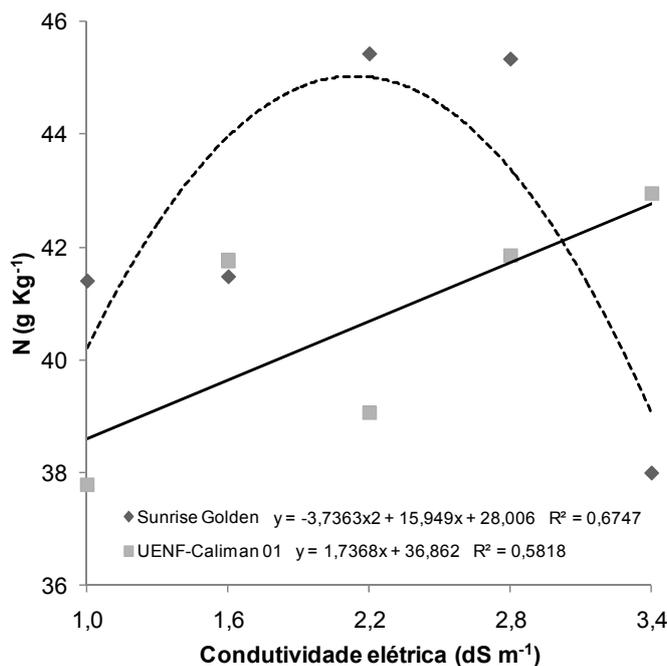


Figura 22. Teores de nitrogênio (N) no limbo foliar de mamoeiros submetidos à fertirrigação com diferentes condutividades elétricas da solução de cultivo. Os pontos fornecem a média nas épocas avaliadas.

Neste experimento, não foram evidenciados sintomas de deficiência de nitrogênio. Os teores de nitrogênio em todas as condutividades elétricas (Figura 22) não foram limitantes ao crescimento e ao processo fotossintético, como observado nas análises biométricas e de trocas gasosas em ambos os genótipos (Figura 5 e 9). Portanto, os teores de N encontrados neste experimento com mamoeiro podem ser considerados adequados. O nitrogênio encontra-se no solo tanto sob a forma orgânica quanto mineral. Há um predomínio da forma orgânica, a qual não é prontamente absorvida pelas plantas (Tisdale e Nelson, 1975).

A mobilidade das duas principais formas de N mineral nos solos (amônio e nitrato) difere consideravelmente. O íon amônio apresenta menor probabilidade

de lixiviação, uma vez que este se liga às cargas negativas do solo, podendo ser imobilizado por microrganismos e, sob condições favoráveis, ser rapidamente convertido à forma nítrica. Ao contrário do amônio, há pouca possibilidade do nitrato ligar-se aos colóides do solo. Assim, esta forma torna-se mais sujeita à lixiviação (Haynes, 1986).

O potássio (K) é o nutriente mais requerido pelo mamoeiro, sendo exigido de forma constante e crescente durante todo o ciclo da planta. Este nutriente possui importância particular após o estágio de florescimento e frutificação, por proporcionar frutos maiores, com teores mais elevados de açúcares e sólidos solúveis totais. Segundo Oliveira et al. (2004), a relação N/K é de grande importância para o mamoeiro, por afetar a qualidade do fruto. Recomenda-se que nas adubações os fertilizantes apresentem relações N/K próximas a 1. Tem-se observado que uma relação alta pode proporcionar casca fina, frutos moles, sabor alterado, crescimento excessivo da planta e frutos muito distanciados. Em uma relação equilibrada, os frutos se apresentam doces e com polpa mais consistente.

O teor de potássio (K) na matéria seca do limbo foliar do mamoeiro apresentou modelo quadrático em função das condutividades elétricas, com maior valor,  $20,63 \text{ g Kg}^{-1}$ , na CE  $2,2 \text{ dS m}^{-1}$  (Figura 23). O teor deste nutriente não variou entre os genótipos e as épocas avaliadas. Segundo Costa (1995), a faixa considerada adequada de potássio no limbo foliar do mamoeiro é entre 24,7 e  $29,8 \text{ g Kg}^{-1}$ . Neste experimento, não foram observadas deficiências visuais relacionadas ao potássio nos genótipos de mamoeiro nas diferentes condutividades elétricas da solução de cultivo, portanto, os teores propostos por Costa (1995) não se aplicam neste caso.

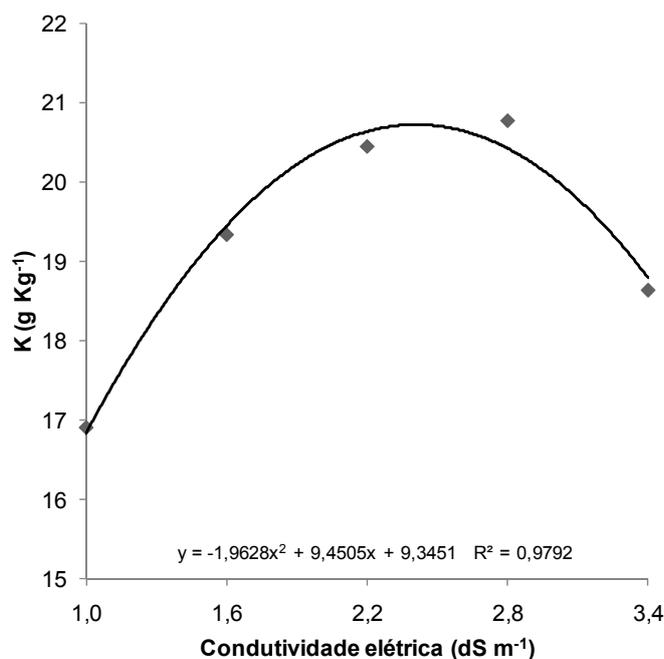


Figura 23. Teores de potássio (K) no limbo foliar de mamoeiros submetidos à fertirrigação com diferentes condutividades elétricas da solução de cultivo. Os pontos fornecem a média entre os genótipos Sunrise Golden e UENF-Caliman e as épocas avaliadas.

Os teores de fósforo (P), cálcio (Ca) e enxofre (S) no mamoeiro, apresentaram diferenças significativas entre as soluções nutritivas e as épocas avaliadas, não foram observadas diferenças entre os genótipos estudados. Os modelos quadráticos ajustados para 75 dias após o início dos tratamentos, indicam que estes nutrientes apresentaram maiores teores nos limbos foliares de mamoeiros tratados com a solução de condutividade elétrica 2,8 dS m<sup>-1</sup>. Para a época inicial de análise, antes dos tratamentos, os modelos lineares não significativos são devidos à variabilidade entre as plantas e/ou entre os blocos dentro da casa-de-vegetação (Figura 24).

O maior teor de fósforo, no limbo foliar dos mamoeiros, estimado pelo modelo é para a condutividade elétrica 2,8 dS m<sup>-1</sup>, com uma queda na solução de condutividade elétrica 3,4 dS m<sup>-1</sup> (Figura 24A). O fósforo é o macronutriente requerido em menor quantidade pelo mamoeiro. Este nutriente se acumula na planta de forma crescente e uniforme. Apresenta maior importância na fase inicial do desenvolvimento radicular, sendo importante adubar as plantas jovens com fósforo prontamente disponível. Este nutriente apresenta efeito sobre a fixação do fruto na planta. Neste experimento, não foram evidenciados sintomas de

deficiência de fósforo. O teor de fósforo no limbo foliar do mamoeiro, na última época avaliada, permaneceu dentro da faixa de 4,5 a 5,0 g Kg<sup>-1</sup>, considerada adequada por Costa (1995) para mamoeiros de alta produtividade.

Não foram observados sintomas de deficiência de cálcio nos mamoeiros nos períodos avaliados. O maior valor observado para esse nutriente foi de 13,2 g Kg<sup>-1</sup> na condutividade elétrica 2,8 dS m<sup>-1</sup> (Figura 24B). O cálcio (Ca) é o terceiro nutriente mais requerido pelo mamoeiro e também se acumula de forma crescente e uniforme, promovendo crescimento e multiplicação das raízes.

O enxofre (S) participa da composição química da papaína (enzima proteolítica) e, em termos gerais, desempenha na planta funções que determinam aumentos na produção e qualidade do fruto. O íon SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> favorece a atividade de enzimas anabólicas com conseqüente acúmulo de carboidratos polimerizados (amido) e de componentes nitrogenados polimerizados (proteínas). Neste experimento, não foram observados sintomas visuais de deficiência de enxofre. A partir da solução nutritiva de condutividade elétrica 2,2 dS m<sup>-1</sup>, os teores de enxofre foram encontrados acima da faixa considerada ideal, entre 4,8 e 4,9 g Kg<sup>-1</sup>, para o mamoeiro de alta produtividade (Costa, 1995) (Figura 24C).

A maior concentração de fertilizantes na solução de cultivo 3,4 dS m<sup>-1</sup> pode ter diminuído o potencial hídrico no substrato, em função de um potencial osmótico mais negativo. Essa menor disponibilidade de água no sistema radicular causou o fechamento estomático, via sinalização hormonal, e como efeitos ocorreram decréscimos na transpiração e translocação dos nutrientes até a folha.

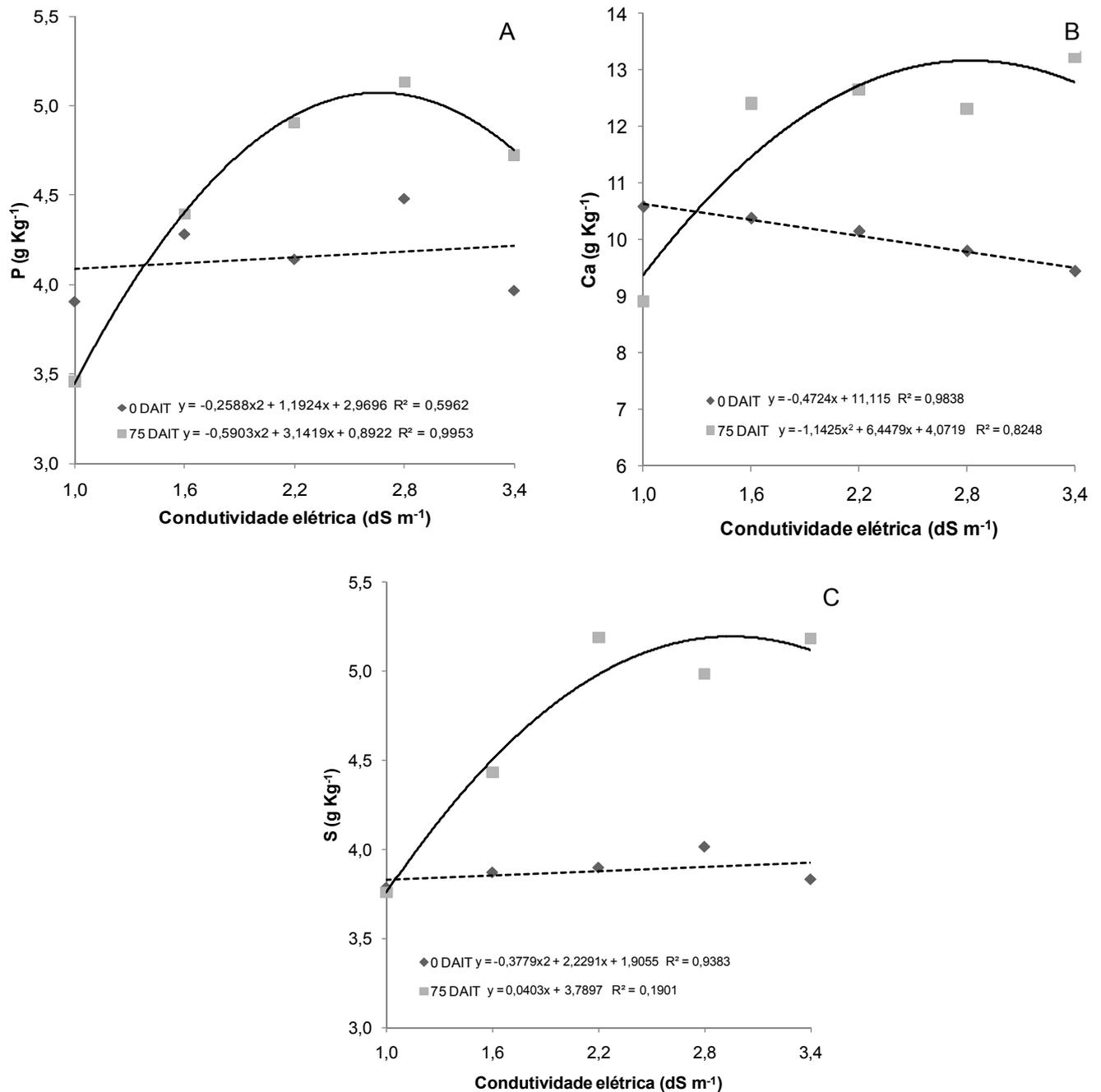


Figura 24. (A) Teores de fósforo (P), (B) cálcio (Ca) e (C) enxofre (S) no limbo foliar de mamoeiros submetidos à fertirrigação com diferentes condutividades elétricas da solução de cultivo. Os pontos fornecem a média entre os genótipos Sunrise Golden e UENF-Caliman em cada época avaliada.

Os teores de fósforo e enxofre nos mamoeiros, independente da época avaliada e condutividades elétricas, foram diferentes entre os genótipos estudados. O mamoeiro Sunrise Golden apresentou maiores teores desses nutrientes, os teores de fósforo foram 4,61 e 4,06 g Kg<sup>-1</sup> no Sunrise Golden e UENF-Caliman 01 respectivamente, (Figura 25A). Os teores de enxofre foram de 4,87 e 3,75 g Kg<sup>-1</sup> no Sunrise Golden e UENF-Caliman 01 respectivamente (Figura 25B).

O teor de magnésio (Mg) não respondeu entre as condutividades elétricas e as épocas avaliadas, maior teor (6,2 g Kg<sup>-1</sup>) foi encontrado na matéria seca do limbo foliar do mamoeiro Sunrise Golden em comparação ao híbrido UENF-Caliman (4,8 g Kg<sup>-1</sup>) (Figura 25C). A principal função fisiológica do magnésio (Mg) é o seu papel catalítico, atuando na síntese de proteína e na ativação de muitas enzimas. É também um componente indispensável da molécula de clorofila, portanto, participa dos processos de fotossíntese, além de auxiliar na absorção e translocação de fósforo. Neste experimento, não foram observados sintomas visuais de deficiência de magnésio.

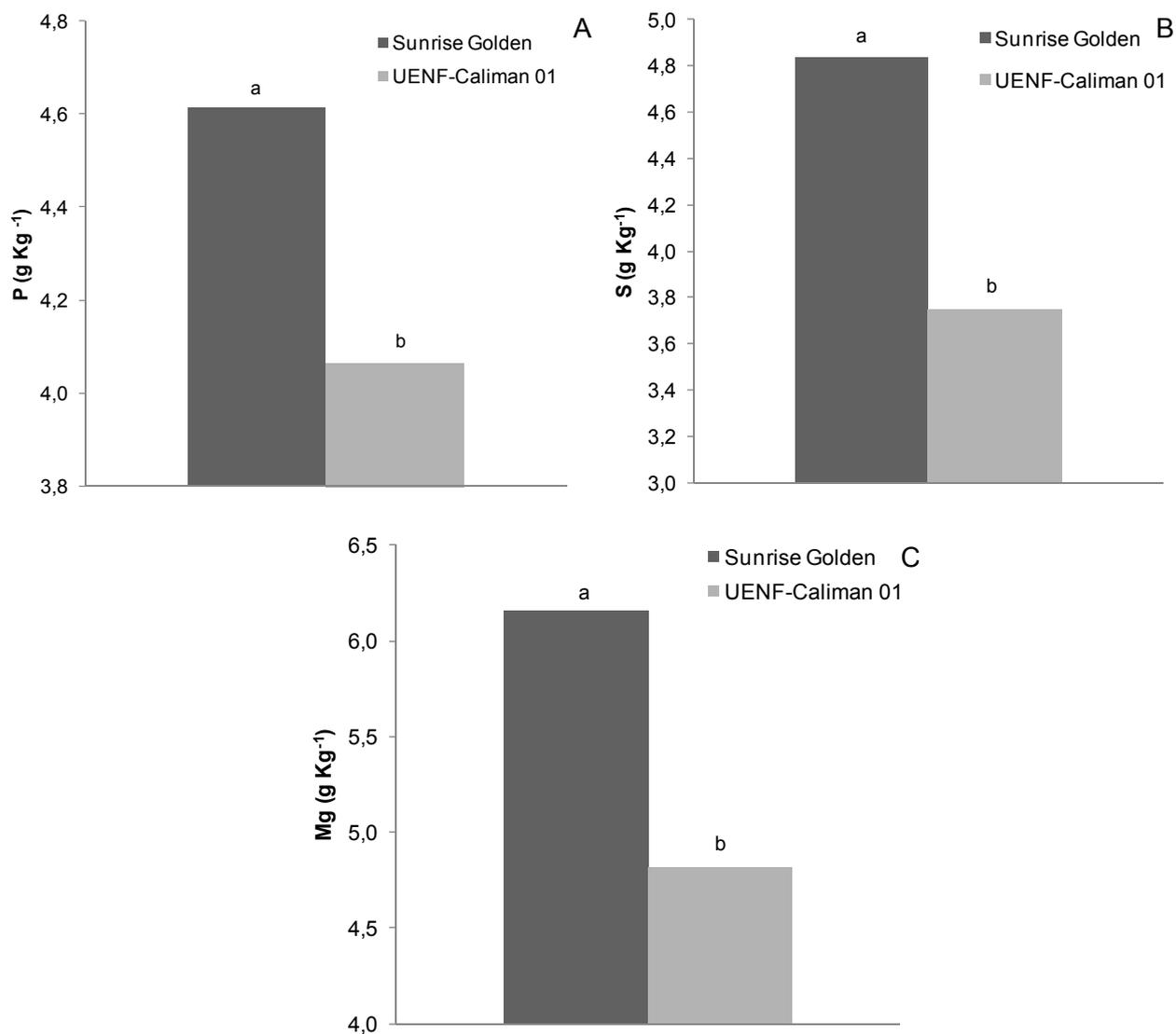


Figura 25. (A) Teores de fósforo (*P*), (B) magnésio (*Mg*) e (C) enxofre (*S*) no limbo foliar dos mamoeiros Sunrise Golden e UENF-Caliman submetidos à fertirrigação. Cada barra representa a média dos mamoeiros sob todas as condutividades elétricas das soluções de cultivo aos 75 dias após início dos tratamentos. As letras diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

## 5 RESUMO E CONCLUSÕES

A elevação nas condutividades elétricas das soluções de fertirrigação promoveu decréscimo na altura de planta, no diâmetro do caule, no número de folhas do mamoeiro, e esta redução foi em valores acima de CE 2,2 dS m<sup>-1</sup>. A redução nestas variáveis de crescimento está relacionada com o comprometimento da taxa fotossintética, o qual foi causado pela redução na condutância estomática nos maiores valores de condutividade elétrica das soluções de cultivo. Entretanto, em condição de incremento da condutividade elétrica, foram observadas reduções na ETR/PAR, quando esta variável foi avaliada por meio do fluorímetro Mini-PAM, o que pode mostrar que os efeitos dos tratamentos comprometeram também a fase fotoquímica.

A assimilação fotossintética do carbono decresceu com o tempo e nas soluções de maiores concentrações de fertilizantes. A partir dos 60 dias após início dos tratamentos, a taxa fotossintética líquida decresceu 56%. A queda na fotossíntese foi associada ao fechamento estomático (menores valores de  $g_s$ ), ou seja, houve um controle estomático da taxa fotossintética. No mamoeiro Sunrise Golden a fotorrespiração foi 34% maior em relação ao UENF-Caliman. A taxa fotorrespiratória dos mamoeiros não variou em relação às condutividades elétricas da solução de cultivo e ao longo do experimento.

Os valores do rendimento quântico potencial do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) encontrados, apresentaram-se entre 0,77 e 0,83, isto indica que, sob condições de condutividades elétricas mais elevadas, a eficiência fotoquímica, quando avaliada por esta variável, não foi comprometida em ambos os genótipos. Nas condições do experimento, o híbrido UENF-Caliman, independente da condutividade elétrica aplicada, apresentou maior eficiência fotoquímica, em função do melhor aproveitamento da energia luminosa. Os altos valores de

Y(NPQ), apresentados pelo genótipo Sunrise Golden, indicam que este genótipo necessitou dissipar uma quantidade elevada de energia na forma de calor, evidenciando uma maior sensibilidade deste genótipo ao fluxo de fótons fotossintéticos dentro da casa-de-vegetação. As variáveis da fluorescência se mostraram eficientes na avaliação diferencial de genótipos de mamoeiro, o que sugere que em futuros trabalhos de caracterização diferencial de genótipos de mamoeiro sob condições de estresse abiótico, tais variáveis possam ser inseridas como características avaliadoras da capacidade fotossintética em *Carica papaya* L.

As variáveis obtidas por meio do JIP-Test, consideradas como índices de vitalidade, não responderam à condutividade elétrica das soluções de cultivo, porém, todas essas variáveis foram diferentes entre os genótipos, com exceção da dissipação de energia não-fotoquímica por seção transversal da amostra foliar dos mamoeiros ( $DI_0/CS$ ). A variável índice fotossintético (PI), obtida por meio do fluorímetro portátil Pocket PEA, diferenciou os genótipos às 8 e 12 horas, e as condutividades elétricas, somente às 8 horas da manhã.

As imagens termais, obtidas por meio da termografia por infravermelho, apresentaram amplitude de até  $2,5^{\circ}C$  entre as condutividades elétricas  $1,0$  e  $3,4 \text{ dS m}^{-1}$  no Sunrise Golden e no híbrido UENF-Caliman 01. Estas imagens, obtidas por termográficos portáteis, podem ser úteis para avaliação instantânea de estresse hídrico em plantas, devido ao fechamento estomático e conseqüente aumento da temperatura foliar.

A exposição do sistema radicular à fertirrigação com elevada condutividade elétrica da solução de cultivo causou comprometimento na assimilação fotossintética do carbono em função do fechamento estomático, esta queda afetou negativamente as características de crescimento altura e número de folhas. O fechamento estomático ocorreu devido, principalmente, ao estresse osmótico promovido pelas concentrações de fertilizantes da solução de cultivo. Porém, a elevada condutividade elétrica não afetou a eficiência fotoquímica dos mamoeiros Sunrise Golden e UENF-Caliman 01, quando avaliada por outras variáveis da fluorescência que não a ETR/PAR. Os teores de macronutrientes encontrados no limbo foliar dos mamoeiros decresceram com a elevação da condutividade elétrica, entretanto, foram considerados adequados, uma vez que não foram observados sintomas de deficiência em ambos os genótipos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, F.T.; Bernardo, S.; Marinho, C.S. (2002). Teores de nutrientes do mamoeiro 'Improved Sunrise Solo 72/12' sob diferentes lâminas de irrigação no Norte Fluminense. *Rev. Bras. Frutic.* 24(2): 547 - 551.

Alves, F.L. (2003) A cultura do mamão *Carica papaya* L. no mundo, no Brasil e no Estado do Espírito Santo. *In: Martins, D.S., Costa, A. F. S. (eds.) A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção.* Vitória: Imcaper, p. 11-34.

Araus, J. L.; Amaro, T.; Voltas, J.; Natkoul, H.; Nachit, M. M. (1998) Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for grain yield in durum wheat under mediterranean conditions. *Field Crops Research*, 55: 209-223.

Araus, L.L.; Villegas, D. (1994). Comparative leaf structure and patterns of photoinhibition of neotropical palms. *Scheelea zonensis* and *Socratea durissima* growing in clearings and forest understory during the dry season in Panama. *American Journal of Botany*, 81 (6): 726-738.

Arumuganathan, K; Earle, ED. (1991). Nuclear DNA content of some important plant species. *Plant Mol Biol Rep.*, v. 9, p. 208–218.

Australian Government (2008). The biology of *Carica papaya* L. (papaya, papaw, paw paw). Department of health and ageing. Office of the gene technology regulator. Disponível em <<http://www.ogtr.gov.au>> 55p.

Awada, M.; Ikeda, W. S. (1957) Effects of water and nitrogen application on composition, growth, sugars in fruits, and Sex expression of the papaya plants (*Carica papaya* L.). University of Hawaii. *Hawaii Agricultural Experiment Station, Technical Bulletin*, n.38, 16p.

Ayres, R.S.; Westcot, D.W. (1991) A qualidade da água na agricultura. Campina Grande: UFPB, 218p. *Estudos da FAO Irrigação e Drenagem*, 29.

Badillo, V. M. (1971) *Monografía de la familia Caricaceae*. Asociacion de Profesores, Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela.

Baker, N.R. 2008. *Chlorophyll Fluorescence: A Probe of Photosynthesis In Vivo*.

Barber, J.; Anderson, B. (1992), Too much of a good thing: light can be bad for photosynthesis. *Trends in Biochemical Sciences*, Amsterdam, 17, 61-66.

Bernardo, S.; Carvalho, J.A.; Souza, E.F. (1996). *Irrigação do mamoeiro*. 1. ed. Campos dos Goytacazes, RJ: UENF Boletim Técnico. 20p.

Bilger, W.; Björkmann, O. (1990) Role of the xanthophyll cycle in photoprotection elucidated by measurements of light-induced absorbance changes, fluorescence and photosynthesis in leaves of *Hedera canariensis*. *Photosynth. Res.* 25: 173–185.

Bilger, W.; Schreiber, U.; Bock, M. (1995). Determination of the quantum efficiency of photosystem II and of non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence in the field. *Oecologia*. 102: 425-432.

Blanco, F.F.; Folegatti, F.F. (2002) Manejo da água e nutrientes para o pepino em ambiente protegido sob fertirrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.6, n.2, p.151-155.

Brápex (2010). Associação Brasileira dos Exportadores de Papaya. Disponível em: <http://www.brápex.net>

Buchanan, B.B.; Gruissem, W.; Jones, R.L. (2000). *Biochemistry and molecular biology of plants*. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 1367p.

Campostrini, E. e Glenn, D.M. (2007) Ecophysiology of papaya: a review. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 19(4):413-424.

Campostrini, E.; Yamanishi, O.K. (2001) Influence of mechanical root restriction on gas-exchange of four papaya genotypes. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 13:129-138.

Castro FA (2005) Relações do valor do medidor portátil de clorofila (SPAD-502) com o processo fotossintético e com o teor de nitrogênio orgânico em dois genótipos de *Carica papaya* L. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense. MSthesis.

Chan, Y.K. (2009). Breeding papaya (*Carica papaya* L.). In: *Breeding Plantation Tree Crops: tropical species*. S.M. Jain; P.M. Priyadarshan. Springer, 121-159p.

Chaves, M.M. (1991). Effects of water déficits on carbon assimilation. *Journal of Experimental Botany*, 42 (234): 1-16.

Chaves, M.M.; Flexas, J.; Pinheiro, C. (2009). Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, 1-10.

Chaves, M.M.; Maroco, J.P; Pereira J.S. (2003). Understanding plant responses to drought – from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, 30: 239-264.

Chaves, M.M.; Oliveira, M.M. (2004). Mechanisms underlying plant resilience to water deficts: prospects for water-saving agriculture. *Journal of Experimental Botany*, 55(407): 2365-2384.

Chaves, M.M.; Pereira, J.S.; Maroco, J.; Rodrigues, M.L.; Ricardo, C.P.P.; Osório, M.L.; Carvalho, I.; Faria, T.; Pinheiro, C. (2002). How plants cope with water stress in the Field? Photosynthesis and Growth. *Annals of Botany*, 89: 907-916.

Chen, Z.; Gallie, D.R. (2004) The ascorbic acid redox state controls guard cell signaling and stomata movement. *The Plant Cell*, 16: 1143-1162.

Christen, D.; Schönmann, S.; Jermini, M.; Strasser, R.J.; Défago, G. (2007). 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.

Cibes, H.R.; Gaztambide, S. (1978) Mineral deficiency symptoms displayed by of Puerto Rico papaya grow under controlled conditions. *J. Agric. Univ.* 62 (4):413-423.

Clemente, H.S.; Marler TE (1996) Drought stress influences gas-exchange responses of papaya leaves to rapid changes in irradiance. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 12:292-295.

Coelho Filho, M.A.; Coelho, E.F.; Cruz, J.L.; Oliveira, A.M.G.; Silva, T.S.M. (2007) Marcha de absorção de macro e micronutrientes do mamoeiro Sunrise Solo. In: Martins, D. dos S.; Costa, A.N.; Costa, A.F.S. *Papaya Brasil: Manejo, Qualidade e Mercado do Mamão*. Vitória: Incaper, p.29-40.

Coelho, E. F.; Oliveira, A. M. G. (2003) Fertirrigação do mamoeiro. In: *Martins, D.S. Papaya Brasil: qualidade do mamão para o mercado interno*. Vitória: Incaper. p. 237-250

Coelho, E.F. (1999) Irrigação. In: *Lima, A.A. (org.) O cultivo do maracujá. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura*, p. 48-54. (Circular Técnica, 35).

Coelho, E.F.; Filho, M.A.C.; Cruz, J.L. (2008). *Fundamentos e Manejo da Fertirrigação do Mamoeiro*. Cruz das Almas, EMBRAPA, p.28.

Coelho, E.F.; Silva, J.G.F.; Souza, L.F.S. (2000) Irrigação e fertirrigação. In: *Trindade, A.V. (org.) Mamão Produção: Aspectos técnicos*. Brasília: Embrapa Comunicação para transferência de Tecnologia, p. 37-42.

Costa, A. de F. S. da; Costa, A. N. da; Dessauane Filho, N. (1998), Distribuição do Sistema Radicular do Mamoeiro em Solos do Espírito Santo. *Congresso Brasileiro de Fruticultura*, Poços de Caldas, 16, p. 494.

Costa, A. F. S.; Pacova, B. E. V. (2003) Caracterização de cultivares, estratégias e perspectivas do melhoramento genético do mamoeiro. In: *Martins, D. S.; Costa, A. F. S. (ed.) A cultura do mamoeiro: Tecnologia e Produção*. Vitória, ES: INCAPER, 497p.

Costa, A.N. da. (1995). *Uso do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) na avaliação do estado nutricional do mamoeiro (Carica papaya L.) no estado do Espírito Santo*. Tese (Doutorado em Nutrição de Plantas). Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, p. 95.

Cramer, G. R.; Bowman, D. C. (1991). Kinetics of maize leaf elongation. I. Increased yield threshold limits short-term, steady-state elongation rates after exposure to salinity. *J. Exp. Bot.* 42, 1417–1426.

Crane, J.H. (2005) *Papaya growing in the Florida Home Landscape*. University of Florida. IFAS Extension. 8p.

Cruz, J.L.; Coelho, E.F.; Pelacani, C.R.; Coelho Filho, M.A.; Dias, A.T.; dos Santos, M.T. (2004). Crescimento e partição da matéria seca e de carbono no mamoeiro em resposta à nutrição nitrogenada. *Bragantia*, 63 (3): 351-361.

Cunha, R.J.P. (1979). *Marcha de absorção de nutrientes em condições de campo e sintomatologia de deficiências de macronutrientes e do boro em mamoeiro*. Piracicaba. Tese (Doutorado em Nutrição de Plantas). São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, p. 131.

Cunha, R.J.P.; Haag, H.P. (1980). Nutrição mineral do mamoeiro (*Carica papaya* L.): V. Marcha de absorção de nutrientes em condições de campo. *Anais da ESALQ*, v.37, p.631-662.

Davies, W.J., Kudoyarova, G., Hartung, W. (2005). Long-distance ABA signaling and its relation to other signaling pathways in the detection of soil drying and the mediation of the plant's response to drought. *J. Plant Growth Regul.* 24:285–95.

Dhekney, S. (2004) *Molecular investigations, cryopreservation and genetic transformation studies in papaya (Carica papaya.) for cold hardiness*. PhD Thesis, USA, University of Florida.

Dionisio-Sese, M.L., Tobita, S. (2000) Effects of salinity on sodium content and photosynthetic responses of rice seedlings differing in salt tolerance. *Journal of Plant Physiology*, 157: 54-58.

Ebert, G.; Ali-Dinar, H.; Lüdders, P. (1997). Fruit production in salinity affected areas: causes, consequences and possible solutions. *Proc. Tropentag. Hohenheim*. pp. 77-81.

Ehleringer, J. (1981). Leaf absorptances of Mohave and Sonoran desert plants. *Oecologia*. 102: 366-370.

El Moussaoui, A.; Nijs, M.; Paul, C.; Wintjens, R.; Vincentelli, J.; Azarkan, M.; Looze, Y. (2001). Revisiting the enzymes stored in the laticifers of *Carica papaya* in the context of their possible participation in the plant defense mechanism. *Cell Mol. Life Sci.*, v. 58, p. 556-570.

Embrapa (1997) *Manual de métodos de análise de solos*. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisas de Solos – Embrapa Solos, 412p.

Epstein, E., Rains, D.W. (1987). Advances in salt tolerance. *Plant and Soil*, 99:17-29.

Epstein, E.; Bloom, A.J. (2006). *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas*. Londrina: Editora Planta. 403p.

FAO (2010). Disponível em: <http://www.faostat.org.br/>

Flexas, J., Diaz-Espejo, A., Galme`S, J., Kaldenhoff, R., Medrano, H., Ribas-Carbo, M. (2007). Rapid variations of mesophyll conductance in response to changes in CO<sub>2</sub> concentration around leaves. *Plant, Cell and Environment*. 30: 1284-1298.

Force, L., Critchley, C., Van Rensen, J.J.S. (2003). New fluorescence parameters for monitoring photosynthesis in plants 1. The effect of illumination illumination on the fluorescence parameters of the JIPtest. *Photosynth. Res.* 78:17-33.

Fricke, W., Akhiyarova, G., Veselov, D., Kudoyarova, G. (2004). Rapid and tissue-specific changes in ABA and in growth rate response to salinity in barley leaves. *J. Exp. Bot.* 55:1115–23.

Fricke, W., Akhiyarova, G., Wei, W., Alexandersson, E., Miller, A., et al. (2006). The short-term growth response to salt of the developing barley leaf. *J. Exp. Bot.* 57:1079–95.

Fricke, W., Peters, W.S. (2002). The biophysics of leaf growth in salt-stressed barley. A study at the cell level. *Plant Physiol.* 129:374–88.

Frizzone, J.A. (1993) *Funções de resposta das culturas à irrigação*. Série Didática, Nº. 6, Piracicaba: ESALQ/LER, 42p.

Genty, B., Briantais, J.M., Baker, N.R. (1989). The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica Acta.* 990: 87-92.

Ghannoum, O.; Conroy, J. P.; Driscoll, S. P.; Paul, M. J.; Foyer, C. H.; Lawlor, D. W. (2003). Nonstomatal limitations are responsible for drought-induced photosynthetic inhibition in four C4 grasses. *New Phytologist*, v.159, p.599-608.

Gheyi, H.R., Correia, K.G., Fernandes, P.D. (2005). Salinidade do solo e crescimento e desenvolvimento das plantas. In: Nogueira, R.J.M.C., Araújo, E.L., Willadino, L.G., Cavalcante, U.M.T. *Estresses ambientais: danos e benefícios*. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 500 p.

Gomes, M.M.A., Ferraz, T.M., Siqueira, L.N., Campostrini, E., Chiquieri, T.B., Bortot, P.A., Souza, M.A., Costa Azevedo, L., Reis, F.O., Leal, N.R. (2007) Condutância estomática e conteúdo de ácido abscísico em mamoeiro ‘Golden’ e ‘Calimosa’ submetido à secagem parcial do sistema radicular (split-root). In: *Annals of the III reunião de Pesquisa do Frutimamão*. Campos dos Goytazes Brazil, pp.129-131.

Hartung, W.; Sauter, A., Hose, E. (2002). Abscisic acid in the xylem: where does it come from, where it go to? *J. Exp. Bot.* 53: 27- 32.

Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Zhu J-K., Bohnert H.J. (2000). Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology.* 51: 463-99.

Hasegawa, P.M.; Bressan, R.; Zhu, J-K.; Bohnert, H. (2000) Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 51: 463-499.

Hendrikson, L., Furbank, R., Chow, W.S. (2004). A simple alternative approach to assessing the fate of absorbed light energy using chlorophyll fluorescence. *Photosynthesis Research*. 82: 73-81.

Hendry, G. A. F., Price, A. H. (1993). Stress indicators: chlorophylls and carotenoids In: Hendry, G. A. F., Grime, J. P. (eds.) *Methods in comparative plant ecology*. London: Chapman e Hall, p. 148-152.

Hoagland, D.R., Arnon, D.I. (1950). The Water-Cultured Method for Growing without Soil. Circular n° 347. California Agricultural Experiment Station. 32 p.  
Horton, P., Ruban, A.V., Walters, R.G. 1996. Regulation of light harvesting in green plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 47: 655-684.

Hoffman, G.J., Howell, T.A., Solomon, K.H. (1992) *Management farm irrigation systems*. St Joseph: ASAE (ASAE Monograph, 9)

Hsiao, T. C., Xu, L. K. (2000). Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. *J. Exp. Bot.*, 51: 1595-1616.

IBGE, 2010 Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/>

Jackson, M. L. (1965). *Soil chemical analysis*. New Jersey: Prentice Hall, p. 498.

James, R.A.; Rivelli, A.R.; Munns, R.; von Caemmerer, S. (2002) Factors affecting CO<sub>2</sub> assimilation, leaf injury and growth in salt-stressed durum wheat. *Functional Plant Biology*, 29: 1393-1403.

Jiang, Q., Roche, D.; Monaco, T.A.; Durham, S. (2006). Gas exchange chlorophyll fluorescence parameters and carbon isotope discrimination of 14 barley genetic lines in response to salinity. *Field Crops Research*, v. 96, n. 2-3, p.269-278.

Jones, H.G. (1992). *Plant and microclimate: A quantitavi approach to environmental plant physiology*. 2 ed.: Cambridge University Press, p. 19-46.

Jones, Jr., J.B., Wolf, B., Mills, H.A. (1991) *Plant Analysis Handbook: a practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide*. Athens: Micro-Macro Publishing, 213 p.

- Khodary, S.E.A. (2004) Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt stressed maize plants. *International Journal of Agriculture & Biology*, Pakistan, v.6, p. 5-8.
- Kottenmeier, W., Chang, J., Siegel, S.M., Siegel, B.Z. (1983). Stimulation of growth in papaya and other plants by dilute salt solutions. *Water Air Soil Pollut.* 20:447-450.
- Krause, G.H.; Weis, E. (1991). Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basic. *Annu.Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 42: 313-349.
- Lacerda, C.F. (2005) Interação salinidade x nutrição mineral In: Nogueira, R.J.M.C., Araújo, E.L., Willadino, L.G., Cavalcante, U.M.T. (eds.) *Estresses ambientais: danos e benefícios*. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 500 p.
- Laisk, A., Loreto, F. (1996). Determining photosynthetic parameters from leaf CO<sub>2</sub> exchange and chlorophyll fluorescence. *Plant Physiology*. 110: 903-912.
- Larcher, W. (2000) *Ecofisiologia vegetal*. Tradução de Carlos Henrique Britto de Assis Prado. São Carlos: RiMa, 531p.
- Lawlor, D.W., Cornic, G. (2002) Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant Cell Environ.* 25:275-294.
- Leegood, R.C.; Lea, P.J.; Adcock, M.D.; Haeusler, R.D. (1995). The regulation and control of photorespiration. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, n. 46, p. 1397-1414.
- Long, S. P., Bernacchi, C. J. (2003). Gas exchange measurements, what can they tell us about the underlying limitations to photosynthesis? Procedures and sources of error. *Journal of Experimental Botany*, 54: 2393-2401.
- Long, S.P.; Humphries, S.; Falkowski, P.G. (1994). Photoinhibition of photosynthesis in nature. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 45:633-662.
- Lopes, A.S. (1998). *Manual Internacional de Fertilidade do Solo*. 2 ed. rev. e amp. Piracicaba: POTAFOS. 177p

Loreto, F., Centritto, M., Chartzoulakis K. (2003). Photosynthetic limitations in olive cultivars with different sensitivity to salt stress. *Plant, Cell and Environment*. 26: 595-601.

Lu, C., Zhang, J. (1998). Thermostability of photosystem II is increased in salt stressed sorghum. *Australian Journal of Plant Physiology*. 25: 317-324.

Maas, E.V. (1993). Plant growth response to salt stress. In: Lieth H, Al Masoom A (eds), *Towards the Rational Use of High Salinity Tolerant Plants*, pp.279-291. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Makhija, M.; Jindal, P.C. (1983). Effect of different soil salinity levels on seed germination and seedling growth in papaya (*Carioca papaya*). *Seed Res.*, 11, p.125.

Malavolta, E., Vitti, G.C., Oliveira, S.A. (1997). *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 319p.

Malo, S.E., Campbell, C.W. (1986). *The papaya*. University of Florida, Cooperative Extension Service Fruits Crops Fact Sheet FC-11. Gainesville.

Manica, I. (1982). *Fruticultura tropical: 3. Mamão*. São Paulo: Agronômica Ceres, 276p.

Manica, I. (1996). Cultivares e melhoramento do mamoeiro. In: Mendes, L.G., Dantas, J.L.L., Morales, C.F.G. *Mamão no Brasil*. Cruz das Almas: EUFBA/EMBRAPA-CNPMF, p.93-120.

Manica, I., Martins, D.S., Ventura, J.A. (2006) *Mamão: Tecnologia de produção, pós-colheita, exportação, mercados*. Porto Alegre: Cinco Continentes, 361p.

Marin, S.L.D., Gomes, J.A., Salgado, J.S., Martins, D.S., Fullin, E.A. (1995) *Recomendações para a cultura do mamoeiro dos grupos Solo e Formosa no Estado do Espírito Santo*. 4 ed. Vitória: EMCAPA, 57p. (Circular Técnica 3).

Marin, S.L.D., Silva, J.G.F. (1996) Aspectos econômicos e mercados para a cultura do mamoeiro do grupo Solo na região Norte do Espírito Santo. In: Mendes, L.G., Dantas, J.L.L., Morales, C.F.G. (eds.) *Mamão no Brasil*. Cruz das Almas: EMBRAPA-CNPMF, p. 7-20.

Marinho, A.B.; (2007) *Respostas dos mamoeiros cultivar Golden e do híbrido Uenf/Caliman01 sob diferentes lâminas de irrigação e doses de potássio*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 125p.

Marinho, C.S.; Monnerat, P.H.; Carvalho Jr., A.C.; Marins, S.L.D.; Vieira, A. (2002) Análise química do pecíolo e limbo foliar como indicadora do estado nutricional dos mamoeiros 'solo' e 'formosa'. *Scientia Agricola*, v.59, n.2, p.373-381

Marler, T.E., George, A.P., Nissen, R.J., Anderssen, P.C. (1994) Miscellaneous tropical fruits. In: Schaffer, B., Anderssen, P.C. (eds.) *Handbook of environmental physiology of fruits crops. V.II: Sub-tropical and tropical crops*. Florida: CRC Press, p. 199-224.

Martinez, H.E.; Silva Filho, J.B. (2006). *Introdução ao Cultivo Hidropônico de Plantas*. Viçosa: Editora UFV, terceira edição, 111p.

Martins, D.S., Costa, A.F. (2003) *A cultura do mamoeiro. Tecnologia de Produção*. Vitória: NCAPER, 497p.

Maxwell, K., Johnson, G.N. (2000). Chlorophyll fluorescence – a practical guide. *Journal of Experimental Botany*. 51: (345) 659-668.

Maxwell, L.S.; Krezdorn, A.H.; Will, A.A.; Golby, E.V.; (1984). *Florida Fruit*, Tampa.

McCUE, K.F.; HANSON, A.D. (1990). Drought and salt tolerance: towards understanding and application. *Trends Biotechnology*, v.8, p. 358-362.

Medeiros, J.F., Gheyi, H.H. (1997) Manejo do sistema solo-água-plantas em solos afetados por sais. In:Gheyi, H.R., Queiroz, J.E., Medeiros, J.F. (eds). *Manejo e controle da salinidade da agricultura irrigada*. P239-284. Campina Grande: UFPB.

Medeiros, J.F., Oliveira, F.A. (2007) Fertirrigação da cultura do mamoeiro. In: Martins, D.S., Costa, A.N., Costa, A.F. S. (eds) *Papaya Brasil: Manejo, Qualidade e Mercado do Mamão*, Incaper Vitória, ES, 704p.

Melis, A. (1999). Photosystem-II damage and repair cycle in chloroplasts: what modulates the rate of photodamage in vivo? *Trends in Plant Science* 4 (4): 130-135.

Ming R., Hou S., Feng Y., Yu Q., Dionne-Laporte A., Saw J.Hh, et al. (2008) The draft genome of the transgenic tropical fruit tree papaya (*Carica papaya* Linnaeus). *Nature*. v. 452, p. 991-997.

Ming, R.; Yu, Q., Moore, P.H. (2007). Sex determination in papaya. *Seminars in Cell & Developmental Biology* v. 18, p. 401-408.

Misra, A. et al. (2001). Utilization of fast chlorophyll a fluorescence technique in assessing the salt/ion sensitivity of Mung Bean and Brassica seedling. *Journal of Plant Physiology*, v. 158, n. 9, p. 1173-1181.

Moradi, F.; Ismail, A.M. (2007) Responses of photosynthesis, chlorophyll fluorescence and ROS-Scavenging systems to salt stress during seedling and reproductive stages in rice. *Annals of Botany*, p. 1-13.

Muhling KH, Lauchli A. (2002). Effect of salt stress on growth and cation compartmentation in leaves of two plant species differing in salt tolerance. *Journal of Plant Physiology*, 159, 137–146.

Munns R, Guo J, Passioura JB, Cramer GR. (2000). Leaf water status controls day-time but not daily rates of leaf expansion in salt-treated barley. *Aust. J. Plant Physiol.* 27:949–57.

Munns R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 25:239–50

Munns R. (2005). Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytologist*. 167: 645-663.

Munns, R.; Husan, S. Rivelli, A. R.; Richard, A. J.; Condon, A. G.; Megan, P. L.; Evans, S. L.; Schachtman, D. P.; Hare, R.A. (2002) Avenues for increasing salt tolerance of crops, and the role of physiologically based selection traits. *Plant and Soil*, v.247, p. 93-105.

Munns, R. (1993) Physiological processes limiting plant growth in saline soil: some dogmas and hypotheses. *Plant Cell Environment* ,16:15-24.

- Munns, R., James, R.A., Lauchli, A. (2006). Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*, 57: 1025-1043.
- Munns, R., Tester, M. (2008). Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology*. 59: 651-81.
- Navarro, J.M.; Botella, M.A.; Cerda, A.; Martinez, V. (2001). Phosphorus uptake and translocation in salt-stressed melon plants. *Journal Plant Physiology*, 158: 375-381.
- Netondo, G.W.; Onyango, J.C.; Beck, E. (2004). Sorghum and salinity: II Gas exchange and chlorophyll fluorescence of sorghum under salt stress. *Crop Science* 44: 806-811.
- Netting, A. G. (2000). Ph, abscisic acid and the integration of metabolism in plants under stressed and non-stressed conditions: cellular responses to stress and their implication for plant water relations. *J. Exp. Bot.*, 51: 147- 158.
- Niyogi, K., (1999). Photoprotection revisite; genetic and molecular approaches. *Annual Review Plant Molecular Biology*, 50:333-359.
- Nobel, P.S. (1991). *Physicochemical and environmental plant physiology*. San Diego: Academic Press, 635 p.
- Nuccio, M.L., Rhoades, D., McNeil, S.D., Hanson AD (1999). Metabolic engineering of plants for osmotic stress resistance. *Current Opinion Plant Biology*, 2:128-34.
- Ochard, H.; Coll, L.; Le Roux, X.; Améglio, T. (2002). Unraveling the effects of plant hydraulics on stomatal closure during water stress in walnut. *Plant Physiol.*, v. 128, p. 282-290.
- Ogden MAH, Jackson LK, Campbell CW (1981) Florida tropical fruit culture via master gardener. *Proc. Fla. Sta. Hort. Soc.* 94:222-225.
- Oliveira, A.M.G.; Souza, L.F.S.; Van Raij, B.; Magalhães, A.F.J.; Bernardi, A.C.C. (2004). Nutrição, calagem e adubação do mamoeiro irrigado. Circular técnica 69. Embrapa CNPMF, Cruz das Almas BA.

- Orcutt, D.M.; Nilsen, E.T. (2000). Salinity. In: *Physiology of plants under stress, soil and biotic factors*. John Wiley & Sons, 177-237.
- Ort, D.R. (2001). When There is Too Much Light. *Plant Physiology*, 125:29-32.
- Osmond C.B. (1994). What is photoinhibition? Some insights from comparisons of shade and sun plants. In: Baker, N.R., Bowyer, J.R. (Eds). *Photoinhibition of photosynthesis: from molecular to the field*. Bios Scientific Publishers, Oxford, pp. 1-24.
- Passioura JB, Munns R. (2000). Rapid environmental changes that affect leaf water status induce transient surges or pauses in leaf expansion rate. *Aust. J. Plant Physiol.* 7:941–48.
- Paul MJ, Foyer CH. (2001). Sink regulation of photosynthesis. *J. Exp. Bot.* 52:1383–400.
- Pereira, M.G., Marin, S.L.D., Viana, A.P., Ferregueti, G.A., Martelleto, L.A.P., Cattaeneo, L.F., Pereira, T.N.S. (2003). Melhoramento genético do mamoeiro (*Carica papaya* L.): desenvolvimento e recombinação de híbridos. Resumo expandido enviado para o 2º Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas. Porto Seguro-BA.
- Posse, R.P.; de Sousa, E.F.; Bernardo, S; Pereira, M.G.; Gottardo, R.D. (2009). Total Leaf Area of Apaya Trees Estimated by a Nondestructive Method. *Sci. Agric.* (Piracicaba, Braz.), v.66, n.4, p.462-466.
- Raheja, P.C. (1966). Aridity and salinity, in *Salinity and Aridity- New Approaches to Old Problems*, Boyko, H. Ed., Dr. Junk, The Hague, p.43.
- Rascher, U., Liebig, M. Lüttge, U. (2000). Evaluation of instant light-response curves of chlorophyll fluorescence parameters obtained with a portable chlorophyll fluorometer on site in the field. *Plant, Cell and Environment*, 23: 1397-1405.
- Reis, F.O. (2007). *Microaspersão sobrecopa em mamoeiro 'Golden': um estudo relacionado às trocas gasosas, à eficiência fotoquímica e ao fluxo de seiva xilemática*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, 93p.

Reis, F.O.; Campostrini, E. (2008) Trocas gasosas e eficiência fotoquímica potencial em mamoeiro do grupo 'Formosa' cultivados em condições de campo. *Bragantia*, Campinas v.67 n.4 p.815-822.

Resende, M.; Lani, J. L.; Feitoza, L. R. (1993). *Assentamento de pequenos agricultores do Estado do Espírito Santo: ambiente, homem e instituições*. Brasília, DF: Secretaria de Assuntos Estratégicos; Vitória: EMCAPA; Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 153 p.

Rhoades, J.D., Candía, A., Mashali, A.M. (2000) Uso de água Salinas para a produção agrícola. Trad. De Gheyi, HR, Sousa, JR, Queiroz, JE. Campina Grande: UFPB 117p.

Ritter, W. (1990). Pesticide contamination of groundwater in the United States - a review. *J Environ. Sci. Health*. B25(1), 1-29.

Santos, C.V. (2004). Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. *Scientia Horticulturae*. 103: 93-99.

Santos, J.G.R. (1997) Desenvolvimento e produção de bananeira nanica sob diferentes níveis de salinidade e lâminas de água. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Campina Grande, PB, 173p.

São José, A.R. (1996). Tratos culturais do mamoeiro. *In*: Mendes, L.G., Dantas, J.L.L., Morales, C.F.G. (eds.) *Mamão no Brasil*. Cruz das Almas: URBA/Embrapa - CNPMF, p. 21-26.

Schreiber, U. & W., Bilger (1993). Progress in chlorophyll fluorescence research: major developments during past years in retrospect. *Prog. Bot.* 54: 151-173.

Silva, D.F.P. (2006). *Controle do Amadurecimento do Mamão Sunrise Golden com Permaganato de Potássio*. Dissertação de Mestrado, Viçosa, UFMG, p.99.

Silva, F. C. V.; Sou Stepien, P., Klobus, G. 2006. Water relations and photosynthesis in *Cucumis sativus* L. leaves under salt stress. *Biologia Plantarum*. 50 (4): 610-616.

Silva, J. G. F. da; Coelho, E. F. (2003). Irrigação do mamoeiro. In: Martins, D. dos S.; Costa, A. de F. S. da (Ed.) *A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção*. Vitória, ES: Incaper, p. 163-198.

Silveira, J.A.G.; Melo, A.R.B.; Viégas, R.A.; Oliveira, J.T.A. (2001). Salt-induced effects on the nitrogen assimilation related to growth in cowpea plants. *Environmental and Experimental Botany*, Memphis, v.46, n.2, p.171-179.

Strasser, B.J., Strasser, R.J. (1995). Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: The JIP test. In: *Proceedings of Xth International Photosynthesis Congress*. Dordrecht, Netherlands, pp.977-980.

Strasser, R. J; Srivasta, A; Tsimilli - Michel, M. (2000). The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. In: Yunus, M; Pathre, U; Mohanty, P. (eds), *Probing Photosynthesis: Mechanism, Regulation and Adaptation*. London, Taylor and Francis, p. 445 - 483.

Taiz, L.; Zeiger, E. (2009). *Fisiologia vegetal*. 4. ed. Porto Alegre. Artmed. 848p.

Tang, A. C.; Kawamitsu, Y.; Kanechi, M. & Boyer, J. S. (2002). Photosynthetic oxygen evolution at low water potential in leaf discs lacking an epidermis. *Ann. Bot.*, 89: 861- 870.

Tardieu, F., Simonneau, T., (1998). Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: modelling isohydric and anisohydric behaviours. *J. Exp Bot.*, 49:419-432.

Teixeira, A.H.C. (2001). Uso de estações meteorológicas automáticas no manejo de irrigação de fruteiras. *ITEM. Irrigação e Tecnologia Moderna*, (51): 22-26.

Termaat, A., Munns, R. (1986). Use of concentrated macronutrient solutions to separate osmotic from NaCl-specific effects on plant growth. *Aust. J. Plant Physiol.* 13:509–22.

Termaat, A., Passioura, J.B., Munns, R. (1985). Shoot turgor does not limit shoot growth of NaCl-affected wheat and barley. *Plant Physiol.* 77:869–72.

Tisdale, S.L., Nelson, W.L. (1975). *Soil fertility and fertilizers*. 3<sup>a</sup>. Ed. New York NY. Collier MacMillan International Editions.

Torres Netto, A.; Reis, F.O.; Campostrini, E.; Azevedo, L.C.; de Souza, M.A.; Ramalho, J.C.; Chaves, M.M. (2009). Morphological analysis and photosynthetic performance of improved papaya genotypes. *Brazilian Society of Plant Physiology*. 21 (3): 209-222.

Torres-Netto, A. (2005). *Atributos fisiológicos e relações hídricas em genótipos de mamoeiro (Carica papaya L.) na fase juvenil*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense UENF, 116p.

Trindade, A.V.; Oliveira, A.A.R.; Nascimento, A.S.; Oliveira, A.M.G.; Rtzinger, C.H.S.P.; Barbosa, C.J.; Costa, D.C.; Coelho, E. F.; Santos Filho, H.P.;Oliveira, J.R.P. (2000). Mamão. Produção: aspectos técnicos. *Embrapa mandioca e fruticultura*. Brasília: Embrapa, Frutas do Brasil 3. 77p

Valdivieso, C.R.; Félix, S.G.; Cordeiro, G.G. (1988). Avaliação Econômica da Recuperação de Solos Salinos no Perímetro Irrigado de Vaza-Barris - Cocorobó, BA. *Petrolina: Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico do Semi-Árido*, Embrapa,p.16 (Documentos, n.48).

Valentini, R., Epron, D., Angelis, P.D., Matteucci, G., Dreyer, E. 1995. In situ estimation of net CO<sub>2</sub> assimilation, photosynthetic electron flow and photorespiration of Turkey oak (*Quercus cerris* L.) leaves: diurnal cycles under different water supply. *Plant, Cell and Environment*. 18: 631-640.

Willadino, L., Câmara, T.R. (2004). Origen y naturaleza de los ambientes salinos. In: Reigosa, M.J., Pedrol, N., Sánchez, A. (eds), *La Ecofisiología Vegetal Thomson*, Madrid, España p. 303-330.

Willadino, L.; Câmara, T.; Boget, N.; Claparols, I. and Torne, J.M. (1996) Polyamine and free amino acid variations in NaCl-treated embryogenic maize callus from sensitive and tolerant cultivars. *Journal of Plant Physiology*, 147:179-185.

Winicov, I. (1998). New Molecular approaches to improving salt tolerance in crop plants. *Annals of Botany* 82, 703-710.

- Yang, G. P.; Rhodes, D.; Joly, R.J. (1996). Effects of high temperature on membrane stability and chlorophyl fluorescence in glycinebataine-deficient and glycinebataine-containing maize lines. *Aust. J. Plant Physio*, 23 (4).
- Yeo, A. (1998). Molecular biology of salt tolerance in the context of the whole-plant physiology. *Journal of Experimental Botany* 49, 915-929.
- Yeo, A.R., Lee, K.S., Izard, P., Boursier, P.J., Flowers, T.J. (1991). Short- and long-term effects of salinity on leaf growth in rice (*Oryza sativa* L.). *J. Exp. Bot.* 42:881–89.
- Zelitch, I. (1992). Factors affecting expression of enhanced catalase activity in a tobacco mutant with O<sub>2</sub>-resistant photosynthesis. *Plant Physiol* 98: 1330-1335.
- Zivcak, M.; Brestic, M; Olsovska, K.; Slamka, P. (2008). Performance index as a sensitive indicator of water stress in *Triticum aestivum* L. *Plant Soil Environ*, 54 (4): 133-139.