

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**

**MICHELLA DE ALBUQUERQUE LIMA**

**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DE DOIS CLONES DE  
CAJUEIRO ANÃO PRECOCE SUBMETIDOS AOS CULTIVOS IRRIGADO E  
NÃO IRRIGADO**

**FORTALEZA-CE  
2008**

L699c Lima, Michella de Albuquerque

Respostas fisiológicas e bioquímicas de dois clones de cajueiro anão precoce submetidos aos cultivos irrigado e não irrigado [manuscrito] / Michella de Albuquerque Lima  
102 f. : il. color. ; enc.

Orientador: Joaquim Enéas Filho

Co-orientador: Marcos Alves Bezerra

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008

Área de Concentração: Fisiologia e Bioquímica Vegetal

1. Cajueiro anão precoce - Irrigação 2. Carboidratos – Metabolismo I. Enéas Filho, Joaquim (orient.) II. Universidade Federal do Ceará – Mestrado em Fitotecnia III. Título

CDD 632

**MICHELLA DE ALBUQUERQUE LIMA**

**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DE DOIS CLONES DE  
CAJUEIRO ANÃO PRECOCE SUBMETIDO AOS CULTIVOS IRRIGADO E NÃO  
IRRIGADO**

Dissertação submetida à Coordenação do  
Curso de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia,  
da Universidade Federal do Ceará,  
como requisito parcial para obtenção  
do grau de *Mestre em Agronomia/Fitotecnia*

Área de concentração: Fisiologia e Bioquímica Vegetal

Orientador: Dr. Joaquim Enéas Filho

Co-orientador: Dr. Marlos Alves Bezerra

FORTALEZA-CE  
2008

MICHELLA DE ALBUQUERQUE LIMA

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DE DOIS CLONES DE CAJUEIRO  
ANÃO PRECOCE SUBMETIDOS AOS CULTIVOS IRRIGADO E NÃO IRRIGADO

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Agronomia/Fitotecnia Área de concentração Fisiologia e Bioquímica Vegetal.

Aprovada em 14/02/2007

BANCA EXAMINADORA

---

Dr. Joaquim Enéas Filho (orientador)  
Universidade Federal do Ceará

---

Dr. Marlos Alves Bezerra (co-orientador)  
Embrapa Agroindústria Tropical

---

Dr. Enéas Gomes Filho (conselheiro)  
Universidade Federal do Ceará

---

Dr. Fábio Murilo DaMatta (conselheiro)  
Universidade Federal de Viçosa

FORTALEZA-CE  
2008

**DEDICO:**

À ciência.

Aos meus pais, Maria Rodrigues e Valmir.

Ao meu querido e amigo irmão, Gilmar.

Em especial a Marcelo e Bruna,

pelos momentos ímpares no decorrer da nossa caminhada.

**OFEREÇO:**

Aos amigos, D. Fátima, S. Braga,

Leo Soares

e Ana Carolina,

que me fizeram encarar todas

as dificuldades como elas realmente são:

passageiras.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar.

Aos meus pais, ao meu irmão e demais familiares, que foram a pedra fundamental de toda esta obra.

À minha filha, pelos ensinamentos que não são encontrados em livros, artigos ou designações científicas.

Ao biólogo querido, Marcelo Soares, pelo seu amor, seu incentivo contínuo e sua sincera compreensão.

À Universidade Federal do Ceará, onde tenho tido grandes realizações.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Prof. Joaquim Enéas Filho, pela paciência e orientação.

Ao pesquisador Marlos Alves Bezerra, pela confiança e os ensinamentos.

Ao professor Enéas Gomes Filho, pelo profissional dedicado e por me receber tão bem em seu laboratório.

Ao professor Fábio Murilo DaMatta, pela sua disponibilidade e interesse em contribuir para a revisão deste trabalho.

Aos professores do curso de Ciências Biológicas desta Universidade Raquel Miranda, Tadeu de Oliveira, Norma Benevides, Dirce Fernandes, Ana de Fátima e Ana Lúcia, pela concessão dos equipamentos e material de laboratório.

Aos colegas da Embrapa Agroindústria Tropical, Carlos Farley, Márcia, Amanda Soraia e Rosilane Oliveira, pela ajuda nos momentos oportunos.

Ao fiel escudeiro Ciro de Miranda Pinto, pela força nos trabalhos de campo.

Ao peruano amigo, Juan Carlos, pelo incondicional apoio.

Aos estagiários: Daniela Cristina, João Diego e Tatiana, por todo o auxílio fornecido.

Aos colegas do LABFRUT, especialmente a Luciana Siqueira, pela ajuda nas determinações pós-colheita.

A amiga Janne Keila por seu exemplo e amizade.

Aos amigos Leo Peres, Gal Meneses, Patrícia Queiroz, Vivi e Aline Silva, pela presença constante no decorrer deste trabalho.

Em especial, aos colegas do LABFIVE, Elton Marques, Cyane Feijão, Val Soares, Júlio, Thalita Montoril, Nara Lídia, Franklin Aragão, Vivi Oliveira, Raquel, Paulo André, Carlos Eduardo, Aline Neris, Aiala Amorim, Gislainy Karla e Fabrício Sudério, pelo grandioso suporte técnico e emocional durante a realização deste trabalho.

**Muito obrigada!**

**“Eu aprendi...**  
a não concentrar lamentos e problemas nos  
fracassos e a aproveitar a folha em  
branco que a vida me dá, todos  
os dias, para tentar tudo outra vez”.

*Legrand*

LIMA, M. A. **Respostas fisiológicas e bioquímicas de dois clones de cajueiro anão precoce submetidos aos cultivos irrigado e não irrigado.** Fortaleza: UFC. 102p. (Dissertação)

## RESUMO

Os efeitos dos regimes irrigado e de sequeiro foram avaliados em folhas sombreadas e a pleno sol nos clones de cajueiro anão precoce (*Anacardium occidentale* L) CCP 76 e BRS 189. Os experimentos foram conduzidos na Estação Experimental da Embrapa Agroindústria Tropical, em Paraipaba, Ceará, entre setembro de 2006 e agosto de 2007. Mensalmente, foram investigados a condutância estomática, a taxa transpiratória, a taxa fotossintética, a relação entre a concentração interna e externa de CO<sub>2</sub>, o potencial osmótico. O teor de água, de proteínas solúveis, de prolina, de N-aminossolúveis, de carboidratos (açúcares totais, redutores e não redutores e de amido), a atividade das enzimas do metabolismo do carbono, sintase da sacarose fosfato (SPS), sintase da sacarose (SuSy), pirofosforilase do ADP glicose (AGPase) e das amilases (alfa, beta e total) foram determinados nas folhas das plantas bi-mensalmente. Além disso, foram analisadas a qualidade pós-colheita dos pedúnculos dos clones em ambos os tratamentos. Em geral, não foram encontradas diferenças significativas entre os dois tipos de cultivos para os dois clones e tipos de folha em relação aos parâmetros fisiológicos, tais como, fotossíntese, transpiração e condutância estomática. Essas variáveis foram afetadas apenas em função da época do ano. Carboidratos, tais como amido e açúcares redutores, tiveram uma tendência de acúmulo nas folhas de sol e de sombra no mês de maio, exibindo teores menores no mês de setembro, época em que os teores de açúcares não-redutores (sacarose) aumentaram para suprir a formação de frutos. Sob o regime não irrigado, as enzimas SPS, SuSy e AGPase tiveram suas atividades justificadas parcialmente quando relacionadas com as variações nos teores de açúcares totais e amido. A atividade amilásica total variou para os regimes de irrigação, clone e folhas em relação ao período do ano. A supressão da irrigação para os clones CCP 76 e BRS 189 durante o experimento não foi capaz de modificar a qualidade pós-colheita dos pedúnculos de caju. As variações ao longo do experimento comprovam o efeito da força dos drenos nas diversas fases fenológicas e para os órgãos reprodutivos das plantas de cajueiro. As plantas de cajueiro anão precoce possuem, portanto, uma plasticidade, quando cultivadas em condições de sequeiro, conseguindo manter suas atividades metabólica e fisiológica vitais sem maiores danos à planta como um todo.

**Palavras chave:** *Anacardium occidentale*, cajueiro anão precoce, estresse hídrico, folhas de sol, folhas de sombra, metabolismo dos carboidratos.

LIMA, M.A. **Physiological and metabolic effects of irrigation and drought regimen in two clones early dwarf cashew trees.** Fortaleza: UFC. 102p. (MSc. Dissertation)

### ABSTRACT

Effects of irrigation and drought regimen were evaluated on shaded and sunny leaves in clones of early dwarf cashew trees (*Anacardium occidentale* L) CCP 76 and BRS 189. The experiments were conducted at the Embrapa Agroindústria Tropical experimental station in Paraipaba, Ceará, between September of 2006 and August of 2007. The means for the obtained data were statistically analysed at a 5% level of significance. Stomatal conductance ( $g_s$ ), respiratory rate (E), photosynthetic rate (A), relation between inner and outer concentration of CO<sub>2</sub> ( $C_i/C_{ar}$ ), osmotic potential ( $\Psi_s$ ) and water usage efficiency were accessed monthly. The relative water content, of soluble proteins, prolin, N-amino soluble, of sugars (soluble, reductants, non-reductants, starch) and activity of carbon metabolism enzymes, sucrose-phosphate synthase (SPS), sucrose synthase (SuSy), ADP phosphorylase, glucose and amylases (alfa, beta and total) were determined on leaves each two months. Beyond that, the postharvest quality of pseudofruits of the clones on both treatments was accessed. In general, no significant differences were found among cultivations for both clones in relation to physiological parameters, like photosynthesis, transpiration and stomatal conductance. These variants were affected only in function of the time of year. Independently of irrigation regimen, water usage efficiency was lower during the drought (from June to December) in relation to the months with higher pluviometric precipitation (from January to May). Carbohydrates such as starch and reductant sugars tend to accumulate on both sunny and shaded leaves on May, while their contents are smaller on September, a time when non-reductant sugars (sucrose) increase in order to supply fruit formation. Under a drought regimen, enzymes SPS, SuSy and ADP correlate partially with the variations of contents of soluble sugars and starch. Total amylasic activity varied for irrigation regimens, clones and kind of leaves in relation to the period of the year. The suppression of the hydric regimen for the clones CCP 76 and BRS 189 during the experiment wasn't able to change the postharvest quality of the cashew pseudofruits. The variations shown during the experiment confirm the effect of drainage strength on several phenological phases and for the reproductive organs of the cashew trees. The trees of early dwarf cashew have, therefore, some plasticity when exposed to drought conditions, being able to maintain metabolic and physiological activity without major damage to the individual as a whole.

**Keywords:** *Anacardium occidentale*, early dwarf cashew, hydric stress, sunny leaves, shaded leaves, carbohydrates metabolism.

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>A</b>	-taxa fotossintética
<b>ADP</b>	-adenosina difosfato
<b>AGPase</b>	-pirofosforilase da ADP glicose
<b>ANOVA</b>	-análise de variância
<b>AT</b>	-acidez titulável
<b>BSA</b>	-albumina sérica bovina
<b>C<sub>i</sub>/C<sub>ar</sub></b>	-relação entre a concentração interna e concentração externa de CO <sub>2</sub>
<b>DTT</b>	-1,4-Dithiothreitol
<b>E</b>	-taxa transpiratória
<b>EDTA</b>	-ácido etilenodiamino tetra-acético
<b>EGTA</b>	-ácido etilenoglicol aminoetil tetracético
<b>g<sub>s</sub></b>	-condutância estomática
<b>gMS</b>	-grama de matéria seca
<b>HEPES-KOH</b>	-ácido 4-2-hidroximetil-piperazinetasulfônico com adição de hidróxido de potássio
<b>MF</b>	-matéria fresca
<b>mgP</b>	-miligrama de proteína
<b>MS</b>	-matéria seca
<b>NAD<sup>+</sup></b>	-nicotinamida adenina dinucleotídeo
<b>NaF</b>	-fluoreto de sódio
<b>Pi</b>	-fosfato inorgânico
<b>PVP</b>	-polivinilpirrona
<b>PMSF</b>	-fluoreto de fenilmetilsulfonila
<b>PPi</b>	-pirofosfato
<b>PVPP</b>	-polivinilpolipirrolidona
<b>SPS</b>	-sintase da sacarose fosfato
<b>SS</b>	-sólidos solúveis
<b>SuSy</b>	-sintase da sacarose
<b>TA</b>	-teor de água
<b>Tris</b>	- tris (hidroximetil) amino metano
<b>TDNS</b>	-3,5- ácido dinitro salicíco
<b>UDP</b>	-uridina difosfato
<b>Ψ<sub>s</sub></b>	-potencial osmótico

## LISTA DE FIGURAS E TABELA

<b>Figura 1.</b>	Cajueiro anão precoce ( <i>Anacardium occidentale</i> L.).....	21
<b>Figura 2.</b>	Pedúnculos dos clones de cajueiro BRS 189 e CCP 76.....	27
<b>Figura 3.</b>	Croqui da disposição de clones cajueiro anão precoce na área experimental da Embrapa Agroindústria Tropical em Paraipaba, Ceará.....	39
<b>Figura 4.</b>	Vista geral da área experimental dos clones de cajueiro anão precoce na Embrapa Agroindústria Tropical em Paraipaba, Ceará.....	39
<b>Figura 5.</b>	Precipitação pluviométrica durante o período de setembro de 2006 a agosto de 2007 na estação experimental da Embrapa Agroindústria Tropical em Paraipaba, Ceará....	51
<b>Figura 6.</b>	– Principais mudanças fenológicas ocorridas e operações realizadas durante um ciclo da cultura de cajueiro anão precoce.....	52
<b>Figura 7.</b>	- Fotossíntese líquida (A) de folhas sombreadas não irrigadas, folhas sombreadas irrigadas, folhas a pleno sol não irrigadas e folhas a pleno sol irrigadas dos clones de cajueiro anão precoce CCP 76 e BRS 189.....	53
<b>Figura 8.</b>	Transpiração (T) de folhas sombreadas não irrigadas, folhas sombreadas irrigadas, folhas a pleno sol não irrigadas e folhas a pleno sol irrigadas dos clones de cajueiro anão precoce CCP 76 e BRS 189.....	56
<b>Figura 9.</b>	Condutância estomática ( $g_s$ ) de folhas sombreadas não irrigadas, folhas sombreadas irrigadas, folhas a pleno sol não irrigadas e folhas a pleno sol irrigadas dos clones de cajueiro anão precoce CCP 76 e BRS 189.....	58
<b>Figura 10.</b>	Relação entre as concentrações de CO <sub>2</sub> interna e externa ( $C_i/C_{ar}$ ) de folhas sombreadas não irrigadas, folhas sombreadas irrigadas, folhas a pleno sol não	

irrigadas e folhas a pleno sol irrigadas dos clones de cajueiro anão precoce CCP 76 e BRS 189.....	59
<b>Figura 11.</b> - Teor de água de folhas sombreadas não irrigadas, folhas sombreadas irrigadas, folhas a pleno sol não irrigadas e folhas a pleno sol irrigadas dos clones de cajueiro anão precoce CCP 76 e BRS 189.....	61
<b>Figura 12.</b> Potencial osmótico ( $\Psi_s$ ) de folhas sombreadas não irrigadas, folhas sombreadas irrigadas, folhas a pleno sol não irrigadas e folhas a pleno sol irrigadas dos clones de cajueiro anão precoce CCP 76 e BRS 189.....	62
<b>Figura 13.</b> Teores de amido de folhas sombreadas não irrigadas, folhas sombreadas irrigadas, folhas a pleno sol não irrigadas e folhas a pleno sol irrigadas dos clones de cajueiro anão precoce CCP 76 e BRS 189.....	64
<b>Figura 14.</b> Teores de açúcares (totais, redutores e não redutores) de folhas sombreadas não irrigadas, folhas sombreadas irrigadas, folhas a pleno sol não irrigadas e folhas a pleno sol irrigadas dos clones de cajueiro anão precoce CCP 76 e BRS 189.....	66
<b>Figura 15.</b> Teores de açúcares (totais, redutores e não-redutores) de folhas sombreadas não irrigadas, folhas sombreadas irrigadas, folhas a pleno sol não irrigadas e folhas a pleno sol irrigadas dos clones de cajueiro anão precoce CCP 76 e BRS 189.....	67
<b>Figura 16.</b> Teor de proteínas solúveis de folhas sombreadas não irrigadas, folhas sombreadas irrigadas, folhas a pleno sol não irrigadas e folhas a pleno sol irrigadas dos clones de cajueiro anão precoce CCP 76 e BRS 189.....	70
<b>Figura 17.</b> Teor de prolina de folhas sombreadas não irrigadas, folhas sombreadas irrigadas, folhas a pleno sol não irrigadas e folhas a pleno sol irrigadas dos clones de cajueiro anão precoce CCP 76 e BRS 189, submetidos aos cultivos irrigado e não irrigado.....	72
<b>Figura 18.</b> Teor de N-aminossolúveis de folhas sombreadas não irrigadas, folhas sombreadas	

	irrigadas, folhas a pleno sol não irrigadas e folhas a pleno sol irrigadas dos clones de cajueiro anão precoce CCP 76 e BRS 189.....	73
<b>Figura 19.</b>	Atividades amilásicas (alfa, beta e total) de folhas sombreadas não irrigadas, folhas sombreadas irrigadas, folhas a pleno sol não irrigadas e folhas a pleno sol irrigadas do clone de cajueiro anão precoce CCP 76.....	75
<b>Figura 20.</b>	Atividades amilásicas (alfa, beta e total) de folhas sombreadas não irrigadas, folhas sombreadas irrigadas, folhas a pleno sol não irrigadas e folhas a pleno sol irrigadas do clone de cajueiro anão precoce BRS 189.....	76
<b>Figura 21.</b>	Atividade da sintase da sacarose fosfato no ensaio não seletivo e seletivo de folhas sombreadas não irrigadas, folhas sombreadas irrigadas, folhas a pleno sol não irrigadas e folhas a pleno sol irrigadas do clone de cajueiro anão precoce CCP 76.....	78
<b>Figura 22.</b>	Atividade da sintase da sacarose fosfato no ensaio não seletivo e seletivo de folhas sombreadas não irrigadas, folhas sombreadas irrigadas, folhas a pleno sol não irrigadas e folhas a pleno sol irrigadas do clone de cajueiro anão precoce BRS 189...	79
<b>Figura 23.</b>	Atividade da sintase da sacarose de folhas sombreadas não irrigadas, folhas sombreadas irrigadas, folhas a pleno sol não irrigadas e folhas a pleno sol irrigadas dos clones de cajueiro anão precoce CCP 76 e BRS 189.....	81
<b>Figura 24.</b>	Atividade da pirofosforilase da ADP- de folhas sombreadas não irrigadas, folhas sombreadas irrigadas, folhas a pleno sol não irrigadas e folhas a pleno sol irrigadas dos clones de cajueiro anão precoce CCP 76 e BRS 189.....	83
<b>Figura 25.</b>	Relação ST/AT, Brix, vitamina C e pH em pedúnculos dos clones de cajueiro anão precoce CCP 76 e BRS 189, submetidos aos cultivos irrigado e não irrigado.....	34
<b>Tabela 1</b>	Dados climáticos da estação climatológica da Embrapa Agroindústria Tropical em Paraipaba, Ceará, monitorados no período de setembro de 2006 a agosto de 2007.	41

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	08
<b>ABSTRACT</b> .....	09
<b>ABREVIATURAS</b> .....	10
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	17
1.1. Justificativa .....	17
2. Objetivos .....	19
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	20
3.1. O Cajueiro.....	20
3.1.1. Aspectos gerais.....	20
3.1.2. Importância econômica.....	22
3.1.3. Tipos varietais.....	24
3.1.4. Clones.....	24
3.1.4.1. Clone BRS 189.....	26
3.1.4.2. Clone CCP 76.....	26
3.1.5. A irrigação na cajucultura.....	24
3.2. Aspectos da fisiologia do cajueiro.....	26
3.2.1 Déficit hídrico e fisiologia pós-colheita.....	28
3.2.2 Déficit hídrico, trocas gasosas e relações hídricas.....	29
3.2.3. Déficit hídrico e sombreamento.....	28
3.2.4. Déficit hídrico e metabolismo de carboidratos.....	28
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS...</b> .....	38
4.1 Parâmetros climatológicos.....	40
4.2 Fotossíntese, transpiração, condutância estomática, relação $C_i/C_{ar}$ .....	40
4.3 Teores de água .....	41
4.4 Obtenção do material vegetal para as medições químicas e bioquímicas e de potencial osmótico.....	41
4.5. Potencial osmótico foliar.....	42
4.6. Teores de carboidratos.....	42

4.6.1. Determinação de açúcares totais, redutores e não-redutores.....	43
4.6.2. Amido.....	44
4.7. Preparo do extrato protéico.....	44
4.7.1. Determinação de proteínas solúveis.....	44
4.7.2 Concentração de N-aminossolúveis.....	45
4.7.3. Concentração de prolina livre.....	45
4.7.4. Determinação da atividade amilásica.....	46
4.8 Atividades da sintase da sacarose-fosfato (SPS), pirofosforilase da ADP-glicose (AGPase) e sintase da sacarose (SuSy).....	47
4.8.1. Preparação do extrato enzimático.....	47
4.8.2.Sintase da sacarose fosfato (SPS).....	47
4.8.3. Pirofosforilase da ADP-glicose (AGPase).....	48
4.8.4. Sintase da sacarose (SuSy).....	48
4.5. Determinações pós-colheita.....	48
4.5.1 Sólidos Solúveis (SS).....	49
4.5.2. pH.....	49
4.5.4. Vitamina C.....	49
4.5.5. Relação SS/AT.....	49
4.6. Análise estatística.....	50
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>51</b>
5.1. Parâmetros climatológicos.....	51
5.2. Trocas gasosas, condutância estomática, relação $C_i/C_{ar}$ .....	52
5.2.1. Taxa fotossintética (A).....	52
5.2.2. Taxa transpiratória (E).....	54
5.2.3. Condutância estomática ( $g_s$ ).....	55
5.2.4 Relação entre a concentração de $CO_2$ interna e externa ( $C_i/C_{ar}$ ).....	57
5.3. Teores de água .....	60
5.4 Determinação de potencial osmótico foliar ( $\Psi_s$ ).....	60
5.5. Teores de carboidratos.....	63
5.5.1. Amido.....	63
5.5.2. Açúcares totais, redutores e não redutores.....	65
5.6. Determinação de proteínas solúveis.....	69

5.7. Teor de Prolina e N-aminossolúveis .....	71
5.8 Determinação da atividade amilásica.....	74
5.9. Atividades da sintase da sacarose fosfato (SPS), pirofosforilase da ADP-glicose (AGPase) e sintase da sacarose (SuSy).....	77
5.9.1. Sintase da sacarose fosfato (SPS).....	77
5.9.2 Sintase da sacarose (SuSy).....	80
5.9.3. Pirofosforilase da ADP glicose (AGPase).....	82
5.10. Determinações pós-colheita.....	82
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>85</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>86</b>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Justificativa

Apesar do Brasil concentrar cerca de 18% do potencial de água doce da superfície do planeta (HEINZE, 2002), observa-se uma enorme desigualdade regional na distribuição dos recursos hídricos. Esse é o caso da região Nordeste, caracterizada por sua irregular disponibilidade de água ao longo dos meses e a cada ano, com uma elevada evaporação e onde a sobrevivência, a permanência da população e o desenvolvimento agrícola dependem essencialmente da oferta de água. Essas condições subjagam as plantas ali encontradas que, mesmo em ambientes naturais, estão normalmente sujeitas a estresses abióticos, dentre eles o hídrico.

Neste cenário, encontra-se a cultura do cajueiro, considerada uma planta tolerante à seca (NAMBIAR, 1977; OHLER, 1979) e em sua grande maioria, cultivada sob condições de sequeiro. Contudo, a propagação vegetativa de novos materiais de cajueiro e o desenvolvimento da irrigação localizada estimularam alguns produtores no plantio de enxertos com clones de cajueiro anão precoce, os quais se têm mostrado bastante promissores (PAULA PESSOA e col.,1995).

A cajucultura, em todo o país, ocupa uma área aproximada de 700 mil ha (OLIVEIRA e col., 2006), mobiliza, no campo, cerca de 280 mil pessoas e proporcionando uma produção de 200 mil ton de castanha e 2 milhões de ton de pedúnculos por ano, sendo 60% oriunda de mini e pequenos produtores, gerando divisas da ordem de 146 milhões de dólares anuais (OLIVEIRA, 2003). No Nordeste brasileiro, a área classificada como apta para a cajucultura chega a 14,5 milhões de hectares, sendo explorados aproximadamente cerca de 650 mil ha (AGUIAR e col., 2000).

Apesar de a irrigação ser comprovadamente benéfica para as culturas, incluindo a do cajueiro, em virtude da necessidade de preservação dos recursos naturais e do alto custo energético necessário para o funcionamento do sistema de irrigação, torna-se imperioso a racionalização do uso da água. Nas regiões semi-áridas, com drenagem deficiente e águas subsuperficiais ricas em sais solúveis, o manejo inadequado da irrigação eleva enormemente o risco de salinização do solo.

Para Paz e col. (2000) uma das metas estratégicas para a preservação da disponibilidade e da qualidade dos recursos hídricos consiste em se estabelecer critérios de uso adequado em todas as atividades produtivas, inclusive na agricultura irrigada, que vem

trazendo grandes avanços para a região Nordeste. Assim, a irrigação apenas com a quantidade de água requerida pela cultura pode possibilitar a expansão da área de cultivo com a economia dos recursos hídricos.

Por outro lado, estudos referentes às características bioquímicas e fisiológicas respostas adaptativas da cultura do cajueiro à irrigação e/ou às condições de sequeiro são escassos, assim, tem-se poucos resultados dessa planta. Dessa maneira, conseqüências como a redução da produtividade provocada pelo estresse hídrico devido à seca ou ao mau uso dos sistemas de irrigação podem não estar sendo consideradas. Essa redução pode ser atribuída a uma diminuição da capacidade fotossintética. Dessa forma, a planta pode estar sendo afetada de uma forma direta com a desidratação no aparato fotossintético como também por um efeito indireto associado ao fechamento estomático (CHAVES, 1991; LAWLOR; CORNIC, 2002).

Algumas mudanças fisiológicas e bioquímicas podem ocorrer nas plantas com a severidade do estresse hídrico, dentre elas estão inclusos o aumento na resistência mesofílica à difusão de CO<sub>2</sub> e alterações nas atividades das enzimas da fase bioquímica da fotossíntese, do metabolismo dos carboidratos e do nitrogênio (FOYER e col., 1994; BOYER, 1995; KANECHI e col., 1996; PALLESCHI e col., 1997).

Nesse contexto, observa-se a necessidade de pesquisas que visem o desenvolvimento de materiais com menor exigência hídrica e, principalmente, pesquisas que indiquem o real requerimento hídrico do cajueiro, possibilitando uma redução na quantidade de água aplicada, e, conseqüentemente, dos custos de produção.

Para tanto, é fundamental o conhecimento, dentre outros processos, das relações hídricas, das trocas gasosas e do metabolismo fotossintético da planta, em especial a mobilização do carbono fotoassimilado dentro da planta e entre os tipos de folhas.

O presente trabalho buscou compreender o comportamento desses processos em função da quantidade de água aplicada ou disponível no solo, com o intuito de encontrar melhores informações que possam contribuir para o direcionamento de uma agricultura planejada, conservando e otimizando os recursos naturais.

## **2. OBJETIVOS**

### **3. Objetivo geral**

Avaliar algumas respostas fisiológicas e bioquímicas dos clones CCP 76 e BRS 189 de cajueiro anão precoce, submetidos aos tratamentos irrigado e não irrigado durante um ano, visando à otimização no uso de recursos hídricos e a redução dos custos de produção.

### **3. Objetivos específicos**

- Analisar, como parâmetros fisiológicos, a condutância estomática  $g_s$ , a taxa transpiratória  $E$ , a taxa fotossintética ( $A$ ), a relação entre as concentrações interna e externa de  $CO_2$  ( $C_i/C_{ar}$ ), o teor de água (TA) e o potencial osmótico ( $\Psi_s$ ) de folhas no interior do dossel (sombreadas) e a pleno sol (não-sombreadas), de dois clones de cajueiro anão precoce (CCP 76 e BRS 189).
- Analisar, como parâmetros bioquímicos, os teores de proteínas solúveis, N-aminossolúveis, prolina, carboidratos (açúcares totais, redutores, não redutores e amido) e as atividades das enzimas do metabolismo do carbono, sintase da sacarose fosfato (SPS), sintase da sacarose (SuSy), pirofosforilase da ADP glicose (AGPase) e amilases (alfa, beta e total).
- Avaliar a qualidade pós-colheita do pedúnculo em função dos tratamentos aplicados;

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 O cajueiro

##### 3.1.1 Aspectos gerais

A palavra caju é oriunda da palavra indígena "acaiú", que, em tupi, quer dizer "noz que se produz" (AGOSTINI-COSTA e col., 2004). Segundo Martins Júnior (1993), o cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é uma árvore frutífera, originária do Brasil, pertencente à família Anacardiaceae, sendo a primeira espécie a ser classificada botanicamente dentro do seu gênero. Essa família é composta por árvores e arbustos de regiões tropicais e subtropicais que apresentam ramos sempre providos de canais resiníferos com folhas alternadas, coriáceas e sem estípulas (LIMA, 1988).

*Anacardium occidentale* L. é a espécie bastante dispersa no mundo, distribuindo-se em diferentes ecossistemas, especialmente nas zonas costeiras, compondo a vegetação de praias, dunas e restingas (CRISÓSTOMO e col., 2001). No Brasil está presente na Amazônia (onde os cajueiros apresentam porte bastante elevado) nos estados do Nordeste brasileiro (cujas árvores apresentam pequeno e médio porte) e nas regiões de cerrado do Brasil Central. As espécies nativas do cerrado podem apresentar porte médio, como o cajueiro arbóreo do cerrado (*A. othonianum*), porte arbustivo, como o cajueiro do campo (*A. humile*) ou até porte rasteiro (*A. nanum* e *A. corymbosum*). As espécies do cerrado produzem pseudofrutos aromáticos conhecidos como cajuí, caju-do-campo, cajuzinho-do-campo, caju-do-cerrado, caju-rasteiro, caju-de-árvore-do-cerrado, os quais possuem sabor mais adocicado e tamanho bem menor que o do caju produzido no Nordeste.

A árvore de cajueiro tem uma copa muito desenvolvida e o caule, em geral, é tortuoso e ramificado, logo acima do nível do terreno (FERRÃO, 1995). As flores são pequenas; pálidas, avermelhadas ou púrpuras, com corola e cálice normalmente pentâmeros, dispostas em amplas panículas terminais, com flores masculinas (estaminadas) e hermafroditas (LIMA, 1988; FERRÃO, 1995). O caju é composto de duas partes distintas, a castanha (o verdadeiro fruto) e o pedúnculo floral hipertrofiado (pseudofruto). O pseudofruto se mostra carnoso e suculento, geralmente de excelente qualidade gustativa e alto valor nutritivo. A castanha é composta pelo pericarpo (casca) e da amêndoa, de formato rinóide, constituída do tegumento e do embrião, o qual possui dois cotilédones brancos, carnosos e oleosos, sendo de alto valor energético (LIMA, 1988) e econômico. A Figura 1 ilustra uma árvore de cajueiro anão precoce e seus órgãos.

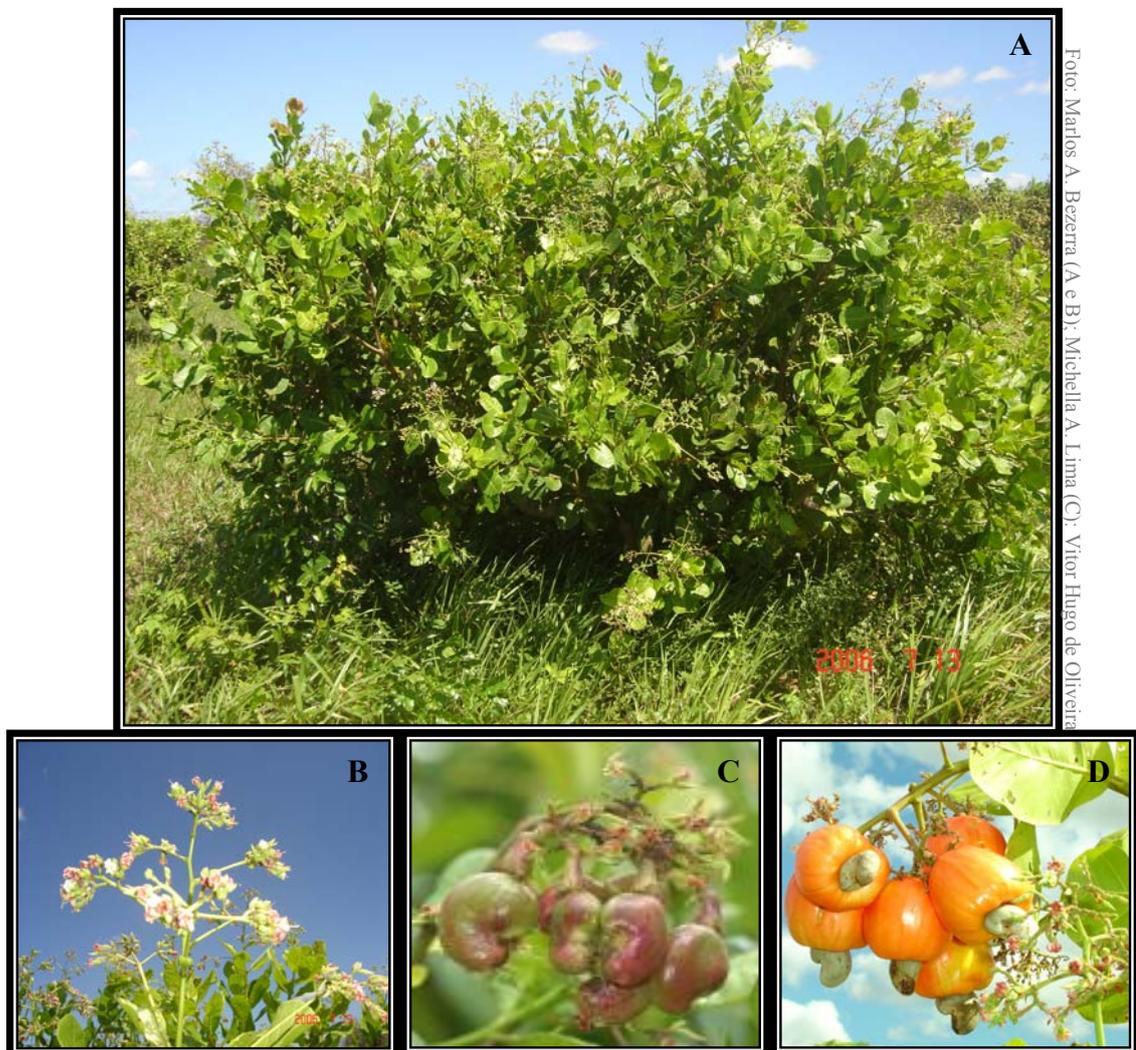


Figura 1 – Fotos de Cajueiro anão precoce (*Anacardium occidentale* L.). A - vista geral da copa, B - inflorescências, C - fruto (castanha) e D - pseudofruto.

Existe no país uma tradição no aproveitamento do pedúnculo mediante sua transformação em diversos produtos, como sucos, polpas, sorvetes, doces, rapadura, licores, mel, passas, geléia, cajuína, refrigerantes gaseificados e aguardentes (GARRUTI e col., 2001). Com a evolução de cultivos irrigados e dos programas de melhoramento, o mercado está direcionando-se para a agregação de valor mediante a exploração comercial do pedúnculo ou pseudofruto para o consumo *in natura*, também denominado “caju-de-mesa”.

O cajueiro, face à sua origem tropical, adapta-se e produz bem em regiões com temperaturas altas e com pequenas amplitudes térmicas. A média de 27°C é ideal para seu desenvolvimento e frutificação, suportando temperaturas máximas de até 38°C (FROTA: PARENTE, 1995).

Embora o cajueiro seja cultivado na região semi-árida do Nordeste brasileiro, com umidade relativa em torno de 50%, comporta-se melhor quando esse índice apresenta uma média anual entre 70% e 80%; no entanto, se superior a 80% no período de floração, a alta umidade relativa torna-se prejudicial à cultura, pois favorece a ocorrência de doenças fúngicas (ALVES, 1998).

Com relação às pragas, Bleicher e col. (1993) listaram 97 espécies de insetos e cinco de diferentes ácaros associados ao cajueiro no Brasil. Em razão dos prejuízos que causam à cultura e da frequência com que são constatadas em campo, as pragas mais importantes do cajueiro são: broca-das-pontas (*Antistarcha binocularis*), pulgão (*Aphis gossypii*), traça-da-castanha (*Anacamptis* sp.), tripes-da-cinta-vermelha (*Selenotrips robrocinctus*), mosca-branca (*Aleurodicus cocois*) e as coleobrocas dos gêneros *Marshallius* e *Apate*.

Com relação às doenças foliares, entre as mais importantes da cultura do cajueiro no Brasil, destacam-se a antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) e o mofo preto (*Pilgeriella anacardii*), atualmente, respondendo por severas perdas na quantidade e qualidade de frutos produzidos. A resinose, causada pelo fungo *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Grif., é outra doença que vem crescendo em importância nas áreas produtoras da região semi-árida do Nordeste (CARDOSO e col., 1995).

### **3.1.2 Importância econômica**

De acordo com dados relatados por Alves (1999), a cajucultura brasileira se distingue das demais culturas regionais por apresentar um desempenho no mercado internacional, que a coloca como produto de exportação, gerando divisas para o país. Em seu estudo, o autor relata que a cultura foi contemplada com a concessão de incentivos fiscais, objetivando a instalação de agroindústrias e a expansão da área cultivada. Houve segundo dados da Embrapa Agroindústria Tropical (Embrapa-CNPAT, 2007), nas três últimas décadas, grandes transformações em termos de indicadores quantitativos: área

cultivada, produção, capacidade industrial instalada para processamento de castanha e exportações.

No Brasil, ao longo das últimas décadas, a agroindústria do caju vivenciou um rápido crescimento nos seus indicadores quantitativos. A importância dessa agroindústria para os estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte é representada pela movimentação de 147,2 milhões de dólares em exportações de amêndoas, milhares de empregos, diretos e indiretos em todas as atividades dos segmentos da cadeia como produção, industrialização e comercialização. São, portanto, esses três estados os maiores responsáveis pela produção de castanha de caju no país (EMBRAPA-CNPAT, 2007).

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2007), durante o período 2000-2004, a produção (em ton) de castanha de caju na região Nordeste do Brasil, aumentou em 43%, sendo o estado do Ceará responsável por mais de 60% da produção nos anos de 2002 e 2003. No entanto, no ano de 2004, o IBGE registrou uma queda de 25% na produção de castanha de caju no estado do Ceará. Nesse ano, o estado contribuiu com 46% da produção de castanha na região Nordeste. Atualmente, a cajucultura vem perdendo rentabilidade, resultado, principalmente, da baixa produtividade das plantas. Além disso, segundo dados levantados por Leite e Paula Pessoa (2002), os custos de produção aumentaram e, vêm funcionando como um desestímulo ao investimento na manutenção das áreas cultivadas. Além disso, para aqueles autores, o baixo rendimento do cajueiro é também atribuído à ocorrência de pragas e doenças, em todas as fases do desenvolvimento da cultura.

A saída viável para a manutenção de cajucultura brasileira, é a expansão ou renovação da área atual, com tecnologias recomendadas pela pesquisa, visando ao aumento de produtividade. A irrigação é uma dessas tecnologias. Quando irrigado durante a fase reprodutiva, o cajueiro anão precoce pode atingir uma produtividade média real de castanha/ha/ano 30 vezes superior à do cajueiro comum após a estabilização da produção (OLIVEIRA, 2002).

Outro setor que tem avançado é a produção de caju *in natura*. O aproveitamento do pedúnculo para esse tipo de consumo segue os princípios da fruticultura moderna, de maior aproveitamento dos produtos obtidos. Face à sua aceitação pelos consumidores e aos preços atualmente praticados o mercado para comercialização do pseudofruto tem sido ampliado paulatinamente.

Para Oliveira e col. (2003), o consumo do caju de mesa tem crescido principalmente devido a novos investimentos na expansão e modernização dos pomares, na adoção de boas práticas agrícolas e do sistema de produção integrada de frutas. Esse sistema prioriza princípios baseados na sustentabilidade, aplicação de recursos naturais e regulação de mecanismos para a substituição de insumos poluentes, utilizando instrumentos adequados de monitoramento dos procedimentos e rastreabilidade de todo o processo, tornando-o ambientalmente correto.

### **3.1.3 Tipos varietais**

Existem dois tipos de cajueiros bem definidos em relação ao porte, sendo estes denominados comum e anão. O cajueiro comum possui porte elevado, com altura que varia de 8 a 15 m e a envergadura da copa que pode atingir 20 m. Apresenta grande variação na distribuição dos ramos e no formato da copa, que vai desde ereta e compacta até bastante expandida (BARROS, 1995). A capacidade produtiva individual do cajueiro comum é muito variável, com plantas que produzem menos de 1 kg até cerca de 180 kg de castanha por safra. Apresenta grande variabilidade na massa do fruto de (3 a 33 g) e do pedúnculo (20 a 500 g). A idade mínima de estabilização da produção das plantas é superior a 8 anos, sendo normal também ocorrer entre 12 e 14 anos (PAIVA; BARROS, 2004).

O cajueiro anão precoce, também conhecido por cajueiro de seis meses, caracteriza-se pelo porte baixo, altura abaixo de 4 m, copa homogênea com variação no tamanho de 5 a 6,5 m, diâmetro do caule e envergadura bem inferiores aos do tipo comum. Inicia o florescimento entre 6-18 meses, possuindo um período produtivo mais alongado de dois a três meses. A massa do fruto nas populações naturais varia de 3 a 19 g e o do pedúnculo de 20 a 160 g, o que significa dizer que são características com menor variabilidade em relação ao tipo comum (BARROS, 2000). O seu sistema de produção é baseado no emprego de clones melhorados, cultivos adensados, fertilizantes e controle fitossanitário (OLIVEIRA e col.,1998).

#### **3.1.4.1 Clones**

Conforme Carbajal e Silva Júnior (2003), a propagação do cajueiro pode ser realizada por meio de sementes (via sexuada) dando origem a plantas denominadas de “pé-

franco” ou por intermédio de partes vegetativas, por via assexuada, originando clones. Atualmente, recomenda-se a multiplicação do cajueiro anão precoce por meio de mudas enxertadas, provenientes de clones selecionados. Esse procedimento diminui a heterogeneidade das plantas e facilita o manejo dos pomares para o agricultor.

De acordo com Leite (1994), priorizava não se na cultura do cajueiro as qualidades das plantas matrizes e polinizadoras, quando da obtenção de sementes para o plantio, o que acarretou na formação de pomares bastantes desuniformes, tanto nos aspectos morfológicos quanto fisiológicos. O resultado disso foi uma grande variedade na produção, com valores médios muito abaixo do potencial da espécie. Conseqüentemente, isso afetou a indústria de processamento em termos de rendimento e nos aspectos relativos às cotações de preço no mercado.

Pesquisas com cajueiro, particularmente aquelas direcionadas para a obtenção de material melhorado, foram dinamizadas, dando origem às primeiras plantas matrizes fornecedoras de sementes para o plantio comercial. Até então, os cajueirais eram formados por sementes que não sofreram nenhum processo de seleção, com exceção feita para o peso e, algumas vezes, para a densidade e sanidade das mesmas. Nenhum desses processos foi eficiente para assegurar a qualidade do material genético utilizado (CAVALCANTI JÚNIOR e col., 2001).

Com interesse em aprimorar o trabalho de melhoramento do cajueiro anão precoce no Brasil, em 1965 pesquisadores da extinta Empresa de Pesquisa Agropecuária do Ceará (EPACE), deram início a uma seleção fenotípica individual, mediante controle anual da produção. Essa metodologia, embora simples e de ganhos genéticos esperados reduzidos, permitiu o lançamento comercial de dois clones em 1983, a saber, o CCP 06 e CCP 76. No ano de 1987, foram lançados mais dois clones, o CCP 09 e o CCP 1001 (BARROS, 1995). Outros foram disponibilizados no mercado em anos posteriores como o EMBRAPA 50, EMBRAPA 51, BRS 189, BRS 253 e BRS 226.

A variabilidade do germoplasma disponível permitiu a obtenção de alguns resultados promissores para a exploração de castanha e do caju de mesa, para o cultivo irrigado e de sequeiro, viabilizando melhores alternativas de produtividade e qualidade da castanha e do pedúnculo (BARROS e col., 2000).

O desenvolvimento dos clones modificou o perfil do setor produtivo não só em termos de características de interesse econômico, mas, principalmente, em termos de

ampliação da base genética com adaptação a ambientes específicos e diminuição da variabilidade dos genótipos.

#### **3.1.4.2 Clone BRS 189**

O clone BRS 189 teve sua origem do cruzamento entre os clones de cajueiro-anão precoce CCP 1001 e CCP 76. Foi lançado no estado do Ceará em 2000 destinando-se ao plantio comercial, em cultivo irrigado.

A planta apresenta porte baixo, com altura média de 3,16 m no terceiro ano de idade das plantas em cultivo irrigado, diâmetro médio da copa de 5,9 m, no espaçamento de 8 x 6 m (sistema retangular), com 208 plantas/ha, ou 7 x 7 m, em (sistema quadrado) com 204 plantas/ha. A massa média da castanha é de 7,9 g, enquanto o da amêndoa é de 2,1 g e a relação amêndoa/casca é cerca de 26,6%. A produção média de castanha no terceiro ano em cultivo irrigado pode chegar a 1.960 kg/ha (PAIVA; BARROS, 2004).

A coloração do pseudofruto é vermelho-claro (Figura 2A), com formato piriforme, os sólidos solúveis totais (ST) são da ordem de 13,3° Brix, a acidez total titulável (ATT) de 0,40%, em média apresenta 251,86 mg de vitamina C para cada 100 g de polpa e o teor de tanino oligomérico é de aproximadamente 0,30%. Por essas características, esse clone, segundo Paiva e Barros (2004), tem sido recomendado para o mercado de mesa.

#### **3.1.4.2 Clone CCP 76**

O Clone CCP 76 foi obtido no ano de 1979, a partir da planta matriz de cajueiro CP 76, proveniente do mesmo lote da CP 06. Lançado para o plantio comercial no ano de 1983, apresenta como características altura média de 2,68 m e diâmetro médio da copa de 4,98 m no sexto ano de idade. A massa média da castanha é de 8,60 g e a relação amêndoa/casca é cerca de 20,1%. A produtividade média esperada para o cultivo de sequeiro no sexto ano de produção é cerca de 338 kg/ha, em espaçamento de 7 x 7 m (PAIVA; BARROS, 2004).

Como indicadores agroindustriais, o pedúnculo do CCP 76 possui peso médio de 135 g e coloração laranja (Figura 2B). A exploração comercial desse clone vem sendo feita

tanto em cultivo de sequeiro como irrigado, com aproveitamento do pedúnculo, para o mercado de mesa, e da castanha, para o mercado de amêndoa (PAIVA; BARROS, 2004).



Foto: Vitor Hugo de Oliveira

Figura 2 – Pedúnculos dos clones de cajueiro BRS 189(A) e CCP 76(B).

### **3.1.5 A irrigação na cajucultura**

De maneira geral, para que o desenvolvimento das espécies vegetais ocorra de modo satisfatório, ou seja, para que a acumulação de matéria seca, decorrente da síntese de carboidratos, se processe de maneira ótima, os fatores água e luz são essenciais, evidenciando a importância da irrigação como mecanismo de suprir possíveis deficiências hídricas, durante o ciclo fenológico das culturas (URCHEI; RODRIGUES, 1994).

Sabe-se ainda que as melhores práticas de irrigação sejam aquelas que buscam o uso mais eficiente da água, com base no uso consultivo das culturas, com programação da irrigação, evitando a salinização e a erosão dos solos. É necessário, porém, estruturar e programar procedimentos eficientes para implantar o conhecimento disponível entre os usuários da água e assegurar a aplicação contínua de práticas que conduzam a uma agricultura sustentável (ALFARO; MARIN, 1991).

O sucesso na exploração econômica do cajueiro nos diferentes agrossistemas para onde ele tem sido levado depende de sistemas de produção que incluam, fundamentalmente, indivíduos adaptados às condições de clima e de solo em ambiente particular.

A resposta do cajueiro anão precoce à irrigação é dependente do genótipo (OLIVEIRA e col.,1998). Comparando três clones da cultura em regime irrigado e de sequeiro, durante três anos, na região de Paraipaba, município da zona costeira do Ceará, Oliveira e col.. (2003) observaram que, para a produção de castanha, os clones não apresentaram comportamento diferencial em resposta à irrigação, entretanto, os clones CCP 09 e CCP 76 mostraram-se superiores ao CCP 1001 quanto à estabilidade de safra. Oliveira e col. (1996) também constataram que os clones CCP 09 e CCP 76 não apresentaram diferença estatística em relação à variável produção de castanha. Por outro lado, Richards (1993) e Schaper e col. (1996) em estudo no norte da Austrália com clones de cajueiro BLA 39-4 irrigados encontraram diferenças significativas na produção de castanha e pedúnculos de caju em regimes irrigados em relação aos não irrigados.

Portanto, o sistema com irrigação para o cajueiro pode ser vantajoso, à medida que exista resposta diferencial entre clones à disponibilidade hídrica e que seja viável economicamente.

### ***3.2 Aspectos da fisiologia do cajueiro***

#### ***3.2.1 Déficit hídrico e fisiologia pós-colheita***

O déficit hídrico é uma das limitações ambientais mais comuns que afetam o crescimento e a produtividade das plantas, causando muitas mudanças metabólicas, mecânicas e oxidativas. Nos países importadores de frutas, a falta de conhecimento do valor nutritivo do pedúnculo tem sido o principal motivo para seu baixo consumo (ALVES e col., 1999). Segundo Paiva (1998) para se adequar às exigências pós-colheita do mercado os genótipos de cajueiro devem produzir pedúnculos com coloração vermelha, altos teores de açúcares e de vitamina C, menor adstringência, avaliada pela concentração de taninos, alta resistência ao manuseio, avaliada pela textura firme, formato piriforme, de fácil disposição nas embalagens de comercialização e classificados como pertencentes ao tipo 4 ou 5 (pedúnculos/bandeja). São adequados a essas condições os clones CCP 76 e o BRS 189.

Estresses abióticos também podem afetar a qualidade dos pseudofrutos. Pinto e col. (1997) constataram que o aumento da salinidade diminuiu o teor de clorofila nas folhas, a taxa respiratória da planta, o aproveitamento do nitrogênio absorvido e, devido ao aumento da pressão osmótica do solo induzia a seca fisiológica, reduzindo o crescimento e

diminuindo a absorção dos nutrientes do solo. Esse desequilíbrio afetou negativamente o tamanho e a qualidade pós-colheita dos pedúnculos de caju.

### ***3.2.2 Déficit hídrico, trocas gasosas e relações hídricas***

A produtividade das plantas está limitada pela água e depende da quantidade disponível desse recurso e da eficiência de seu uso pelo vegetal. A planta encontra-se em déficit hídrico quando o conteúdo de água de um tecido ou célula está abaixo do conteúdo de água máximo possível exibido no estado de maior hidratação.

Na medida em que o déficit hídrico se desenvolve, vários processos fisiológicos podem ser alterados, tais como: fotossíntese, abertura estomática, abscisão foliar e ajuste osmótico (TAIZ; ZEIGER, 2004). Sob déficit hídrico pode ocorrer, na maioria dos casos, uma redução drástica do crescimento das plantas precedida por reduções nas taxas fotossintéticas (LAWLOR; CORNIC, 2002).

Para Donatelli e col. (1992) a tolerância à seca é diferenciada conforme o genótipo dentro da mesma espécie vegetal. Adaptações de plantas da mesma espécie aos diferentes habitats estão associadas a características fisiológicas e morfológicas distintas (LARCHER, 2000). Assim, diferentes materiais de uma mesma espécie podem responder de maneiras distintas ao estresse causado pela deficiência hídrica. Essas mudanças dependem da severidade e da duração do estresse, do genótipo, do estágio de desenvolvimento e da natureza do estresse (KRAMER, 1983).

Algumas espécies podem evitar a seca completando seu ciclo de vida antes que ela se inicie ou reproduzindo-se somente após a chuva (ALVIM, 1985), como é o caso do cajueiro. Outras plantas toleram a desidratação, através do desenvolvimento de raízes profundas ou fechando fortemente seus estômatos contra a transpiração e/ou acumulando grandes reservas de água em seus tecidos (INGROUILLE, 1992). Há, ainda, outras espécies que permitem a desidratação dos tecidos e toleram a falta de água, apresentando crescimento continuado mesmo quando desidratadas ou sobrevivendo a desidratações severas (KRAMER, 1983).

As condições ambientais para a produção de caju no Nordeste brasileiro são tipicamente tropicais, sendo seu cultivo recomendado na época chuvosa (OLIVEIRA e col., 2006). Entretanto, sua frutificação ocorre no período seco, o que pode comprometer a qualidade e quantidade dos frutos caso a quantidade de chuvas não seja adequada. Esse

comportamento do cajueiro sugere um investimento energético alto dessas plantas, podendo haver uma mobilização de reservas nesse período.

A seca é um fenômeno freqüente e característico do nosso país, com intensidade e efeitos variáveis no espaço e no tempo. Uma vez que a seca é desencadeada por persistente ausência de pluviometria significativa, a variabilidade espacial da precipitação torna muito mais freqüente às ocorrências de fenômenos regionais de seca (HEINZE, 2002). As plantas desenvolveram mecanismos de adaptação à seca, tais como: fechamento estomático (CHAVES, 1991), ajustamento osmótico (THOMAS, 1986; BARKER e col.,1993), ajustamento da elasticidade da parede celular (NEUMANN, 1995), produção de folhas menores (KLAR e col.,1978), redução da área foliar (ROSENTHAL e col.,1987; CHAVES, 1991) e aumento na densidade e profundidade de raízes (DOSS e col., 1960; KANO e col.,1999). As respostas das plantas em nível de tecido estressado é que vai determinar o seu nível de tolerância à seca (MITRA, 2001).

As plantas estão sujeitas a uma grande variedade de estresses ambientais, incluindo temperaturas anormais, condições químicas e físicas do solo desfavoráveis e a várias doenças e pragas, contudo, pode-se dizer que o déficit hídrico reduz o crescimento e a produtividade vegetal mais que todos os outros estresses combinados, pois ocorre em qualquer local, mesmo nas regiões consideradas úmidas (WANG e col., 2003; CUSHMAN e BOHNERT, 2000).

O comportamento estomático tem papel importante no estatus hídrico da planta, e mais indiretamente na formação de metabólitos que provêm da fotossíntese. As plantas, ao absorverem CO<sub>2</sub>, inevitavelmente, perdem água pelas folhas. Essa perda de água ocorre principalmente através dos estômatos, que apresentam mecanismos para controlar o seu grau de abertura. Esse controle é atribuído à condutância estomática foliar, que é freqüentemente utilizada como indicador de deficiência hídrica (Mc DERMIT, 1990). Outros autores acreditam que a condutância não controle a abertura estomática e que essa pode apenas responder a variações ambientais como, por exemplo, à variações de umidade, independente do status hídrico foliar.

O decréscimo na disponibilidade de água no solo pode ocasionar queda no potencial hídrico das folhas, levando à perda de turgescência e à redução da condutância estomática (SHALHEVET, 1983). A redução da taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>, durante o estresse hídrico, deve-se à redução na disponibilidade de CO<sub>2</sub> no interior da folha, causada pelo fechamento dos estômatos em resposta à redução da disponibilidade de água no solo

(ROSA e col.,1991). Esse aumento da resistência à difusão gasosa e à diminuição na taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> determina uma menor perda de água por transpiração, além de poder afetar a fotossíntese.

Sabe-se que a deficiência hídrica provoca modificações na composição das células das plantas superiores, levando, em muitos casos, à produção de substâncias osmoticamente ativas. Esse processo, conhecido como osmorregulação, é um componente de grande importância no processo de tolerância à seca em várias espécies, (BLUM e col.,1999; SUBBARAO e col.,2000; AYELE e col.,2001). Entretanto está mais diretamente relacionado ao acúmulo de solutos, e não com a produção dessas espécies.

Durante a seca, plantas superiores ativamente acumulam açúcares, ácidos orgânicos e íons no citosol para diminuir o potencial osmótico e, conseqüentemente, manter o potencial hídrico e a turgescência de suas células próxima do nível ótimo (BRAY, 1997). Quando o turgor é mantido, processos como condutância estomática, taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> e expansão dos tecidos são total ou parcialmente mantidos (NEPOMUCENO e col.,1998).

Mudanças no potencial osmótico causadas pela variação da concentração de solutos, resultante da perda de água e aquelas causadas pela acumulação ativa de solutos são distintas. Na ausência de acumulação de solutos, o potencial osmótico é inversamente relacionado com o volume osmótico. Reduções no potencial osmótico ocorrem pelo aumento na concentração de solutos presentes na célula túrgida. O ajuste osmótico, portanto, ocorrerá somente se ocorrer a acumulação ativa de solutos, propiciando, em várias espécies (GUO; OOSTERHUIS, 1997), o aumento na capacidade de tolerar períodos curtos de seca.

As mudanças na razão fonte-dreno também podem causar alterações de longo prazo nas taxas de fotossíntese das fontes. Bagnall e col. (1988), em estudo com plantas de amendoim, sugeriram que, em temperaturas subótimas (15-20°C), o acúmulo de carboidratos nas folhas é o responsável pela diminuição da taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>, podendo ser a causa principal da redução da taxa de crescimento e desenvolvimento das plantas.

Durante um déficit hídrico moderado, o potencial hídrico pode ser mantido pelo ajuste osmótico e os açúcares podem servir como solutos compatíveis baixando o potencial osmótico. Exemplos disso estão em plantas de ressurreição, como *Craterostigma*

*plantagineum* e plantas sensíveis à seca, como espinafre (*Spinacea oleracea*), que aumentam a síntese de sacarose durante o déficit hídrico (INGRAM; BARTELS, 1996).

A compreensão das respostas das fruteiras à ação dos fatores do ambiente como luz, temperatura, água no solo e no ar, nutrientes minerais e características físicas do solo é de fundamental importância para tornar mínimos os efeitos indesejados dos fatores ambientais sobre os processos fisiológicos (SCHAFFER; ANDERSEN, 1994). Segundo Flore e Lakso (1988), o fato de as trocas gasosas em folhas de fruteiras apresentarem uma grande sensibilidade aos fatores climáticos, principalmente, a maior sensibilidade à diferença de pressão de vapor entre a folha e o ar se deve à baixa condutividade hidráulica do sistema radicular. As variáveis do clima podem causar um efeito pronunciado na transpiração e no potencial hídrico na parte aérea da planta dessas espécies cultivadas. Esse processo significa que o estado hídrico dessas folhas é fortemente dependente da demanda evapotranspiratória da atmosfera (LANGE e col.,1971).

Vários autores estudaram as respostas dos estômatos às mudanças no teor de água na atmosfera (GUEHL; AUSSENAC, 1987; MONTEITH, 1995, FRANKS; FARQUHAR, 1999), demonstrando que existem diferenças entre as espécies, em relação à sensibilidade dos estômatos (SHERIFF; KAYE, 1977; WARRIT e col.,1980; EL-SHARKAWY e col.,1984; FRANKS; FARQUHAR, 1999).

### **3.2.3 Déficit hídrico e sombreamento**

Adaptações de plantas da mesma espécie aos diferentes habitats estão associadas a características fisiológicas e morfológicas distintas (LARCHER, 2000). Segundo Fahl e col. (1994), plantas sombreadas tornam-se mais altas, suas folhas são maiores e mais finas, permitindo uma melhor captação da energia solar disponível. Os níveis de radiação e temperatura sobre as plantas, bem como a água e nutrientes disponíveis, são fatores importantes na regulação da atividade fotossintética.

As respostas das plantas à redução da intensidade luminosa são muitas e variadas. Essencialmente, há duas estratégias para enfrentar a condição de sombreamento: alterar o processo de crescimento e desenvolvimento e, assim, evitar o sombreamento, ou tolerar e manter o padrão de crescimento (SMITH; WHITELAM, 1997). Em geral, a baixa intensidade de luz resulta em diminuição na taxa de fotossíntese, na biomassa e na produção, podendo ainda afetar o transporte de fotoassimilados e a relação fonte-dreno

(SOUZA e col.,2001). No entanto, a plasticidade adaptativa das espécies vegetais à radiação solar depende do ajuste do aparato fotossintético, a fim de possibilitar conversão altamente eficiente de energia radiante em carboidratos e conseqüentemente promoverem maior crescimento das plantas (ALVARENGA e col., 2003).

As folhas podem variar em forma, tamanho, espessura, densidade e rusticidade, considerando diferentes posicionamentos numa mesma planta, porque estão expostas a condições microclimáticas diversas, provocando alterações hormonais e, por conseguinte, modificações estruturais e morfológicas (MEDRI; PEREZ, 1980). Esse efeito é conhecido como auto-sombreamento, onde as folhas mais expostas à radiação podem ser, não apenas, morfológicamente, como fisiologicamente diferentes das folhas menos expostas em uma mesma planta. Dessa forma, a luz é um dos principais fatores a ser considerado no tocante à produtividade fotossintética da cultura.

Morais e col. (2003), estudando cafeeiros sombreados e a pleno sol, observaram que estes quando cultivados sob sombreamento denso apresentaram menores taxas de transpiração e fotossíntese, maior crescimento em altura, menor número de ramos plagiotrópicos e folhas maiores com menor acúmulo de matéria seca.

Quando o solo se encontra com baixa disponibilidade de água, a evapotranspiração é restringida e a maior parte da energia disponível é utilizada para aquecimento do ar, da planta e do solo (PEREIRA e col., 2002). Moraes e col. (2003) encontraram taxas de transpiração e de temperatura foliar menores em folhas sombreadas, comparadas com folhas a pleno sol. Isso mostra os efeitos benéficos nas plantas em condições de estresse, ao reduzir perdas de água e diminuir seu aquecimento.

Além do efeito do estresse hídrico, sob condições naturais, a baixa disponibilidade de luz, em vista do sombreamento, conforme apontam Nardoto e col. (1998), também limita a produtividade de indivíduos jovens.

Alterações na estrutura interna foliar constituem aspectos decisivos na capacidade de aclimação das espécies expostas a diferentes condições de ambiente (HANBA e col., 2002; SCHLUTER e col., 2003). Em adição, as características fotossintéticas geralmente variam em resposta a diferentes regimes de irradiância (BOARDMAN, 1977). O sombreamento natural é um dos fatores mais importantes na interceptação da radiação, pois a densidade e a arquitetura da copa da espécie de porte mais alto determinam a fração de energia solar que pode ser captada pelas plantas subjacentes (MONTEITH, 1965). Folhas de árvores crescendo num ambiente de sombra apresentam modificações nas

características fotossintéticas, bioquímicas, organização de células do mesófilo e frequência estomática quando comparadas com folhas crescendo num ambiente de maior irradiância (SIMS e col., 1998; SCHLUTER e col., 2003).

Assim, o conhecimento dos efeitos do sombreamento sobre a fisiologia de cajueiros é importante para se determinar níveis ótimos de radiação e temperatura, já que nesses aspectos residem as causas de diferentes atividades fotossintéticas.

### **3. Déficit hídrico e metabolismo de carboidratos**

O déficit hídrico afeta a fotossíntese das plantas direta ou indiretamente, suas relações hídricas e a qualidade dos frutos e pode reduzir drasticamente o crescimento das plantas. Em consequência disso, a produção e o consumo de fotoassimilados são diminuídos, levando a alteração na partição do carbono na folha e na planta como um todo (LAWLOR; CORNIC, 2002).

Modificações nos níveis foliares de açúcares totais e de amido (PRAXEDES, 2003) são fatores comumente alterados durante o estresse. Além disso, as atividades das enzimas-chave da síntese (bifosfatase da frutose 1,6-bifosfato, FBPase e sintase da sacarose-fosfato, SPS) (PRAXEDES, 2003) e da degradação da sacarose (invertase ácida e sintase da sacarose, SuSy) (PALLESCHI e col., 1997; LAWLOR; CORNIC, 2002, PRAXEDES, 2003), da síntese de amido (pirofosforilase da ADP-glicose, AGPase) e de sua degradação (fosforilase do amido, SPase) (ZEEMAN e col., 2004) e amilases são alteradas.

Outro sintoma fisiológico que pode ocorrer durante o déficit hídrico é o acúmulo de açúcares totais, que tem sido relatado como fenômeno associado à inibição da fotossíntese em várias culturas (CHAVES, 1991; LAWLOR; CORNIC, 2002). Dessa forma, o consumo e a produção de fotoassimilados são restritos, levando à alterações na partição do carbono na folha e na planta como um todo (LAWLOR; CORNIC, 2002). Segundo DaMatta (1998) e Praxedes (2003) nessas alterações predominam modificações nos níveis foliares de açúcares totais e de amido.

Quanto à produção de açúcares, existem fortes evidências de que a síntese da sacarose é catalisada pela enzima sacarose fosfato sintase (SPS) (HUBBARD e col., 1989 PHARR; CORDENUNSI, 1995). Em folhas, variações na taxa de síntese de sacarose são associadas com mudanças no estado de ativação de SPS (NEUHAUS e col., 1990). Sob déficit hídrico é bastante aceito uma redução na atividade da SPS em folhas (LAWLOR;

CORNIC, 2002) o que pode ser mais pronunciado e melhor observado quando o déficit é considerado severo (PRAXEDES, 2003).

Aumentos nos teores de prolina em função do estresse hídrico têm sido observados por alguns autores (NOGUEIRA e col., 2001, em acerola; GZIK, 2007, em beterraba açucareira). O aumento do teor de solutos orgânicos, como açúcares, prolina e N-aminossilúveis, tem a função de balancear os potenciais osmótico e hídrico do citoplasma com os do vacúolo (BINZEL e col., 1985) a fim de manter o gradiente de potencial hídrico entre o ambiente externo e planta. É importante ressaltar que, embora alguns trabalhos evidenciem uma correlação positiva entre o acúmulo de prolina e o aumento da tolerância ao estresse (PETRUSA; WINICOV, 1997; KUMAR e col., 2003), outros sugerem que o acúmulo de prolina é meramente uma consequência do mesmo, não levando portanto a um processo de tolerância nas plantas (LIU; ZHU, 1997; LACERDA e col., 2003).

Diversos estudos fisiológicos sugerem que existe uma correlação entre hidratos de carbono não estruturais (sacarose, hexoses e álcoois de açúcar) e condições de déficit hídrico, sugerem, ainda, que estes se acumulam embora o grau de concentração varie em diferentes espécies de plantas. Uma forte correlação entre o acúmulo de açúcares e a tolerância ao estresse osmótico foi relatada extensamente, incluindo experiências com plantas transgênicas (RAMANJULU e col., 1994; ABD-EL BAKI e col., 2000; GILMOUR e col., 2000; STREETER e col., 2001; TAJI e col., 2002). O aumento das concentrações de açúcares resulta na maior parte da hidrólise do amido, que requer atividade de enzimas hidrolíticas. As plantas recuperadas do estresse e as sementes de muitas plantas superiores são bons exemplos para a ligação do acúmulo de hidratos de carbono (sacarose em particular) com a aquisição da tolerância ao estresse (HOEKSTRA e col., 2001; PHILLIPS e col., 2002).

Conforme relata Munns e Pearson (1974), plantas C3 sob deficiência hídrica acumulam menos amido e mais sacarose (QUICK e col., 1992) que plantas em condições hídricas normais, o que pode ser atribuído a uma síntese reduzida de amido (QUICK e col., 1989), ou à sua degradação (FOX; GEIGER, 1986). Entretanto esse fator é bastante variável, dependendo da espécie.

Segundo Taiz e Zeiger (2004), os pontos de controle da síntese de sacarose residem, fundamentalmente, nas atividades das enzimas SPS e a FBPase citoplasmática. De acordo com Lawlor e Cornic (2002), a atividade da SPS em plantas submetidas a déficit hídrico é bastante reduzida. Entretanto, em algumas espécies submetidas a déficit hídrico,

sob concentração externa saturante de CO<sub>2</sub>, foi verificada não uma redução e sim uma ativação da SPS (ZRENNER; STITT, 1991; BASU e col.,1999).Contudo, mesmo sob baixas taxas de CO<sub>2</sub>, pode haver manutenção da atividade da SPS (Praxedes e col., 2003)

O acúmulo de carboidratos é muito variável entre as espécies, quando ocorre a inibição da fotossíntese (GOLDSCHMIDT; HUBER, 1992), e pode ser regulado pelos níveis dos metabólitos fotossintéticos, e não necessariamente pela ação dos produtos finais propriamente ditos (FOYER, 1988). A fotossíntese que nas fases iniciais do déficit hídrico é quase sempre associada à redução da abertura estomática posteriormente pode ser inibida por limitações bioquímicas. Segundo Sheen (1990) a hexose formada quando em elevadas concentrações nas folhas, podendo iniciar uma retroinibição de enzimas do ciclo de Calvin. As hexoses podem também seqüestrar o fosfato inorgânico (Pi) livre no citosol, durante a refosforilação, diminuindo assim o Pi dos cloroplastos (FOYER, 1988), sendo uma outra causa da inibição da fotossíntese. Sob estresse hídrico esse comportamento pode não ocorrer (LAWLOR; CORNIC, 2002). Lawlor e Fock (1977) em estudo com plantas de girassol submetidas a estresse hídrico, verificaram que o conteúdo de sacarose diminui rapidamente nas folhas, devido à redução da fotossíntese e continuação da respiração juntamente com a síntese de aminoácidos (LAWLOR; FOCK, 1977).

A SuSy catalisa a conversão in vitro da sacarose e UDP em frutose e UDP-glicose (GEIGENBERGER; STITT, 1993). A atividade da SuSy é elevada em órgãos em crescimento (WANG e col., 1993) e decresce, à medida que o órgão envelhece e se torna “maduro” (PRESSEY, 1969). Além disso, existem diversas isoformas da SuSy que, supostamente, estão envolvidas em processos bioquímicos distintos.

Com a redução do conteúdo relativo de água, ocorre uma redução substancial, se não total, na expansão dos órgãos (LAWLOR; CORNIC, 2002), resultando em limitação no consumo de carboidratos pelos drenos (QUICK e col., 1989). Assim, o acúmulo de carboidratos pode sugerir que a fotossíntese, de forma geral, é menos afetada que a demanda total por assimilados (LAWLOR; CORNIC, 2002), indicando, mais uma vez, que o acúmulo de açúcares totais não resultaria em inibição da fotossíntese.

A participação de açúcares solúveis na tolerância à seca nas plantas é sugerida pelos estudos em que a presença de açúcares solúveis pode estar correlacionada com a aquisição desta tolerância (LEPRINCE e col., 1993).A capacidade de exportação de carboidratos das folhas provavelmente não é afetada pela redução no conteúdo de água (TAIZ; ZEIGER, 2004), mas pode diminuir quando a síntese de sacarose é muito limitada (LAWLOR;

FOCK, 1977). Tal acúmulo de carboidratos também pode ser uma forma de a planta se adaptar às condições hídricas desfavoráveis do solo, por meio de osmorregulação (LAWLOR; CORNIC, 2002). Entretanto, não está claro se existe uma relação entre a manutenção das taxas de fotossíntese e o ajuste osmótico, nessas condições.

Praxedes (2003) em estudo realizado com quatro clones de café evidenciou que o metabolismo de carboidratos exhibe variações clonais em resposta ao déficit hídrico, imposto lentamente. Contudo em caju, a importância de imposição do déficit sobre o metabolismo de carboidratos e, também, sobre a maquinaria fotossintética não é conhecido.

Até o presente momento, nenhum estudo mais detalhado, em caju, parece ter sido feito acerca da associação entre esta cultura, com e sem restrição hídrica, o sombreamento e as oscilações nos padrões de fotossíntese e no metabolismo dos carboidratos. Portanto, os trabalhos de pesquisa voltados para determinação dos mecanismos de tolerância ao estresse hídrico são, sobretudo, importantes para o equilíbrio ambiental, uma vez que cerca de 80% da água consumida no mundo é destinada à agricultura.

#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento avaliou as respostas fisiológicas e bioquímicas em folhas de sol e sombreadas, dos clones de cajueiro (*Anacardium occidentale*) anão precoce CCP 76 e BRS 189, cultivados sob o regime irrigado e não irrigado, no período de setembro de 2006 a agosto de 2007. A condução desse trabalho foi feita na estação experimental da Embrapa Agroindústria Tropical, localizada no município de Paraipaba, Ceará, que fica situada no paralelo 3°26' sul e 39°08' oeste, com altitude de 31 m e distante 100 km da capital Fortaleza.

Paraipaba apresenta tipo climático Aw, segundo a classificação de Köppen (1948). Trata-se, portanto, de uma região pertencente ao grupo de clima tropical chuvoso, com temperatura média do mês mais frio em torno de 25°C e precipitação do mês mais seco menor que 30 mm, podendo chegar a 0 mm. Em estudo envolvendo aspectos climatológicos da região, Aguiar e col. (2002) observaram que a precipitação média foi de 976 mm, a temperatura média de 27,6°C, a umidade relativa do ar média de 67%, a evaporação do tanque Classe A de 2.863,4 mm e a insolação ficou em torno de 3.090,5 horas. O solo do local é do tipo latossolos com baixa fertilidade natural, que requer adubação, corretivos e irrigação (IPECE, 2007).

As plantas, quando da instalação do experimento, já se encontravam em estágio adulto. O plantio foi feito em fevereiro de 2002 com mudas obtidas da estação experimental da Embrapa localizada no município de Pacajus, no Ceará. Em outubro de 2005 toda a área sofreu acidentalmente um processo de queimada e em seguida, todas as plantas sofreram uma poda drástica para que a recuperação das mesmas pudesse ocorrer de maneira uniforme.

O delineamento experimental estabelecido foi em blocos ao acaso, num fatorial 2 x 2 x 1. O primeiro fator foi representado pelos tratamentos hídricos: irrigado e não irrigado, o segundo, pelos tipos de folhas: de sol e sombreadas e o terceiro pelos meses do ano. Cada tratamento constou de quatro repetições, com quatro plantas por parcela, perfazendo um total de 64 plantas. O croqui de distribuição das plantas e uma visão real da área podem ser observados nas figuras 3 e 4, respectivamente.

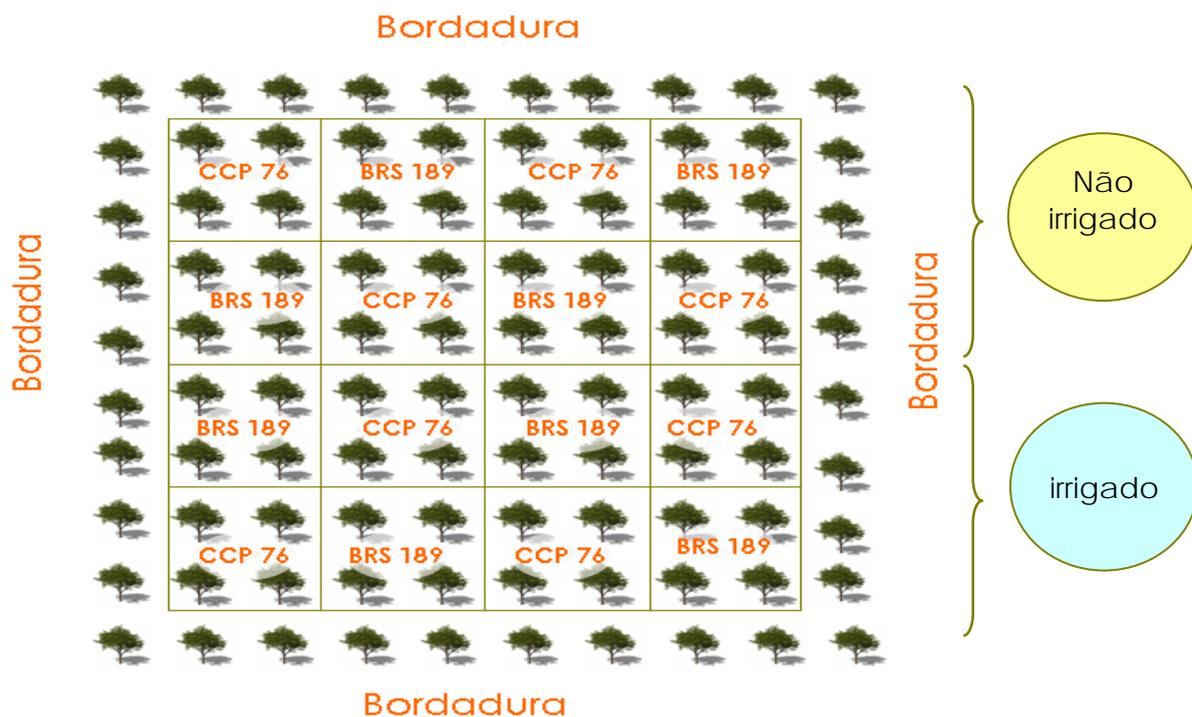


Figura 3 – Croqui da disposição de clones de cajueiro anão precoce na área na experimental da Embrapa Agroindústria Tropical em Paraipaba, Ceará.



Foto: Marcos Alves Bezerra

Figura 4 – Vista geral da área experimental dos clones de cajueiro anão precoce, na Embrapa Agroindústria Tropical, em Paraipaba, Ceará.

O espaçamento empregado foi de 8 m x 6 m em uma área de 0,15 ha. Visando evitar a influência dos experimentos vizinhos na mesma área da estação experimental sobre

as parcelas, bem como protegê-las de fatores que viessem a provocar um aumento no erro experimental, foram plantados clones de cajueiro anão precoce CCP 09, na bordadura.

A irrigação teve início em maio de 2006, com turno de rega de três vezes por semana, durante 2 h, com microaspersor com vazão de 50 l/h. Foi aplicado tratamento fitossanitário com herbicidas quando necessário. Durante o período experimental as plantas receberam adubação, via fertirrigação, a cada dois meses, inclusive no tratamento não irrigado. Entre os meses de janeiro e maio de 2007, as plantas do tratamento irrigado não receberam água de irrigação devido ao regime de chuvas típico, do período que fez igualar a umidade do solo para ambos os tratamentos.

#### ***4.1 Parâmetros climatológicos***

Os dados meteorológicos, como temperaturas máxima e mínima, umidade relativa do ar, pluviometria e evaporação foram obtidos de uma estação meteorológica da Embrapa Agroindústria Tropical, que fica localizada próxima a área. Os dados climáticos referentes ao período em que foi desenvolvido o experimento são mostrados na Tabela 1.

#### ***4.2 Fotossíntese, transpiração, condutância estomática, relação $C_i/C_{ar}$ .***

Foram mensuradas as taxas de fotossíntese (A), de transpiração (E), a condutância estomática ao vapor de água ( $g_s$ ) e a relação entre as concentrações interna e externa de  $CO_2$  ( $C_i/C_{ar}$ ), sendo para isso utilizado um analisador portátil de gás infravermelho – IRGA (modelo LCI, ADC BioScientific, Inglaterra), em sistema aberto sob luz saturante e condições ambientes de temperatura e concentração de  $CO_2$ . As medições foram realizadas mensalmente, entre os meses de setembro de 2006 e agosto de 2007 entre 9 e 12 h, visto que, em geral, as plantas apresentam maiores taxas fotossintéticas nesse horário. As folhas analisadas encontravam-se em estágio adulto e totalmente expandidas e mantidas em suas posições naturais, conforme descrito por DaMatta e col. (1997).

**Tabela 1** - Dados climáticos da estação climatológica da Embrapa Agroindústria Tropical em Paraipaba, Ceará, monitorados no período de setembro de 2006 a agosto de 2007. Os valores representam as médias mensais e os  $\pm$  a os desvios padrão.

Meses	Temperatura (°C)		Umidade relativa (%)	Precipitação pluviométrica (mm)
	Máxima	Mínima		
Setembro/2006	33 $\pm$ 1,0	25 $\pm$ 1,8	66,9 $\pm$ 12,6	8
Outubro/2006	33,6 $\pm$ 1,0	25,5 $\pm$ 1,9	69 $\pm$ 11,6	0
Novembro/2006	33,1 $\pm$ 0,8	25,1 $\pm$ 1,7	63,5 $\pm$ 6,8	0
Dezembro/2006	33,5 $\pm$ 0,7	25 $\pm$ 1,0	66,39 $\pm$ 9,5	0
Janeiro/2007	33,4 $\pm$ 1,2	25,9 $\pm$ 1,0	-	15,2
Fevereiro/2007	31,4 $\pm$ 1,7	25,3 $\pm$ 0,9	81,7 $\pm$ 11,1	330,1
Março/2007	31,5 $\pm$ 1,1	25,4 $\pm$ 0,9	-	368,0
Abril/2007	31,4 $\pm$ 1,4	25,7 $\pm$ 1,4	80,6 $\pm$ 9,6	197,8
Mai/2007	31,9 $\pm$ 0,8	25,5 $\pm$ 1,2	78,2 $\pm$ 9,8	118,1
Junho/2007	31,6 $\pm$ 0,7	25,2 $\pm$ 1,2	77,9 $\pm$ 10,4	83,9
Julho/2007	32 $\pm$ 0,8	24,6 $\pm$ 1,3	70,4 $\pm$ 8,4	19,6
Agosto/2007	32 $\pm$ 4,0	24,1 $\pm$ 1,3	66,2 $\pm$ 9,2	0

#### 4.3 Teores de água

Os teores de água (TA) nas folhas foram determinados empregando-se a fórmula:  $TA = [(MF - MS)/MF] \times 100$ , conforme Barrs (1968), em que MF corresponde a massa fresca das folhas e MS a sua massa seca. Os valores foram expressos em percentagens.

#### 4.4 Obtenção do material vegetal para as medições químicas, bioquímicas e de potencial osmótico

As folhas, para as determinações dos teores de carboidratos, proteínas solúveis e dos ensaios enzimáticos foram coletadas bimensalmente, entre os meses de setembro de 2006 e junho de 2007. Para as determinações de potencial osmótico, as coletas foram realizadas mensalmente de setembro de 2006 a agosto de 2007.

As coletas foram realizadas entre 9 e 12 h, sendo as folhas armazenadas em sacos plásticos herméticos e transportadas em isopor com gelo até o Laboratório de Fisiologia Vegetal do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular da Universidade Federal do Ceará. A cada coleta foram retiradas, por planta, 6 folhas maduras sombreadas e 6 folhas maduras de sol, das plantas de cada parcela. No laboratório, as folhas foram pesadas para determinação da matéria fresca (MF) e, em seguida, congeladas e armazenadas a  $-20^{\circ}\text{C}$ . Com exceção das folhas que foram utilizadas para determinação do potencial de solutos, as demais amostras passaram pelo processo de liofilização. Após esse procedimento, as folhas foram novamente pesadas para a determinação de matéria seca (MS). O pó liofilizado das folhas foi obtido com o auxílio de um processador doméstico (Walita-Philips, Holanda), sendo então armazenados a  $-20^{\circ}\text{C}$  para posteriores análises.

#### ***4.5 Potencial osmótico foliar***

O potencial osmótico ( $\Psi_s$ ) foliar foi determinado nos sucos extraídos de folhas maduras sombreadas e a pleno sol, de cada tratamento, em ambos os clones. Para isso, as folhas foram descongeladas e processadas com o auxílio de uma centrífuga doméstica (modelo RI6720/00, Walita-Philips, Holanda). O resíduo foliar obtido foi envolto numa tela de náilon e prensado com o auxílio de um êmbolo de seringa descartável. O líquido resultante foi centrifugado a  $3.000 \times g$  por 5 min, sendo o sobrenadante utilizado para a determinação do  $\Psi_s$ , em um osmômetro de pressão de vapor (modelo VAPRO 5520, Wescor, EUA), utilizando-se de uma alíquota de  $10 \mu\text{L}$ . Os valores de  $\Psi_s$  foram expressos em -MPa.

#### ***4.6 Teores de carboidratos***

Para as análises dos teores de amido e açúcares foi seguida a metodologia descrita por Hodge e Hofreiter (1962).

Na extração dos carboidratos, inicialmente, foram maceradas 100 mg de matéria seca (pó liofilizado) em 10 mL de etanol 80% (v/v) e levados ao banho-maria a  $70^{\circ}\text{C}$ , durante 10 min. Em seguida, o extrato etanólico foi submetido a duas centrifugações de  $3000 \times g$  por 10 min. Os sobrenadantes (fração solúvel em etanol) foram combinados, sendo completado até o volume final de 25 mL e utilizados para as determinações das

concentrações de açúcares totais e redutores, enquanto que o precipitado final (fração insolúvel) foi utilizado para a determinação de amido.

O extrato etanólico foi particionado, sendo 10 mL deste diluído com igual quantidade de clorofórmio em funil de separação, sendo coletada a parte superior (fração aquosa) e reservada. A fração inferior (extrato etanol-clorofórmio) foi lavada com 3 mL de H<sub>2</sub>O desionizada e novamente foram formadas duas frações, sendo a fração superior coletada e reservada. Para a fração inferior o procedimento de lavagem foi repetido mais uma vez. As frações aquosas combinadas foram rotoevaporadas a 50°C até a completa concentração da amostra. Esta foi ressuspensa com 3 mL de água desionizada (extrato aquoso) e armazenada a -20°C até seu uso nas determinações dos teores de carboidratos.

#### ***4.6.1 Determinação de açúcares totais, redutores e não-redutor***

Na determinação dos açúcares redutores a 200 µL do extrato aquoso (obtido como descrito anteriormente) e foram adicionados 800 µL de H<sub>2</sub>O desionizada e em seguida acrescentado 1 mL do reagente de Nelson AB, constituído de duas soluções, a solução de Nelson A e a solução de Nelson B, nas proporções de 12,5mL da solução de Nelson A e 0,5 mL da solução de Nelson B. A solução de Nelson A continha carbonato de sódio a 0,2 M, tartarato de sódio e potássio a 0,1 M, bicarbonato de sódio 0,2 M e sulfato de sódio anidro a 1,6 M e a solução de Nelson B contém sulfato de cobre 0,6 M e ácido sulfúrico 0,001 M. A mistura de reação foi incubada por 20 min, a 100°C, e, após resfriada em banho de gelo, sendo posteriormente adicionado 1 mL da solução de arsenito molibdica (preparada pela combinação de uma solução de molibdato de amônio tetrahidratado a 0,04 M e ácido sulfúrico 3,9 M com outra de arsenito de sódio heptahidratado a 0,9 M). Por fim foram adicionados à esta mistura 7 mL de H<sub>2</sub>O desionizada. Após agitação rápida, a leitura de absorbância foi efetuada em um espectrofotômetro a 540 nm. Os valores de açúcares redutores foram estimados usando-se uma curva padrão de glicose, sendo os resultados expressos em mg por grama de matéria seca (mg.g<sup>-1</sup>MS).

Para a determinação dos açúcares totais 200 µL do extrato aquoso foi diluído 5 vezes e mantido em banho de gelo por 5 min. A esse extrato foram acrescentados 5 mL do reagente de antrona (composto por ácido sulfúrico concentrado e antrona a 5 mM). A mistura de reação foi incubado a 100°C, por 10 min e a reação foi colocada em banho de

gelo. A leitura espectrofotométrica ocorreu a 620 nm e os valores foram comparados a uma curva padrão de glicose sendo expressos em  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{MS}$ .

Os valores para açúcares não redutores foram obtidos por diferença entre os açúcares totais e os redutores sendo expressos em  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{MS}$ .

#### **4.6.2 Amido**

Para a extração de amido, 5,75 mL de ácido perclórico 30% (v/v) foram postos em contato com o precipitado resultante da extração de açúcares (fração insolúvel) e deixados sob agitação por 20 min. Após a adição de 5 mL de  $\text{H}_2\text{O}$  desionizada o extrato foi centrifugado a  $3.000 \times g$ , por 10 min. O sobrenadante foi coletado e o precipitado re-extraído com 5,75 mL de ácido perclórico 30% e centrifugado como anteriormente descrito. Os sobrenadantes coletados foram combinados (extrato final) e completado o volume até 50 mL com ácido perclórico 6,9%. Para a determinação de amido, 1 mL do extrato final foi resfriado em banho de gelo por 5 min. Em seguida, foram adicionados 5 mL do reagente de antrona e após 10 min da reação as leituras foram realizadas a 620 nm e os valores foram comparados a uma curva padrão de glicose, sendo expressos em  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{MS}$ .

#### **4.7 Preparo do extrato protéico**

A extração de proteínas solúveis foi feita de acordo com o método descrito por Bernfeld (1955). Foram homogeneizadas 100 mg do pó liofilizado das folhas em 5mL, 1:50 (p/v) de tampão fosfato Tris HCl a 0,1 M (pH 7,4),  $\text{CaCl}_2$  a 2,6 mM e polivinilpirrolidona (PVP) a 1% . Após homogeneização, a amostra foi deixada em agitação por duas horas a  $4^\circ\text{C}$  e posteriormente centrifugada a  $11.000 \times g$ , por 10 min a  $4^\circ\text{C}$ . O sobrenadante obtido constituiu o extrato protéico utilizado na quantificação de proteínas e nas determinações dos teores de prolina, N-aminossolúveis e das atividades amilásicas.

##### **4.7.2 Determinação de proteínas solúveis**

A determinação da concentração de proteínas foi executada segundo o método de Bradford (1976). Foram adicionados 1.000  $\mu\text{L}$  de Coomassie Brilliant Blue G-250 a 100  $\mu\text{L}$  da amostra e após 15 min da ação do reagente, a leitura de absorbância foi realizada por espectrofotometria a 595 nm ( $A_{595}$ ). O conteúdo de proteína foi expresso em mg de proteína por g de matéria seca das folhas (mgP/gMS). No cálculo foi considerada a densidade óptica, a diluição feita no material, o volume total e o fator proveniente da curva padrão baseada em albumina sérica bovina (BSA).

#### **4.7.2 Concentração de N-aminossolúveis**

A concentração de N-aminossolúveis foi determinada de acordo com o método de Yemm e Cocking (1955). Em tubos de ensaios, foram adicionados 0,5 mL do extrato protéico, convenientemente diluído, 0,25 mL de tampão citrato a 0,2 M (pH 5,0), 0,5 mL de KCN a 0,2 mM, em metilcelosolve a 100%, e 0,1 mL de ninhidrina a 5%, em metilcelosolve a 100%. Em seguida, os tubos foram fechados, agitados vigorosamente e colocados em banho-maria a 100°C por 20 min. A reação foi interrompida abruptamente colocando-se os tubos em banho de gelo e, após resfriamento, foram adicionados 0,65 mL de etanol a 60%. A concentração de N-aminossolúveis foi estimada através de leituras de absorbância em 570 nm, com base em uma curva padrão ajustada a partir de concentrações crescentes de glicina. Os valores foram expressos em  $\mu\text{L}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{MS}$ .

#### **4.7.3 Concentração de prolina livre**

A concentração de prolina livre foi determinada de acordo com Bates e col. (1973). A uma alíquota de 1,0 mL do extrato protéico, convenientemente diluído, foram adicionados 1,0 mL do reagente da ninhidrina ácida (constituído de 1,25 g de ninhidrina, dissolvida em 30 mL de ácido acético glacial e 20 mL de ácido fosfórico a 6 M) e 1,0 mL de ácido acético glacial. Os tubos de ensaio foram hermeticamente fechados e, após homogeneização da mistura de reação, foram deixados em banho-maria a 100°C por 1 h. A reação foi interrompida colocando-se os tubos de ensaio em banho de gelo. Após o resfriamento, foram adicionados 2,0 mL de tolueno ao meio de reação. Após agitação vigorosa da solução, duas fases foram formadas, então a fase superior menos densa (cromóforo + tolueno) foi aspirada com o auxílio de uma pipeta Pasteur e, em seguida,

submetida à leitura em espectrofotômetro de absorvância em 520 nm, sendo o tolueno utilizado como branco. A concentração de prolina foi estimada com base em uma curva padrão ajustada a partir de concentrações crescentes de prolina. Os valores foram expressos em  $\mu\text{L}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{MS}$ .

#### **4.8 Determinação da atividade amilásica**

As atividades total,  $\alpha$ - e  $\beta$ - amilásicas foram realizadas de acordo com o método descrito por Bernfeld (1955), com algumas modificações.

Para o preparo das soluções da determinação enzimática, amido solúvel 1% (p/v) foi usado como substrato em tampão acetato de sódio 0,1 M. A solução de amido foi levada a ebulição por 5 min e deixada em repouso até atingir a temperatura ambiente. Em seguida, o pH foi ajustado para 5,4 e o volume foi completado por 100 mL com água desionizada. Para a preparação da solução de TDNS (3,5-ácido dinitrossalicílico) foi adicionado 0,04 M do ácido em NaOH 1 M. Após completa dissolução do ácido foi acrescido tartarato de sódio e potássio 1,2 M.

Para a dosagem enzimática (total e alfa) foram adicionados 100  $\mu\text{L}$  do substrato (amido 1% em acetato de sódio a 0,1 M) a 100  $\mu\text{L}$  extrato enzimático obtido na extração protéica e essa mistura foi incubada a 30°C por 10 min. Aqui o procedimento para atividade alfa foi modificado onde a incubação foi feita a 70°C, com adição de 5mL de  $\text{CaCl}_2$  4,3 mM. Em seguida, para ambas as atividades, a reação foi cessada pela adição de 200  $\mu\text{L}$  da solução de TDNS, seguido de aquecimento a 100°C por 5 min. A mistura foi posta em banho de gelo, e a esta foi adicionado 2 mL de água desionizada. Para cada ensaio preparou-se uma contraprova composta da amostra e do TDNS, com posterior adição do substrato. O branco constituiu-se de 100  $\mu\text{L}$  do tampão onde a amostra foi diluída e 100  $\mu\text{L}$  do substrato. A partir daí foi realizada a leitura de absorvância a 546 nm. A atividade enzimática foi calculada seguindo as considerações de Miller (1959). Dos valores de absorvância das amostras subtraiu-se o valor do branco. A atividade da enzima resultou da capacidade das enzimas (amilase total e  $\alpha$ -amilase) em promover a hidrólise do amido, calculado a partir do peso molecular da maltose. A atividade  $\beta$ -amilásica foi obtida por diferença entre as amilases total e alfa. Os valores para todas as enzimas foram expressos em mmol de maltose por grama da massa seca por minuto ( $\text{mmol}^{-1} \text{gMS}^{-1} \text{min}$ )

#### **4.8 *Atividades da sintase da sacarose fosfato (SPS), pirofosforilase da ADP-glicose (AGPase) e sintase da sacarose (SuSy)***

##### **4.8.1 *Preparação do extrato enzimático***

Para a obtenção do extrato enzimático foram homogeneizados 0,5 mg do pó liofilizado em 500  $\mu$ L de tampão de extração com 200 mg de PVPP, seguindo a metodologia utilizada por Geigenberger e Stitt (1993). O tampão de extração foi formado de HEPES-KOH a 50 mM (pH 7,4),  $MgCl_2$  a 5 mM, EDTA a 1 mM, EGTA a 1 mM,  $\beta$ -mercaptoetanol a 10 mM, benzamidina a 2 mM, ácido- $\epsilon$ -amino-*n*-capróico a 2 mM, PMSF a 0,5 mM, 0,1% (p/v) de BSA, 10% (v/v) glicerol e 0,1% (v/v) Triton X-100. Após sua completa homogeneização, as amostras foram centrifugadas por 15 min, a 15.000 x g, a 4°C e então, dessalinizadas em colunas de 3,0 x 1,0 cm com gel Sephadex G-25. As colunas foram pré-equilibradas com 15 mL do tampão de extração. Para cada amostra, foram aplicados 500  $\mu$ L do sobrenadante na coluna, e para a eluição foi adicionado 1 mL do tampão de extração. Os extratos foram armazenados a -20°C, até a realização dos ensaios enzimáticos.

##### **4.8.3 *Sintase da sacarose fosfato (SPS)***

A atividade da SPS foi determinada utilizando-se 70  $\mu$ L de um meio de reação contendo: 50 mM de HEPES-KOH (pH 7,4), 12 mM de  $MgCl_2$ , 1 mM de DTT e 6 mM de UDP. Para o ensaio não seletivo ( $V_{m\acute{a}x}$ ), 34 mM glicose-6-fosfato e 12 mM frutose-6-fosfato foram adicionados ao meio de reação. No ensaio seletivo ( $V_{sel}$ ), adicionaram-se 6 mM de glicose-6-fosfato, 12 mM de frutose-6-fosfato e 5 mM de Pi. Para ambos os ensaios, utilizaram-se 50  $\mu$ L de extrato dessalinizado. Após 20 min, a reação foi paralisada com 70  $\mu$ L de KOH 5 M. Em seguida, adicionou-se 1 mL de antrona a 0,15% dissolvida em  $H_2SO_4$  a 27 M. Os microtubos foram então incubados por 20 min a 40°C. Posteriormente, determinou-se a concentração de sacarose, a 620 nm, comparando-se as leituras de densidade ótica das amostras com as de uma curva de calibração (0 a 50 nmol) de sacarose (Doehlert e Huber, 1983). A atividade da enzima foi expressa em mmol por grama de matéria seca por hora ( $mmol^{-1}gMS^{-1}min$ ).

##### **4.8.3 *Pirofosforilase da ADP glicose (AGPase)***

Para a atividade da AGPase foram adicionados 150  $\mu\text{L}$  do extrato dessalinizado ao meio de reação que continha 80 mM de HEPES-KOH (pH 7,9), 2 mM de  $\text{MgCl}_2$ , 10 mM de glicose-1,6-bisfosfato, 10 mM de ácido 3-fosfoglicérico, 5 mM de DTT, 0,2 mM de  $\text{NAD}^+$ , 1 mM de ADP-glicose, 10 mM de NaF, 1  $\text{U mL}^{-1}$  de mutase da glicose-1-fosfato, 2,5  $\text{U mL}^{-1}$  de desidrogenase da glicose-6-fosfato (*Aspergillus niger*; dependente de  $\text{NAD}^+$ ), conforme Müller-Röber e col. (1992). Iniciou-se a reação com a adição de 1,5 mM de Na-PPi sendo essa mistura de reação incubada a 37°C por 90 min. A reação foi interrompida por fervura por 2 min, centrifugada a 15.000  $g$  por 5 min e a leitura de absorbância foi medida a 340nm, sendo a atividade da enzima foi expressa em  $\text{mmol}^{-1}\text{gMS}^{-1}\text{min}$ .

#### **4.8.4 Sintase da sacarose (SuSy)**

A atividade da SuSy foi medida de acordo com Geigenberger e Stitt (1993). Em 100  $\mu\text{L}$  de meio de reação adicionaram-se 70  $\mu\text{L}$  do extrato dessalinizado, 20 mM de HEPES-KOH (pH 7,0), 100 mM sacarose e 4 mM UDP. A reação foi conduzida por 1 h, a 25°C, sendo interrompida por fervura, durante 3 min. A concentração de UDP-glicose formada foi determinada em reação enzimática, adicionando-se 80  $\mu\text{L}$  do volume da solução do meio de reação a um meio contendo: 200 mM de glicina (pH 8,9), 5 mM de  $\text{MgCl}_2$ , 2 mM de  $\text{NAD}^+$  e 0,02  $\text{U mL}^{-1}$  de desidrogenase da UDPglicose. Acompanhou-se a redução do  $\text{NAD}^+$  a 340 nm, a qual é estequiometricamente igual à de UDP-glicose oxidada. A atividade da enzima foi expressa em  $\text{mmol}^{-1}\text{gMS}^{-1}\text{min}$ .

#### **4.5 Determinações pós-colheita**

Os pedúnculos em estágio maduro foram colhidos manualmente no período da manhã no dia 24 de outubro de 2007 e colocados em caixas plásticas de colheita em camada única para não haver danos físicos. Em seguida, foram transportados ao laboratório de Fisiologia Pós-Colheita da Embrapa Agroindústria Tropical.

Foram analisados do suco obtido do pseudofruto os teores de sólidos solúveis totais (ST), a vitamina C, a acidez titulável (AT), pH, e a relação ST/AT (Instituto Adolfo Lutz -

IAC, 1985). Para a obtenção do suco concentrado, os pedúnculos foram pré-cortados e em seguida desintegrados em centrífuga doméstica Walita (Walita-Philips, Holanda).

#### **4.5.2 Sólidos Solúveis (SS)**

O suco filtrado com papel de filtro foi utilizado para determinação dos sólidos solúveis com o auxílio de um refratômetro (ATAGO PR-101) com variação de 0 a 45°Brix, de acordo com a metodologia recomendada pela AOAC (1992).

#### **4.5.2 pH**

O pH foi medido diretamente no suco utilizando-se um potenciômetro com membrana de vidro, conforme AOAC (1992).

#### **4.5.4 Acidez Titulável (AT)**

A acidez total foi determinada por titulação com solução de NaOH (0,1N) até coloração rósea, de uma amostra de aproximadamente 1 g do suco diluída em 50 mL de água destilada em um Erlenmeyer de 125 mL sob constante agitação, contendo 3 gotas de fenoftaleína 1%. Os resultados foram expressos em percentagem de ácido málico, segundo metodologia descrita pelo IAL (1985).

#### **4.5.4 Vitamina C**

A determinação de vitamina C foi executada por titulometria com solução de DFI (2,6 dicloro-fenol-indofenol 0,02%) até que fosse obtida coloração rósea claro permanente, utilizando-se 1 g de suco diluído em 50 mL de ácido oxálico 0,5% de acordo com Strohecker e Henning (1997).

### **5. Relação SS/AT**

A relação sólidos solúveis (SS) e acidez total titulável (AT) foi obtida através do quociente entre as duas análises.

## **5.1 *Análise estatística***

Os dados obtidos, referentes às variáveis analisadas, foram submetidos aos testes de normalidade e à análise de variância (ANOVA). Os efeitos significativas dos tratamentos foram comparados pelo teste de Tukey, a 5% de significância utilizando-se o programa de análises estatísticas Graph Pad InStat 3.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 *Parâmetros climatológicos*

Os valores de precipitação pluviométrica ocorridos na estação experimental de Paraipaba durante o período de setembro de 2006 a agosto de 2007 apresentaram mínimas de 0mm e máximas de 368 mm (Figura 5). Os registros encontrados são típicos da região Nordeste, entretanto, de acordo com Rebouças (1997) os valores médios anuais das chuvas podem ser bastante discrepantes, apresentando coeficiente de variação superior a 45%. As chuvas podem acontecer em um só mês ou serem distribuídas de forma irregular entre o primeiro e o quinto mês, ou seja, entre janeiro e maio, onde ocorre a chamada quadra chuvosa.

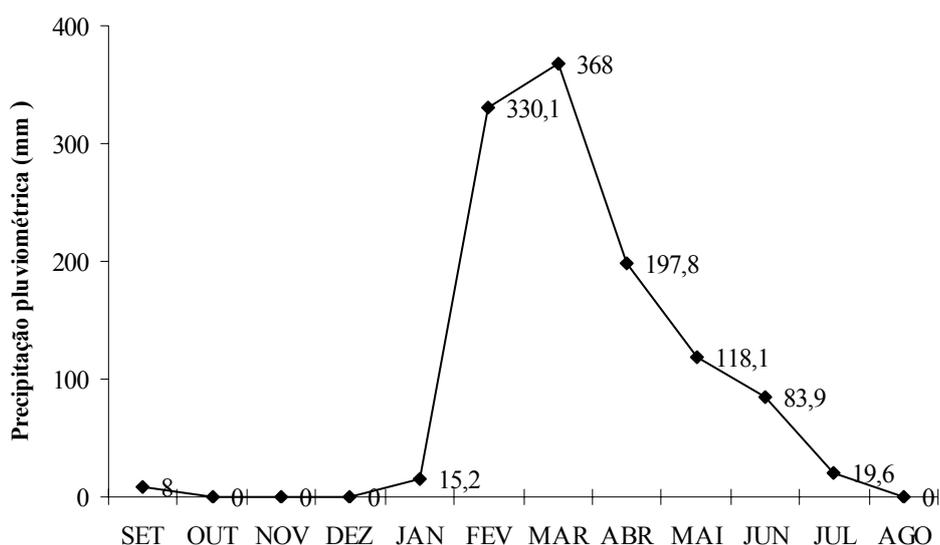


Figura 5 – Precipitação pluviométrica durante o período de setembro de 2006 a agosto de 2007 na estação experimental da Embrapa Agroindústria Tropical em Paraipaba, Ceará.

Segundo os registros da estação climática instalada na área experimental, no período de 2006/2007, a precipitação pluviométrica anual atingiu no total 932,5 mm. Apesar desse número parecer significativo, o regime de chuvas foi bastante irregular durante a quadra chuvosa variando de 15,2 mm em janeiro a 368 mm em março. A irregularidade no regime pluviométrico provocou alterações na fenologia do cajueiro principalmente durante o florescimento. A Figura 6 mostra as principais mudanças

fenológicas ocorridas e operações realizadas durante um ciclo da cultura de cajueiro anão precoce com suporte pluviométrico adequado. Seu melhor desempenho é favorecido por precipitações anuais de 800 a 1.500 mm, distribuídos de 5 a 7 meses, mais uma estação seca para florescimento. A floração ocorrida no ano de 2007 foi, portanto, tardia e atípica, devido ao aporte irregular de chuvas até para os clones com características de precocidade, havendo conseqüentemente perdas na safra e redução na produtividade dos cajueirais.

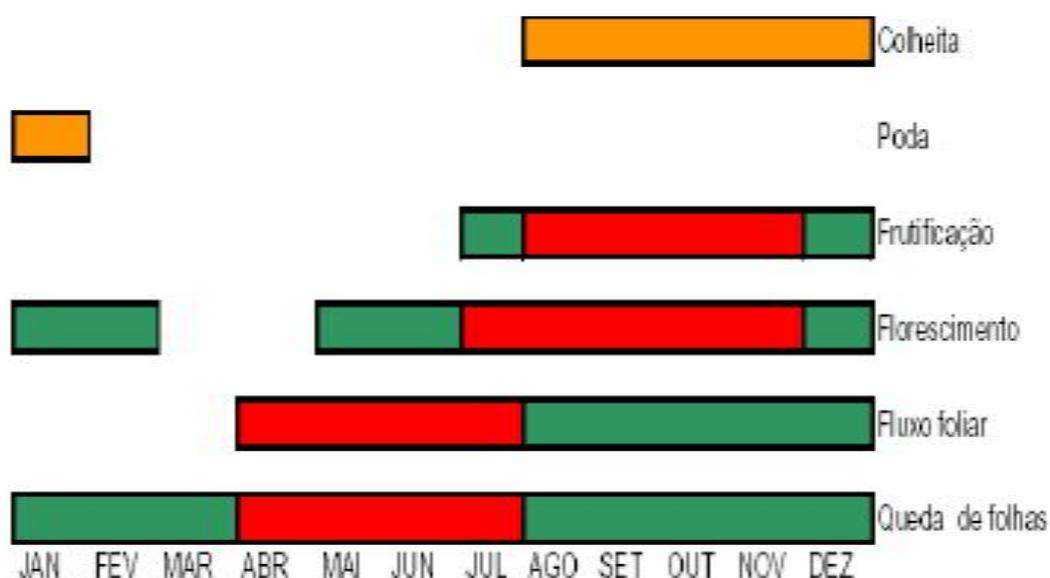


Figura 6 – Principais mudanças fenológicas ocorridas e operações realizadas durante um ciclo da cultura de cajueiro anão precoce. (■) tratamentos culturais (■) menor intensidade (■).

## 5.2. Trocas gasosas

### 5.2.1 Taxa fotossintética (A)

Em geral, a taxa fotossintética dos clones CCP 76 e BRS 189 foi, em média, três vezes maior em folhas a pleno sol quando comparadas às folhas sombreadas. Por sua vez, não existiram diferenças significativas entre os regimes de irrigação independente do clone ou tipo de folha (Figura 7). Folhas de uma mesma árvore podem apresentar aclimação em diferentes níveis de luz, com as folhas internas e mais inferiores funcionando como folhas de sombra e as mais externas folhas de sol. A fotossíntese pode ser vista, portanto, em função do tamanho do sistema fotossintético e da eficiência da unidade de superfície verde.

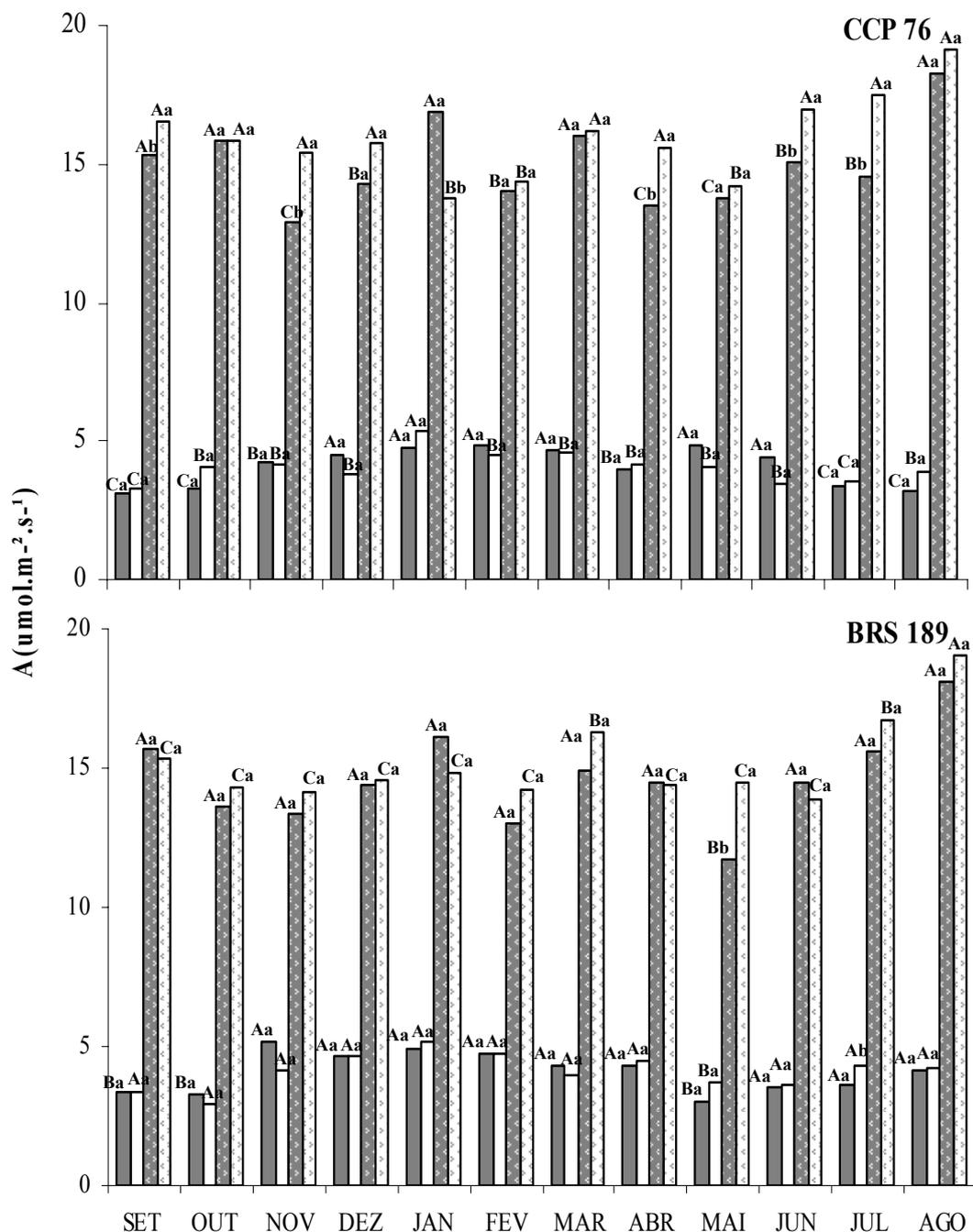


Figura 7 - Fotossíntese líquida (A) de folhas sombreadas não irrigadas(■), folhas sombreadas irrigadas(□), folhas a pleno sol não irrigadas(▣) e folhas a pleno sol irrigadas(□) dos clones de cajueiro ano precoce CCP 76 e BRS 189. Diferenças, entre os meses, em um mesmo clone e mesmo tipo de folha são indicadas por letras maiúsculas diferentes e, entre os regimes de irrigação dentro de um mesmo mês, do mesmo clone e tipo de folha, indicadas por letras minúsculas diferentes (teste Tukey, P<0,05).

Assim, as características da arquitetura foliar determinam a quantidade de luz interceptada por unidade de área foliar, o que resulta em baixos índices fotossintéticos em condições de sombreamento (HABERMANN e col., 2003). Provavelmente devido a arquitetura das plantas e da radiância recebida pelas folhas mais internas estas tenham funcionado como folhas de sombra tendo, portanto, suas taxas fotossintéticas menor.

Dos fatores envolvidos na produtividade agrícola, a fotossíntese é o mais determinante. A elevação das taxas de fotossintéticas depende, dentre outros fatores, do máximo aproveitamento da luz disponível, o qual pode ser obtido pela manipulação cultural como a modificação da arquitetura da planta. Em fruteiras, a determinação da melhor arquitetura do dossel de uma planta está intimamente relacionada à otimização da distribuição da luz para formação de gemas frutíferas e qualidade de frutos ao invés de uma maximização da interceptação e produção de matéria seca. Nota-se com esses resultados que, em geral, a taxa fotossintética não foi alterada em relação aos tipos de folhas, o que indica que se retiradas as folhas de sol, provavelmente as folhas de sombra atuariam como as primeiras. Dessa forma a arquitetura do cajueiro anão precoce pode não afetar mudanças fisiológicas significativas que provoque alterações na produção.

### **5.2.2 Taxa transpiratória (E)**

A transpiração foi, em média, 40% maior em folhas de sol quando comparadas às folhas de sombra (Figura 8). Para os regimes de irrigação, houve diferença significativa em alguns meses. Para o clone CCP 76 sob condições de irrigação, a taxa transpiratória foi significativamente maior em novembro em folhas sombreadas e em janeiro e agosto em folhas a pleno sol. Quanto ao clone BRS 189 as condições irrigadas proporcionaram um aumento na taxa transpiratória no mês de agosto em folhas de sombra e para as folhas de sol esse aumento ocorreu em outubro, novembro e agosto.

Sabe-se que a transpiração está relacionada a muitos processos fisiológicos do vegetal, tais como, a ascensão de nutrientes à parte aérea da planta e ao resfriamento da folha, reduzindo o calor absorvido pela radiação solar (COSTA e col., 1988). As diferenças na taxa transpiratória entre plantas não irrigadas e irrigadas podem ser explicadas pelo aumento na resistência estomática induzida pela redução da dotação hídrica. O controle da transpiração é feito pelo fechamento estomático, que é o único processo no sistema solo-

planta-atmosfera que possui essa resposta instantânea. Porém, como tal controle está diretamente associado ao suprimento de CO<sub>2</sub> à folha, a condutância estomática deve variar ao longo do tempo, de forma a haver um mínimo de perdas de água para uma máxima assimilação de CO<sub>2</sub> (KRAMER; BOYER, 1995). Schaffer e col. (1994) sugerem que a transpiração e a assimilação líquida de CO<sub>2</sub> podem ser usadas como parâmetros para o estudo das relações hídricas de fruteiras, haja vista que a transpiração é um bom indicador da disponibilidade de água na planta. As plantas que estavam sob regime irrigado, ou seja, com situação de boa disponibilidade de água apresentaram as maiores taxas transpiratórias, apesar de não ocorrerem chuvas nos meses mencionados. Entretanto, as plantas que não estavam com suporte hídrico, a medida que a água do solo se tornou escassa, foram induzidas a reduzir suas taxas transpiratórias para diminuir a perda de água e economizar a água disponível no solo.

### **5.2.3 Condutância estomática (g<sub>s</sub>)**

Em geral, a condutância estomática entre os meses de setembro e dezembro para ambos os clones e tipos de folhas seguiram um mesmo padrão até o mês de janeiro, onde a partir de então a g<sub>s</sub> teve uma tendência de aumento (Figura 9). Ocorreu uma variação na g<sub>s</sub> para o clone CCP 76 nas folhas sombreadas irrigadas nos meses de setembro de 2006 e janeiro, março, abril, maio e junho de 2007. Nas folhas de sol desse mesmo clone sob condições irrigadas a g<sub>s</sub> aumentou nos meses de novembro, dezembro e agosto. Com relação ao clone BRS 189, houve também um aumento da condutância estomática para os dois tipos de folhas sob regime irrigado. Nas folhas de sombra desse clone o aumento ocorreu nos meses de novembro, abril, maio e agosto do ano seguinte, enquanto que para as folhas de sol essa variação aconteceu em janeiro, abril e março. Segundo Rosa e col. (1991) a redução na taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> durante a restrição hídrica é atribuída em grande parte à diminuição da abertura estomática em resposta à redução da disponibilidade de água no solo. Entretanto, nos meses de maior resistência estomática as taxas fotossintéticas não foram significativamente alteradas. Chaves (1991) observou que, dependendo da espécie e da intensidade da desidratação, a assimilação de carbono pode diminuir muito. Portanto, as plantas que estavam em regime de sequeiro mantiveram a A mesmo quando houve aumento da g<sub>s</sub>.

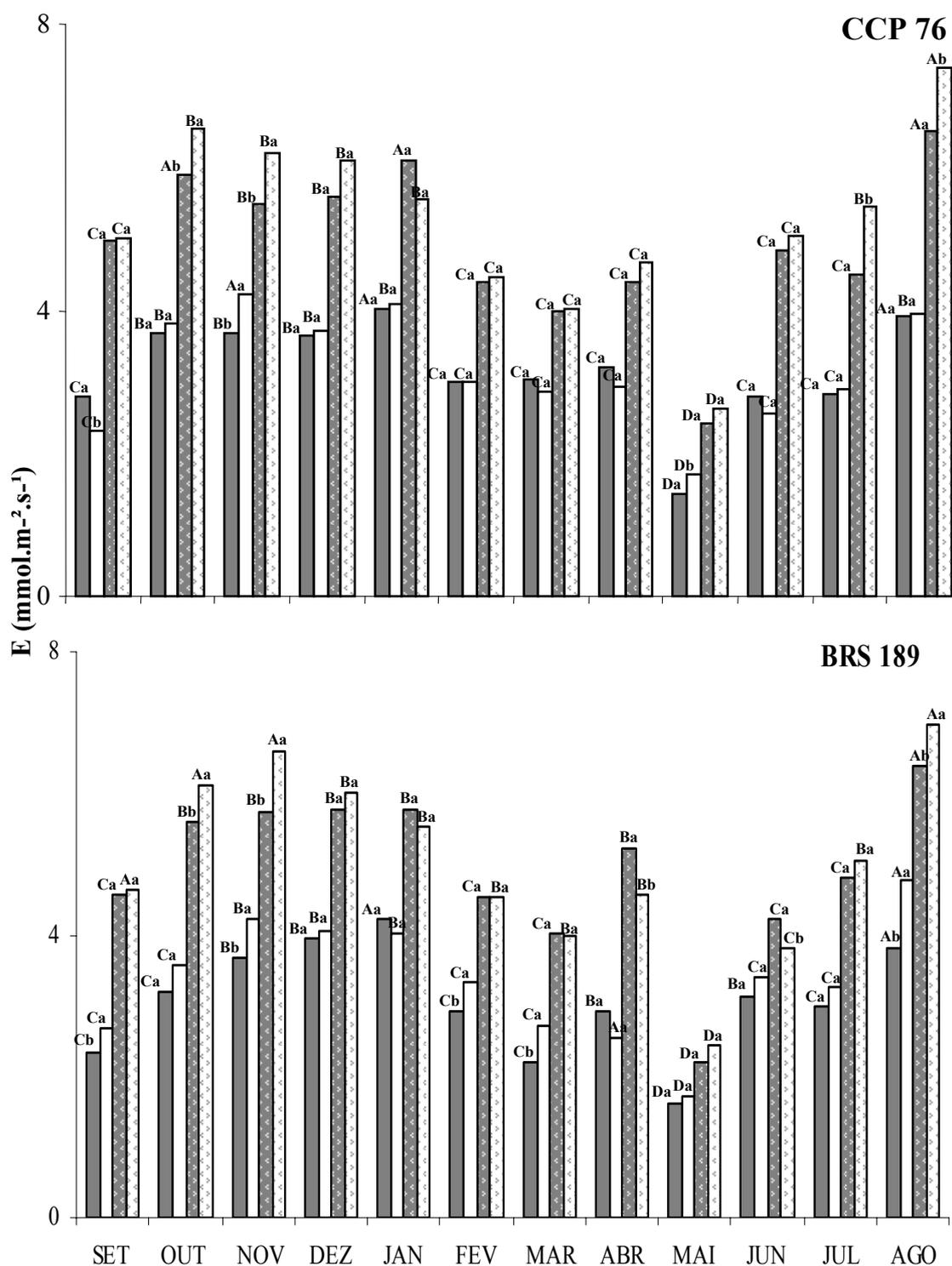


Figura 8 - Taxa transpiratória ( $E$ ) de folhas sombreadas não irrigadas (■), folhas sombreadas irrigadas (□), folhas a pleno sol não irrigadas (▣) e folhas a pleno sol irrigadas (□) dos clones de cajueiro anão precoce CCP 76 e BRS 189. Detalhes das comparações estatísticas na Figura 7.

Quando comparados os dois regimes de irrigação, a condutância estomática foi pouco variável ao longo dos meses. Dessa forma, as plantas de cajueiro anão precoce sob condições não irrigadas podiam não estar submetidas a uma condição de estresse hídrico que induzisse um pronunciado fechamento estomático. Souza e col., (2003) afirmam que em estresses moderados e de curta duração são poucas as alterações observadas no aparelho fotossintético (MUNNS, 1988; SERRAJ; SINCLAIR, 2002). Neste caso, em alguns meses, a redução da fotossíntese pode ter sido, ainda, consequência de uma retroinibição do metabolismo do carbono, resultado da diminuição da utilização de fotoassimilado no crescimento das plantas.

Os resultados obtidos para o comportamento da condutância estomática mostram ainda uma grande flutuação nas medições feitas à sombra. Este comportamento para a  $g_s$  pode ser explicado devido à resposta dos estômatos à variação da condição luminosa que, certamente, não se apresenta homogênea para todas as folhas apesar do empenho em manter as mesmas condições para as amostragens realizadas. Para as amostragens sob pleno sol, houve menor variação.

#### **5.2.4 Relação entre a concentração de $CO_2$ interna e externa ( $C_i/C_{ar}$ )**

Não houve diferenças significativas entre os clones estudados, no que diz respeito à relação entre a concentração interna e externa de  $CO_2$  ( $C_i/C_{ar}$ ) (Figura 10). Os valores para essa variável se mantiveram constantes, tanto para o tratamento irrigado quanto para o tratamento não irrigado, ao longo do período experimental. Apesar desta tendência generalizada, foram constatadas apenas diferenças significativas para o mês de maio, onde foi observado um aumento, com medidas registradas superiores a uma unidade. Os resultados mostram também que as folhas sombreadas apresentam uma relação  $C_i/C_{ar}$  maior quando comparadas com as folhas de sol, o que está de acordo com o fato de ter sido aquelas folhas as que apresentaram menores taxas fotossintéticas. Uma alta relação  $C_i/C_{ar}$  demonstra um aumento na concentração interna de  $CO_2$  nas folhas, fato acompanhado pela  $g_s$  em folhas sombreadas sob condições não irrigadas. Não foram verificadas, entretanto, alterações nas taxas fotossintéticas quando para esse mês .

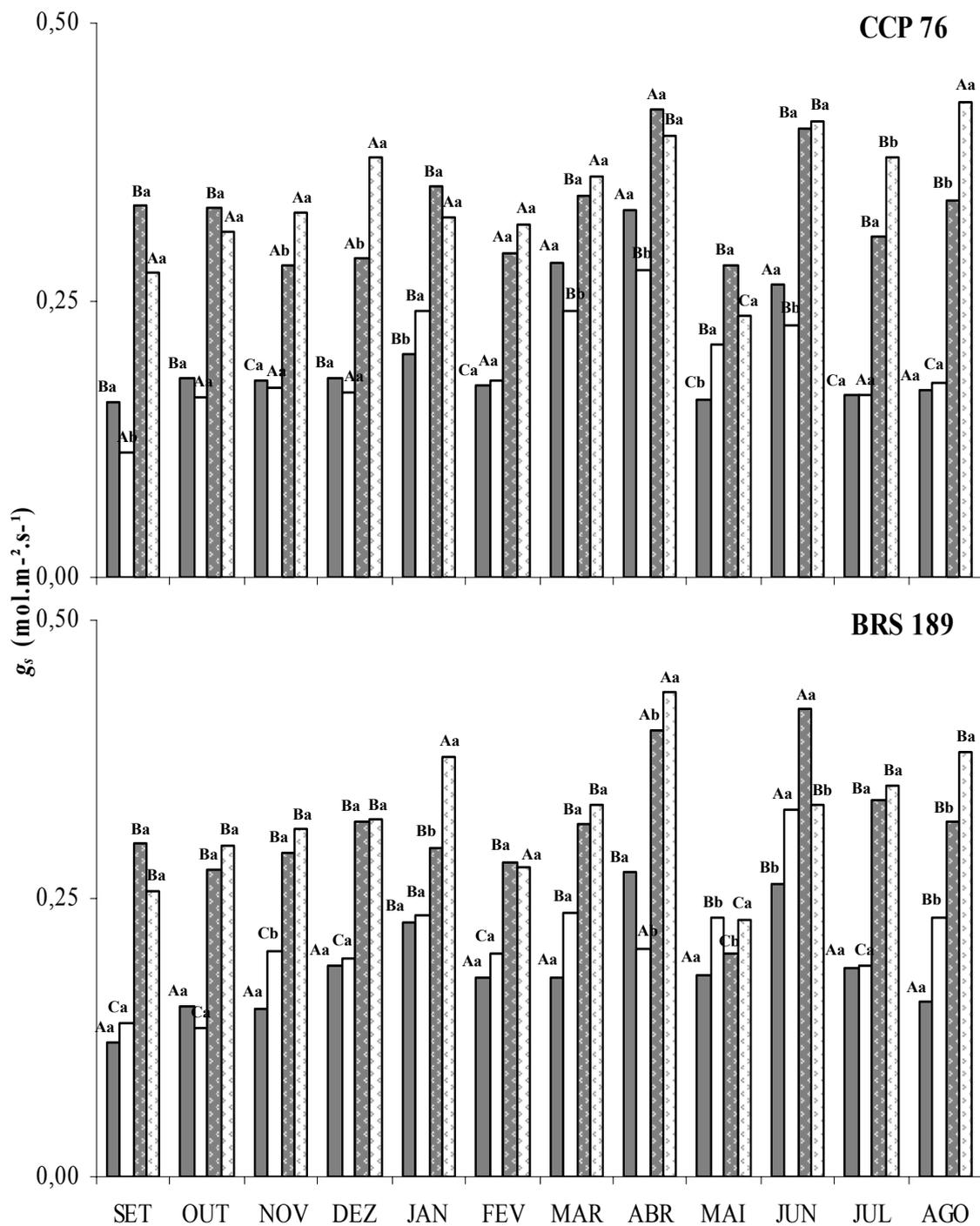


Figura 9 – Condutância estomática de folhas sombreadas não irrigadas (■), folhas sombreadas irrigadas (□), folhas a pleno sol não irrigadas (▣) e folhas a pleno sol irrigadas (□) dos clones de cajueiro anão precoce CCP 76 e BRS 189. Detalhes das comparações estatísticas na Figura 7.

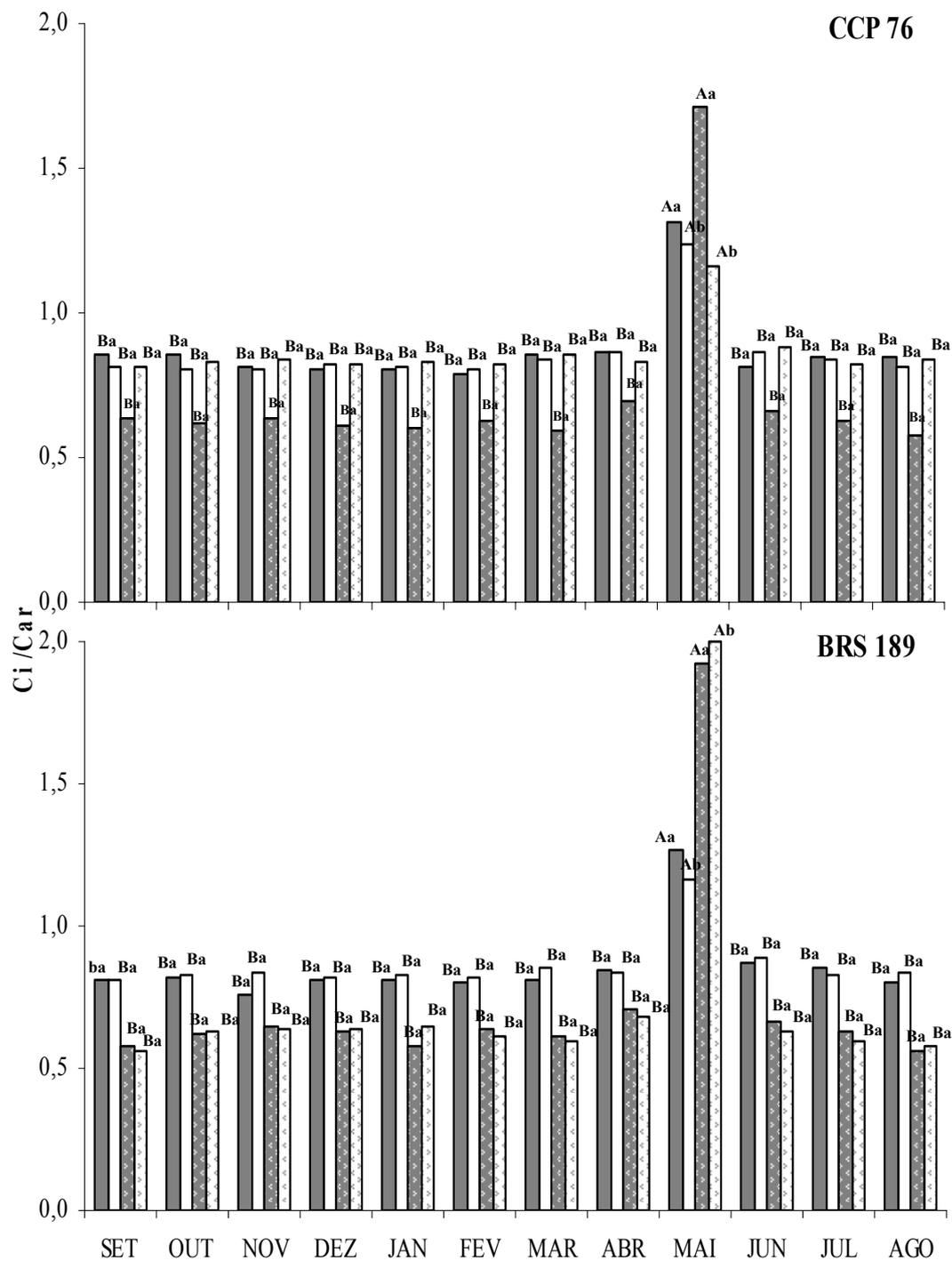


Figura 10 - Relação entre a concentração de CO<sub>2</sub> interna e externa ( $C_i/C_{ar}$ ) de folhas sombreadas não irrigadas (■), folhas sombreadas irrigadas (▣), folhas a pleno sol não irrigadas (■) e folhas a pleno sol irrigadas (▣) dos clones de cajueiro anão precoce CCP 76 e BRS 189. Detalhes das comparações estatísticas na Figura 7.

Neto (2003) em estudo com folhas de sombra de mangueira (*Mangifera indica L.*) cultivada sob estresse hídrico também não observou maior relação  $C_i/C_{ar}$  em folhas de sombra.

### **5.3 Teores de água**

O teor de água nas folhas de ambos os clones não foi alterado significativamente em ambos os clones, tipos de folha, meses e regimes de irrigação (Figura 11).

É possível, portanto, que as plantas de cajueiro anão precoce desenvolvam um mecanismo de ajustamento osmótico efetivo para regular sua homeostase hídrica a valores similares àqueles observados nas plantas irrigadas, através do acúmulo de solutos orgânicos e inorgânicos compatíveis com o metabolismo vegetal (ALVAREZ PIZARRO, 2006). O teor de água é uma variável que pode ser reduzida também durante o estresse salino, entretanto Amorim (2007) em estudo com cajueiro anão precoce sob condições de salinidade observou que os teores de água em folhas, expressos em função da matéria fresca, não diferiram estatisticamente em relação àqueles das plantas controle.

Partindo desse pressuposto podemos inferir que essas plantas estão bastante adaptadas a essas condições climáticas da região em estudo, já que sua fotossíntese e produção de fotoassimilados é pouco alterada quando relacionadas às condições irrigadas. É possível supor também que essas plantas em regime de sequeiro estejam absorvendo água de camadas mais profundas ou mais superficiais do solo, dependendo do tipo de crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Estes fatos podem estar minimizando os possíveis efeitos deletérios da não irrigação. Entretanto, estudos com teor relativo de água que consideram a massa túrgida poderiam resultar em melhores respostas aos tratamentos.

### **5.4 Potencial osmótico foliar ( $\Psi_s$ )**

Os valores de potencial osmótico foram, em geral, mais negativos para os cultivos não irrigados, sendo mais representativos nos meses de agosto e setembro, períodos de menor quantidade de água no solo (Figura 12).

Para as folhas de sombra dos dois clones houve uma tendência de aumento (menor negatividade) dos valores de potencial osmótico sob condições de sequeiro dos meses de

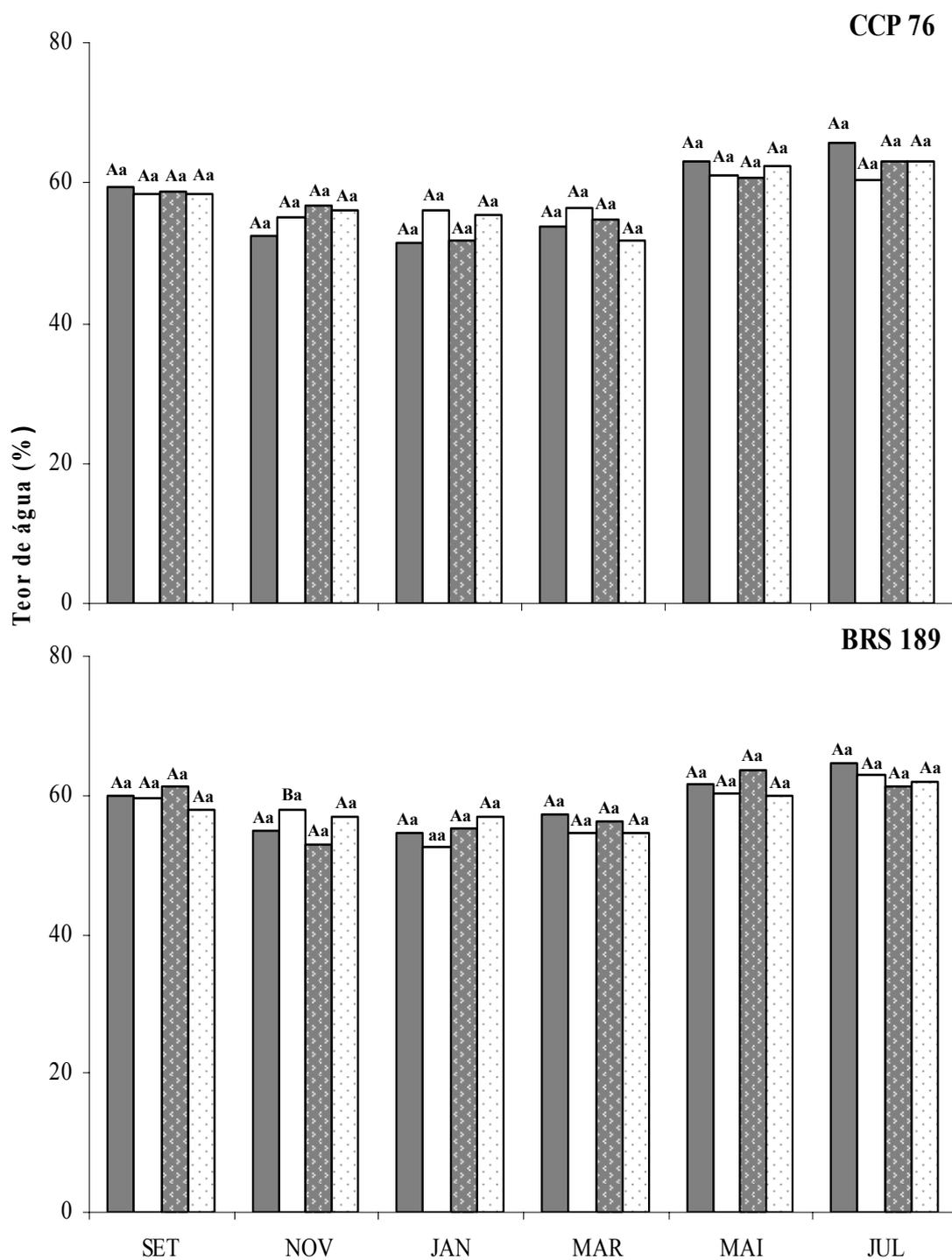


Figura 11 - Teor de água de folhas sombreadas de folhas sombreadas não irrigadas (■), folhas sombreadas irrigadas (□), folhas a pleno sol não irrigadas (▨) e folhas a pleno sol irrigadas (▩) dos clones de cajueiro anão precoce CCP 76 e BRS 189. Detalhes das comparações estatísticas na Figura 7.

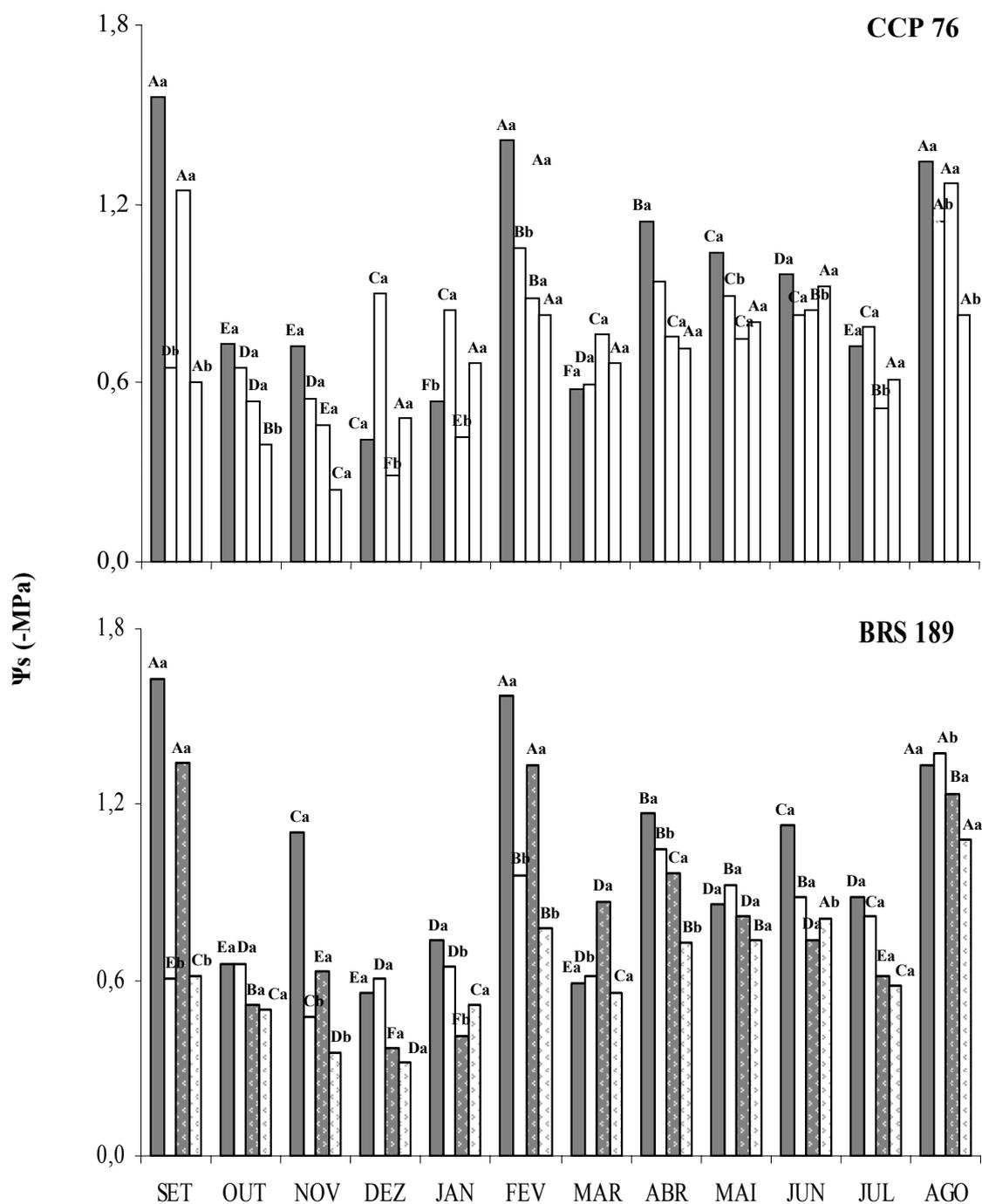


Figura 12 – Potencial osmótico ( $\Psi_s$ ) de folhas sombreadas não irrigadas (■), folhas sombreadas irrigadas (□), folhas a pleno sol não irrigadas (▣) e folhas a pleno sol irrigadas (□) dos clones de cajueiro anão precoce CCP 76 e BRS 189. Detalhes das comparações estatísticas na Figura 7.

março a julho. A redução do  $\Psi_s$  foliar sugere que as plantas de cajueiro anão precoce cultivado sob sequeiro durante os meses de agosto e setembro apresentaram ajustamento osmótico no seu estado hídrico, pois, como observado por diversos autores, uma das primeiras respostas a esse tipo de estresse é a redução no  $\Psi_s$  foliar (LEMCOFF e col., 1994). No entanto, as alterações no  $\Psi_s$  foliar dependem não só da espécie vegetal, como também da intensidade e maneira como o estresse é imposto (OTTOW e col., 2005). Portanto, esse parâmetro isolado não poderia informar sobre o status hídrico das plantas.

## **5.5 Teores de carboidratos**

### **5.5.1 Amido**

Em ambos os clones, independente do tipo de folha, o teor de amido atingiu maiores valores tanto em condições não irrigadas como irrigadas, durante o mês de maio (Figura 13). Embora para o clone BRS 189 valores elevados também foram encontrados no mês de setembro. O aumento nos teores de amido para o mês em questão pode estar relacionado a fenologia do cajueiro, pois durante esse período as folhas encontravam-se mais jovens funcionando como tecidos drenos. No mês de maio, fenologicamente as folhas apresentavam-se mais jovens. As alterações nos teores de carboidratos podem ser de grande importância para a adaptação das plantas expostas ao estresse, devido a sua relação direta com alguns processos fisiológicos, como a fotossíntese, a translocação e a respiração (KEREPESI e col., 1996).

Para o clone CCP 76 os teores de amido nas folhas sombreadas não diferiram significativamente entre os tratamentos apenas no mês de novembro, enquanto que para as folhas de sol não houve diferença estatística nos meses de julho e janeiro. Nas folhas de sol irrigadas em dois meses (setembro e janeiro) houve uma redução no teor de amido para o clone CCP 76, enquanto que para o BRS 189 essa redução só ocorreu no mês de setembro.

Nos meses de setembro a março, o clone CCP 76 apresentou tanto em folhas de sombra como de sol os teores mais baixos de amido. Os dados podem sugerir que esse clone utilize ao longo do período seco as reservas de amido para outras partes da planta como flores e frutos, tendo em vista este estágio de desenvolvimento da cultura acontecer entre agosto até meados de janeiro. O clone BRS 189 teve comportamento semelhante para essa variável tanto para folhas de sombra como de sol. Porém, no mês de setembro houve um

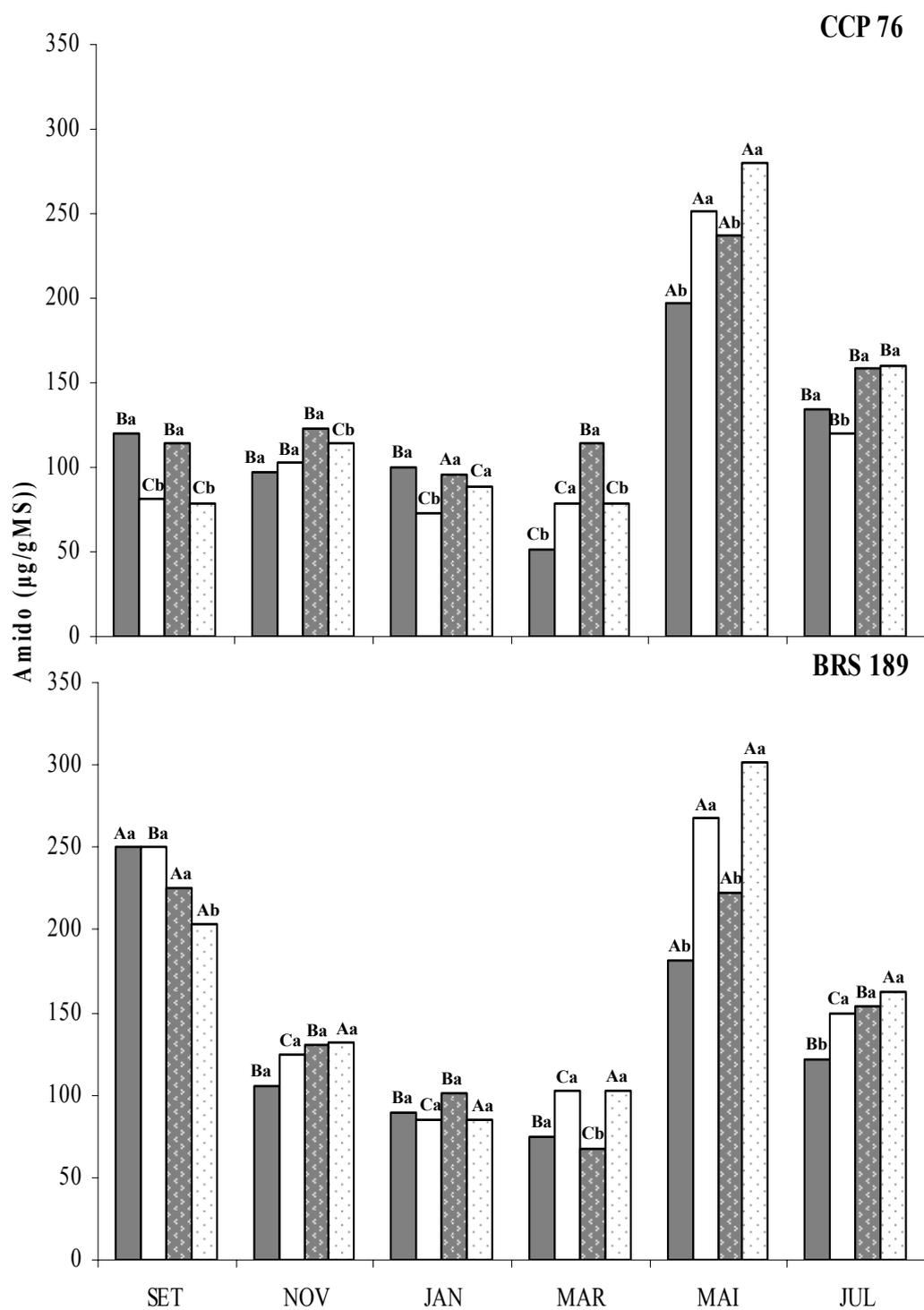


Figura 13 – Teores de amido de folhas sombreadas de folhas sombreadas não irrigadas (■), folhas sombreadas irrigadas (□), folhas a pleno sol não irrigadas (▨) e folhas a pleno sol irrigadas (▩) dos clones de cajueiro anão precoce CCP 76 e BRS 189. Detalhes das comparações estatísticas na Figura 7.

incremento nos teores de amido para as folhas de sol em relação às médias, registradas durante o período experimental. Essa variação entre o comportamento dos clones parece ser uma característica genotípica do BRS 189, o qual é mais indicado para o cultivo irrigado. Este aumento em setembro pode estar relacionado com uma menor translocação de carboidratos para a parte reprodutiva.

### **5.5.2 Açúcares totais, redutor e não redutor**

Os teores açúcares totais variaram ao longo dos meses em relação aos clones estudados, entretanto para os tratamentos as alterações foram dependentes do tipo de folha (Figura 14 e 15).

Para as folhas de sombra do clone CCP 76 houve um acúmulo no teor de açúcares totais em ambos os tratamentos no mês de maio. Sob condições não irrigadas houve uma variação significativa nos meses de maio, julho, setembro e novembro. Para o clone BRS 189, o aumento nos teores de açúcares totais nessas mesmas condições ocorreu apenas no mês de maio, sendo esse valor superior aos das folhas desse clone que se encontrava sob regime irrigado. De acordo com Chaves (1991) e Lawlor e Cornic (2002), o acúmulo elevado de açúcares totais inibe a fotossíntese de plantas quando submetidas ao estresse hídrico, no entanto, o mecanismo de inibição da fotossíntese pelo acúmulo de açúcares ainda não está bem estabelecido (GOLDSCHMIDT; HUBER, 1992).

Para os meses de maio e julho (período de pré-floração) o acúmulo nos teores de açúcares totais em folhas sombreadas deveu-se mais ao acúmulo de açúcares redutores do que ao de açúcares não redutores para o clone CCP 76. Entretanto, o inverso aconteceu para o clone BRS 189. Nesse caso, provavelmente, o sombreamento pode ter influenciado mais a partição de fotoassimilados do que a capacidade fotossintética dessas folhas, visto que nesse período não houve diferença significativa nas taxas fotossintéticas de ambos os clones. Para o cajueiro anão precoce, esse acúmulo não foi relacionado com as alterações nas taxas fotossintéticas durante o período em questão. Tanto a síntese de sacarose e de amido, quanto à alocação de carbono dentro da planta têm padrões distintos, mas podem mudar rapidamente se as condições ambientais são alteradas (DICKSON, 1991). Outro fato também relacionado ao acúmulo de açúcares totais é a redução nos teores de amido, já

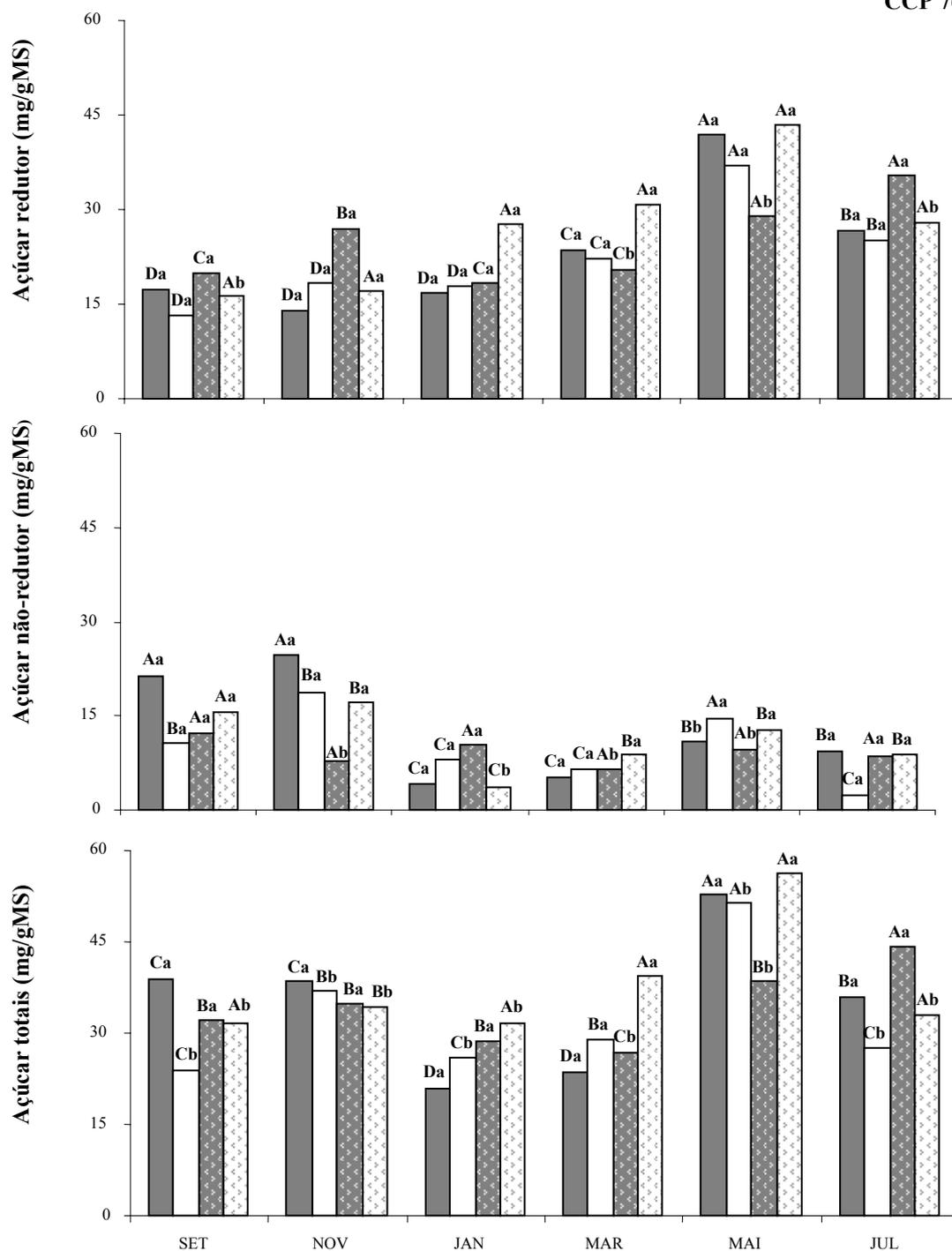


Figura 14 – Teores de açúcares (totais, redutores e não redutores) de folhas a pleno sol irrigadas (□) a pleno sol não irrigadas (■) folhas sombreadas não irrigadas (▒) folhas sombreadas irrigadas (▨) do clone de cajueiro anão precoce CCP 76. Detalhes das comparações estatísticas na Figura 7.

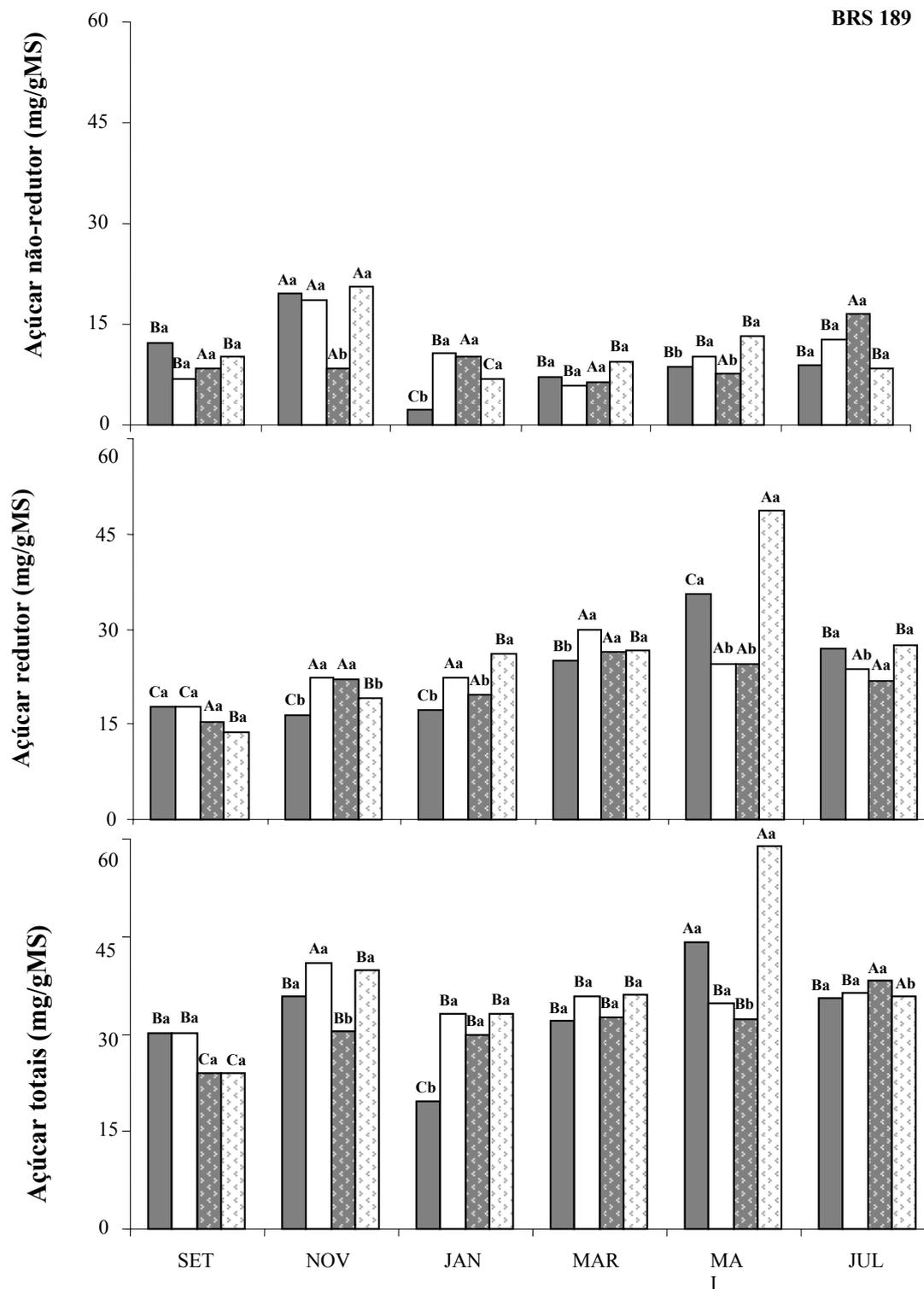


Figura 15 – Teores de açúcares (totais, redutores e não-redutores) de folhas a pleno sol irrigadas (□) a pleno sol não irrigadas (■) folhas sombreadas não irrigadas (▣) folhas sombreadas irrigadas (▤) do clone de cajueiro anão precoce CCP 76. Detalhes das comparações estatísticas na Figura 7.

que essas reservas estariam sendo mobilizadas para a produção dessas hexoses (PRAXEDES, 2003). Nesse experimento, a relação entre o teor de amido e o de açúcares totais foi inversa, já que nos meses de maio e julho tanto um como o outro metabólito acumularam-se nas folhas, exceto para açúcares redutores. Isso indica forte assimilação de CO<sub>2</sub> pelas plantas no mês de maio, época em que as folhas estavam em seu estado mais jovem e existia uma forte demanda para a parte reprodutiva. Os resultados obtidos indicam que o acúmulo de açúcares totais estaria, portanto, mais intimamente relacionado à fenologia e à necessidade nutricional dos cajueiros durante seu estágio de desenvolvimento e com uma maior eficiência fotossintética por parte desses clones.

Os clones CCP 76 e BRS189 não apresentaram uma variação temporal significativa no conteúdo de açúcares redutores, com exceção do mês de maio. No clone CCP 76, as folhas sombreadas não apresentaram diferenças significativas entre os dois tratamentos hídricos em que as plantas foram submetidas. As folhas a pleno sol, sob regime irrigado, acumularam teores maiores de açúcares redutores entre os meses de janeiro a maio (Figura 14), enquanto de julho a novembro, meses sem dotação hídrica provinda das chuvas, os açúcares redutores apresentaram maiores teores nas plantas não irrigadas.

No clone BRS 189, a análise de variância das médias dos teores de açúcares redutores das folhas a pleno sol não mostrou variação significativa ao longo dos meses para as plantas sob regime de sequeiro. Contudo, comparando-se os tratamentos, as plantas responderam diferencialmente para essa variável no mês de maio, com alteração cerca de 50% superior à média. O acúmulo dos açúcares redutores também não afetou a fotossíntese nesse mês. Geiger, (1987) defende que esse acúmulo pode ser regulado pelos níveis dos intermediários fotossintéticos, e não necessariamente pelos açúcares. Provavelmente as folhas de sombra podem estar funcionando como dreno uma vez que mantêm os mesmos teores de carboidratos das folhas de sol e realizam uma fotossíntese bem menor.

Segundo Stitt (1991), os carboidratos podem inibir a fotossíntese direta o acúmulo de açúcares totais tanto para folhas sombreadas como a pleno sol no mês de maio foi em maior parte devido aos açúcares redutores do que aos não redutores. Entretanto, não foi observada redução da taxa fotossintética do clone BRS 189 nas plantas irrigadas. Portanto, provavelmente a capacidade fotossintética não estava sendo alterada. O que possivelmente pudesse estar sendo regulado é a capacidade de partição dos fotoassimilados de acordo com a fase fenológica da planta (Figuras 14 e 15). Conforme mostrou Cavalcanti e col. (2006) os carboidratos em excesso produzidos durante a

fotossíntese são armazenados nas plantas. Esse carboidrato será utilizado pela planta após a perda das folhas para reconstituir a área foliar. A área foliar remanescente após a desfolhação assume grande importância para aumentar o vigor da rebrotação devido à imediata produção de carboidratos pela fotossíntese, proporcionando à planta menor tempo de dependência sobre o nível de carboidratos de reserva para sua recuperação.

### **5.6 Proteínas solúveis**

As concentrações de proteínas solúveis seguiram um padrão semelhante para ambos os tipos de folha e clones (Figura 16).

Não houve diferença significativa entre os tratamentos para o clone CCP 76, exceção feita ao mês de novembro, onde na condição não irrigada, os teores de proteínas solúveis atingiram valores 5% superiores quando comparados ao regime irrigado. Para o clone BRS 189 os maiores teores foram encontrados nas plantas irrigadas. O acúmulo de proteínas deve estar relacionado com as diferentes espécies frutíferas, podendo estar envolvido em vários processos dentro da planta. Essa variável teve um acréscimo nos meses de janeiro e julho, sendo esse aumento mais pronunciado no mês de janeiro. De acordo com os dados climatológicos da região (Figura 6), no mês de janeiro teve início a quadra chuvosa enquanto que em julho o nível pluviométrico diminuía, chegando a 0 mm no mês seguinte. O aumento no teor protéico no mês de julho pode estar relacionado ao processo de florescimento e frutificação, um processo em que várias vias regulatórias hormonais são ativadas, requisitando, portanto, um grande aporte protéico. Para o mês de janeiro, esse acréscimo pode estar relacionado a próxima fase fenológica dos cajueirais, onde ocorre a troca de folhas. Dessa forma, várias alterações no metabolismo energético das folhas estariam ocorrendo. Dentre elas estão modificações na estrutura celular, alterações do metabolismo energético das folhas, como a atividade de enzimas e a síntese de nucleotídeos, regulação hormonal, conteúdo e fluxo de carboidratos, suprimento de nutrientes e translocação de reservas a curta distância.

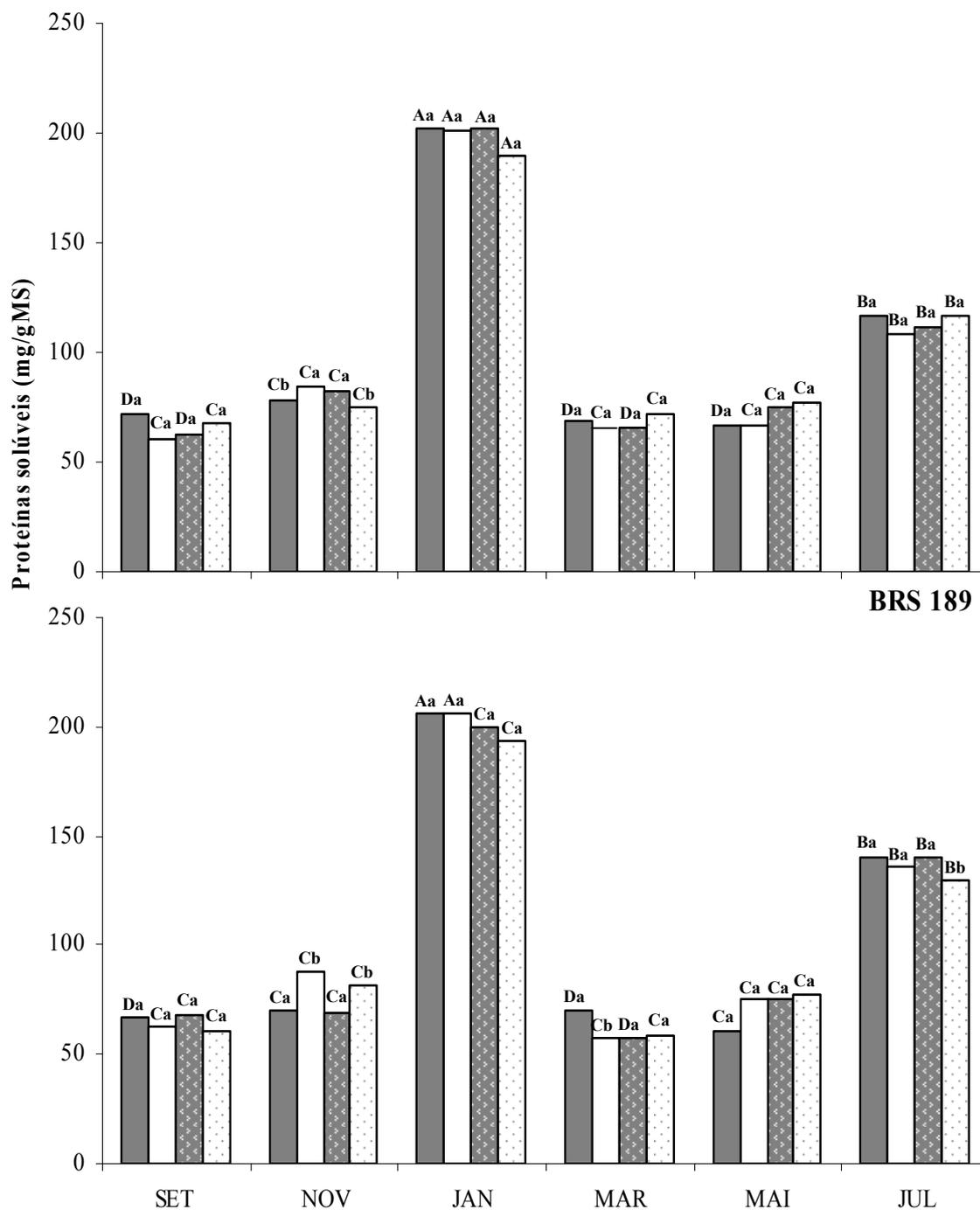


Figura 16 – Teor de proteínas solúveis de folhas a pleno sol irrigadas (□) a pleno sol não irrigadas (■) folhas sombreadas não irrigadas (□) folhas sombreadas irrigadas (■) do clone de cajueiro ano precoce CCP 76. Detalhes das comparações estatísticas na Figura 7.

### **5.7 Teores de Prolina e N-aminossolúveis**

Os teores de prolina nas plantas de cajueiro anão precoce variaram em função do tratamento e do período experimental (Figura 17).

Para os dois clones e ambos os tipos de folhas, durante quase todo o período experimental, foram encontrados maiores valores de prolina nas plantas submetidas ao tratamento não irrigado. Os meses que registraram os maiores valores para o clone CCp 76 sob condições não irrigadas foram novembro e julho. Para o clone BRS 189 durante o mês de novembro o acúmulo no teor de prolina ocorreu apenas para as folhas que estavam a pleno sol. Em contrapartida, para as folhas de sol, além desses meses, essa diferença com relação ao tratamento não irrigado, ocorreu ainda no mês de novembro e julho.

De um modo geral, os teores de N-aminossolúveis (Figura 18) não variaram ao longo do período experimental, tanto para o clone CCP 76 como para o BRS 189, comparando-se folhas de sombra e sol. Para as folhas de sombra do clone CCP 76, sob condições não irrigadas o maior teor nessa variável ocorreu nos meses de novembro e janeiro. Para o clone BRS 189, para as folhas sombreadas e a pleno sol o maior acréscimo nesses teores ocorreram nos meses de maio e novembro, respectivamente. Tais resultados sugerem que esses aumentos tanto nos teores de N-aminossolúveis como de Prolina também estão mais associados à fisiologia do cajueiro do que com a restrição hídrica. Os acúmulos podem ser conseqüências da maior demanda por esses solutos durante o estágio reprodutivo, sendo isto mais proeminente nas folhas das plantas submetidas às condições de sequeiro. Para os teores de N-aminossolúveis os maiores índices ocorreram para os regimes irrigados, na maioria dos meses. (figura 15). O acréscimo para o clone CCP 76 ocorreu nos meses de novembro e março e para o clone BRS 189 para os meses de janeiro (folhas de sol) e julho (folhas de sombra).

Trabalhando com duas variedades de acerola, Nogueira e col., (2001) verificaram uma alta concentração de prolina na variedade resistente à seca, mesmo quando cultivada no tratamento controle e associaram essa alta concentração de prolina a um possível ajustamento osmótico daquelas plantas. Aumentos nos teores de prolina em função do estresse hídrico têm sido observados por outros autores (NOGUEIRA e col., 2001, em acerola; GZIK, 2007, em beterraba açucareira). O ajustamento osmótico é de importância significativa em plantas sob restrição hídrica, por promover incrementos no potencial de turgescência e no conteúdo relativo de água. Substâncias osmoticamente compatíveis tais

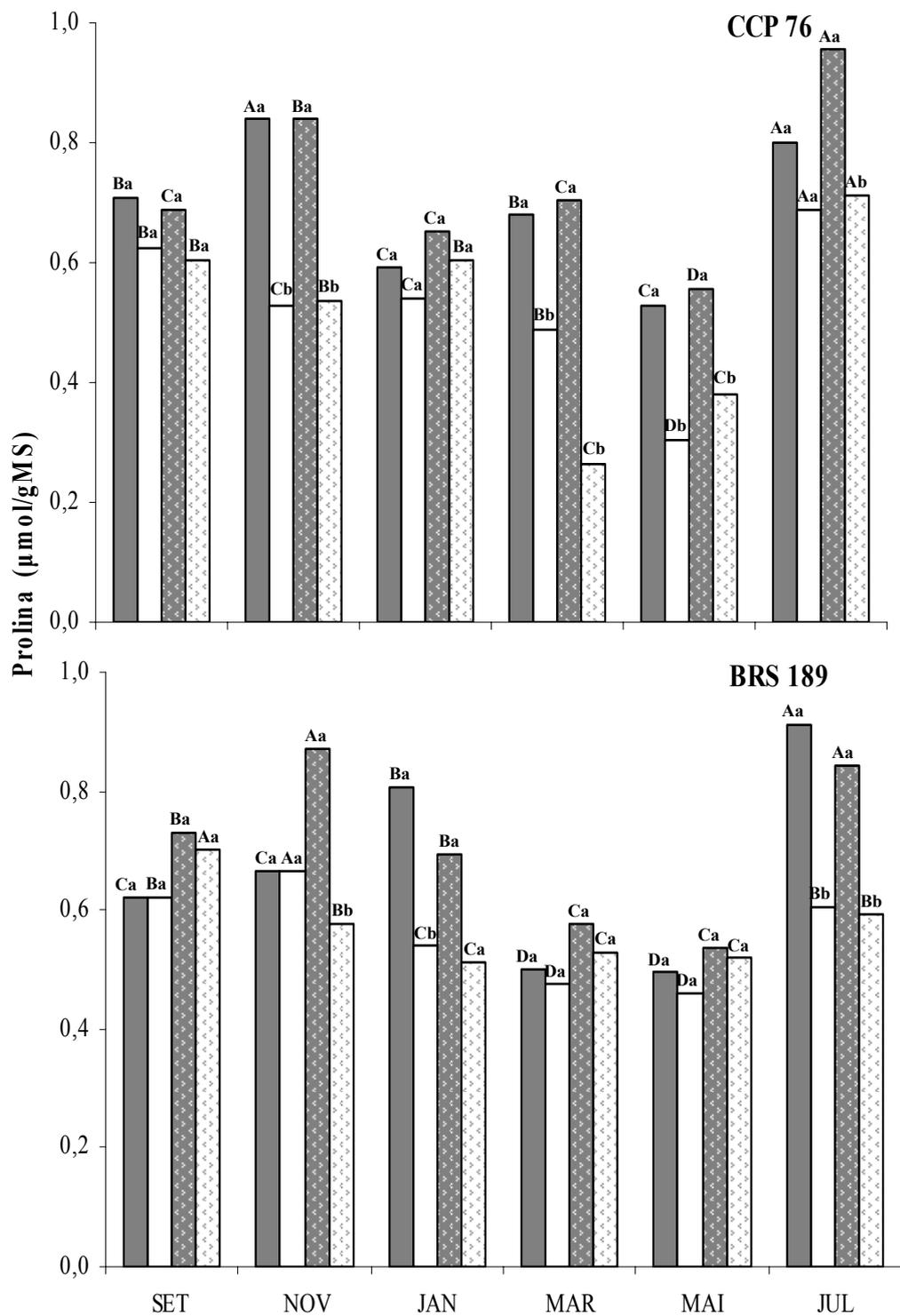


Figura 17 – Teor de prolina livre de folhas sombreadas não irrigadas (■), folhas sombreadas irrigadas (□), folhas a pleno sol não irrigadas (▣) e folhas a pleno sol irrigadas (□) dos clones de cajueiro anão precoce CCP 76 e BRS 189. Detalhes das comparações estatísticas na Figura 7.

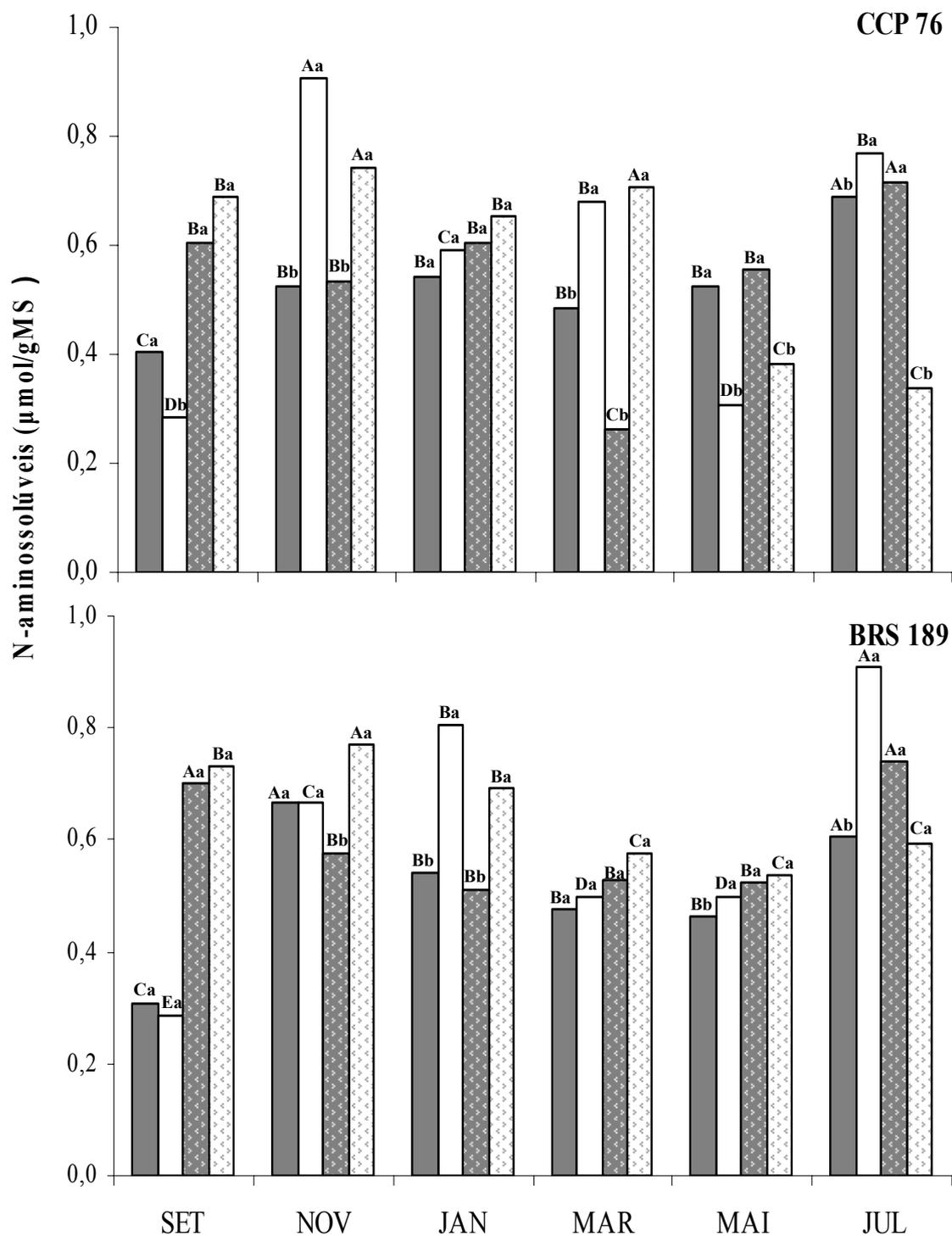


Figura 18 – Teor de N-aminossolúveis de folhas sombreadas não irrigadas (■), folhas sombreadas irrigadas (□), folhas a pleno sol não irrigadas (▣) e folhas a pleno sol irrigadas (▤) dos clones de cajueiro anão precoce CCP 76 e BRS 189. Detalhes das comparações estatísticas na Figura 7.

como prolina e N-aminossolúveis, além de manter o ajuste osmótico, também contribuem na manutenção da estabilidade funcional das enzimas, protegendo-as da desidratação em situações de estresse hídrico (BRAY e col., 2000). Quase todos os organismos, sintetizam solutos compatíveis em resposta ao estresse osmótico (BURG e col., 1996). Estes não interferem no metabolismo normal e não se acumulam predominantemente no citoplasma em concentrações elevadas sob o estresse osmótico (CHEN e MURATA, 2002). Inicialmente, atribuiu-se aos solutos compatíveis o papel principal no ajuste osmótico, porém alguns estudos têm sido relacionados com outras possíveis funções (SERRAJ e SINCLAIR, 2002). O acúmulo destes solutos por si só não pode ser completamente responsável pela a tolerância osmótica, mas as vias que regem os mecanismos de tolerância são moduladas por estes fatores (HASEGAWA e col., 2000). Portanto, embora alguns trabalhos evidenciem uma correlação positiva entre o acúmulo de prolina e o aumento da tolerância ao estresse (PETRUSA; WINICOV, 1997; KUMAR e col., 2003; SOUZA LIMA e col., 2004), outros sugerem que o acúmulo de prolina é meramente uma consequência do mesmo, não levando portanto a um processo de tolerância nas plantas (LIU; ZHU, 1997; LACERDA e col., 2003).

### **5.8 Atividade amilásica**

Independente do tipo de folha a análise de variância mostrou diferenças significativas entre os tratamentos para as atividades enzimáticas, contudo essa variação essa variação não ocorreu semelhantemente ao longo dos meses estudados. (Figuras 19 e 20).

A análise da atividade alfa-amilásica nas folhas de sombra do clone CCP 76 mostra que apenas no mês de novembro o tratamento não irrigado foi superior ao irrigado. Para a atividade beta-amilásica essa diferença não ocorreu diferença significativa, enquanto que a atividade amilásica total apresentou aumento sob regime irrigado para folhas de sol nos meses de setembro e novembro (Figura 19). A atividade beta-amilásica do clone BRS 189 não apresentou diferença estatística entre os tratamentos hídricos, independente do tipo de folha. A atividade amilásica total praticamente não apresentou variação significativa entre os tratamentos, exceto para o mês de novembro (Figura 20). Em folhas a pleno sol, a análise estatística da atividade alfa-amilásica do clone CCP 76 mostra que apenas no mês

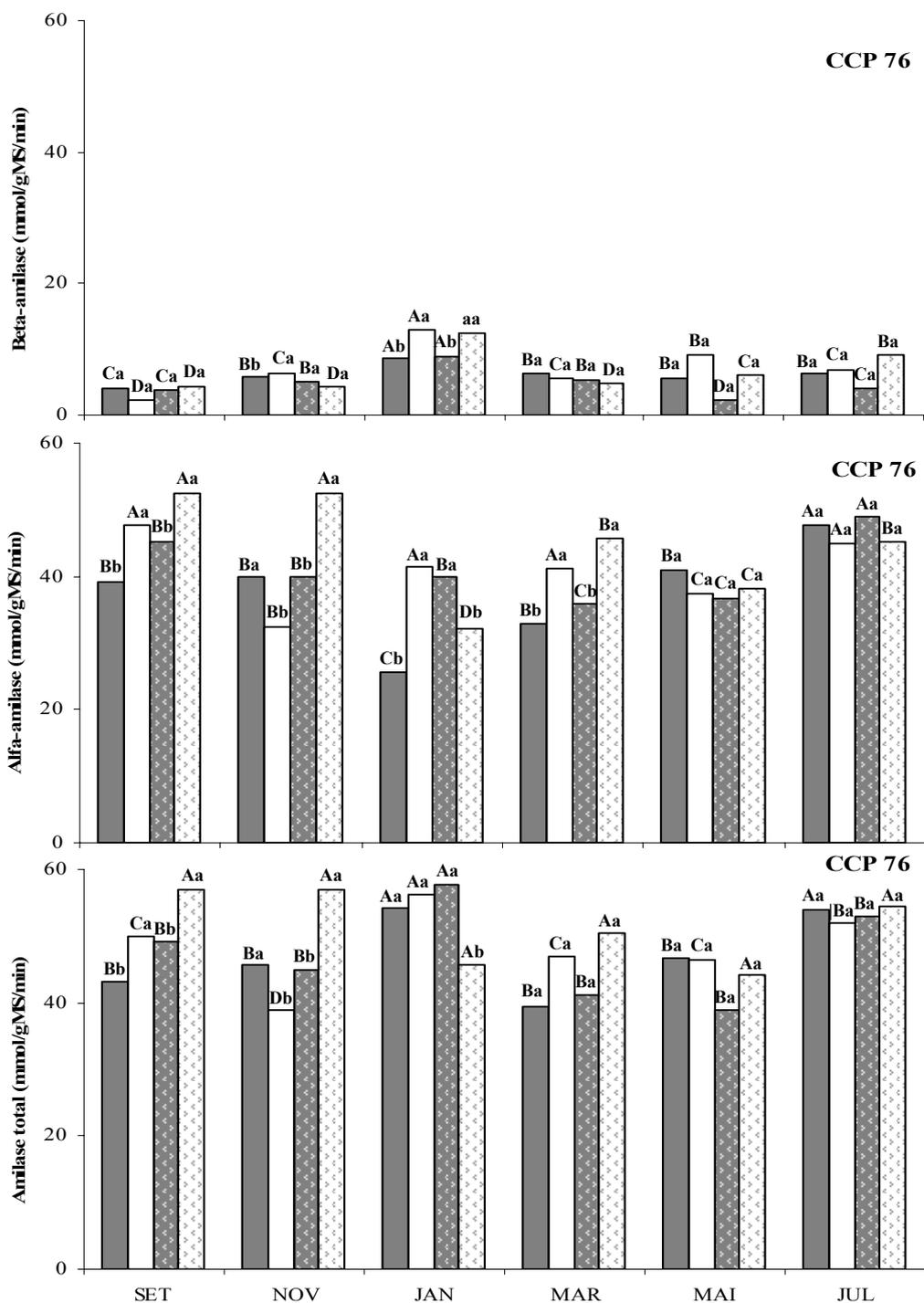


Figura 19 – Atividade amilásica (alfa, beta e total) de folhas sombreadas não irrigadas (■), folhas sombreadas irrigadas (□), folhas a pleno sol não irrigadas (▣) e folhas a pleno sol irrigadas (▤) dos clones de cajueiro anão precoce CCP 76 e BRS 189. Detalhes das comparações estatísticas na Figura 7.

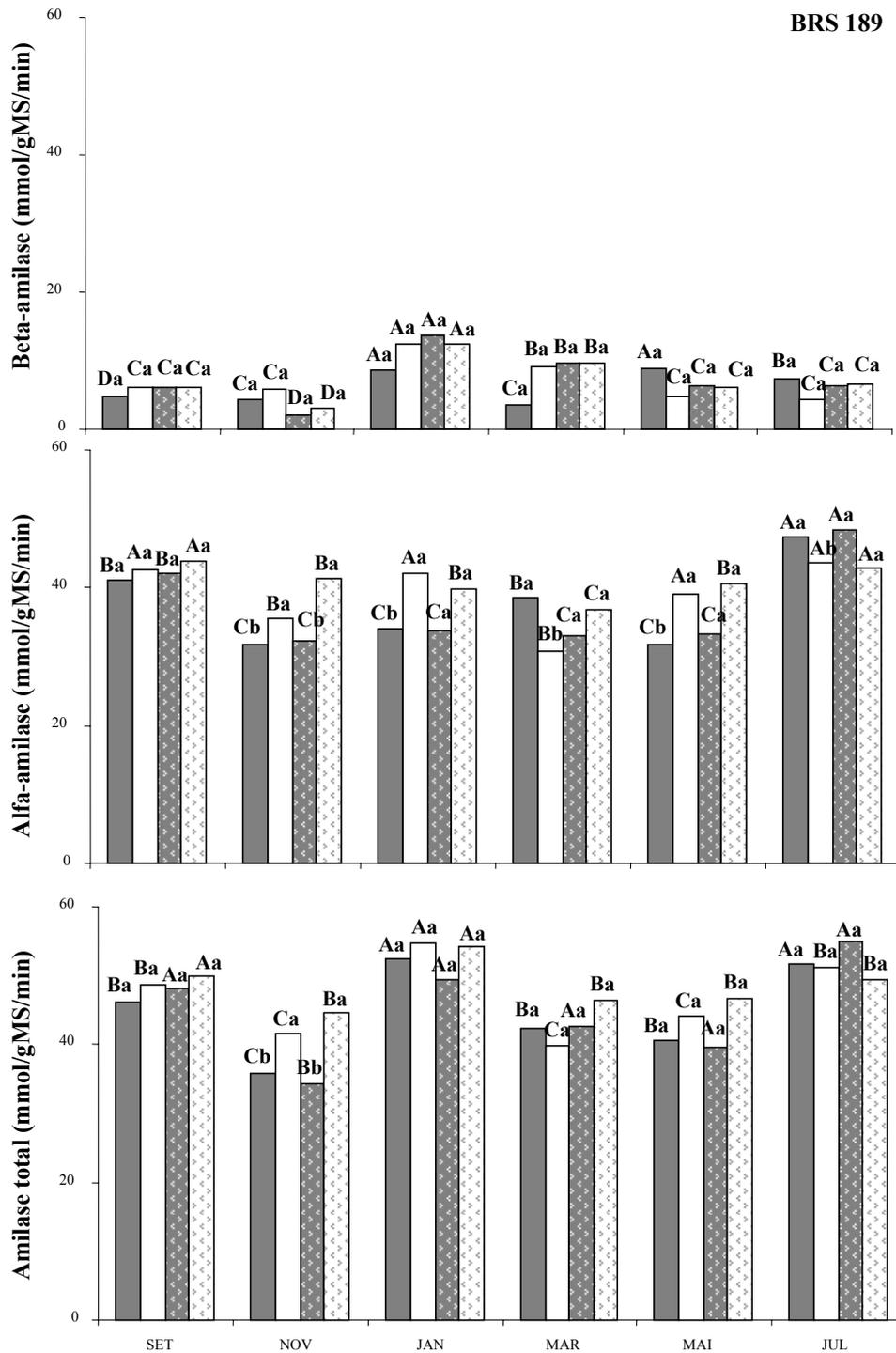


Figura 20 – Atividade amilásica (alfa, beta e total) de folhas sombreadas não irrigadas (■), folhas sombreadas irrigadas (□), folhas a pleno sol não irrigadas (■) e folhas a pleno sol irrigadas (□) dos clones de cajueiro anão precoce CCP 76 e BRS 189. Detalhes das comparações estatísticas na Figura 7.

de janeiro as plantas não irrigadas foram superiores, enquanto que nos meses de setembro, novembro e março atividade dessa enzima foi maior nas plantas irrigadas. Para a atividade beta-amilásica não ocorreu diferença significativa entre os tratamentos.

A atividade amilásica total apresenta variação significativa no mês de novembro. A atividade alfa-amilásica para folhas do clone BRS 189 diretamente expostas ao sol foram superiores nas plantas irrigadas nos meses de novembro, janeiro e maio.

Segundo Beltrão (2000), o estresse hídrico pode alterar o metabolismo das plantas, em especial a enzima beta-amilase pode ter sua atividade aumentada, contudo isso não foi observado nesse experimento. A atividade amilásica para os regimes de irrigação sugere uma demanda maior das reservas de fotoassimilados durante os meses estudados para as plantas que estavam sob irrigação. Entretanto, os dados obtidos para amido não corroboram com essa informação. É importante ressaltar que os meses de maio e julho são períodos de troca de folhas e pré-floração, processos metabólicos bastante exigentes energeticamente.

## ***5.9 Atividades da sintase da sacarose fosfato (SPS), pirofosforilase da ADP glicose (AGPase) e da sintase da sacarose (SuSy)***

### ***5.9.1 Sintase da sacarose fosfato (SPS)***

A atividade da sintase da sacarose fosfato (SPS) seguiu o mesmo padrão tanto para a determinação feita em  $V_{m\acute{a}x}$  como para  $V_{sel}$  em especial nas folhas de sol de ambos os clones (Figura 21 e 22). A atividade enzimática da SPS no ensaio seletivo em folhas de sombra do clone CCP 76 foi menor para o regime não irrigado nos meses de setembro, novembro, janeiro e maio (figura 21). Para o clone BRS 189 para os mesmos tipos de folha a redução na atividade do mesmo tratamento hídrico foi obtida nos meses de setembro, janeiro e julho (Figura 22).

Quando as folhas estavam a pleno sol a atividade da SPS ( $V_{sel}$ ) para ambos os clones também apresentaram reduções significativas para o regime não irrigado nos meses de setembro, novembro, março e maio. Esses resultados indicam que nesse período, em que as plantas estavam com menor dotação de água, houve redução no fluxo de síntese de sacarose *in vivo* o que confirma a redução dos teores de açúcares não redutores nesse mesmo período.

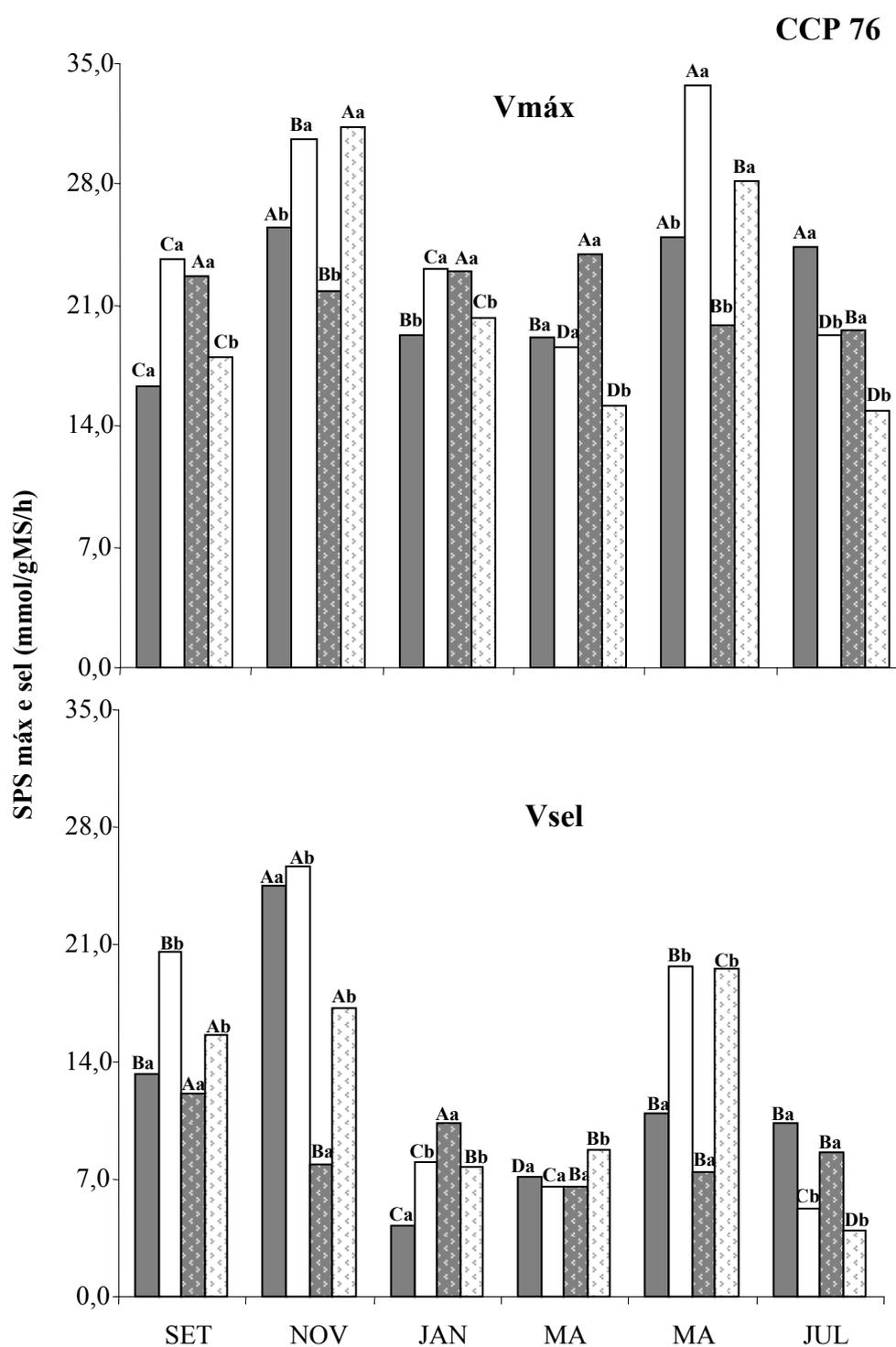


Figura 21 – Atividade da sintase da sacarose fosfato (SPS) no ensaio não seletivo (V<sub>máx</sub>) e seletivo (V<sub>sel</sub>) de folhas sombreadas não irrigadas (■), sombreadas irrigadas (▣) a pleno não irrigadas (■) e a pleno sol irrigadas (□) do clone CCP 76. Detalhes das comparações estatísticas na Figura 7.

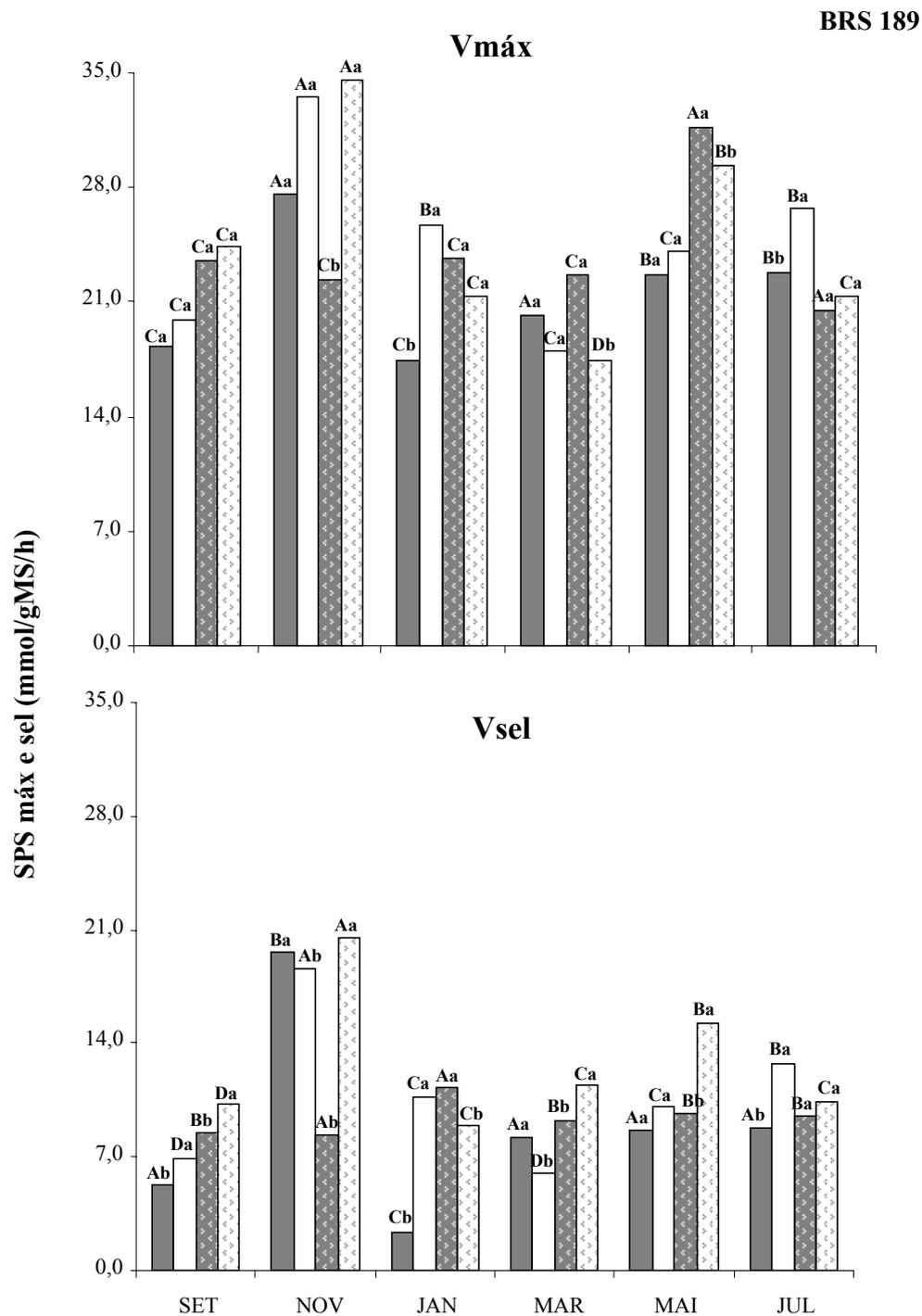


Figura 22 – Atividade da sintase da sacarose fosfato (SPS) no ensaio não seletivo (Vmáx) e seletivo (Vsel) de folhas sombreadas não irrigadas (■), sombreadas irrigadas (▣) a pleno não irrigadas (■) e a pleno sol irrigadas (□) do clone BRS 189. Detalhes das comparações estatísticas na Figura 7.

Além disso, nesse período essas plantas também apresentaram grande concentração de amido (Figura 13), resultado da menor taxa fotossintética das mesmas (Figura 7).

A atividade da sintase da sacarose fosfato (SPS) é normalmente analisada na literatura sob duas vertentes. A atividade catalítica máxima ( $V_{m\acute{a}x}$ ) e a atividade seletiva ( $V_{sel}$ ). Segundo Praxedes (2003), a determinação da atividade catalítica de uma enzima, contudo, normalmente baseia-se na determinação da velocidade máxima inicial, ou na velocidade média da fase linear da reação enzimática. Para o autor, nesses ensaios, utilizam-se concentrações de substratos que, normalmente, aproximam-se de valores 10 vezes superiores ao da constante de afinidade da enzima pelo substrato ( $k_m$ ), de forma que, nessas condições, está-se determinando provavelmente a atividade catalítica máxima da enzima. No entanto, esse valor permite somente a inferência sobre a quantidade da enzima presente, e não nos permite inferir sobre a atividade da enzima *in vivo*. Como a SPS é uma enzima que sofre regulação alostérica, que pode ser parcialmente inativada ou ter suas constantes de afinidade e inibição alteradas pela fosforilação é necessário um novo ensaio enzimático.

### **5.9.2 Sintase da sacarose (SuSy)**

Um comportamento diferencial da SuSy para cada clone, tratamento e tipo de folha (Figura 23). Para o clone CCP 76 quando analisadas as folhas em condições de sombreamento foi encontrada maior atividade da enzima sob o regime não irrigado nos meses de setembro e julho. As folhas desse mesmo clone quando a pleno sol apresentaram o mesmo padrão, exceção feita aos meses de novembro e janeiro onde a atividade enzimática da SuSy foi reduzida em 60% quando comparada a atividade das folhas sob regime irrigado (Figura 23). Para as folhas sombreadas do clone BRS 189 foi encontrado aumento significativo para o cultivo de sequeiro nos meses de setembro, novembro, janeiro e maio. Em folhas de sol esse aumento somente não ocorreu no mês de maio. Os resultados obtidos com a SuSy, aliados à redução da atividade da SPS nos meses em que isso ocorreu, justificam a menor concentração de açúcares não redutores nas plantas não irrigadas.

Há evidências de que a sintase da sacarose (SuSy) e a invertase sejam as enzimas chave na regulação da força do dreno em órgãos que acumulam amido. A Susy pode atuar reversivelmente tanto na síntese como na hidrólise da sacarose (ZRENNER;STITT, 1991).

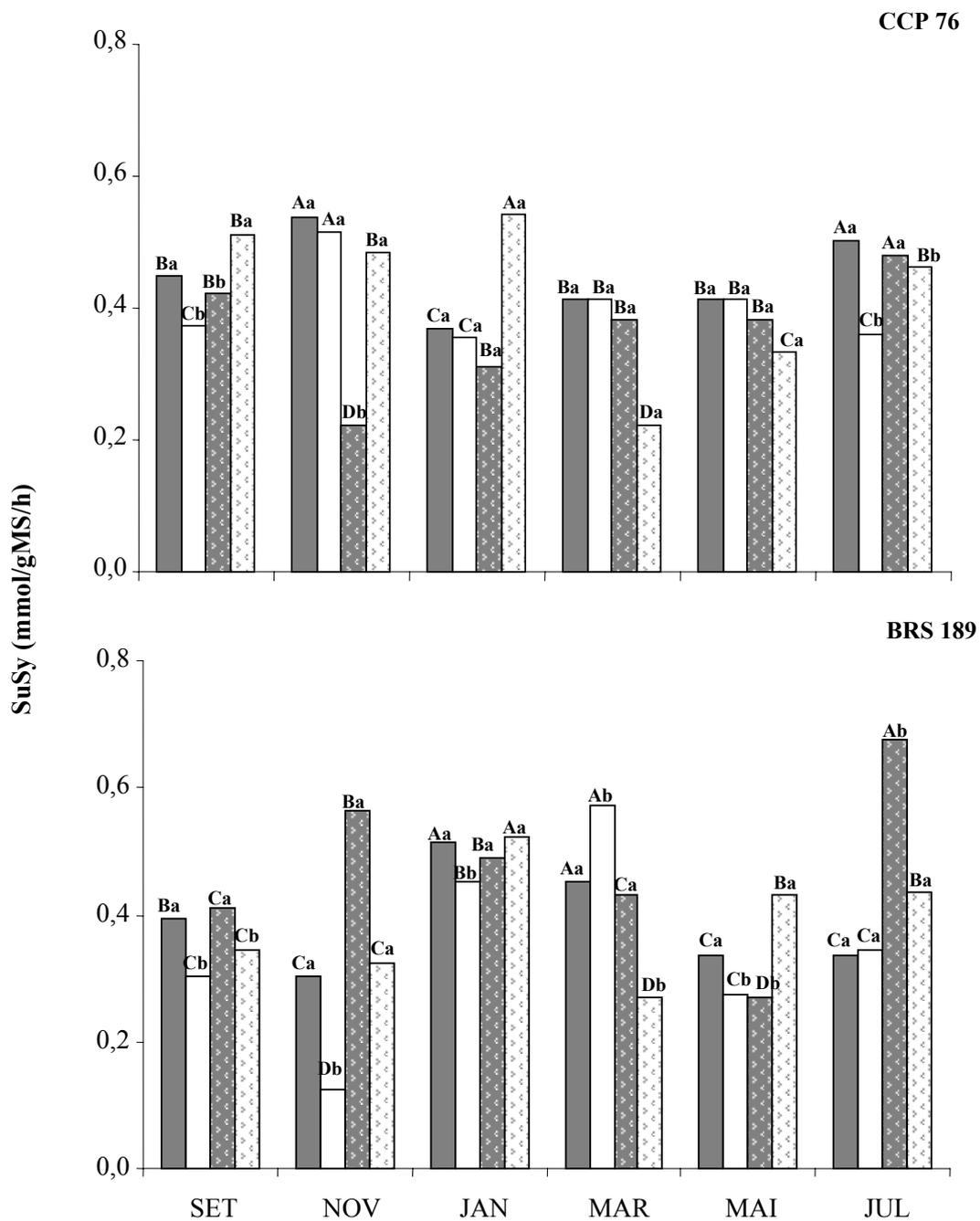


Figura 23 – Atividade da sintase da sacarose (SuSy) de folhas sombreadas não irrigadas (■), sombreadas irrigadas (□) a pleno não irrigadas(▣) e a pleno sol irrigadas (□) do clone CCP 76. Detalhes das comparações estatísticas na Figura 7.

Segundo Déjardin e col. (1997) a principal função da SuSy parece ser a de clivar a sacarose para as sínteses de amido e de parede celular, pelo fato de que um dos produtos de sua hidrólise dessa enzima ser a Uridina difosfato glicose (UDPG), precursor para síntese de amido e parede celular.

### **5.9.3 Pirofosforilase da ADP glicose (AGPase)**

Segundo Taiz e Zeiger (2004) a enzima-chave na síntese de amido é a pirofosforilase da ADP glicose (AGPase). A atividade da AGPase não mostrou ser significativamente diferente em relação aos tratamentos (Figura 24).

Para ambos os clones houve uma redução na atividade da AGPase no mês de maio, período em que a concentração de amido foi mais elevada, o que parece indicar uma retroinibição. Possivelmente, a menor concentração de amido nas plantas na irrigadas, aliado a uma atividade semelhante da enzima de síntese e uma menor atividade das enzimas de degradação reflitam a diferença na taxa de atividade dessas enzimas ao longo do dia.

## **5.6 Determinações pós-colheita**

O efeito da irrigação em frutos e hortaliças tem sido extensivamente estudado no crescimento vegetativo e rendimento, mas pouco se conhece sobre o comportamento pós-colheita dos mesmos. Os tratamentos hídricos não diferiram, estatisticamente, ao nível de 5% de significância, com relação à concentração de Sólidos solúveis totais - SS ( $12,83 \pm 0,33$ ) e acidez total titulável - AT ( $0,34 \pm 0,02$ ), vitamina C, brix (teor de doçura do fruto) e pH, independente do clone (Figura 25).

A média da relação SS/AT foi de  $37,31 (\pm 2,27)$ , valores que ficaram abaixo dos 46,28 encontrados por Moura (1998), e 49,94 de Damasceno Júnior e Bezerra (2002). Entretanto foram compatíveis com os valores de  $38,2 (\pm 0,08)$  encontrados nos tratamentos estudados por Silva Júnior e Paiva (1994). A média de pH dos tratamentos foi de 4,32 ( $\pm 0,03$ ). O valor médio encontrado (4,4) está dentro da faixa de variação de 4,10 a 4,64 obtido por Moura (1998), e superior aos apresentados por Price e col., (1975) e Ortiz; Arguello (1985), cujos valores foram valores inferiores a 4,3. Os teores médios de vitamina C foram de 241, 57mg ( $\pm 12,64$ ) para cada 100g de polpa. Essa média ficou dentro da faixa

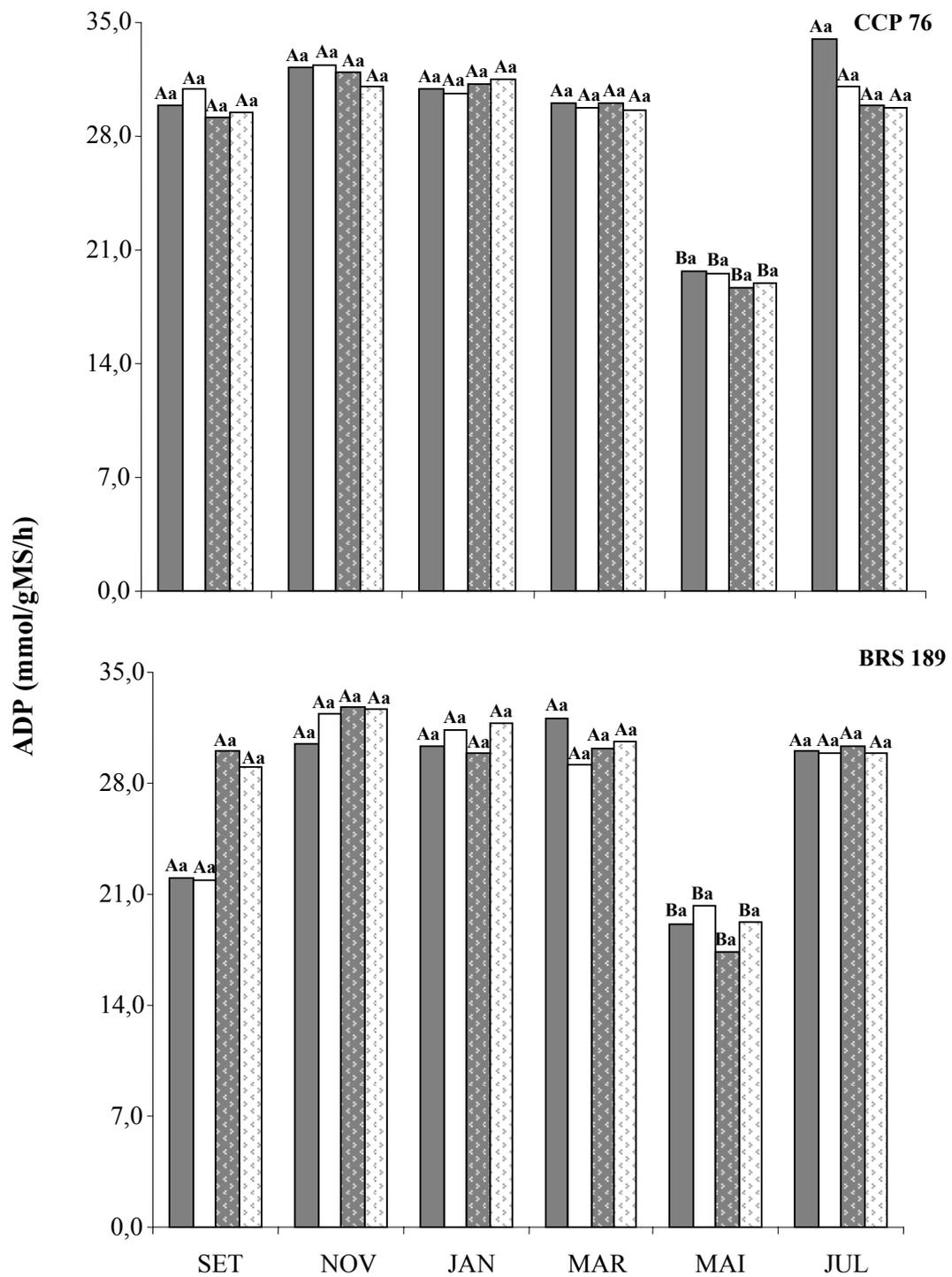


Figura 24 – Atividade da pirofosforilase da ADP-glicose (AGPase) de folhas sombreadas não irrigadas (■), sombreadas irrigadas (□) a pleno não irrigadas (▣) e a pleno sol irrigadas (◻) do clone CCP 76. Detalhes das comparações estatísticas na Figura 7.

de variação encontrada por Moura (1998), que foi de 160,34 a 251,86 mg/100 g de polpa, com média de 205,05 e compatível com os dados obtidos por Damasceno Júnior e Bezerra (2002) que obtiveram valores no intervalo de 233,65 a 247,48mg/100 g de polpa. O Brix médio encontrado foi de 12,8 ( $\pm 0,33$ ). Este valor está abaixo do valor mínimo apresentado por Kundu e Ghosh (1994) na Índia, que foi de 13,45 °Brix. Conforme Soares (1986), todos os pedúnculos obtidos nos atuais sistemas de plantio chegam à indústria apresentando um valor médio de 10,7 °Brix. Desta forma, os tratamentos aqui testados mostraram valores superiores ao citado por este autor. Os resultados foram semelhantes àqueles obtidos por Moura (1998) para os clones CCP 76 (SILVA JÚNIOR; PAIVA, 1994) e por Paiva e Barros (2004), para o clone BRS 189.

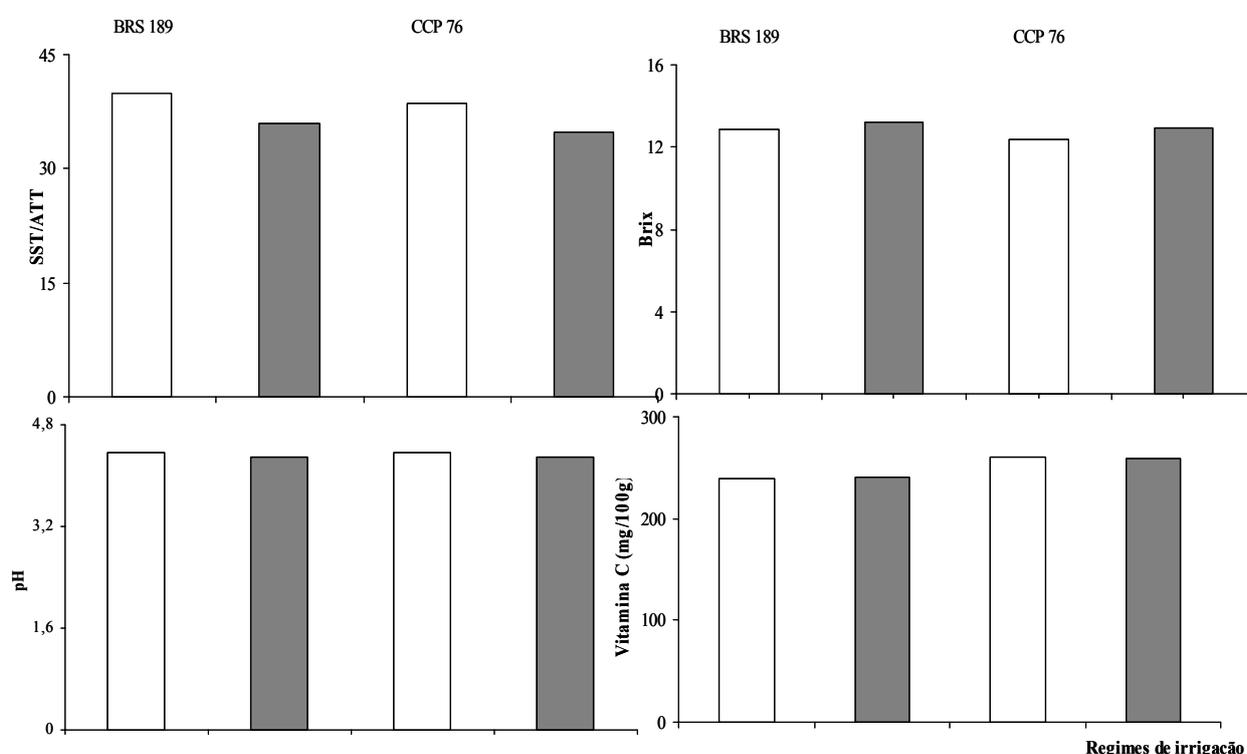


Figura 25 – Relação SS/AT, Brix, pH e vitamina C em pedúnculos dos clones de cajueiro anão precoce CCP 76 e BRS 189, submetidos aos cultivos irrigado(□) e não irrigado (■).

## 6 CONCLUSÕES

✓ As plantas de cajueiro anão precoce submetidas aos regimes, irrigado e não irrigado, tiveram seus parâmetros fisiológicos tais como fotossíntese, transpiração e condutância estomática, afetados em algumas épocas do ano. As plantas de cajueiro anão precoce possuem, portanto, uma plasticidade quando sobre condições de sequeiro conseguindo manter sua atividade metabólica e fisiológica vitais sem maiores danos a planta como um todo.

✓ Carboidratos, tais como amido e açúcares redutores, tenderam a se acumular nas folhas de sol e de sombra no mês de maio e, tiveram reduzido seus teores nos meses de setembro a novembro.

✓ As enzimas do metabolismo dos carboidratos para os regimes não irrigados se correlacionaram parcialmente com as variações nos teores de açúcares e amido.

✓ A supressão da irrigação para os clones CCP 76 e BRS 189 no período experimental não foi capaz de modificar a qualidade pós-colheita dos pedúnculos de caju.

✓ As variações nas reservas foliares ao longo do período experimental comprovam o efeito da força dos drenos nas diversas fases fenológicas e para os órgãos reprodutivos das plantas de cajueiro.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABD-EL BAKI, G.K.; SIEFRITZ, F.; MAN, H.M.; WEINER, H.; KALDENHOFF, R.; KAISER, W. Nitrate reductase in *Zea mays* L. under salinity. **Plant Cell Environment**, v.23, p. 515-521, 2000.

AGOSTINI-COSTA, T. S.; JALES, K. A.; GARRUTTI, D. S.; PADILHA, V. A.; LIMA, J. B.; AGUIAR, M. J.; PAIVA, J. R. Teores de ácido anacárdico em pedúnculos de cajueiro *A. microcarpum* e em oito clones de *A. occidentale* disponíveis no Nordeste do Brasil. **Ciência Rural**, v. 34, n. 4, 2004.

AGUIAR, M.J.N.; SOUZA NETO, N.C.; BRAGA, C.C.; BRITO, J.I.B; SILVA, E.DV.; SILVA, F.B.R; BURGOS, N. VAREJÃO-SILVA, M.<sup>a</sup>; COSTA, C. A R. **Zoneamento pedoclimático para a cultura do cajueiro (*Anacardium occidentale*) no Nordeste do Brasil e Norte de Minas Gerais**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical/ Recife: Embrapa-CNPS-ERP-NE, n.27, 30p, (Boletim de pesquisa), 2000.

AGUIAR, M.DE J. N.; LIMA, J. B. DE; JÚNIOR, J. H. C. B.; CARNEIRO, F. DE A.; BADU, F. O. **Dados climatológicos: Estação de Paraipaba, 2001**,. Embrapa Agroindústria Tropical, n.59, 25 p ( Documentos ).2002.

ALVARENGA AA; CASTRO EM; LIMA JUNIOR EC; MAGALHÃES M. 2003. */Croton urucurana* Baill in southeastern Brazil. **Revista Árvore** 27: 1-7.

ALVAREZ-PIZARRO, J. C. **Caracteres fisiológicos e bioquímicos da tolerância à salinidade em clones de cajueiro anão-precoce**. Fortaleza. 2006. 137 p. Dissertação (Mestrado em Bioquímica). Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, Universidade Federal do Ceará.

ALVES, R.E.; FILGUEIRAS, H.A.C.; MOSCA, J.L.; M., J.B.; LIMA, I.M.L.S.; ALMEIDA, J.H.S.; SOUZA FILHO, M.S.M.; LIMA, A.C.; MELO, Q.M.S.; FREIRE, F.C.O.. Colheita e conservação pós-colheita do pedúnculo e da castanha de caju. In: \_\_\_\_\_ SILVA, V.V. **500 Perguntas e 500 Respostas - Caju**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 1998. p.135-162.

ALVES, R.E. **Qualidade de acerolas submetidas a diferentes condições de congelamento, armazenamento e aplicação pós-colheita de cálcio.** 1999.135p. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais.

ALVIM, P. T. 1985. *Theobroma cacao*. In: \_\_\_\_\_ A. H. Halevy (ed.) Handbook of flowering. CRC Press, Boca Raton, FL.

AMORIM, A.V., **Produção e fisiologia de plantas de cajueiro anão precoce sob condições de sequeiro e irrigadas com águas salinas.** Fortaleza. 2007. 78 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - Ceará.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemistry.** 11 ed. Washington. AOAC, 1992.1115p.

AYELE, M.; BLUM, A.; NGUYEN, HT. **Diversity for osmotic adjustment and root depth in teff [*Eragrostis tef* (Zucc) Trotter].** Euphytica, v.121, n.3, p.237-249, 2001.

BAGNALL, D.J.; KING, R.W.; FARQUHAR, G.D. Temperature-dependent feedback inhibition of photosynthesis in peanut. **Planta**, v.175, p.348-354, 1988.

BARRS, H. D. **Determination of water deficits in plant tissue.** In:\_\_\_\_\_ Kozlowsky T. T. (ed.). Water deficits and plant growth. New York: Academic Press Inc., v. 1, 1968, p. 235-368.

BARROS, L. M. **Botânica, origem e distribuição geográfica.** In:\_\_\_ARAÚJO, J. P. P. de; SILVA, V. V. da (Org.). Cajucultura: modernas técnicas de produção. Fortaleza: EMBRAPACNPAT, 1995. p.55-71.

BARROS, L. de M.; CAVALCANTI, J.J.V.; PAIVA, J.R. de; CRISÓSTOMO, J.R.; CORRÊA, M.P.F.; LIMA, A.C. Seleção de clones de cajueiro anão para o plantio comercial no Estado do Ceará. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35,n.11, p.2197-2204, 2000.

BARKER, D.J.; SULLIVAN, C.Y.; MOSER, L.E. Water deficit effects on osmotic potential, cell wall elasticity, and proline in five forage grasses. **Crop Science**, v.85, n.2, p.270-275. 1993.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water- stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, p. 205-207, 1973.

BASU, P. S.; SHARMA, A.; GARG, I. D.; SUKUMARAN, N. P. Tuber sink modifies photosynthetic response in potato under water stress. **Environmental and Experimental Botany**, v.42, p. 25-39, 1999.

BELTRÃO, N.E. de M.; SOUZA, J.G. de; SANTOS, J.W. dos. Conseqüências da anoxia temporária radicular no metabolismo do gergelim. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, v.4, n. 3, p.153-161, 2000.

BERNFELD, P. **Enzymes in carbohydrate metabolism**. In:\_\_\_ COLWICK, S.P.; KAPLAN, N.O. **Methods in enzymology**. Academic Press, New York, v.1, p.149-150,1955.

BINZEL, M.L.; HASEGAWA, PM.; HANDA, A.K.; BRESSAN, R.A. Adaptation of tobacco cells to NaCl. **Plant Physiol** v.79, p. 118-125, 1985

BLUM, A.; ZHANG, JX; NGUYEN, HT. Consistent differences among wheat cultivars in osmotic adjustment and their relationship to plant production. **Field Crops Research**, v.64, n.3, p.287-291, 1999.

BLEICHER, E.; MELO, Q.M.S.; FURTADO, I.P. **Sugestões de técnicas de amostragem para as principais pragas do cajueiro**. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, n.6, 5p. (Comunicado Técnico), 1993.

BONHOMME, R. Bases and limits to using 'degree.day' units. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v.13, n.1, p.1-10, 2000.

BOARDMAN, N. K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 28, p. 355-377, 1977.

BOYER, J. S. Advances in drought tolerance in plants. **Advances in Agronomy** v.56, p.187-218. 1995.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, p. 248-254, 1976.

BRAY, E. Plant response to water deficit. **Trends in Plant Science**, v. 2, p. 48-54, 1997.

BRAY, E.A., BAILEY-SERRES, J., AND WERETILNYK, E. (2000). **Responses to abiotic stresses**. In \_\_\_\_\_ Biochemistry and Molecular Biology of Plants, B.B. Buchanan, W. Gruissem, and R.L. Jones, eds (Rockville, MD: American Society of Plant Physiologists), pp. 1158–1203

CARBAJAL, A. C. R.; SILVA JÚNIOR, N. **Castanha de caju: recomendações práticas para a melhoria da qualidade**. Fortaleza: SEBRAE/CE: Embrapa Agroindústria Tropical, 2003. 16 p.

CARDOSO, J.E.; ARAGÃO, M.L.; BLEICHER, E.; CAVALCANTE, M.J.B. Efeito de práticas agronômicas na ocorrência da resinose do cajueiro. **Fitopatologia Brasileira**, v.20, p.242, 1995 (Resumo).

CARVALHO, R. I. N. **Dinâmica da dormência e do conteúdo de carboidratos e proteínas em gemas vegetativas e ramos de um e dois anos de macieira com ou sem frio suplementar**. 134p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

CAVALCANTI, F. R.; LIMA, J. P. M. S.; SILVA, S. L. F. da; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Roots and leaves display contrasting oxidative response during salt stress and recovery in cowpea. **Journal of Plant Physiology**, Alemanha, v. 164, n. 10, p. 1145-1151, 2006.

CAVALCANTI JÚNIOR, A. T.; SANTOS, F. J. DE S; L. A. CRISÓSTOMO, L. A.; PAULA PESSOA, P. F. A.de. **Custos de formação e manutenção de jardins clonais de cajueiro anão precoce** Fortaleza-Ce - Embrapa Agroindústria Tropical, n.66, 4 p. (Comunicado técnico), 2001.

CHAVES, M. M. Effects of water deficit on carbon assimilation. **Journal of Experimental Botany**. v.42, p.1-16, 1991.

CHEN THH, MURATA N Enhancement of tolerance of abiotic stress by metabolic engineering of betaines and other compatible solutes. **Curr. Opin. Plant. Biol.** v.5, p.250–257.2002

CORDENUNSI, B.R.; LAJOLO, F.M. Starch transformation during banana ripening: sucrose synthase and sucrose phosphate synthase. **J. Agric. Food Chem.**, Washington, v. 43, n. 2, p. 347-351, 1995.

COSTA, J.O.; FERREIRA, L.G.R.; SOUZA, F. de. Produção de milho submetido a diferentes níveis de estresse hídrico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, n.11, p.1255-1261, 1988.

CRISÓSTOMO, L. A.; SANTOS, F. J.; OLIVEIRA, V. H.; RAIJ, B.; BERNARDI, A. C.; SILVA, C. A.; SOARES, I. **Cultivo do cajueiro anão precoce: Aspectos fitotécnicos com ênfase na adubação e na irrigação**. Fortaleza: Embrapa/Agroindústria Tropical, n. 08, 20 p. (Circular técnica), 2001.

CUSHMAN, J.C.; BOHNERT, H.J. Genomic approaches to plant stress tolerance. *Current Opinion*, **Plant Biology**, v.3, p. 117-124, 2000.

DAMASCENO JÚNIOR, J.A.; BEZERRA, F.C. qualidade de pedúnculo de cajueiro-anão precoce cultivado sob irrigação e submetido a diferentes sistemas de condução e espaçamento. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 24, n. 1, p. 258-262, 2002

DAMATTA, F. M.; MAESTRI, M.; MOSQUIM, P. R.; BARROS, R. S. **Photosynthesis in coffee (*Coffea arabica* and *C. canephora*) as affected by winter and summer conditions**. *Plant Science* 128: 43-50. 1997.

DÉJARDIN A., ROCHAT C., MAUGENEST S., BOUTIN J.P. Purification, characterization and physiological role of sucrose synthase in the pea seed coat (*Pisum sativum* L.). **Planta** 201, 128–137. 1997.

DICKSON, R.E. Assimilate Distribution and Storage. **Physiology of trees**, India p 51-77. 1991.

DOEHLERT, D. C.; HUBER, S. C. Regulation of spinach leaf sucrose phosphate synthase by glucose-6-phosphate, inorganic phosphate and pH. **Plant Physiology** v.73, p.989-994. 1983.

DOSS, B.D.; ASHLEY, D.A; BENNETT, O.L. Effect of soil moisture regime on root distribution of warm season forage species. **Agronomy Journal**, v.52, n.10, p.569-572, 1960.

EL-SHARKAWY, M.A.; COCK, J.H. Water use efficiency of cassava. I. Effects of air humidity and water stress on stomatal conductance and gas exchange. **Crop Science**, Madison, v.24, p.497-502, 1984.

EMBRAPA AGROINDÚSTRIA TROPICAL. **Notícias**. Disponível em [www.embrapa-cnpat.gov.br](http://www.embrapa-cnpat.gov.br). Acessado em 05 de março de 2007.

FAHL, J. I. ; CARELLI, M. L. C. ; MAGALHÃES, A. C. ; VEGA, J. . Nitrogen and irradiance levels affecting net photosynthesis and growth of young coffee plants (*Coffea arabica* L.). **Journal of Horticultural Science**, London, v. 69, n. 1, p. 161-169, 1994.

FERRÃO, J. E. M. **O cajueiro**. Lisboa: Instituto de Investigação Científica Tropical, 1995, 299 p.

FOX TC, GEIGER DR. 1986. Osmotic response of sugar beet source leaves at CO<sub>2</sub> compensation point. **Plant Physiology** 80, 239–241.

FOYER, C. H. Feedback inhibition of photosynthesis through source-sink regulation in leaves. **Plant Physiology and Biochemistry**.v.26, p. 483-492. 1988.

FOYER, C. H.; LESCURE, J. C.; LEFEBVRE, C.; MOROT-GAUDRY, J. F.; VICENTZ, M.; VAUCHERET, H. Adaptation of photosynthetic electron transport, carbon assimilation, and carbon partitioning in transgenic *Nicotiana plumbaginifolia* plants to change in nitrato reductase activity. **Plant Physiology**. v.104, p. 171-178, 1994.

FLORE, J.A.; LAKSO, A.N. Environmental and physiological regulation of photosynthesis in fruit crops. **Horticultural Reviews**, New York, v.11, p.111-157, 1988.

FLORES, H. E.; GALSTON. A. W. Analysis of polyamines in higher plants by high performance liquid chromatography. **Plant Physiology**, n.69, p.701-6, 1982.

FRANKS, P.J.; FARQUHAR, G.D. A relationship between humidity response, growth form and photosynthetic operating point in C<sub>3</sub> plants. **Plant, Cell and Environment**. Oxford, v.22, p.1337-1349, 1999.

FROTA, P. C. E.; PARENTE, J. I. G. **Clima e fenologia**. In: \_\_\_ARAÚJO, J. P. P.; SILVA, V. V. (Org.). *Cajucultura: modernas técnicas de produção*. Fortaleza: Embrapa-CNPAT, 1995. p. 43-54.

GARRUTI, D. DOS S. ; FRANCO, M. R. B.; SILVA, M. A. A.A.P. DA; JANZANTTI, N. S.; ALVES, G. L. **Compostos voláteis do sabor de pseudofrutos de cajueiro anão precoce (*Anacardium occidentale* L.) CCP-76.** Fortaleza-Ce -Embrapa Agroindústria Tropical, n.4,29 p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento), 2001.

GEIGENBERGER, P.; STITT, M. Sucrose synthase catalyses a readily reversible reaction in vivo in developing potato tubers and other plant tissues. **Planta** v.189, p. 329-339,1993.

GILMOUR, S.J.; SEBLOT, A.M.; SALAZAR, M.P.; EVERARD, J.D.; THOMASHOW, M.F. Overexpression of the Arabidopsis CBF3 transcriptional activator mimics multiple biochemical changes associated with cold acclimation. **Plant Physiology**, v.124, p. 1854-1865, 2000.

GOLDSCHMIDT, E. E.; HUBER, S. Regulation of photosynthesis by end-product accumulation in leaves of plants storing starch, sucrose, and hexose sugars. **Plant Physiology**, v.99, p. 1443-1448, 1992.

GUEHL, J.M.; AUSSENAC, G. Photosynthesis decrease and stomatal control of gas exchange in *Abies alba* Mill. in response to vapour pressure difference. **Plant Physiology, Rockville**, v.83, p.316-322, 1987.

GUO, C., OOSTERHUIS, D. M. Effect of water-deficit stress and genotypes on pinitol occurrence in soybean plants. **Environ. Exp. Bot.** v.37, p.2-5.1997

GZIK, A. Accumulation of proline and pattern of  $\alpha$ -amino acids in sugar beet plants in response to osmotic, water and salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, v.61, p. 199–223, 2007.

HABERMANN, G.; MACHADO, E.C.; RODRIGUES, J.D.; MEDINA, C.L. CO<sub>2</sub> assimilation, photosynthetic light response curves, and water relations of 'Pêra' sweet orange plants infected with *Xylella fastidiosa*. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.15, p.79-87, 2003.

HANBA, Y. T.; KOGAMI, H.; TERASHIMA, L. The effects of growth irradiance on leaf anatomy and photosynthesis in *Acer* species differing in light demand. **Plant Cell and Environment**, v. 25, n. 8, p. 1021-1030, 2002.

HEINZE, B.C. L. B. **A importância da agricultura irrigada para o desenvolvimento da região Nordeste do Brasil.** Brasília-DF, 2002, 70p.(Monografia em Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada ) - ECOBUSINESS SCHOOL/FGV).

HODGE, J.E.; HOFREITER, B.R. Determination of reducing sugars and carbohydrates. In: WILSTER, R.L.; WOLFROM, M.L. (eds.). **Methods in carbohydrates chemistry**. New York : Academic Press, 1962. v.1, p.380-394.

HOEKSTRA, F.A.; GOLOVINA, E.A.; BUITINK, J. Mechanisms of plant desiccation tolerance. Trends, **Plant Science**, v.6, p. 431-438, 2001.

HUBBARD, N. L.; HUBER, S.C.; PHARR, D. M. Sucrose phosphate synthase and acid invertase as the determinants of sucrose concentration in developing Muskmelon (*Cucumis melo* L.) fruits. **Plant Physiol.**,v. 91, p. 1527-1534, 1989

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola. 2007**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acessado em 08 de Janeiro de 2007.

INGRAM, J., AND D. BARTELS. The molecular basis of dehydration tolerance in plants. **Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol**, v.47, p.377-403, 1996.

INGROUILLE, M. 1992. **Diversity and evolution of land plants**. Chapman & Hall, London, UK.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 3 ed. São Paulo. IAL, 1985, v.1, 533p.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Notícias**. Disponível em <http://www.ipece.ce.gov.br> Acesso em 06 de março de 2007.

JONES, H.G., CORLETT, J.E. Current topics in drought physiology. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 119, p. 291-296, 1992.

KANECHI, M.; UCHIDA, N.; YASUDA, T.; YAMAGUCHI, T. Non-stomatal inhibition associated with inactivation of Rubisco in dehydrated coffee leaves under unshaded and shaded conditions. **Plant and Cell Physiology**. v.37, p.455-460, 1996.

KANO, T.; UOZUMI, S.; MACEDO, M.C.M.et al. **Avaliação de quatro espécies de *Brachiaria* submetidas ao estresse hídrico**. In: \_\_\_ Reunião anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 36., Porto Alegre, 1999. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1999. p.79.

KEREPESI I., TOTH M., BOROSS L. Water-soluble carbohydrates in dried plant. **J. Agric. Food Chem.** v.10, p.3235-3239, 1996.

KLAR, A.E.; USBRTI JR.; A., HENDERSON, D.W. Diferencial responses of guinea grass populations to drought stress. **Crop Science**, v.18, n.5, p.853-857, 1978.

KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. Mexico: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478p.

KRAMER, P.J. **Water relations of plants**. London : Academic Press, 1983. 489 p.

KRAMER, P.J, BOYER, J.S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic Press, 1995. 495 p.

KUMAR, G.S.; REDDY,A.N.; SUDHAKAR, C. NaCl effects on proline metabolism in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) with contrasting salt tolerance. **Plant Science**, v. 165, p. 1245-1251, 2003.

KUNDU, S.; GHOSH, S.N. Studies on physico-chemical attributes of cashew apple of thirty one types. **Cashew Bulletin**, Cochin, v.31, p.6-11, 1994.

LACERDA, C.F.; OLIVEIRA, H.P.M.; OLIVEIRA, T.S.; GOMES-FILHO, E. Crescimento e acúmulo de íons em folhas de sorgo forrageiro submetido a soluções isomóticas de sais (NaCl + KCl). **Revista Ciência Agronômica**, v. 34, p. 1-6, 2003b.

LAWLOR, D. W.; FOCK, H. Water stress induced changes in the amounts of some photosynthetic assimilation products and respiratory metabolites of sunflower leaves. **Journal of Experimental Botany**. 28: 329-337. 1977.

LAWLOR, D. W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, Cell and Environment** v.25,p. 275-29, 2002.

LANGE, O.L.; LÖSCH, R.; SCHULZE, E.D.; KAPPEN, L. Responses of stomata to changes in humidity. **Planta**, Heidelberg, v.100, p.76-86, 1971.

LARCHER, W. 2000. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos, RiMa. São Paulo.529p.

LEITE, L.A.de S. **A agroindústria do caju no Brasil: políticas públicas e transformações econômicas.** Fortaleza: EMBRAPA- CNPAT, 1994. 195 p.

LEITE, L. A. S.; PAULA-PESSOA, P. F. A. **Aspectos sócioeconômicos.** In: \_\_\_\_\_ BARROS, L. M. (Ed.). Caju: produção: aspectos técnicos. p. 15-17. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, (Informação Tecnológica), 2002.

LEMCOFF, J.L., GUARNASCHELL, A.B., GARAU, A.M., BASCIALLI, M.E. & GHERSA, C.M. Osmotic adjustment and its use as a selection criterion in *Eucalyptus* seedlings. **Canadian Journal Forest Research** v.24, p.2404-2408, 1994.

LEPRINCE, O.; HENDRY, G.A.F.; MCKERSIE, B.D. The mechanisms of desiccation tolerance in developing seeds. **Seed Science Research**, v.3, p. 231-246, 1993.

LIMA, V. P. M. S. **Cultura do cajueiro no Nordeste do Brasil.** Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 1988, 486 p.

LIU, J.; ZHU, J.-K. Proline accumulation and salt-stress-induced gene expression in a salthypersensitive mutant of *Arabidopsis*. **Plant Physiology**, v. 114, p. 591-596, 1997.

MARTINS Jr., W. **Fenologia e ecologia comparativa da produtividade de dois clones de cajueiro anão precoce (*Anacardium occidentale* L. var. *nanum*) sob condições de irrigação localizada.** Fortaleza: UFC. 117p. Dissertação (mestrado em Agronomia/Fitotecnia), Universidade Federal do Ceará 1993.

Mc DERMID, D.K. Sources of error in the estimation of stomatal conductance and transpiration from porometer data. **HortScience**, Alexandria, v.25, n.12, p.1538-48, 1990.

MEDRI, M. E.; PEREZ, E. L. Aspectos da anatomia ecológica de folhas de *Hevea brasiliensis* Mell. Arg. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 10, n. 3, p. 463-493, 1980.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 31, p. 426-428, 1959.

MITRA, J. Genetics and genetic improvement of drought resistance of crop plants. **Current Science**, v.80, p. 758-763, 2001.

MONTEITH, J. L. Light distribution and photosynthesis in field crops. **Annals of Botany**, London, v. 29, n. 113, p. 17-37, 1965.

MONTEITH, J.L. **A reinterpretation of stomatal response to humidity**. *Plant, Cell and Environment*, Oxford, v.18, p.357-364, 1995.

MORAIS, H. **Efeitos do sombreamento de cafeeiros (*Coffea Arabica* L.) com guandu (*Cajanus Cajan* (L.) Millsp.) no norte do Paraná**. 118 p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2003.

MOURA, C.F.H. **Qualidade de pedúnculos de clones de cajueiro anão precoce (*Anacardium occidentale*) irrigados**. Fortaleza, UFC, 96p. Dissertação(Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza., 1998.

MÜLLER-RÖBER, B.; SONNEWALD, U.; WILLMITZER, L. Inhibition of the ADP-glucose pyrophosphorylase in transgenic potatoes leads to a sugar-storing tubers and influences tuber formation and expression of tuber storage protein genes. **EMBO Journal**, v.11, p. 1229-1238, 1992.

MUNNS, R.; PEARSON, C. J. Effect of water deficit on translocation of carbohydrates in *Solanum tuberosum*. **Australian Journal of Plant Physiology** v.1, p.529-537, 1974.

MUNNS, R. Why measure osmotic adjustment? **Australian Journal of Plant Physiology**, Collingwood, v.15, n. 6, p.717- 726, 1988.

NARDOTO G.B., SOUZA M.P., FRANCO A.C. (1998) Estabelecimento e padrões sazonais de produtividade de *Kielmeyera coriacea* (Spr) Mart. nos cerrados do Planalto Central: efeitos do estress hídrico e sombreamento. **Rev. Bras. Bot.** 21:313-319.

NAMBIAR, M.C. Cashew. In:\_\_\_ ALVIM,P.T. KOZLOWSKI, T.T. (Ed.). **Ecolphysiology of tropical crops**. New York: Academic Press, 502p., 1977.

NEPOMUCENO A.L., STEWART J.M., OOSTEHUIS D.M., TURLEY R., NEUMAIER N., FARIAS J.R.B. Isolation of a cotton NADP(H) oxidase homologue induced by drought stress. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.35,n.7,p.1407-1416.2000

NEUHAUS H.E., STITT M. Control analysis of photosynthate partitioning: impact of reduced activity of ADPG-glucose pyrophosphorylase or plastid phosphoglucomutase on

the fluxes to starch and sucrose in *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. **Planta** 182, 445–454. 1990

NEUMANN, P.M. The role of wall adjustment in plant resistance to water deficits. **Crop Science**, v.35, n.5, p.1258-1266, 1995.

NEPOMUCENO, A. L.; OOSTERHUIS, D. M.; STEWART, J. M. Physiological responses of cotton leaves and roots to water deficit induced by polyethylene glycol. **Environmental and Experimental Botany**, v. 40, p. 29-41, 1998.

NETO, M. T. de C. Efeito do déficit hídrico na transpiração e resistência estomática da mangueira. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 25, n. 1, p. 93-95, 2003.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; MORAES, J. A. P. V. de H.; BURITY, A.; NETO, E.B. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **R. Bras. Fisiol. Veg.**, v.13, n.1, p.75-87, 2001.

OHLER, J.G., **Cashew**. Amsterdam: Royal Tropical Institute, Department of Agricultural Research, 1979. 260p. (Communication, 71).

OLIVEIRA, V. H.; SAUNDERS, L. C. U.; PARENTE, J. I. G.; ALMEIDA, J. I. L.; MONTENEGRO, A. A. T. **Comportamento do cajueiro comum e anão precoce submetidos a diferentes tensões de água no solo**. Fortaleza: Embrapa-CNPAT, 4 p. v.19, (Pesquisa em Andamento). 1996.

OLIVEIRA, V. H.; CRISÓSTOMO, L. A.; MIRANDA, F. R. de; ALMEIDA, J. H. S. **Produtividade de clones comerciais de cajueiro anão precoce (*Anacardium occidentale* L.) irrigados no Município de Mossoró RN**. Fortaleza: Embrapa-CNPAT, n.14, 6 p. (Comunicado Técnico, 14).1998.

OLIVEIRA, V.H., **Influência da irrigação na produção de pedúnculo e de castanha em clones de cajueiro-anão-precoce**. Revista Brasileira de Fruticultura v.24, p.717–720, 2002.

OLIVEIRA, V.H. de.; BARROS, L. de M.; LIMA, R.N. de. **Influência da irrigação e do genótipo na produção de castanha em cajueiro-anão-precoce**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.38, p. 61-66, 2003.

OLIVEIRA , V.H.; MIRANDA, F.R. ; LIMA, R.N.; CAVALCANTE, R.R.R. Effect of irrigation frequency on cashew nut yield in Northeast Brazil. **Scientia Horticulturae**, v.108, p.403-407, 2006.

ORTIZ, A. J.; ARGUELLO, O. A. Algunas características físicas y composición química de la manzana de marañón (*Anacardium occidentale* L.). **Turrialba**, San Jose, v.35, n.1, p.1-3, 1985.

OTTOW, E. A.; BRINKER, M.; TEICHMANN, T.; FRITZ, E.; KAISER, W.; BROSCHE, M.; KANGASJÄRVI, J.; JIANG, X.; POLLE, A. *Populus euphratica* Displays Apoplastic Sodium Accumulation, Osmotic Adjustment by Decreases in Calcium and Soluble Carbohydrates, and Develops Leaf Succulence under Salt **Stress Plant Physiol.** v.139., p. 1762-1772, 2005.

PAIVA. J.R.; BARROS, L.M., **Clones de Cajueiro: Obtenção, Características e Perspectivas.** Fortaleza-Ce - Embrapa Agroindústria Tropical, 26 p. (Documentos, 82). 2004

PAULA PESSOA, P.F.A. de; LEITE, L.A. de S.; PIMENTEL, C.R.M. **Situação atual e perspectivas da agroindústria do caju.** In:\_\_\_ ARAÚJO, J.P.P. de; SILVA, V.V. da. (Org.). *Cajucultura: modernas técnicas de produção.* Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 1995. p. 23-42.

PALLESCHI, S.; ROCHER, J. P.; PRIOUL, J. L. Sugar repression of photosynthesis: the role of carbohydrates in signalling nitrogen deficiency through source-sink imbalance. **Plant, Cell and Environment.** v.20, p.110-116, 1997.

PAZ, V. P. da S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONCA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** , Campina Grande, v. 4, n. 3, 2000.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas.** Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PETRUSA, L.M., WINICOV, I.: Proline status in salt-tolerant and salt-sensitive alfalfa cell lines and plants in response to NaCl. **Plant Physiol. Biochem.** v.35, p.303–310, 1997.

PHILLIPS, J.R.; OLIVER, M.J.; BARTELS, D. **Molecular genetics of desiccation and tolerant systems**. In: CAB INTERNATIONAL. Desiccation and survival in plants: drying without dying. Washington, p. 319-341. 2002

PRAXEDES, S.C., **Efeito do déficit hídrico no metabolismo fotossintético de clones de *Coffea canephora* cv. Conilon com tolerância diferencial à seca**. 41p. Dissertação (mestrado em Fisiologia vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, 2003.

PRICE, R.L.; HOLANDA, L.L.F.; MOURA FÉ; J.A.; MAIA, G.A.; *et al.* Constituents of brazilian cashew apple juice. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.5, n.1-2, p.61-65, 1975.

QUICK, P.; CHAVES, M. M.; WENDLER, R.; DAVID, M.; RODRIGUES, M. L.; PASSAHARINHO, J.A.; Pereira, J. S.; Adcock, M. D.; Leegood, R. C.; Stitt, M. **The effect of water on photosynthetic carbon metabolism in four species grown under field conditions**. *Plant, Cell and Environment* v.15,p. 25-35, 1992.

RAMANJULU, S.; SUDHAKAR, C. Drought tolerance is partly related to amino acid accumulation and ammonia assimilation: A comparative study in two mulberry genotypes differing in drought sensitivity. **Journal Plant Physiology**, v.150, p. 345-350, 1997.

REBOUÇAS, A. C., 1997, Água na Região Nordeste: desperdício e escassez. **Estudos Avançados** - USP 11 (29) p 127 – 154.

RICHARDS, N.K., **Cashew tree yield, growth and macronutrient status, as influenced by fertilizer applications**, In: \_\_\_\_\_ Department of Primary Industries and Fisheries, Cashew Research in Northern Territory, Australia, 1987–1991, pp. 1–16 (Technical Bulletin), 202. 1993.

ROSA, L.M.; DILLENBURG, L.R.; FORSETH, I.N. Responses of soybean leaf angle, photosynthesis and stomatal conductance to leaf and soil water potential. **Annals of Botany**, London, v.67, n.1, p.51-8, 1991.

ROSENTHAL, W.D.; ARKIN, G. F.; SHOUSE, P. J.; JORDAN, W. R. Water deficit effects on transpiration and leaf growth. **Agronomy Journal**, v.79, n.6, p.1019-1026, 1987.

SCHLUTER, U. et al. Photosynthetic performance of an *Arabidopsis* mutant with elevated stomatal density (sdd1-1) under different light regimes. **Journal of Experimental Botany**, v. 54, n. 383, p. 867-874, 2003.

SILVA Jr., A.; PAIVA, F. F. A. **Estudos físicos e físicos-químicos de clones de cajueiro-anão precoce.** (comunicado técnico) Fortaleza: EPACE, 1994. 19p.

STITT M. Rising CO<sub>2</sub> levels and their potential significance for carbon flow in photosynthetic cells. **Plant, Cell and Environment** 14, 741–762.1991

STREETER, J.G.; LOHNES, D.G.; FIORITTO, R.J. Pattern of pinitol accumulation in soybean plants and relationships to drought tolerance. **Plant Cell Environmental**, v.24, p. 429-438, 2001.

STURM, A., TANG, G. Q. The sucrose-cleaving enzymes of plants are crucial for development, growth and carbon partitioning. **Trends in Plant Science**, v.4, p.401-407, 1999.

SERRAJ, R.; SINCLAIR, T.R. Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions? **Plant Cell & Environment**, Oxford, v.25, n. 2, p.333-341, 2002.

SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P.C. Introduction. In:\_\_\_\_\_ B. SCHAFFER; P.C. ANDERSEN (Ed.). **Handbook of environmental physiology of fruit crops**. Boca Raton: CRC press, 1994. p.1-2.

SCHAPER, H.; CHACKO, E.K.; BLAIKE, S.J. Effect of irrigation on leaf gas exchange and yield of cashew in northern Australia. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 36, p. 861-868, 1996.

SHALHEVET, J. Plants under salt and water stress. In:\_\_\_FOWDEN, L.; MANSFIELD, T.; STODDART, J. **Plant adaptation to environmental stress**. London: Chapman & Hall, 1983. cap 7, p.133-54.

SHEEN, J. **Metabolic repression of transcription in higher plants**. *Plant Cell* v.2, p.1027-1038, 1990.

SHERIFF, D.W.; KAYE, P.E. Responses of diffusive conductance to humidity in a drought avoiding and a drought resistant (in terms of stomatal response) legume. **Annals of Botany**, London, v.41, p.653-655, 1977.

SILVA JÚNIOR, A.; PAIVA, F.F.A. **Estudos físico e físico-químico de clones de cajueiro-anão precoce.** Fortaleza: EPACE, 1994. (EPACE. Boletim de pesquisa, 23).

SIMS, D. A.; SEEMANN, J. R.; LUO, Y. Elevated CO<sub>2</sub> concentration has independent effects on expansion rates thickness of soybean leaves across light and nitrogen gradients. **Journal of Experimental Botany**, v. 49, n. 320, p. 583-591, 1998.

SMITH, H.; WHITELAM, G.C. The shade avoidance syndrome: multiple responses mediated by multiple phytochromes. **Plant, Cell and Environment** v. 20, p. 840-844, 1997.

SOARES, J.B. O caju. In: **O caju: aspectos tecnológicos**. Fortaleza: BNB, 1986. p 37-123.

SOUZA JRP; MEHL HO; RODRIGUES JD; PEDRAS JF. Sombreamento e o desenvolvimento e produção de rabanete. **Scientia Agricola** v.56,p.1-9., 1999.

SOUZA, DE R.C.; SOARES, M.A; REGINA, A.DE M. Trocas gasosas de mudas de videira, obtidas por dois porta-enxertos, submetidas à deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 10, p. 1221-1230, out. 2001.

SOUZA, R.P.; MACHADO, E.C.; SILVEIRA, J.A.G. Avaliação da atividade fotossintética em feijoeiro caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] submetido a estresse salino de curta duração. In: \_\_\_\_\_ **IX Congresso Brasileiro de Fisiologia Vegetal**, Atibaia, SP, 2003, Anais...Campinas: Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal, p. 371, 2003.

SOUZA LIMA, M.G.; LOPES, N.F.; BACARIN, M.A.; MENDES, C.R.. Efeito do estresse salino sobre a concentração de pigmentos e prolina em folhas de arroz. **Bragantia**, v. 63, n. 3, p. 335-340, 2004.

STAFSTROM, J. P. **Regulation of growth and dormancy in pea axillary buds**. In: \_\_\_\_\_ VIÉMONT, J.-D.; CRABBÉ, J. (Ed.). *Dormancy in plants: from whole plant behaviour to cellular control*. Cambridge: University Press, 2000. p.331-346.

STROHECKER, H.A. HENNING, H.M. **Analisis de vitaminas: métodos comprobados**. Madrid: Paz Montalvo, 1967, 428p.

SUBBARAO, G.V. *et al.* Osmotic adjustment, water relations and carbohydrate remobilization in pigeonpea under water stress. **Journal of Plant Physiology**, v.157, n.6, p.651-659, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**, 3.ed., Ed. ArtMed, Porto Alegre-RS, 2004.

TAJI, T.; OHSUMI, C.; IUCHI, S.; SEKI, M.; KASUGA, M.; KOBAYASHI, M.; YAMAGUCHISHINOZAKI, K.; SHINOZAKI, K. Important roles of drought and cold inducible genes for galactinol synthase in stress tolerance in *Arabidopsis thaliana*. **Plant Journal**, v.29, p. 417-426, 2002.

THOMAS, H. Effect of rate of dehydration on leaf water status and osmotic adjustment in *Dactylis glomerata* L., *Lolium perenne* L. e *Lolium multiflorum* Lam. **Annals of Botany**, v.57, n.2, p.225-235, 1986.

URCHEI, M.A.; RODRIGUES, J.D. Effects of soil water potentials at different phenological phases of barley crop (*Hordeum vulgare* L.). **Scientia agricola**. (Piracicaba, Braz.), Piracicaba, v. 51, n. 3, 1994 .

WARRIT, B.; LANDSBERG, J.J.; THORPE, M.R. Responses apple leaf stomata to environmental factors. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v.3, p.13-22, 1980.

WANG, F.; SANZ, A. ;BRENNER, M.L.; SMITH, A. Sucrose syntase, starch accumulation and tomato fruit sink strength. **Plant Physiology**, v.101,p. 321-327, 1993.

YEMM, E. W.; COCKING, E. C. The determination of amino-acids with ninhydrin. **Analyst**, v. 80, p. 209-213, 1955.

ZEEMAN, S. C.; THORNEYCROFT, D.; SCHUPP, N.; CHAPPLE, A.; WECK, M.DUNSTAN, H.; HALDIMANN,P.; BECHTOLD, N.; SMITH, A.M.; SMITH, S. M. Plastidial  $\alpha$ -glucan phosphorylase is not required for starch degradation in *Arabidopsis* leaves but has a role in the tolerance of abiotic stress. **Plant Physiology**, v. 135, p. 1–10, 2004.

ZRENNER, R.; STITT, M. Comparison of the effects of rapidly and gradually developing water-stress on carbohydrate metabolism in spinach leaves. **Plant, Cell and Environment** v.14, p.939-946, 1991.