



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA



CLÊNIO DA SILVA SANTANA

**MECANISMOS DE TOLERÂNCIA À SECA EM QUATRO ESPÉCIES ARBÓREAS
OCORRENTES NO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO**

Rio Largo-AL

2011

CLÊNIO DA SILVA SANTANA

**MECANISMOS DE TOLERÂNCIA À SECA EM QUATRO ESPÉCIES ARBÓREAS
OCORRENTES NO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Alagoas como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração Produção vegetal e Proteção de Plantas.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Vilma Marques Ferreira

Co-Orientador: Prof. Dr. Laurício Endres

Rio Largo-AL

2011

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

S232m Santana, Clênio da Silva.
Mecanismos de tolerância à seca em quatro espécies arbóreas ocorrentes no semi-árido brasileiro / Clênio da Silva Santana. – 2011.
77 f. : il. tabs..

Orientadora: Vilma Marques Ferreira.
Co-Orientador: Laurício Endres.
Dissertação (mestrado em Agronomia : Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2011.

Inclui bibliografia.

1. Bioma – Brasil. 2. Espécies arbóreas. 3. *Caesalpinia ferrea*. 4. *Tabebuia aurea*. 5. *Aspidosperma pyrifolium*. 6. *Bauhinia forficata*. I. Título.

CDU: 635.054

TERMO DE APROVAÇÃO

MECANISMOS DE TOLERÂNCIA À SECA EM QUATRO ESPÉCIES ARBÓREAS OCORRENTES NO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO

Esta dissertação foi submetida a julgamento como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de concentração em Produção Vegetal e Proteção de Plantas, outorgado pela Universidade Federal de Alagoas, sendo aprovado pela Banca Examinadora formada pelos seguintes doutores:

Prof^a. Dr^a. Vilma Marques Ferreira
Centro de Ciências Agrárias – UFAL
Orientadora

Prof. Dr. João Correia de Araujo Neto
Centro de Ciências Agrárias – UFAL

Prof. Dr. Laurício Endres
Centro de Ciências Agrárias – UFAL

Prof^a. Dr^a. Flavia de Barros Prado Moura
Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde – UFAL

Data da defesa: 08/11/2011

A citação de qualquer trecho desta dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

*Aos meus pais José Santana Segundo e Francélia da Silva
Santana...*

Ao meu irmão Clésio e irmãs Cleide e Clésia...

As minhas filhas Karol e Kayla fontes de minha alegria...

A minha esposa Jussara Cirilo.

Dedico com carinho

AGRADECIMENTOS

A Deus...

A minha família (pai, mãe, irmãos , esposa e filhas) pelo amor recebido...

À Profª Drª Vilma Marques Ferreira pela amizade, incentivo e dedicação...

Ao Professor José Vieira pelos conselhos e lições concedidas...

Aos amigos Eduardo Rebelo e Débora Teresa pelo apoio irrestrito em todas as etapas do curso...

Aos companheiros de laboratório Breno, Pedro Bento, e Renan Cantalice, Cristiano e Polyana ...

Ao Programa de Pós Graduação em Agronomia - PPGAgro/UFAL...

Aos colegas da turma de mestrado...

Ao corpo docente do mestrado...

Aos membros da Banca Examinadora...

Aos funcionários do CECA (em especial os ligados ao mestrado)...

À FAPEAL pela bolsa concedida...

Resplandecente é a sabedoria, e sua beleza é inalterável: Os que a amam, descobrem-na facilmente.

Os que a procuram encontram-na. Ela antecipa-se aos que a desejam.

Quem, para possuí-la, levanta de madrugada não terá trabalho, porque a encontrará sentada à sua porta.

Sabedoria 6, 12-14

RESUMO

A caatinga é o único bioma exclusivamente brasileiro, o que significa que grande parte do seu patrimônio biológico não pode ser encontrado em nenhum outro lugar do planeta. As bacias hidrográficas aí existentes têm o componente vegetacional pouco conhecido e apresentam-se em avançado estado de degradação especialmente nas áreas marginais dos cursos d'água. Nestas áreas, acredita-se que as espécies, após transplântio, estarão sujeitas a ciclos de seca e deverão ter o ajuste de características necessário para sobrevivência e estabelecimento sob tais circunstâncias altamente específicas. Dentro deste contexto estudaram-se os mecanismos de tolerância à seca em quatro espécies arbóreas ocorrentes no semi-árido brasileiro [*Caesalpinia ferrea* (pau-ferro), *Tabebuia aurea* (craibeira), *Aspidosperma pyriformium* (pereiro) e *Bauhinia forficata* (mororó)]. Foi montado um experimento de submissão das plantas à deficiência hídrica em casa de vegetação instalados em duas etapas, ambos dispostos em delineamento inteiramente ao acaso com arranjo fatorial, 2 (espécies) x 3 (condições hídricas), com 5 repetições cada. Para tanto, foram estudadas a eficiência quântica do fotossistema II, o acúmulo de solutos orgânicos e o teor de clorofila nas folhas, o crescimento, acúmulo e distribuição de biomassa e o potencial hídrico foliar no pré-amanhecer no final do experimento. Em craibeira fora estudada ainda as trocas gasosas das folhas frente ao estresse citado. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. De maneira geral o estresse hídrico reduziu o diâmetro do coleto, a altura de planta, o número de folhas, as massas secas de raiz, parte aérea, total e área foliar além de aumentar a relação raiz/parte aérea das espécies estudadas. A condutância estomática, a transpiração e a fotossíntese foram negativamente influenciadas pelo déficit hídrico. Os teores de prolina e N- α -aminossolúvel aumentaram com o incremento do estresse citado em craibeira, pau-ferro e em mororó. Com relação aos teores de clorofila a espécie pau-ferro e pereiro apresentaram reduções enquanto craibeira e mororó mantiveram-se estáveis. Contudo estas espécies apresentaram tendência de recuperação de todas as variáveis estudadas, o que indica que tais espécies apresentam mecanismos para tolerar uma menor disponibilidade hídrica.

Palavras-chave: *Caesalpinia ferrea*. *Tabebuia aurea*. *Aspidosperma pyriformium*. *Bauhinia forficata*. Estresse hídrico.

ABSTRACT

The savanna biome is the only exclusively Brazilian, which means that most of its biological heritage can not be found anywhere else on the planet. Watersheds where existing vegetation component have little known and present in an advanced state of degradation especially in marginal areas of the watercourses. In these areas, it is believed that the species, after transplanting, are subject to dry cycles and must have the characteristics necessary for adjusting and setting survival highly specific under the circumstances. Within this context we studied the mechanisms of drought tolerance in four tree species in semi-arid [*Caesalpinia ferrea* (pau-ferro), *Tabebuia aurea* (craibeira), *Aspidosperma pyriforme* (pereiro) and *Bauhinia forficata* (mororó)]. An experiment was set for submission of plants to water deficit in greenhouse installed in two stages, both arranged in completely randomized design with factorial arrangement 2 (species) x 3 (water conditions), with five replicates each. Thus, we studied the quantum efficiency of photosystem II, the accumulation of organic solutes and chlorophyll in the leaves, growth, accumulation and distribution of biomass and leaf water potential in the pre-dawn at the end of the experiment. In craibeira out yet studied the gas exchange of leaves facing the stress cited. The data were submitted to ANOVA and means compared by Tukey test at 5% probability. In general water stress reduced the stem diameter, plant height, leaf number, dry masses of roots, shoots, and total leaf area in addition to increasing the root / shoot of the species. The stomatal conductance, transpiration and photosynthesis were negatively influenced by water deficit. The contents of proline and N- α -aminosolúvel increased with the increase of stress cited in craibeira, ironwood and mororó. Regarding the contents of chlorophyll a species ironwood and pereiro showed reductions while craibeira mororó and remained stable. However these species tended to recover all the variables, indicating that these species have mechanisms to tolerate a lower water availability.

KEYWORDS: *Caesalpinia ferrea*. *Tabebuia aurea*. *Aspidosperma pyriforme*. *Bauhinia forficata*. Water stress.

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1** Potencial hídrico no pré-amanhecer de mudas de *Tabebuia aurea* (craibeira) e *Caesalpinia ferrea* (pau-ferro), submetidas à deficiência hídrica. (Controle – irrigação diária, recuperação – suspensão da irrigação seguido de reirrigação e estresse – suspensão da irrigação até a coleta do experimento)._____ 37
- FIGURA 2** Rendimento quântico potencial do FSII (Fv/Fm) em folhas de *Tabebuia aurea* (craibeira) e *Caesalpinia ferrea* (pau-ferro), submetidas à deficiência hídrica. (Controle – irrigação diária, recuperação – suspensão da irrigação seguida de reirrigação e estresse – suspensão da irrigação até a coleta do experimento). As recuperações (reirrigações) iniciam-se aos 10 dias._____ 39
- FIGURA 3** Condutância estomática de *Tabebuia aurea* (craibeira) submetida à deficiência hídrica. (Controle – irrigação diária, recuperação – suspensão da irrigação seguida de reirrigação e estresse – suspensão da irrigação até a coleta do experimento)._____ 40
- FIGURA 4** Transpiração de *Tabebuia aurea* (craibeira) submetida à deficiência hídrica. (Controle – irrigação diária, recuperação – suspensão da irrigação seguida de reirrigação e estresse – suspensão da irrigação até a coleta do experimento)._____ 41
- FIGURA 5** Fotossíntese de de *Tabebuia aurea* (craibeira) submetida à deficiência hídrica. (Controle – irrigação diária, recuperação – suspensão da irrigação seguida de reirrigação e estresse – suspensão da irrigação até a coleta do experimento)._____ 43
- FIGURA 6** Altura de plantas de *Tabebuia aurea* (craibeira) A e *Caesalpinia ferrea* (pau-ferro) B, submetidas à deficiência hídrica. (Controle – irrigação diária, recuperação – suspensão da irrigação seguida de reirrigação e estresse – suspensão da irrigação até a coleta do experimento). As recuperações (reirrigações) iniciaram-se aos 10 dias._____ 46
- FIGURA 7** Diâmetro do coleto de *Tabebuia aurea* (craibeira) A e *Caesalpinia ferrea* (pau-ferro) B, submetidas à deficiência hídrica. (Controle – irrigação diária, recuperação – suspensão da irrigação seguida de reirrigação e estresse – suspensão da irrigação até a coleta do experimento). As recuperações (reirrigações) iniciaram-se aos 10 dias._____ 47
- FIGURA 8** Número de folhas de *Tabebuia aurea* (craibeira) A e *Caesalpinia ferrea* (pau-ferro) B, submetidas à deficiência hídrica. (Controle – irrigação diária, recuperação – suspensão da irrigação seguido de reirrigação e estresse – suspensão da irrigação até a coleta do experimento). As recuperações (reirrigações) iniciaram-se aos 10 dias._____ 48

FIGURA 9 Potencial hídrico de plantas de *Bauhinia forficata* (mororó) A e *Aspidosperma pyriforme* (pereiro) B, submetidas à deficiência hídrica. (Controle – irrigação diária, recuperação – suspensão da irrigação seguida de reirrigação e estresse – suspensão da irrigação até a coleta do experimento). As recuperações (reirrigações) iniciaram-se aos 11 e 20 dias para mororó e pereiro respectivamente. 65

FIGURA 10 Rendimento quântico potencial do FSII (Fv/Fm) em folhas de *Bauhinia forficata* (mororó) e *Aspidosperma pyriforme* (pereiro), submetidas à deficiência hídrica. (Controle – irrigação diária, recuperação – suspensão da irrigação seguida de reirrigação e estresse – suspensão da irrigação até a coleta do experimento). As recuperações (reirrigações) iniciaram-se aos 11 e 20 dias para mororó e pereiro respectivamente. 67

FIGURA 11 Altura de plantas de *Bauhinia forficata* (mororó) A e *Aspidosperma pyriforme* (pereiro) B, submetidas à deficiência hídrica. (Controle – irrigação diária, recuperação – suspensão da irrigação seguida de reirrigação e estresse – suspensão da irrigação até a coleta do experimento). As recuperações (reirrigações) iniciaram-se aos 11 e 20 dias para mororó e pereiro respectivamente. 71

FIGURA 12 Diâmetro do coleto de *Bauhinia forficata* (mororó) A e *Aspidosperma pyriforme* (pereiro) B, submetidas à deficiência hídrica. (Controle – irrigação diária, recuperação – suspensão da irrigação seguida de reirrigação e estresse – suspensão da irrigação até a coleta do experimento). As recuperações (reirrigações) iniciaram-se aos 11 e 20 dias para mororó e pereiro respectivamente. 71

FIGURA 13 Número de folhas de *Bauhinia forficata* (mororó) A e *Aspidosperma pyriforme* (pereiro) B, submetidas à deficiência hídrica. (Controle – irrigação diária, recuperação – suspensão da irrigação seguida de reirrigação e estresse – suspensão da irrigação até a coleta do experimento). As recuperações (reirrigações) iniciaram-se aos 11 e 20 dias para mororó e pereiro respectivamente. 72

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** Teores de Clorofila *a* (Chl *a*), clorofila *b* (Chl *b*) clorofila total (Chl *total*), relação clorofila *a/b* (Chl *a/Chl b*) e carotenóides de mudas de *Tabebuia aurea* (craibeira) e de *Caesalpinia ferrea* (pau-ferro) submetidas à deficiência hídrica. _____ 44
- Tabela 2** Teores de solutos orgânicos de mudas de *Tabebuia aurea* (craibeira) e de *Caesalpinia ferrea* (pau-ferro) submetidas à deficiência hídrica. _____ 45
- Tabela 3** Massa seca da parte aérea, raiz, total, relação raiz/parte aérea e área foliar de mudas de *Tabebuia aurea* (craibeira) e *Caesalpinia ferrea* (pau-ferro) submetidas à deficiência hídrica. _____ 49
- Tabela 4** Teores de Clorofila *a* (Chl *a*), clorofila *b* (Chl *b*) clorofila total (Chl *total*), relação clorofila *a / b* (Chl *a/Chl b*) e carotenóides de mudas de *Bauhinia forficata* (mororó) e de *Aspidosperma pyrifolium* (pereiro) submetidas à deficiência hídrica. _____ 68
- Tabela 5** Teores de solutos orgânicos de mudas de *Bauhinia forficata* (mororó) e de *Aspidosperma pyrifolium* (pereiro) submetidas à deficiência hídrica. _____ 70
- Tabela 6** Massa seca da parte aérea, raiz, total, relação raiz/parte aérea e área foliar de mudas de *Bauhinia forficata* (mororó) e de *Aspidosperma pyrifolium* (pereiro) submetidas à deficiência hídrica. _____ 74

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO GERAL | 14 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA | 16 |
| 2.1 Deficiência hídrica | 16 |
| 2.2 Respostas das plantas à deficiência hídrica | 17 |
| 2.3 Ajustamento osmótico | 18 |
| 2.4 Caracterização das espécies | 21 |
| REFERÊNCIAS | 23 |
| 3 MECANISMOS DE TOLERÂNCIA À SECA EM DUAS ESPÉCIES ARBÓREAS OCORRENTES NO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO, <i>Tabebuia áurea</i> e <i>Caesalpinia ferrea</i> | 26 |
| RESUMO | 27 |
| ABSTRACT | 28 |
| 3.1 INTRODUÇÃO | 29 |
| 3.2 MATERIAL E MÉTODOS | 30 |
| 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 37 |
| 3.4 CONCLUSÕES | 50 |
| REFERÊNCIAS | 51 |
| 4 MECANISMOS DE TOLERÂNCIA À SECA EM DUAS ESPÉCIES ARBÓREAS OCORRENTES NO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO, <i>Aspidosperma pyriforme</i> e <i>Bauhinia forficata</i> | 54 |
| RESUMO | 55 |
| ABSTRACT | 56 |
| 4.1 INTRODUÇÃO | 57 |
| 4.2 MATERIAL E MÉTODOS | 58 |
| 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 65 |
| 4.4 CONCLUSÕES | 74 |
| REFERÊNCIAS | 75 |
| CONCLUSÃO GERAL | 77 |

INTRODUÇÃO GERAL

O termo Caatinga, originário do tupi-guarani e que significa mata branca, é usado para designar o único bioma exclusivamente brasileiro, isto significa que grande parte do seu patrimônio biológico não pode ser encontrado em nenhum outro lugar do mundo. Entre os biomas brasileiros a caatinga é considerada como uma formação tropical seca que apresenta elevada diversidade de espécies e grande heterogeneidade quanto às condições de habitat (Araújo, 2005). Para Miranda & Silva (1989), a vegetação da região semi-árida brasileira reúne uma grande diversidade florística e estrutural e a ocorrência de matas ciliares nessa região é pouco conhecida e estudada. A existência de déficits hídricos severos e prolongados se traduz num gradiente vegetacional muito acentuado, em curtas distâncias, entre a caatinga xerofítica e o fundo dos eixos hidrográficos.

Alterações nos fatores abióticos afetam sobremaneira a atividade fisiológica das plantas em suas diferentes fases de crescimento. Fatores como alta irradiância e baixa disponibilidade hídrica ou nutricional tornam mais difícil o sucesso no estabelecimento das plantas na fase juvenil (Liberato et al., 2006).

As plantas são freqüentemente expostas a vários tipos de condições ambientais adversas que afetam negativamente seu crescimento e metabolismo. As condições ambientais adversas, como a salinidade do solo, seca, calor, frio, e conteúdo excessivo de metais pesados no solo, criam um estresse considerável no crescimento das plantas (Dubey & Pessaraki, 2001). Segundo os mesmos autores nos trópicos semi-áridos, a ocorrência de seca ou de déficit hídrico no solo é comum, enquanto as plantas de cultivo de regiões temperadas e tropicais passam por períodos sazonais de estresse hídrico, especialmente durante o verão.

A deficiência de água no solo constitui-se como fator principal do declínio da produção vegetal no mundo inteiro especialmente em áreas sujeitas a déficits hídricos freqüentes como é o caso da região semi-árida.

As respostas das plantas ao estresse hídrico dependem da gravidade e da duração do estresse e da fase de crescimento da planta. Baixo potencial de água no solo, bem como no interior das plantas inibe o crescimento das mesmas, reduz as atividades de desenvolvimento de células e tecidos, diminui a absorção de nutrientes essenciais e provoca uma série de modificações morfológicas e bioquímicas (Dubey & Pessaraki, 2001).

Os estágios iniciais das respostas ao estresse envolvem danos nas membranas celulares, alterações nos processos enzimáticos, e os desvios subsequentes em estruturas celulares e no metabolismo. Dependendo do caráter quantitativo e qualitativo do estresse, as

reações bioquímicas e mudanças em plantas podem ocorrer dentro de segundos. A extensão e natureza dessas reações, por sua vez, irão determinar a resistência do organismo ao estresse e sua evolução (Madre, 2002).

Para Blum (1997) apud Pimentel (1999), a deficiência hídrica é considerada a maior causa de redução na produtividade agrícola em clima tropical. Porém, como existe uma variabilidade na adaptação à seca entre espécies e dentro da espécie, deve-se avaliar o comportamento de diferentes materiais genéticos, em condições de seca, para a recomendação de cultivo.

Nos países onde os estresses ambientais são fatores constantes e limitantes para a produção vegetal, destacam-se as pesquisas que visam à identificação de características morfofisiológicas, bioquímicas e moleculares durante a adaptação ao estresse e, posteriormente, sua utilização para produção de variedades tolerantes, seja através do melhoramento genético convencional ou da engenharia genética (Hasegawa et al., 2000; Munns, 2002; Zhu, 2002) apud Gonçalves (2008).

Prazeres (1996) evidencia que, na Região Neotropical, na qual está inserido o Nordeste brasileiro, são escassas as pesquisas com espécies nativas no que se refere aos seguintes aspectos: germinação, desenvolvimento, fisiologia, formas de uso, etc. Conforme esse autor, estudos nestas áreas seriam de extrema importância na preservação de espécies ameaçadas de extinção, uma vez que acarretaria maior conhecimento da biologia das mesmas.

Mediante o exposto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar o comportamento de espécies ocorrentes na caatinga frente ao déficit hídrico, com vistas à indicação das mesmas para fins de revegetação deste bioma.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Deficiência hídrica

A presença de água é condição necessária para existência de qualquer forma de vida em qualquer ambiente. Ela é necessária como um meio de atividades bioquímicas para todas as formas de vida conhecidas.

Em qualquer ambiente onde as plantas estejam inseridas elas estão freqüentemente submetidas a condições ambientais adversas, resultando em estresses, que podem afetar de maneira negativa seu crescimento, desenvolvimento e sua produtividade.

Segundo Santos & Carlesco (1998) a ocorrência de déficit hídrico em plantas cultivadas afeta o crescimento e o desenvolvimento das culturas em todo o mundo. Ainda segundo os mesmos autores desde os antigos povos sumérios, o homem tem procurado uma alternativa mais efetiva do aproveitamento da água para superar os efeitos do déficit hídrico às plantas.

A seca é uma circunstância, na qual as plantas sofrem redução do seu crescimento ou produtividade, devido à insuficiência de suprimento de água, ou a um grande déficit de umidade do ar, mesmo com um suprimento de água adequado do solo Passioura (1997) apud Pimentel (2004). Deve-se ressaltar que o tempo necessário para que a insuficiência de suprimento de água, por chuva ou irrigação, cause estas reduções no crescimento vai depender do tipo de planta, da capacidade de retenção de água no solo e das condições atmosféricas, principalmente déficit de pressão de vapor (DPV) e temperatura, que controlarão a taxa de evapotranspiração (Pimentel, 2004).

A deficiência hídrica dos solos é um problema que afeta boa parte das áreas cultivadas no mundo, principalmente as situadas em regiões semiáridas, reduzindo o crescimento e a produção vegetal, provocando prejuízos socioeconômicos (Munns, 2002).

O déficit hídrico da planta é um componente de vários diferentes tipos de estresses, incluindo salinidade, seca e baixa temperatura, que limitam severamente o crescimento das plantas e produtividade das culturas (Zhang et al., 1998), ocorrendo sempre que a perda de água através da transpiração excede o abastecimento a partir do solo (Taylor, 1996).

Alishah (2009) lembra que ao falar sobre as respostas das plantas deve-se levar em consideração que diferentes espécies podem reagir de forma diferente à mesma condição extrema e, por outro lado, o caráter de resposta das plantas a diferentes condições podem

muitas vezes ser semelhante. Além disso, a resposta e a sensibilidade em relação aos estresses dependem da idade e estágio de desenvolvimento da planta em questão.

2.2. Respostas das plantas à deficiência hídrica

O déficit hídrico provoca um complexo de respostas começando com a percepção do estresse, que inicia uma via de transdução de sinais e se manifesta em alterações em nível celular, fisiológico e de desenvolvimento. O conjunto dessas respostas depende da severidade e duração do estresse, o genótipo da planta, estágio de desenvolvimento e fatores ambientais (Bray, 1993).

Os estágios iniciais das respostas ao estresse envolvem danos nas membranas celulares, alterações nos processos enzimáticos, e os desvios subsequentes em estruturas celulares e no metabolismo. Dependendo do caráter quantitativo e qualitativo do estresse, as reações bioquímicas e mudanças em plantas podem ocorrer dentro de segundos. A extensão e a natureza dessas reações, por sua vez, irão determinar a resistência do organismo ao estresse e sua evolução (Mandre, 2002).

Em nível celular, o déficit hídrico não é apenas uma consequência da seca, mas também do estresse salino e/ou da geada. A perda de até 90% da água celular é um processo necessário durante o amadurecimento dos frutos secos e sementes e, portanto, é componente regular do desenvolvimento de uma planta. As plantas têm, portanto, os mecanismos bioquímicos desenvolvidos para lidar com o estresse hídrico. A compreensão dos processos moleculares desencadeados pela seca e da adaptação à escassez de água, no entanto, é ainda bastante desigual (Schulze et al., 2005).

As respostas da célula ao estresse incluem mudanças no ciclo e divisão celulares, mudanças no sistema de endomembranas e vacuolização, bem como alterações na arquitetura da parede celular. Tudo isso contribui para acentuar a tolerância das células ao estresse. Bioquimicamente, as plantas alteram o metabolismo de várias maneiras, para se acomodar ao estresse ambiental, incluindo a produção de compostos osmorreguladores, tais como prolina e glicina betaína (Taiz & Zeiger, 2006).

As plantas respondem ao estresse, em parte, pela modulação da expressão gênica, que eventualmente leva à restauração da homeostase celular, desintoxicação de toxinas e de recuperação de crescimento (Xiong & Zhu, 2002).

A resistência ao déficit hídrico se manifesta de quatro formas gerais: I) limitação do crescimento, para minimizar a perda de água; II) adaptações morfológicas; III) adaptações fisiológicas; e IV) alterações metabólicas. Os três primeiros são processos complexos e não são completamente compreendidos, porém, progressos significativos tem sido feitos no entendimento das alterações metabólicas (Artlip & Wisniewski, 2001).

Mudanças significativas em potenciais de água no ambiente podem impor estresse osmótico às plantas, que interrompem as atividades normais do metabolismo celular, ou mesmo causam a morte da planta (Xiong & Zhu, 2002).

Um dos mecanismos de adaptação à seca é o acúmulo de solutos osmoticamente ativos na célula, em relação às plantas bem hidratadas. Segundo Morgan (1984) apud Pimentel (1999), tal fenômeno chamado de ajustamento osmótico, permite a manutenção da turgescência, crescimento e fotossíntese, sob baixos valores de potencial hídrico da folha.

2.3. Ajustamento osmótico

A manutenção do potencial total da água durante o déficit hídrico pode ser conseguido através do ajustamento osmótico. A redução do potencial hídrico celular abaixo do potencial hídrico externo, resultante da diminuição do potencial osmótico, permite que a água entre na célula. O potencial osmótico dentro da célula é reduzido pela acumulação de osmólitos (solutos compatíveis) no citoplasma (Bray, 1993).

Há algum tempo adota-se a hipótese de que o ajuste osmótico é uma característica importante de adaptação, que confere vantagens às plantas tolerantes, tanto ao estresse hídrico quanto ao salino, porque é um modo de se manter o conteúdo de água da célula em níveis adequados à atividade fisiológica. Isso ocorre porque a força motriz de origem osmótica é aumentada com o acúmulo de solutos e permite a manutenção da absorção de água pela célula, mesmo a déficits acentuados (Angelocci, 2002).

Ainda segundo Angelocci (2002) o grau de ajustamento osmótico, na escala diária e a médio prazo, varia bastante entre as espécies, Sendo detectado em grande número de plantas cultivadas, como em variedades de trigo, arroz, cevada, milho, sorgo, soja, brássicas, etc. e desenvolve-se preferencialmente em plantas que sofrem uma secagem lenta, não persistindo mais que alguns dias.

A maior parte do ajuste em geral pode ser calculada pelos aumentos da concentração de uma variedade de solutos comuns, incluindo açúcares, ácidos orgânicos, aminoácidos e íons inorgânicos especialmente K^+ (Taiz & Zeiger, 2006).

Segundo Taiz & Zeiger (2006) a manutenção do turgor possibilita a continuação do alongamento celular e facilita condutâncias estomáticas mais altas sob potenciais hídricos mais baixos, sugerindo que o ajuste osmótico é uma aclimatação que aumenta a tolerância à desidratação. No entanto, conforme Pimentel (1999), o crescimento é dependente da turgescência celular, mas também depende do módulo de elasticidade da parede celular e, conseqüentemente, do coeficiente de elasticidade desta. O ajustamento osmótico vai promover o turgor necessário para o crescimento, mas se não houver um ajustamento da parede celular, aumentando a sua capacidade de extensão, não haverá crescimento.

As enzimas citosólicas de células vegetais podem ser severamente inibidas por concentrações altas de íons. A acumulação desses íons durante o ajuste osmótico parece estar restrita aos vacúolos, onde os mesmos são impedidos de entrar em contato com enzimas no citosol ou organelas subcelulares. Por causa dessa compartimentação dos íons, outros solutos devem se acumular no citoplasma, a fim de manter o equilíbrio do potencial hídrico dentro da célula (Taiz & Zeiger, 2006). Esses outros solutos, chamados de solutos compatíveis (ou osmólitos compatíveis), são compostos orgânicos que não interferem nas funções das enzimas. Os solutos compatíveis comumente acumulados compreendem o aminoácido prolina, alcoóis de açúcar (por exemplo, sorbitol e manitol), além de uma amina quaternária, a glicina betaína.

Um osmólito que tem recebido muita atenção é a prolina, cujo acúmulo foi relatado em muitas espécies de plantas sob diferentes condições de estresses abióticos, sendo importante na tolerância ao estresse da planta, a qual tem sido confirmado por estudos genéticos, o que demonstra que a prolina pode aumentar a tolerância das plantas ao estresse abiótico (Xiong & Zhu, 2002).

A prolina é um dos vários compostos que agem como osmólitos compatíveis para melhorar o efeito da desidratação que ocorre durante o congelamento e o estresse por seca (Xin & Browse, 1998).

Em plantas, o aminoácido L-prolina é sintetizado via glutamato e Δ^1 -pirrolina-5-carboxilato (P5C) por duas sucessivas reduções, as quais são catalisadas pelas enzimas P5C sintetase (P5CS) e P5C redutase (P5CR) (Hare et. al., 1999). O acúmulo deste soluto também depende da sua via de catabolismo. A sua degradação em plantas é catalisada por duas

enzimas: a prolina desidrogenase (ProDH) catalisa a conversão deste osmólito em Δ^1 -pirrolina-5-carboxilato (P5C) que é, então, oxidada a glutamato pela P5C desidrogenase (P5CDH) (Yoshida et al., 1997; Carneiro et. al. 2006).

Nas plantas, o papel da prolina não pode ser restringido ao de um osmólito compatível. Por exemplo, prolina sintetizada durante o déficit hídrico pode servir como uma reserva de nitrogênio orgânico que pode ser utilizada durante a recuperação (Taylor, 1996). Há também evidências de que a degradação de prolina na mitocôndria é acoplada diretamente ao sistema respiratório de transporte de elétrons e produção de ATP (Elthon & Stewart, 1981 apud Taylor, 1996).

Segundo Bohnert & Shen (1999), enquanto o aumento líquido de solutos diminui o potencial osmótico da célula, que favorece a manutenção do balanço hídrico sob estresse osmótico, a redução do potencial de solutos pode não ser a única, nem mesmo a função essencial de um soluto compatível. A principal função de um soluto compatível pode ser a estabilização de proteínas, complexos protéicos ou membranas, sob condições de estresses ambientais. Além disso, pode ainda funcionar na eliminação de radicais de oxigênio.

Dois modelos teóricos têm sido propostos para explicar os efeitos de proteção ou estabilização de solutos compatíveis com a estrutura e a função da proteína. O primeiro é denominado o modelo de “exclusão preferencial” segundo o qual solutos compatíveis são amplamente excluídos da camada de hidratação de proteínas, o que estabiliza a estrutura da proteína, promove ou mantém interações proteína-proteína. Os solutos compatíveis, neste modelo não iriam perturbar a água de hidratação natural de proteínas, mas eles poderiam interagir com a fase aquosa no citosol (Arakawa & Timasheff, 1985). O segundo modelo, seria o “de interação preferencial” que, em contraste, enfatiza as interações entre solutos compatíveis e proteínas. A capa de hidratação da proteína é fundamental para a estabilidade estrutural. Durante o déficit hídrico, solutos compatíveis podem interagir diretamente com os domínios hidrofóbicos de proteínas e impedir a sua desestabilização, ou eles podem substituir as moléculas de água nas proximidades das regiões (Schobert, 1977 apud Bohnert & Shen, 1999). Enquanto os dois modelos parecem ser mutuamente exclusivos, à primeira vista, a função real dos solutos compatíveis pode de fato ser explicada pelos dois modelos. Porém novos experimentos serão necessários para obter uma melhor visão sobre os efeitos estabilizadores de solutos compatíveis que foram documentadas em experimentos *in vitro* (Bohnert & Shen, 1999).

2.4. Caracterização das espécies

A *Caesalpinia ferrea* Mart., espécie da família Fabaceae, é uma árvore nativa do Brasil conhecida popularmente como pau-ferro, é uma planta perenifólia ou semi-decídua, de ampla dispersão e baixa densidade populacional, tendo importante uso na ornamentação, construção civil e marcenaria (Lorenzi, 1992). É empregada na medicina popular para o tratamento de afecções bronco-pulmonares e distúrbios gastrointestinais (Frasson, 2003). Por ser uma espécie tolerante a áreas abertas, pode ser utilizada em programas de reflorestamento de áreas degradadas (Lorenzi, 1992).

A *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore é uma espécie arbórea da família Bignoniaceae, conhecida vulgarmente como craibeira, caraibeira ou para-tudo. Ocorre nas margens de rios temporários do Nordeste semi-árido, integrando também a flora dos cerrados e cerradões de quase todo o Brasil. Possui fruto do tipo folículo, com sementes dotadas de alas, dispersas pelo vento. É planta de múltiplas utilidades, tendo sua madeira, de textura mediana, aplicação em vigamentos, esquadrias, móveis, cabos de ferramentas, construção civil e serviços diversos. Pode ser usada para a arborização de ruas e praças pela abundância de floração vistosa e pela sombra que pode proporcionar. Apresenta rápido crescimento, podendo ser indicada para reflorestamento, principalmente em matas ciliares, nas regiões de baixa pluviosidade (Lorenzi, 1992).

O *Aspidosperma pyrifolium* Mart., conhecido vulgarmente por pereiro pertencente à família Apocynaceae é uma planta decídua, xerófita, heliófita, característica de solos calcários férteis da caatinga. Também encontrados no chaco seco do pantanal e Bolívia. Produz anualmente moderada quantidade de sementes viáveis que são dispersas pelo vento. Mesmo na caatinga seca, rebrota abundantemente quando cortada (Lorenzi, 1992). Segundo o mesmo autor, ela é uma planta lactente, de altura muito variável dependendo da região de ocorrência, podendo apresentar-se na forma arbustiva em algumas regiões da caatinga até uma árvore de 7-8 m na caatinga arbórea. A pequena dimensão limita seu uso na construção civil. A árvore, pelo pequeno porte e pela beleza de sua copa piramidal, pode ser empregada no paisagismo em geral, inclusive na arborização urbana.

A *Bauhinia forficata* Link, conhecida popularmente por mororó pertence à família Leguminosae, sub-família Caesalpinaceae e à tribo Bauhiniae, conhecida também por Mororó do Sertão, e os Cornijós de Águas Belas, Pernambuco, chamam Txaquiá, conforme

cita César (1956) apud Silva et al. (2003). O mesmo autor afirma que essa espécie se espalha pelo Estado, desde a zona da mata até o alto sertão.

Silva et al. (2003) citam que os frutos do mororó são simples, secos, do tipo legume, deiscentes, segmentados, com média de 18 cm de comprimento, e 0,15 cm de largura; apresentam coloração marrom escura quando maduros; sutura dorsal pouco dilatada, com 15 sementes por fruto; estas são ovaladas, sua coloração depende da época de coleta dos frutos, podendo ser marrom esverdeada ou marrom escura, de acordo com o grau de maturação. Apresentam em sua extremidade um hilo pontiagudo .

REFERÊNCIAS

Angelocci, R. L.; Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: introdução ao tratamento biofísico. Piracicaba: ESALQ/USP, 2002. 284p.

Bates, L. S. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, v.39, p.205-207, 1973.

Bergonci, J. I.; Bergamashi, H.; Berlato, M. A. & Santos, A. O. Potencial da água na folha com um indicador de déficit hídrico em milho. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, v.35, p.1531-1540, 2000.

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

Cocking, E. C.; Yemm, E. W. Estimation of aminoacids by ninhidrin. *The Biochemical Journal*, v.58, p.12-13, 1954.

Calbo, M. E. R.; Moraes, J. A. P. V. Fotossíntese, condutância estomática, transpiração e ajustamento osmótico de plantas de buriti submetidas a estresse hídrico. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v.9(2), p.117-123, 1997.

Cabral, E. L.; Barbosa, D. C. A. & Simabukuro, E. A. Crescimento de plantas jovens de *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore submetidas a estresse hídrico. *Acta bot. bras.* v.18(2), p.241-251, 2004.

Carvalho, C. J. R. Respostas de plantas de *Schizolobium amazonicum* [*S. parahyba* var. *amazonicum*] e *Schizolobium parahyba* [*Schizolobium parahybum*] à deficiência hídrica. *Revista Árvore*, v.29, p.907-914, 2005.

Dubois, M.; Gilles, K. A.; Hamilton, J. K.; Rebers, P. A.; Smith, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, v.28, p.350-356, 1956.

Drumond, M. A.; Kiill, L. H. P.; Nascimento, C. E. S. Inventário e sociabilidade de espécies arbóreas e arbustivas na região de Petrolina, PE. *Brasil Florestal*, n.74, p.37-43 2002.

Ferreira, P. V. Estatística experimental aplicada à agronomia. 3ª Ed. Maceió: EDUFAL, 2000. 422p.

Frasson, A. P. Z.; Bittecourt, C. F.; Heinzmann, B. M. Características físico-química e biológica do caule de *Caesalpinia férrea* Mart. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v.13, p.35-39, 2003.

Figueirôa, J. M.; Barbosa, D. C. A.; Simabukuro, E. A. Crescimento de plantas jovens de *myracrodruon urundeuva* allemão (anacardiaceae) sob diferentes regimes hídricos. *Acta Botânica Brasilica*, v.18(3), p.573-580, 2004.

Freitas, J. M. N.; Carvalho, K. S.; Lobato, A. K. S.; Castro, D. S.; Maia, P. S. P.; Neto, C. F. O.; Costa, R. C. L. Atividade da Redutase do Nitrato, Conteúdo relativo de Água e teores de Clorofilas Solúveis totais em Folhas de Açaizeiro (*Euterpe edulis* Mart.) Submetidas ao Déficit Hídrico e ao Alagamento. Revista Brasileira de Biociências. v. 5, p.924-926, 2007.

Gonçalves, J. F. C.; Silva, C. E. M.; Guimarães, D. G. Fotossíntese e potencial hídrico foliar de plantas jovens de andiroba submetidas à deficiência hídrica e a reidratação. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.44, p.8-14, 2009.

Hendry, G., Grime, J. Methods in comparative plant. A laboratory manual. Chapman & Hall, London, 1993, p.252.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa de Biomas e de Vegetação. Comunicação social, 2004. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=169>. Acesso em 14 Out. 2009.

Lorenzi, H. Árvores brasileiras. Nova odessa, Editora Plantarum, 1992.281p.

Liberato, M. A. R.; Gonçalves, J. F. C.; Chevreuil, L. R. Junior, A. R. N.; Fernandes, A. V.; U. Junior, M. S. Leaf water potential, gas exchange and chlorophyll *a* fluorescence in acariquara seedlings (*Minquartia guianensis* Aubl.) under water stress and recovery. Brazilian Journal Plant Physiology, v.18(2), p.315-323, 2006.

Miranda, E. E.; Silva, G. C. Ecologia da vegetação de matas ciliares nas depressões inundáveis do semi-árido brasileiro. In: simpósio sobre mata ciliar, Campinas. Anais Fundação Cargill, p.192-212, 1989.

Mandre, M. Stress concepts and plants. – Forestry Studies / Metsanduslikud uurimused XXXVI, p.9-16, 2002.

Munns, R. Comparative physiology of salt and water stress. Plant, Cell and Environment, v.25, p.239–250, 2002.

Nepomuceno, A. L.; Neumaier, N.; Farias, J. R. B.; Oya, T. Tolerância à seca em plantas: Mecanismos fisiológicos e moleculares. Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento, n.23, p.12-18, 2001.

Prazeres, S. M. Germinação e propagação vegetativa. In: Sampaio, V. S. B.; Mayo, S. J.; Barbosa, M. R. V. Pesquisa Botânica Nordestina: progresso e perspectivas. Recife: SBB. 1996. p.172-189.

Pimentel, C. Relações hídricas em dois híbridos de milho sob dois ciclos de deficiência hídrica. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.34, p.2021-2027,1999.

Pimentel, C. A relação da água com a planta. Seropédica, RJ: Edur, 2004 191p.

Santos, R. F.; Carlesso, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.2, p.287-294. 1998.

Silva, G. M. C.; Silva, H.; Almeida, M. V. A.; Cavalcanti, M. L. F.; Martins, P. L. Morfologia do fruto, semente e plântula do Mororó (ou pata de vaca) – *Bauhinia forficata* Linn *Rev. Biologia e Ciências da Terra*. v.3, 2003.

Schulze, E. D.; Beck, E & Hohenstein, K. M. *Plant Ecology*. Berlin: Heidelberg, 2005. 702p.

Taylor, C. B. Proline and water deficit: ups, downs, ins, and outs. *Plant Cell*, v.8, p.1221- 1224, 1996.

Taiz, L.; Zeiger, E. *Fisiologia vegetal*. 3ª Ed. Porto Alegre: artmed, 2006. 722p.

Xin, Z.; Browse, J. *eskimo1* mutants of *Arabidopsis* are constitutively freezing-tolerant. *Plant Biology*. v. 95, p.7799–7804, 1998.

Xiong, L.; Zhu J.-K. Molecular and genetic aspects of plant responses to osmotic stress. *Plant, Cell and Environment*, v.25, p.131–139, 2002.

Yoshida, Y.; Kiyosue, T. ; Nakashim, K.; Shinozaki, K. Y.; Shinozaki, K. Regulation of Levels of Proline as an Osmolyte in Plants under Water Stress. *Plant Cell Physiology*, v.38(10), p.1095-1102, 1997.

Zhang, J.; Nguyen, H. T.; Blum, A. Genetics analysis of osmotic adjustment in crop plants. *Journal of Experimental Botany*, v.50, p.291-302, 1999.

Referências elaboradas segundo as normas da
Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e
Ambiental (Agriambi) ISSN: 1415-4366.

3 Mecanismos de tolerância à seca em duas espécies arbóreas ocorrentes no semi-árido brasileiro, *Tabebuia aurea* e *Caesalpinia ferrea*

Mecanismos de tolerância à seca em duas espécies arbóreas ocorrentes no semi-árido brasileiro, craibeira - *Tabebuia aurea* e pau-ferro - *Caesalpinia ferrea*

RESUMO – O objetivo deste trabalho foi avaliar os mecanismos de tolerância à seca em duas espécies arbóreas ocorrentes no semi-árido brasileiro, craibeira - *Tabebuia aurea* e pau-ferro - *Caesalpinia ferrea*. Foi montado um experimento disposto em delineamento inteiramente ao acaso com arranjo fatorial, 2 (espécies) x 3 (condições hídricas), com 5 repetições. As três condições hídricas constavam de: I) plantas controle, irrigadas diariamente; II) suspensão da irrigação por 10 dias, seguida de reirrigação; III) suspensão da irrigação por 16 dias, quando então foi feita a coleta de dados do experimento. Foram estudadas a eficiência quântica do fotossistema II, o acúmulo de solutos orgânicos e o teor de clorofila nas folhas, o crescimento, acúmulo e distribuição de biomassa, e o potencial hídrico foliar no pré-amanhecer no final do experimento em ambas as espécies submetidas à deficiência hídrica. Em craibeira foram estudadas ainda as trocas gasosas das folhas frente ao estresse citado. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. De maneira geral o estresse hídrico reduziu o diâmetro do coleto, a altura de planta, o número de folhas, as massas secas de raiz, parte aérea, total e área foliar além de aumentar a relação raiz/parte aérea das espécies estudadas. A condutância estomática, a transpiração e a fotossíntese foram negativamente influenciadas pelo déficit hídrico. Os teores de prolina e N- α -aminosolúvel aumentaram com o incremento do estresse citado tanto em craibeira como em pau-ferro. Com relação aos teores de clorofila a espécie pau-ferro apresentou reduções e a craibeira manteve-se estável frente à deficiência hídrica. Contudo estas espécies apresentaram tendência de recuperação de todas as variáveis estudadas, o que indica que as mesmas apresentam mecanismos para tolerar uma menor disponibilidade hídrica.

Palavras-chave: *Tabebuia aurea*, *Caesalpinia ferrea*, estresse hídrico

Mechanisms of drought tolerance in two tree species occurring in semi-arid, craibeira - *Tabebuia aurea* and pau-ferro - *Caesalpinia ferrea*

ABSTRACT - The objective of this study was to evaluate the mechanisms of drought tolerance in two tree species occurring in semi-arid, craibeira - *Tabebuia aurea* and pau-ferro - *Caesalpinia ferrea*. An experiment was set arranged in completely randomized design with factorial arrangement 2 (species) x 3 (water conditions), with five repetitions. The three water conditions consisted of: I) control plants, irrigated daily; II) suspension of irrigation for 10 days followed by irrigation; III) suspension of irrigation for 16 days, when it was made the collect data of the experiment. Were studied the quantum efficiency of photosystem II, the accumulation of organic solutes, leaf chlorophyll content, growth, biomass accumulation and distribution, leaf water potential in the pre-dawn at the end of the experiment in both species subjected to water stress . In craibeira was yet studied the gas exchange of leaves facing the stress cited. The data were submitted to ANOVA and means were compared by Tukey test at 5% probability. In general water stress reduced the diameter of the collar, the plant height, leaf number, dry mass of roots, shoots, and total leaf area in addition to increasing roots / shoot species. The stomatal conductance, transpiration and photosynthesis were negatively influenced by water deficit. The levels of proline and N- α -aminosolúvel increased with the increase of stress in both species. Regarding the content of chlorophyll pau-ferro showed reductions and craibeira remained stable compared to water deficit. However, these species tended to recover all the variables studied, which indicates that they have mechanisms to tolerate a lower water availability.

KEYWORDS: *Tabebuia aurea*, *Caesalpinia ferrea*, water stress

3.1 INTRODUÇÃO

A caatinga é composta de árvores e arbustos xerófilos, localizada quase que na sua totalidade, na região Nordeste do Brasil, e as suas diferentes fisionomias são afetadas diretamente pelas diversas condições climáticas e pedológicas da região. Ela se estende por, praticamente, toda a área do Ceará e do Rio Grande do Norte; o sudeste do Piauí; a maior parte da Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e do interior da Bahia, e uma porção do extremo norte de Minas Gerais (Sales, 2008). Segundo o IBGE (2004), o bioma caatinga ocupa 9,92% do território brasileiro. Em Alagoas este bioma estende-se por quase a metade do território (48%).

Botanicamente, a caatinga constitui-se de um complexo vegetal muito rico em espécies lenhosas e herbáceas, sendo as primeiras caducifólias e as últimas anuais, em sua grande maioria. Numerosas famílias estão representadas, destacando-se as Leguminosae, Euforbiaceae e Cactaceae (Drumond, 2002).

O pau-ferro, *Caesalpinia ferrea* Mart., árvore nativa do Brasil, é uma planta perenifólia ou semi-decídua, de ampla dispersão e baixa densidade populacional, tendo importante uso na ornamentação, construção civil e marcenaria. Por ser uma espécie tolerante a áreas abertas, pode ser utilizada em programas de reflorestamento de áreas degradadas (Lorenzi, 1992). É também empregada na medicina popular, para o tratamento de afecções bronco-pulmonares e distúrbios gastrointestinais (Frasson, 2003).

A craibeira (*Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore) é uma espécie arbórea da família Bignoniaceae, conhecida vulgarmente como craibeira, caraibeira ou paratudo. Ocorre nas margens de rios temporários do Nordeste semi-árido, integrando também a flora dos cerrados e cerradões de quase todo o Brasil. Possui fruto do tipo folículo, com sementes dotadas de alas, dispersas pelo vento. É planta de múltiplas utilidades, tendo sua madeira de textura mediana, aplicação em vigamentos, esquadrias, móveis, cabos de ferramentas, construção civil e serviços diversos. Pode ser usada para a arborização de ruas e praças pela abundância de floração vistosa e pela sombra que pode proporcionar. Apresenta rápido crescimento, podendo ser indicada para reflorestamento, principalmente em matas ciliares, nas regiões de baixa pluviosidade (Lorenzi, 1992).

Entre os vários fatores limitantes da produção vegetal, o déficit hídrico ocupa posição de destaque, pois além de afetar as relações hídricas nas plantas, alterando-lhes o metabolismo, é fenômeno que ocorre em grandes extensões de áreas cultiváveis (Nogueira et al., 2001).

Essa situação característica induz uma série de respostas fisiológicas que são variáveis, de acordo com a espécie, o estágio de desenvolvimento da planta e condições ambientais (Pimentel, 2005).

Reduções na biomassa da planta promovidas por deficiência hídrica são diretamente relacionadas a mudanças na assimilação de carbono, atribuídas a limitações estomáticas e não-estomáticas da fotossíntese (Pimentel, 2005). Portanto, estudos realizados em plantas submetidas a tal estresse, avaliando as trocas gasosas e a integridade do aparato fotossintético, medido indiretamente através dos parâmetros de fluorescência da clorofila *a* são de fundamental importância para compreender a dinâmica de estabelecimento e crescimento de tais espécies num ambiente tão específico quanto o de áreas no domínio das caatingas.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar as respostas fisiológicas e de crescimento de mudas de *Tabebuia aurea* e *Caesalpinia ferrea* submetidas ao estresse hídrico.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Localização do experimento e espécies estudadas

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação e as análises bioquímicas foram realizadas no laboratório de Fisiologia Vegetal do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Alagoas (CECA/UFAL), localizado no município de Rio Largo (09° 28' S, 35° 49' W e 127 m de altitude), estado de Alagoas.

Foram estudadas as espécies pau-ferro - *Caesalpinia ferrea* (Leguminosae – Caesalpinoideae) e craibeira – *Tabebuia aurea* (Bignoniaceae), as quais são de ocorrência confirmada em municípios alagoanos pertencentes à bacia hidrográfica do Baixo São Francisco, no bioma Caatinga.

O experimento foi conduzido sob delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 2 (espécies) x 3 (condições hídricas), com 5 repetições.

3.2.2 Produção de mudas

Foram produzidas mudas de pau-ferro e craibeira, a partir de sementes colhidas na região semi-árida de Alagoas e da Paraíba, que ao completarem aproximadamente 3 meses e 15 dias de idade foram transplantadas para vasos com capacidade para 8 kg de solo, sendo estes pintados na cor alumínio fosco para minimizar o estresse térmico. Foram então alojadas em casa de vegetação onde permaneceram por cerca de 30 dias para aclimação sendo então submetidas à deficiência hídrica.

Para a produção de mudas de pau-ferro foi feita escarificação ácida em 125 sementes, estas foram colocadas em 50 ml de ácido sulfúrico a 98% permanecendo por quinze minutos (Crepaldi et al., 1998), sendo posteriormente lavadas por três minutos em água corrente seguida de lavagem com água destilada. As sementes foram colocadas em gerbox, contendo 25 sementes cada e levadas ao germinador a 35°C de temperatura constante onde permaneceram até a emissão da raiz primária. A partir de então foram colocadas em sacos de polietileno contendo substrato na proporção 4:2:1 (terra- fibra de coco- torta de mamona) e irrigadas diariamente para finalizar o processo de germinação, com base no critério tecnológico.

Para a produção de mudas de craibeira, as sementes foram semeadas em areia lavada sendo irrigadas diariamente até a emissão da raiz primária e dos cotilédones. As plântulas foram então colocadas em sacos plásticos contendo substrato na proporção 4:2:1 (terra- fibra de coco- torta de mamona) onde permaneceram sendo irrigadas até finalizar o processo de germinação, com base no critério tecnológico.

3.2.3 Instalação e condução do experimento

Após o transplântio e aclimação das mudas de pau-ferro e craibeira, foram estabelecidos três grupos de plantas: I) plantas controle, II) suspensão da irrigação por 10 dias (as plantas já apresentavam sintomas de deficiência hídrica como murchamento e queda de folhas), seguida de re-irrigação; III) suspensão da irrigação por 16 dias (as plantas apresentavam sintomas de deficiência hídrica severa); quando então foi feita a coleta de dados do experimento.

As plantas do tratamento controle eram irrigadas diariamente, mantendo-se o solo próxima à capacidade de campo. Durante o período experimental foram registradas variáveis relacionadas ao estresse.

3.2.4 Variáveis analisadas

3.2.4.1 Eficiência quântica potencial

As variáveis da fluorescência da clorofila *a* foram determinadas com o auxílio de um fluorômetro portátil de luz modulada (Opti-Sciences, modelo OS1-FL, Hudson, USA), a partir do qual foram obtidas a fluorescência inicial (F_0), a fluorescência máxima (F_m) a Fluorescência variável (F_v) e o rendimento quântico máximo do PSII (F_v/F_m), obtidas após adaptação ao escuro (≈ 20 minutos) com auxílio de presilhas plásticas colocadas no limbo foliar evitando-se a nervura central.

As medições foram realizadas a cada quatro dias, do 1º ao 16º dia após a suspensão da irrigação, totalizando-se cinco determinações. Estas determinações iniciavam-se às 12:00 horas. Este horário foi escolhido por representar o período mais crítico do dia no tocante a temperatura e incidência de radiação solar no qual ocorre, provavelmente, maior dano ao aparato fotossintético refletindo, portanto, o status do aparato fotossintético instantâneo. Em cada determinação eram realizadas duas leituras em cada planta, sempre na porção mediana da terceira folha totalmente expandida a partir do ápice evitando-se a nervura central.

3.2.4.2 Trocas gasosas

Foram realizadas duas curvas diárias (leituras a cada 3 horas, a partir das 7:00h até as 16:00h) de trocas gasosas (taxa de fotossíntese - *A*, transpiração - *E*, condutância estomática - *G_s*, utilizando-se um analisador de gás a infravermelho IRGA (ADC, modelo LCI, Hoddesdon, UK), sendo utilizada a terceira folha totalmente expandida, a partir do ápice. As curvas foram realizadas apenas na espécie craibeira, sendo as curvas realizadas dois e seis dias após a re-irrigação.

3.2.4.3 Potencial hídrico foliar

Dezesseis dias após o início da supressão da irrigação foi determinado o potencial hídrico foliar (Ψ_w) no amanhecer (*predawn*), com o uso da bomba de pressão (Scholander, Soil Moisture, Equipment Corporation, Santa Barbara, USA) utilizando-se a terceira folha (limbo + pecíolo) totalmente expandida, a partir do ápice, de cada planta, sendo a mesma destacada e colocada em saco plástico, devidamente etiquetado, o qual foi acondicionado em

caixa térmica contendo gelo, para minimizar a perda de umidade, sendo imediatamente levada ao laboratório, onde foram efetuadas as leituras.

3.2.4.4 Teores de pigmentos fotossintéticos

Ao final do período experimental, (dezesesseis dias após a imposição do estresse) a terceira e/ou quarta folha totalmente expandida foram utilizadas para a obtenção da estimativa dos teores de clorofilas (*a*, *b* e *total*) e de carotenóides através do método de extração com acetona (Hendry & Grime, 1993). Para tanto, amostras de 20 mg de tecido foliar fresco foram picotadas e agitadas em tubos de ensaio com tampa rosqueável, contendo 10 mL de acetona a 80% (v/v) e protegidos da luz com papel alumínio. Para extração os tubos permaneceram em refrigerador a 8°C por 72 h, sendo em seguida submetidos a agitação constante por 20 segundos. Após este período, foram determinadas suas absorbâncias em espectrofotômetro a 480, 645 e 663 nm. Os teores de pigmentos fotossintéticos foram calculados pelas seguintes fórmulas:

$$\text{clorofila } a = \frac{(12,7 \times A_{663} - 2,69 \times A_{645}) \times V}{MF} \quad (\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ MF})$$

$$\text{clorofila } b = \frac{(22,9 \times A_{645} - 4,68 \times A_{663}) \times V}{MF} \quad (\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ MF})$$

$$\text{clorofila total} = \frac{(8,02 \times A_{663} + 20,2 \times A_{645}) \times V}{MF} \quad (\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ MF})$$

Onde:

A_{480} , A_{645} e A_{663} = representam, respectivamente, as absorbâncias em 480, 645 e 663 nm;

V = volume de acetona a 80% usado na extração; e

MF = peso da matéria fresca da qual foi extraída a clorofila.

3.2.4.5 Determinação dos solutos orgânicos

Após a coleta foram determinados os solutos orgânicos (prolina livre, carboidratos solúveis, N- α -aminossolúveis e proteínas solúveis por ligação ao corante). Para tanto, foi realizada a coleta da terceira e/ou quarta folha totalmente expandida de cada planta. Foram utilizadas luvas cirúrgicas e tesoura devidamente esterilizada. As folhas foram então cortadas sem a nervura central e colocadas em papéis alumínio, devidamente identificados, para em

seguida ser congelada em nitrogênio líquido e armazenadas em congelador (a -80 °C). Posteriormente o material vegetal foi liofilizado e em seguida procederam-se as análises bioquímicas, conforme descritas abaixo.

3.2.4.5.1 Prolina livre

O extrato para determinação de prolina livre foi obtido através da maceração de 100 mg de folhas liofilizadas junto com 8 mL de ácido sulfossalicílico a 3%, sendo a mistura deixada em repouso, com agitações periódicas (a cada 15 minutos), por uma hora, à temperatura ambiente de 25°C. Após este período o homogenato foi centrifugado a 3000 x g por 5 min, à temperatura ambiente, sendo o precipitado descartado e o sobrenadante (extrato) usado para a determinação de prolina livre pelo método descrito por Bates et al. (1973), através da reação com a solução de ninhidrina ácida (1,25 g de ninhidrina, em 30 mL de ácido acético glacial, e 20 mL de ácido fosfórico 6M).

Para a reação, foram usados tubos de ensaios com tampas rosqueadas nos quais foram adicionados 40µL de cada extrato e 960 µL de água totalizando 1 mL, 2 mL de ninhidrina ácida e 2 mL de ácido acético glacial, deixando-se a mistura em banho maria (100°C) por uma hora para desenvolvimento da cor. Em seguida, os tubos de ensaio foram colocados em banho de gelo por 10 minutos, para cessar a reação.

A extração do cromóforo foi feita pela adição de 2 mL de tolueno à mistura, seguida de agitação vigorosa por 20 segundos. Após repouso e formação da mistura bifásica, a fase superior foi retirada com auxílio de pipeta de Pasteur, para quantificação dos níveis de prolina livre, através de medidas de absorvâncias em 520 nm, sendo o tolueno utilizado como branco. Utilizou-se como padrão a prolina pura e os resultados foram expressos em µmol g⁻¹ MS. Cada repetição (amostra) foi representada por um extrato simples dosado em triplicata.

3.2.4.5.2 Carboidratos solúveis

Os carboidratos solúveis foram determinados a partir de amostra de 20 mg do tecido foliar liofilizado, extraídos com 4mL de água destilada. A mistura permaneceu em repouso durante uma hora, sendo submetida a agitações periódicas (a cada 15 minutos), e posterior centrifugação a 3000 x g por 5 min, à temperatura ambiente. O precipitado foi descartado e o

sobrenadante (extrato) usado para determinação dos carboidratos solúveis pelo método descrito por Dubois et al. (1956).

Em tubos de ensaios contendo 0,1 mL do extrato, foram adicionados 1 mL de fenol a 5% e 5 mL de ácido sulfúrico concentrado. A solução sofreu vigorosa agitação, seguida de 20 min de repouso para o resfriamento da mesma. Os carboidratos solúveis foram quantificados pelas leituras da absorbância em 490 nm, tendo como branco a mistura de 1 mL de água destilada, 1 mL de fenol a 5% e 5 mL de ácido sulfúrico concentrado. Utilizou-se como padrão a D(+) glicose anidra e os resultados foram expressos em $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS. Cada repetição foi representada por um extrato simples dosado em triplicata.

3.2.4.5.3 N- α -aminossolúvel e proteínas solúveis

Para determinação dos teores de N- α -aminossolúveis e proteínas solúveis, amostras de 20 mg, respectivamente do tecido foliar liofilizado foram homogeneizadas, em banho de gelo, com 2 mL de tampão Na-K-fostato 0,01 M, pH 7,6, contendo NaCl 0,1 M, e mantidas durante 1 hora à temperatura de 4°C, com agitações periódicas (a cada 15 minutos). Decorrido este período, os homogenatos foram centrifugados a 3000 x g por 5 min, à temperatura de 2°C, sendo os precipitados descartados e os sobrenadantes usados para as determinações dos osmorreguladores anteriormente citados.

Para determinação do N- α -aminossolúvel, tomou-se uma fração de 0,5 mL do sobrenadante de cada amostra, separadamente, e adicionou-se ainda uma alíquota de 0,5 mL de ácido tricloroacético (TCA) a 10% e, após 1 hora de repouso, as amostra foram centrifugadas 12000 x g por 5 min, à temperatura 4°C, sendo o precipitado descartado e o sobrenadante (extrato) usado para determinação de N- α -aminossolúvel. Em tubos de ensaio com tampa rosqueada, foram adicionados 0,25 mL do extrato e 0,25 mL de água; 0,5 mL do tampão de extração; 0,25 mL de tampão citrato de sódio a 0,2 M e pH 5; 0,1 mL de ninhidrina a 5%, em metilcelosolve a 100%; e 0,5 mL de KCN a 0,2 Mm em metilcelosolve a 100%. Em seguida, os tubos foram deixados em banho-maria a 100°C, por 20 min.

Após resfriamento dos tubos em banho de gelo, por aproximadamente 10 minutos, foram adicionados aos mesmos 3,65 mL de etanol a 60% para fixar a cor desenvolvida (violeta). Os teores de N- α -aminossolúveis foram determinados pelas leituras em absorbância em 570 nm, e como branco utilizou-se a mistura de 1 mL do tampão de extração (Na-K-fostato 0,01 M, pH 7,6, contendo NaCl 0,1 M) com 1,7 do reagente de ninhidrina (Cocking &

Yemm, 1954). Como padrão foi utilizado a glicina e os resultados foram expressos em $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS. Cada repetição (amostra) foi representada por um extrato simples dosado em triplicata.

Para determinação dos teores de proteínas solúveis foi usada uma fração de 0,05 mL do sobrenadante descrito anteriormente, não tratado com ácido tricloroacético a 10%, a qual foi adicionada 0,95 mL do reagente coomassie blue (Braford, 1976). Este reagente foi preparado dissolvendo-se 100 mg de coomassie brilliant blue G250 (Sigma Chemical Company) em 50 mL de álcool etílico a 95%, seguindo-se da adição de 100 mL de ácido fosfórico a 85%. A solução teve seu volume final completado para 1000 mL com água destilada.

As proteínas solúveis foram, determinadas pelas medidas de absorvância em 595 nm, utilizando-se como branco a mistura de 0,1 mL do tampão de extração (Na-K-fosfato 0,01 M, pH 7,6, contendo NaCl a 0,1 M) e 1 mL do reagente coomassie. Como padrão foi utilizado a albumina sérica bovina (BSA, Sigma Chemical Company) e os resultados foram expressos em MG g⁻¹ MS. Cada repetição foi representada por um extrato simples dosado em triplicata.

3.2.4.6 Análise de crescimento

Do 1º ao 16º dia de imposição dos tratamentos foram determinados, a cada quatro dias, o comprimento (altura) e o diâmetro do coleto das plantas, com o auxílio de trena métrica e paquímetro digital, respectivamente, e efetuada a contagem de folhas aderidas à planta.

Ao final do experimento, as plantas foram cortadas rente ao solo, tiveram suas partes separadas (folhas e caule). As folhas foram passadas em medidor de área foliar de bancada, modelo LI- 3100 Area Meter (LI-COR, inc., Lincoln, Nebraska, USA), para a determinação da área foliar. As raízes foram removidas do substrato através de lavagem com jato suave de água, sobre peneira. Em seguida o material vegetal (folhas, caule e raízes) foi submetido à secagem em estufa de circulação forçada de ar, a 70⁰C, até a massa permanecer constante, para determinação da massa seca.

3.2.4.7 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e teste de comparação de médias, conforme recomendações de Ferreira (2000).

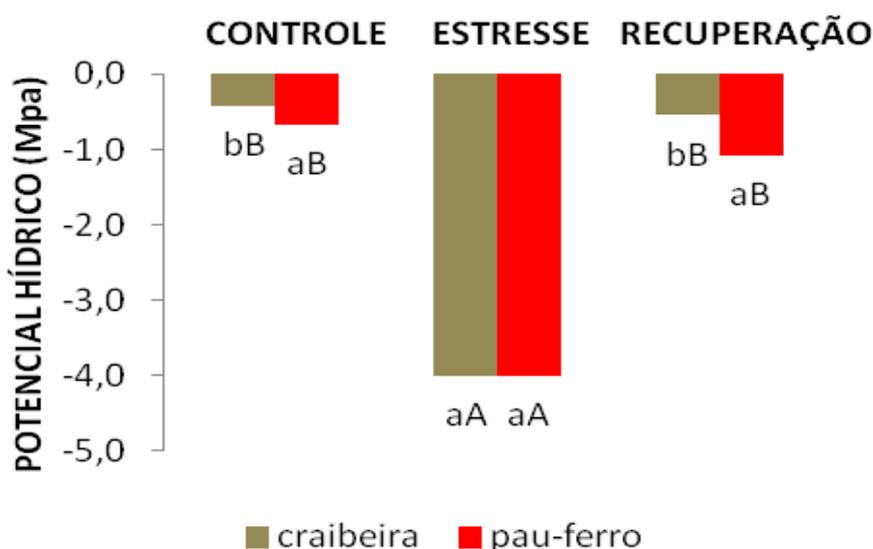
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Potencial hídrico foliar

O estresse hídrico afetou o potencial hídrico foliar tanto em plantas de craibeira quanto em plantas de pau-ferro. Nos tratamentos controle e recuperação os potenciais hídricos da espécie craibeira foram maiores do que os da espécie pau-ferro, sendo, esta diferença estatisticamente significativa. Sob estresse as espécies não apresentaram diferença entre si. Apesar de terem reduzido seus potenciais hídricos foliares, estas espécies apresentaram recuperação ao nível do controle nesta variável quando foram re-irrigadas, sugerindo-se então que as plantas não sofreram danos irreversíveis com o estresse imposto, como mostra a Figura 1.

FIGURA 1 Potencial hídrico no pré-amanhecer de mudas de *Tabebuia aurea* (craibeira) e *Caesalpinia ferrea* (pau-ferro), submetidas à deficiência hídrica. (Controle – irrigação diária, recuperação – suspensão da irrigação seguida de reirrigação e estresse – suspensão da irrigação até a coleta do experimento). Letras minúsculas comparam as espécies no mesmo tratamento e letras maiúsculas comparam cada espécie em tratamentos diferentes. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: autor, 2011.



As reduções no potencial hídrico das plantas sob estresse chegaram a quase dez vezes quando comparadas aos das plantas irrigadas diariamente. Estes dados estão de acordo com os encontrados por Gonçalves et al. (2009) que estudando fotossíntese e potencial hídrico foliar

de plantas jovens de andiroba submetidas à deficiência hídrica e à reidratação constataram que após 21 dias de supressão da irrigação o valor decresceu para -3,4 MPa, ao passo que, nas plantas irrigadas o valor observado foi de -0,7 MPa, no mesmo período, o que representa redução do ψ_w de mais de quatro vezes, quando comparado aos das plantas não irrigadas.

Os baixos valores de potencial hídrico observados nas plantas sob estresse são semelhantes aos encontrados por Nogueira et al. (2001) que estudando alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleira submetidas a déficit de água verificaram que os valores mínimos de potencial hídrico nas plantas sob severo estresse hídrico variaram de -4,5 a -5,7 MPa.

Silva et al. (2003) verificaram que o estresse hídrico reduziu o potencial da água da folha em sabiá (*Mimosa caesalpinifolia*), tamboril (*Entrolabium maximum*) e craibeira (*Tabebuia aurea*)

Trovão et al. (2007) estudando variações sazonais de aspectos fisiológicos de várias espécies da caatinga, entre elas a *Caesalpinia ferrea*, verificaram que o potencial hídrico dessas espécies vegetais é bastante sensível à variação da quantidade de água no solo; apresentando um perceptível aumento do potencial hídrico caulinar medido do período seco para o chuvoso, demonstrando a sensibilidade à variação do teor de água no solo resultante, evidentemente, das taxas de precipitação pluviométricas nos dois períodos.

3.3.2 Eficiência fotoquímica potencial

A fotoinibição, na maioria das plantas, pode ser observada a partir da redução da eficiência fotoquímica, sendo esta estimada pela redução do valor de Fv/Fm.

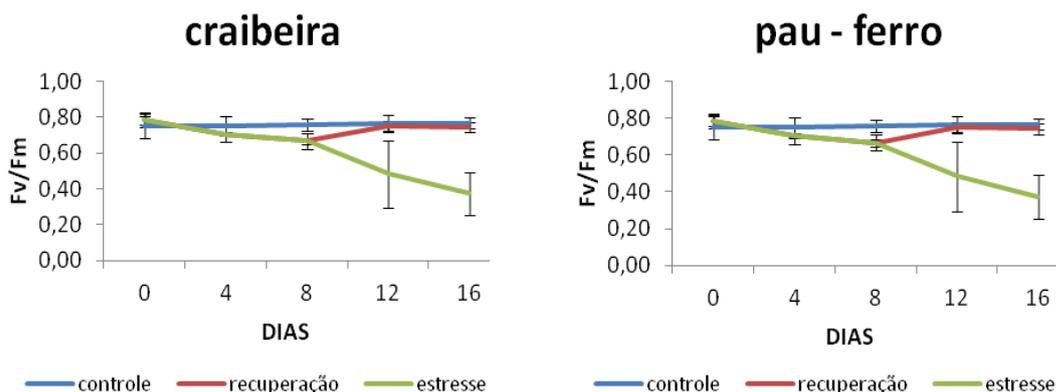
De maneira geral, nota-se que a deficiência hídrica do solo influenciou a Fv/Fm das duas espécies, pois como se verifica na Figura 2, houve manutenção da eficiência fotoquímica nas plantas do tratamento controle, reduções com subseqüentes recuperações nas do tratamento recuperação (re-irrigado) e redução constante nas do tratamento estresse, para as duas espécies estudadas, indicando que houve fotoinibição à medida que o estresse hídrico aumentou.

Apesar de a deficiência hídrica severa ter influenciado negativamente a eficiência fotoquímica, as plantas que foram re-irrigadas apresentaram recuperação na relação Fv/Fm, indicando que não houve danos ao aparato fotossintético das mesmas, ocorrendo apenas fotoinibição dinâmica. Contudo o efeito cumulativo desta fotoinibição leva a depressões

diárias na taxa fotossintética, o que pode acarretar em redução da biomassa ao final da estação de crescimento.

FIGURA 2 Rendimento quântico potencial do FSII (Fv/Fm) em folhas de *Tabebuia aurea* (craibeira) e *Caesalpinia ferrea* (pau-ferro), submetidas à deficiência hídrica. (Controle – irrigação diária, recuperação – suspensão da irrigação seguida de reirrigação e estresse – suspensão da irrigação até a coleta do experimento). As recuperações (reirrigações) iniciam-se aos 10 dias. As barras indicam o desvio padrão da média.

Fonte: Autor, 2011.



Lemos Filho (2000) aponta para um aumento da probabilidade da dissipação dos fótons absorvidos pelo complexo coletor na forma de calor, resultando em regulação inibitória da atividade fotossintética (“down-regulation of photosynthesis”), devido ao estresse.

Os resultados encontrados assemelham-se aos encontrados por Lemos Filho e Isaias (2004) que verificaram fotoinibição dinâmica em folhas de *Dalbergia miscolobium* quando compararam a fluorescência da clorofila *a* entre folhas e frutos desta espécie do cerrado.

3.3.3 Trocas gasosas

3.3.3.1 Condutância estomática

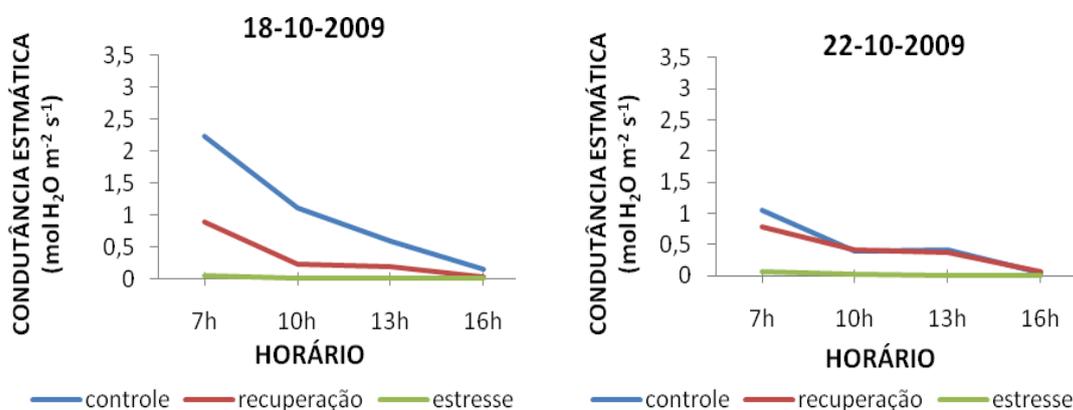
O comportamento estomático tem sido usado como um indicador das condições hídricas da planta, pela medida da condutância (ou resistência) foliar à difusão de vapor (Angelocci, 2002).

A condutância estomática em plantas de craibeira foi reduzida ao longo do dia em todos os tratamentos, nas duas épocas de avaliação (Figura 3), indicando que esta espécie apresenta maior abertura estomática no período da manhã e não recupera a abertura dos estômatos no período da tarde. Comparando-se as condições hídricas impostas, observou-se que as plantas controle apresentaram os mais altos valores de condutância estomática no

primeiro dia de avaliação. As plantas que sofreram supressão da irrigação até o final do experimento (estresse) apresentaram condutância estomática nula em todos os horários de avaliação, indicando fechamento completo dos estômatos.

FIGURA 3 Condutância estomática de *Tabebuia aurea* (craibeira) submetida à deficiência hídrica. (Controle – irrigação diária, recuperação – suspensão da irrigação seguido de reirrigação e estresse – suspensão da irrigação até a coleta do experimento). As curvas dos dias 18-10-2009 e 22-10-2009 representam as medidas realizadas dois e seis dias após a reirrigação, respectivamente.

Fonte: Autor, 2011.



O fechamento estomático em plantas sob estresse hídrico pode ser considerado uma resposta contra a desidratação imediata. Nogueira et al. (2001) verificaram acréscimos na resistência estomática em plantas jovens de aceroleira aos 15 dias de suspensão da rega.

Calbo et al. (1997) avaliando fotossíntese, condutância estomática e ajustamento osmótico em plantas de buriti (*Mauritia flexuosa*), submetidas a estresse hídrico, verificaram que houve, do 5º ao 16º dia, ligeira diminuição da condutância estomática e que esta acentuou-se a partir daí, chegando a atingir valores próximos de zero no final do período experimental de 42 dias de suspensão da irrigação.

3.3.3.2 Transpiração

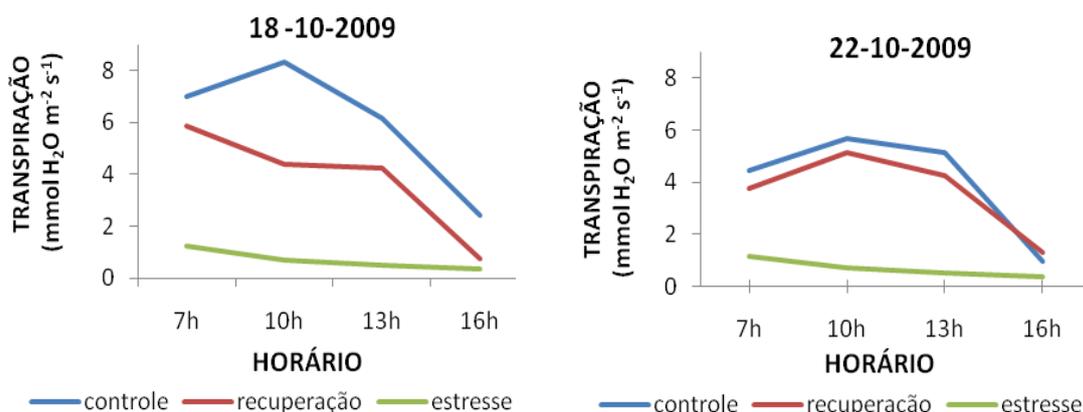
Diversos fatores externos influenciam a transpiração à medida em que alteram a diferença de pressão de vapor entre a superfície da planta e o ar que a envolve, portanto, a transpiração intensifica-se com a diminuição da umidade relativa e com o aumento da temperatura do ar (Larcher, 2000).

Neste experimento, as plantas controle apresentaram incremento na transpiração da primeira para a segunda leitura, seguida de redução nos demais horários, na primeira avaliação (imediatamente antes da reirrigação). Na segunda avaliação (um dia antes do fim da coleta do experimento), os tratamentos controle e recuperação apresentaram comportamento semelhante onde também foi observado um rápido acréscimo na taxa de transpiração entre as 7:00 e 10:00 h, a qual manteve-se estável até as 13:00 h e em seguida decresceu (Figura 4).

Como observado anteriormente (Figura 3), a condutância estomática reduziu mais do que a taxa transpiratória ao longo do dia e com o estresse hídrico, indicando que houve significativa transpiração via cuticular. Provavelmente devido aos altos valores de déficit de pressão de vapor (DPV) na casa de vegetação, onde são observadas altas temperaturas.

FIGURA 4 Transpiração de *Tabebuia aurea* (craibeira) submetida à deficiência hídrica. (Controle – irrigação diária, recuperação – suspensão da irrigação seguida de reirrigação e estresse – suspensão da irrigação até a coleta do experimento). As curvas dos dias 18-10-2009 e 22-10-2009 representam as medidas realizadas dois e seis dias após a reirrigação, respectivamente.

Fonte: Autor, 2011.



Diferente do que ocorreu no presente trabalho, alguns autores verificaram que o aumento do déficit de pressão de vapor, quando a planta se encontra sob estresse hídrico, reduz o fluxo de vapor d'água do interior da câmara sub-estomática para a atmosfera, causando depressão na transpiração (Gucci *et al.* 1996; Thomas *et al.* 2000) apud Nogueira *et al.* (2001).

Oliveira *et al.* (2002) observaram que as diferenças significativas da transpiração entre plantas de pupunheira (*Bractis gasipaes*) sob estresse e irrigadas, ocorreram a partir do quarto dia. Estes mesmos autores verificaram ainda que o efeito da deficiência hídrica causou redução sobre a condutância estomática e a taxa de transpiração, sendo essas reduções acompanhadas pela queda do potencial da água na folha.

Observa-se ainda pelas Figuras 3 e 4 que mesmo as plantas controle, ou seja, sem restrição hídrica, apresentaram decréscimo nas variáveis de trocas gasosas na segunda avaliação, indicando uma possível limitação do tamanho do vaso, tendo em vista que as plantas encontravam-se bem desenvolvidas quando da realização destas leituras. Em relação às variáveis climatológicas, não foram encontradas diferenças nas condições de tempo que justificassem tal diferença entre as avaliações.

A transpiração é um processo indispensável, pois a estrutura foliar favorável à absorção do CO₂ pela fotossíntese é também favorável à perda de água (Pimentel 2004).

3.3.3.3 Fotossíntese

A taxa fotossintética (Figura 5) apresentou comportamento semelhante ao da condutância estomática onde se verificou que a fotossíntese na espécie craibeira foi mais elevada nas primeiras horas da manhã e reduzida ao longo do dia, no controle e sob recuperação, enquanto que foi aproximadamente nula nas plantas sob estresse, em ambos os dias de avaliação. O comportamento semelhante entre a taxa fotossintética e a condutância estomática, nas condições avaliadas, indica que o suprimento de CO₂ é o principal fator limitante para a fotossíntese nesta espécie.

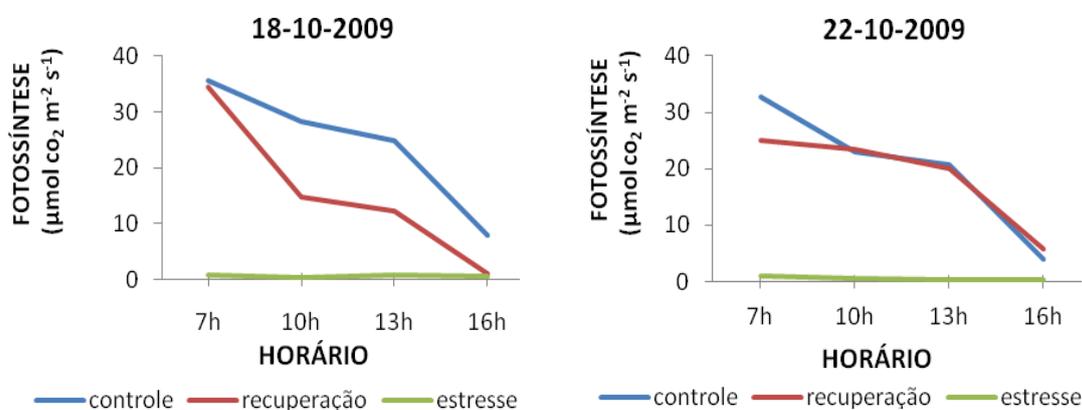
Observou-se também que após a reirrigação (curva de 22/10/2009) os tratamentos controle e recuperação apresentaram taxas fotossintéticas semelhantes a partir das 10:00 h, indicando que as plantas reirrigadas apresentaram recuperação do seu status hídrico e, conseqüentemente, da fotossíntese (Figura 5).

De modo semelhante, Calbo et al. (1997) verificaram reduções na fotossíntese de plantas de buriti submetidas a estresse hídrico. Também Oliveira et al. (2002), verificaram haver decréscimo no potencial de água da folha e nas trocas gasosas quando a irrigação foi interrompida por mais de seis dias, em plantas de pupunheira. Valores mínimos foram obtidos no décimo dia, com redução de 92% da fotossíntese líquida, 87% da condutância estomática e 70% da transpiração

Os resultados encontrados quando houve a reirrigação (curva de 22/10/2009) estão de acordo com os encontrados por Vellini et al. (2008), os quais estudaram clones de eucalipto, sob diferentes regimes hídricos e verificaram que após a irrigação, houve uma tendência de todos os clones, nos quatros regimes hídricos, apresentarem taxa de fotossíntese semelhante.

FIGURA 5 Fotossíntese de *Tabebuia aurea* (craibeira) submetida à deficiência hídrica. (Controle – irrigação diária, recuperação – suspensão da irrigação seguida de reirrigação e estresse – suspensão da irrigação até a coleta do experimento. As curvas dos dias 18-10-2009 e 22-10-2009 representam as medidas realizadas dois e seis dias após a reirrigação, respectivamente.

Fonte: Autor, 2011.



O estresse hídrico mais severo conduz à inibição da divisão celular, à inibição da síntese de proteínas e de parede celular, ao acúmulo de solutos, ao fechamento estomático e à inibição da fotossíntese (Taiz & Zeiger, 2006).

3.3.4 Teores de pigmentos fotossintéticos

Observa-se que sob déficit de água no solo os teores das clorofilas *a*, *b* e total não variaram para craibeira e tiveram seus valores reduzidos em pau-ferro (Tabela 1). A relação clorofila *a*/clorofila *b* decresceu em ambas as espécies, sendo a redução em craibeira 22% superior ao decréscimo em pau-ferro. O teor de carotenóides não variou em função da deficiência hídrica.

Aparentemente, as plantas de craibeira apresentaram maior estabilidade das clorofilas *a*, *b* e total que as de pau-ferro tendo em vista que, na primeira espécie, tais teores não variaram com o estresse aplicado, enquanto na segunda espécie houve reduções de acima de 43% em chl *a*, 29% em chl *b* e 39% em chl total. Contudo, a redução no conteúdo de água das folhas, nas plantas submetidas à deficiência hídrica (estresse) pode ter contribuído para concentrar as moléculas de clorofila, impossibilitando detectar a possível degradação das mesmas. As reduções das clorofilas *a*, *b* e total verificadas em pau-ferro podem ter ocorrido pelo aumento da atividade da clorofilase, pois a degradação das clorofilas é uma das consequências do estresse hídrico o que acarreta em fotoinibição contínua.

Embora os teores de carotenóides não tenham variado significativamente com o estresse aplicado, em ambas as espécies, foram observados valores mais elevados nas plantas estressadas de craibeira e menores em pau-ferro, o que levou à diferença estatística entre as duas espécies neste tratamento.

Comparando-se os teores de clorofila total e de carotenóides nas espécies, é possível sugerir que a manutenção nos teores de carotenóides em craibeira contribuiu para a estabilidade das clorofilas nesta espécie. O inverso ocorreu em pau-ferro, onde a redução nos teores de carotenóides pode ter contribuído para a fotooxidação das clorofilas.

Tabela 1 Teores de Clorofila a (Chl a), clorofila b (Chl b) clorofila total (Chl total), relação clorofila a/b (Chl a/Chl b) e carotenóides de mudas de *Tabebuia aurea* (craibeira) e de *Caesalpinia ferrea* (pau-ferro) submetidas à deficiência hídrica.

| PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS | | | | | | |
|---------------------------|-------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|-------------|---|
| Espécies | Tratamentos | Chl a (mg g ⁻¹ MF) | Chl b (mg g ⁻¹ MF) | Chl total (mg g ⁻¹ MF) | Chl a/Chl b | Carotenóides (μmol g ⁻¹ MF) |
| Craibeira | controle | 3,61 bA | 1,05 bA | 4,67 Ba | 3,42 aA | 1,40 aA |
| | recuperação | 3,43 bA | 1,06 bA | 4,49 bA | 3,22 aA | 1,31 aA |
| | estresse | 2,76 aA | 1,31 aA | 4,08 aA | 2,03 aB | 1,88 aA |
| pau-ferro | controle | 5,96 aA | 2,19 aA | 8,16 aA | 2,70 bA | 1,61 aA |
| | recuperação | 5,25 aA | 1,98 aAB | 7,23 aA | 2,73 bA | 1,33 aA |
| | estresse | 3,38 aB | 1,54 aB | 4,92 aB | 2,19 aB | 1,08 bA |
| C.V.% | | 24,49 | 24,46 | 24,26 | 9,38 | 26,8 |

(Controle – irrigação diária, recuperação – suspensão da irrigação seguida de reirrigação e estresse – suspensão da irrigação até a coleta do experimento). Letras minúsculas na coluna comparam as espécies no mesmo tratamento e letras maiúsculas na coluna comparam cada espécie em tratamentos diferentes. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Freitas et al. (2007) verificaram que independente da condição hídrica, os teores de clorofila não apresentaram diferenças, entretanto, os teores de clorofila *a* foram maiores que os de clorofila *b* em folhas de açazeiro (*Euterpe oleracea*) submetidos ao déficit hídrico, assim como os encontrados neste experimento, nas duas espécies estudadas.

3.3.5 Efeitos do estresse hídrico no acúmulo de solutos orgânicos

Observa-se que as espécies craibeira e pau-ferro apresentaram comportamento diferente frente ao estresse aplicado para as variáveis carboidratos e proteínas solúveis (Tabela 2). Em craibeira, os teores de carboidratos e proteínas não variaram enquanto em pau-ferro houve decréscimo dos níveis de carboidratos e de proteínas com o aumento do estresse (33,7% e 43,4% para carboidratos e proteínas, respectivamente). Os teores de N-α-

aminossolúvel e prolina livre aumentaram por efeito do estresse hídrico, para ambas as espécies.

Tabela 2 Teores de solutos orgânicos de mudas de *Tabebuia aurea* (craibeira) e de *Caesalpinia ferrea* (pau-ferro) submetidas à deficiência hídrica.

| | | SOLUTOS ORGÂNICOS | | | |
|-----------|-------------|--|---|---|--|
| Espécies | Tratamentos | Carboidratos solúveis ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MS) | Proteínas solúveis (mg g^{-1} MS) | N- α -aminossolúvel ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MS) | Prolina livre ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MS) |
| Craibeira | Controle | 84,23 aA | 16,49 bA | 11,06 bB | 0,76 aB |
| | recuperação | 82,68 aA | 15,02 aA | 29,84 bB | 1,71 aB |
| | Estresse | 79,14 aA | 20,84 aA | 172,55 bA | 15,70 aA |
| pau-ferro | Controle | 73,79 bA | 43,05 aA | 46,01 aB | 1,79 aB |
| | recuperação | 67,45 bA | 24,80 aB | 63,49 aB | 2,10 aB |
| | estresse | 48,89 bB | 24,34 aB | 219,08 aA | 12,73 bA |
| C.V.% | | 10,23 | 46,91 | 22,3 | 32,39 |

(Controle – irrigação diária, recuperação – suspensão da irrigação seguida de reirrigação e estresse – suspensão da irrigação até a coleta do experimento). Letras minúsculas na coluna comparam as espécies no mesmo tratamento e letras maiúsculas na coluna comparam cada espécie em tratamentos diferentes. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O decréscimo no teor de carboidratos solúveis em pau-ferro sugere que a taxa fotossintética desta espécie foi mais afetada que em craibeira quando a deficiência hídrica foi acentuando-se. Isto ocorre, pois com o efeito do estresse hídrico o amido é degradado nos tecidos que o acumulam, sendo acompanhado pelo aumento da quantidade de açúcares solúveis que são transportados dos lugares de síntese para os de consumo.

A hidrólise de proteínas solúveis pode ter contribuído para o aumento de prolina livre em pau-ferro (incremento de mais de 600%). Esse comportamento sugere a existência de um mecanismo de tolerância à seca, no qual a planta reduz seu potencial osmótico pelo aumento deste osmólito compatível, reduzindo desta forma seu potencial hídrico, favorecendo a absorção de água pela planta.

Os teores de prolina encontrados neste experimento são condizentes com os encontrados por Machado (2004). Onde este observou aumento nos teores deste aminoácido em folhas de plantas jovens de *Hedyosmum brasiliense* sob condições de déficit hídrico.

Rodrigues et al. (2010) estudando a tolerância de plantas jovens de jaqueira (*Artocarpus integrifolia*) e pinheira (*Annona squamosa*) sob condições de déficit hídrico verificaram aumento nos teores de aminoácidos e proteínas nas folhas destas espécies.

Carvalho (2005) estudando as respostas de plantas de *Schizolobium amazonicum* e *Schizolobium parahyba* à deficiência hídrica observou que o estresse provocou acúmulo de aminoácidos livres, prolina e açúcares solúveis totais em ambas as espécies.

3.3.6 Efeito do déficit hídrico sobre o crescimento e acúmulo de matéria seca

3.3.6.1 Altura das plantas

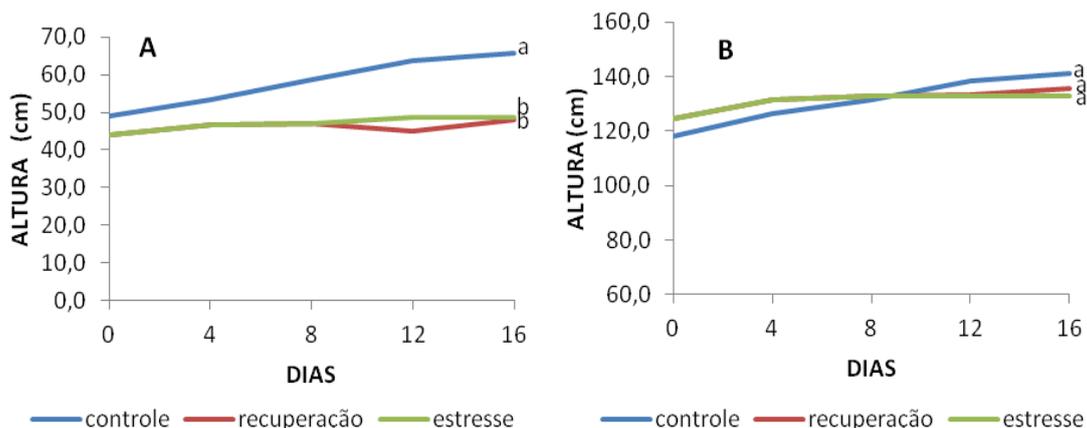
O crescimento do caule tem sido menos estudado do que a expansão foliar, mas provavelmente ele é afetado pelas mesmas forças que limitam o crescimento das folhas durante o estresse (Taiz & Zeiger, 2006).

Verificou-se que ao final do experimento a altura de plantas diferiu entre os tratamentos em craibeira, sendo que as plantas do tratamento controle apresentaram incremento em altura acima de 25% quando comparadas as dos tratamentos recuperação e estresse (Figura 6). As plantas de pau-ferro não apresentaram diferença entre os tratamentos que pode ter sido causado pelo curto período de estresse a que as plantas foram submetidas. Contudo, observou-se pela curva de crescimento que as plantas dos tratamentos estresse e recuperação tiveram seu crescimento estagnado, enquanto as plantas do tratamento controle mantiveram seu crescimento durante o período estudado.

Vale lembrar que ambas as espécies apresentaram um início de recuperação quando foram aplicados os tratamentos de reirrigação.

FIGURA 6 Altura de plantas de *Tabebuia aurea* (craibeira) A e *Caesalpinia ferrea* (pau-ferro) B, submetidas à deficiência hídrica. (Controle – irrigação diária, recuperação – suspensão da irrigação seguida de reirrigação e estresse – suspensão da irrigação até a coleta do experimento). As recuperações (reirrigações) iniciaram-se aos 10 dias. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Autor, 2011.

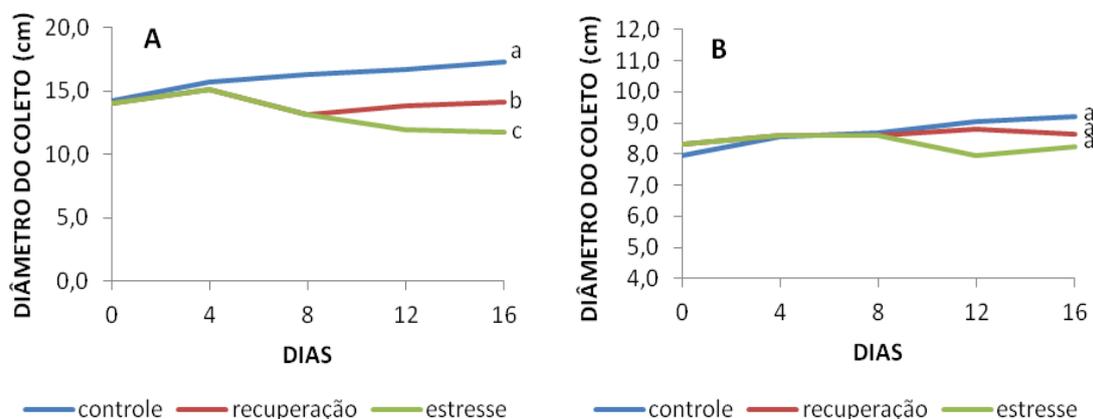


Lopes et al. (2007) estudando a qualidade de mudas de eucalipto produzidas sob diferentes lâminas de irrigação e dois tipos de substratos verificaram que o incremento em altura foi proporcional ao aumento da lâmina d'água. Figueirôa et al. (2004) estudando o crescimento de plantas jovens de *Myracrodruon urundeuva* Allemão sob diferentes regimes hídricos observaram que o déficit hídrico reduziu a altura das plantas sob 25% da capacidade de campo aos 30 dias. Cabral et al. (2004), notaram que o estresse hídrico reduziu o crescimento da parte aérea das plantas de *Tabebuia aurea* com 25% capacidade de campo, até os 120 dias de estudo.

3.3.6.2 Diâmetro do coleto

Semelhantemente ao que ocorreu com o crescimento em altura, não houve redução no diâmetro do coleto das mudas de pau-ferro, enquanto que o estresse hídrico promoveu redução nesta variável em craibeira (Figura 7).

FIGURA 7. Diâmetro do coleto de *Tabebuia aurea* (craibeira) A e *Caesalpinia ferrea* (pau-ferro) B, submetidas à deficiência hídrica. (Controle – irrigação diária, recuperação – suspensão da irrigação seguida de reirrigação e estresse – suspensão da irrigação até a coleta do experimento). As recuperações (reirrigações) iniciaram-se aos 10 dias. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: Autor, 2011.



Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Maia (2005) estudando o comportamento vegetativo de três espécies florestais sob estresse hídrico que observou correlação positiva entre o crescimento em diâmetro do caule das espécies e o crescimento em altura.

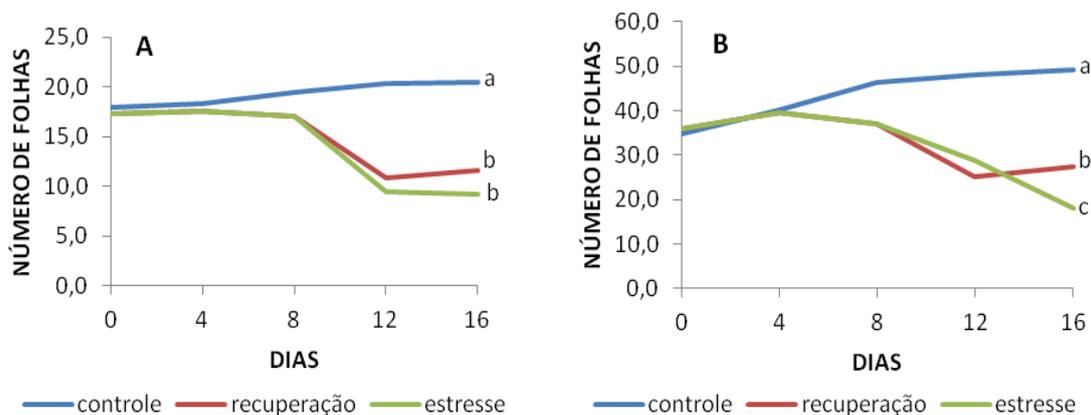
Segundo Vellini et al. (2008) o crescimento em altura de plantas de eucalipto foi proporcionalmente menos afetado do que o crescimento em diâmetro, quando a disponibilidade hídrica diminuiu.

3.3.6.3 Número de folhas

As plantas sob o tratamento controle apresentaram maior número de folhas e as sob estresse os menores, já as plantas reirrigadas apresentaram retomada da emissão de folhas após o início das regas, em ambas as espécies estudadas (figura 8). Estas drásticas reduções observadas no número de folhas ocorreram porque com o agravamento do estresse as plantas sofreram aceleração da senescência e abscisão foliares. Isto pode ter ocorrido devido a um desbalanceamento hormonal, provocado pelo déficit hídrico, envolvendo aumento no teor de etileno e declínio de auxina tornando a zona de abscisão sensível ao etileno. Outra possibilidade é a de que o secamento do solo impossibilitou o fornecimento de nitrogênio suficiente para suprir as necessidades de crescimento da cultura e o nitrogênio do interior da planta é retranslocado das folhas mais velhas para os pontos de crescimento. Contudo, reduções no número de folhas podem ser consideradas como um mecanismo de resposta de plantas ao estresse hídrico.

FIGURA 8 Número de folhas do coleto de *Tabebuia aurea* (craibeira) A e *Caesalpinia ferrea* (pau-ferro) B, submetidas à deficiência hídrica. (Controle – irrigação diária, recuperação – suspensão da irrigação seguido de reirrigação e estresse – suspensão da irrigação até a coleta do experimento). As recuperações (reirrigações) iniciaram-se aos 10 dias. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Autor, 2011.



O processo mais afetado pelo déficit hídrico é o crescimento celular (Taiz e Zeiger, 2006). Segundo Shultz & Matthews (1993) apud Santos & Carlesso (1998), a sensibilidade do desenvolvimento foliar ao déficit hídrico pode mudar durante o dia, ou nas diferentes estações do ano, porém, de modo geral, o entendimento dos mecanismos utilizados pela planta é ainda limitado.

3.3.6.4 Acúmulo de matéria seca

Com o aumento da deficiência hídrica a massa seca de raízes foi reduzida tanto em craibeira quanto em pau-ferro (Tabela 3). Estas reduções foram da ordem de 22,35% e 16,77% para craibeira e pau-ferro, respectivamente. Observou-se também redução na massa seca da parte aérea em ambas as espécies analisadas (40,49% e 52,22% para craibeira e pau-ferro, respectivamente), aumentando com isso a relação raiz/parte aérea das espécies estudadas (acima de 30% e 70% para craibeira e pau-ferro, respectivamente).

A menor redução na massa seca de raízes quando comparada com a redução na massa seca da parte aérea pode ser explicada porque enquanto as folhas são negativamente afetadas pelo déficit hídrico o sistema radicular é estimulado a explorar zonas mais úmidas do solo aumentando sua massa. Além disso, um ligeiro ressecamento do solo, mesmo que não afete as relações hídricas da parte aérea, causa um aumento na concentração de ácido abscísico (ABA) no xilema, provavelmente produzido na coifa das raízes, levando ao fechamento estomático e à diminuição da expansão celular.

Tabela 3 Massa seca da parte aérea, raiz, total, relação raiz/parte aérea e área foliar de mudas de *Tabebuia aurea* (craibeira) e *Caesalpinia ferrea* (pau-ferro) submetidas à deficiência hídrica.

| Espécies | Tratamentos | MASSA SECA (g) | | | RAIZ/P. AÉREA | ÁREA FOLIAR (cm ²) |
|-----------|-------------|----------------|-----------|----------|------------------|-----------------------------------|
| | | PARTE AÉREA | RAÍZ | TOTAL | | |
| Craibeira | controle | 37,07 aA | 17,18 aA | 54,25 aA | 0,46 aA | 2016,62 bA |
| | recuperação | 20,08 bB | 12,34 aB | 32,43 bB | 0,61 aA | 973,53 bB |
| | estresse | 22,06 aB | 13,34 aAB | 35,40 aB | 0,60 bA | 1083,41 aC |
| pau-ferro | controle | 39,56 aA | 17,71 aA | 57,27 aA | 0,45 aB | 2825,96 aA |
| | recuperação | 23,86 aB | 13,39 aB | 37,26 aB | 0,56 aB | 1526,05 aB |
| | estresse | 18,90 aC | 14,74 aAB | 33,64 aB | 0,78 aA | 816,41 aC |
| C.V.% | | 9,5 | 16,54 | 7,57 | 20,46 | 21,75 |

(Controle – irrigação diária, recuperação – suspensão da irrigação seguido de reirrigação e estresse – suspensão da irrigação até a coleta do experimento). Letras minúsculas na coluna comparam as espécies no mesmo tratamento e letras maiúsculas na coluna comparam cada espécie em tratamentos diferentes. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Estes resultados estão de acordo com os resultados encontrados por Pinto et al. (2008) estudando crescimento, distribuição do sistema radicular em amendoim, gergelim e mamona a ciclos de deficiência hídrica que verificaram que a matéria seca da parte aérea, sistema radicular e total foram reduzidas nas três espécies em resposta à deficiência hídrica. A relação raiz/parte aérea aumentou em resposta ao déficit hídrico nas culturas do amendoim e do gergelim. Figueirôa et al. (2004) verificaram que houve redução significativa na área foliar, produção da massa seca sob o regime hídrico de 25% aos 30 e 60 dias, quando comparados a

50 e 75% da capacidade de campo em plantas jovens de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) sob diferentes regimes hídricos.

A área foliar foi significativamente reduzida em 46,28% em craibeira e 71,11% em pau-ferro, por efeito do déficit hídrico (Tabela 3).

A redução da área foliar está associada, usualmente, ao desenvolvimento foliar das plantas em situações de déficit hídrico, podendo estar relacionada com a diminuição no tamanho das folhas individuais ou com a menor produção de folhas (Santos e Carlesso, 1998). Entretanto no presente trabalho tal redução pode ser atribuída à abscisão foliar acentuada observada sob condições de déficit hídrico.

Segundo Santos & Carlesso (1998), plantas sob déficit hídrico podem alterar a interceptação da radiação solar, através de modificações na exposição e duração da área foliar.

3.4 CONCLUSÕES

As espécies *Tabebuia aurea* e *Caesalpinia ferrea* apresentam mecanismos de adaptação a uma menor disponibilidade hídrica, mostrando estratégias de aclimação frente ao estresse imposto tais como fechamento estomático, recuperação da fotossíntese após a re-irrigação, aumento na concentração foliar de osmólitos nitrogenados (aminossolúveis e prolina), inibição do crescimento foliar (expansão foliar), abscisão foliar, bem como alocação de fotoassimilados para as raízes em detrimento da parte aérea.

A reidratação permite rápida recuperação das espécies estudadas o que demonstra boa plasticidade fisiológica destas, frente à limitação hídrica no solo.

REFERÊNCIAS

Angelocci, R. L.; Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: introdução ao tratamento biofísico. Piracicaba: ESALQ/USP, 2002. 284p.

Bates, L. S. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, v.39, p.205-207, 1973.

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

Cocking, E. C.; Yemm, E. W. Estimation of aminoacids by ninhidrin. *The Biochemical Journal*, v.58, p.12-13, 1954.

Calbo, M. E. R.; Moraes, J. A. P. V. Fotossíntese, condutância estomática, transpiração e ajustamento osmótico de plantas de buriti submetidas a estresse hídrico. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v.9(2), p.117-123, 1997.

Cabral, E. L.; Barbosa, D. C. A. & Simabukuro, E. A. Crescimento de plantas jovens de *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore submetidas a estresse hídrico. *Acta Botânica Brasilica*, v.18(2), p.241-251, 2004.

Carvalho, C. J. R. Respostas de plantas de *Schizolobium amazonicum* [*S. parahyba* var. *amazonicum*] e *Schizolobium parahyba* [*Schizolobium parahybum*] à deficiência hídrica. *Revista Árvore*, v.29, p.907-914, 2005.

Crepaldi, I. C.; Santana, J. R. F.; Lima, P. B. Quebra de dormência de sementes de Pau-ferro (*caesalpinia ferrea* Mart. ex tul. – Leguminosae, Caesalpinieae). *Sitientibus*, n.18, p.19-29, 1998.

Dubois, M.; Gilles, K. A.; Hamilton, J. K.; Rebers, P. A.; Smith, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, v.28, p.350-356, 1956.

Drumond, M. A.; Kiill, L. H. P.; Nascimento, C. E. S. Inventário e sociabilidade de espécies arbóreas e arbustivas na região de Petrolina, PE. *Brasil Florestal*, n.74, p.37-43 2002.

Ferreira, P. V. Estatística experimental aplicada à agronomia. 3ª Ed. Maceió: EDUFAL, 2000. 422p.

Frasson, A. P. Z.; Bittecourt, C. F.; Heinzmann, B. M. Características físico-química e biológica do caule de *Caesalpinia ferrea* Mart. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v.13, p.35-39, 2003.

Figueirôa, J. M.; Barbosa, D. C. A.; Simabukuro, E. A. Crescimento de plantas jovens de *myracrodruon urundeuva* allemão (anacardiaceae) sob diferentes regimes hídricos. *Acta Botânica Brasilica*, v.18(3), p.573-580, 2004.

Freitas, J. M. N.; Carvalho, K. S.; Lobato, A. K. S.; Castro, D. S.; Maia, P. S. P.; Neto, C. F. O.; Costa, R. C. L. Atividade da redutase do nitrato, conteúdo relativo de água e teores de clorofilas solúveis totais em folhas de açaizeiro (*Euterpe edulis* Mart.) Submetidas ao Déficit Hídrico e ao Alagamento. *Revista Brasileira de Biociências*, v. 5, p.924-926, 2007.

Gonçalves, J. F. C.; Silva, C. E. M.; Guimarães, D. G. Fotossíntese e potencial hídrico foliar de plantas jovens de andiroba submetidas à deficiência hídrica e a reidratação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, p.8-14, 2009.

Hendry, G., Grime, J. *Methods in comparative plant. A laboratory manual*. Chapman & Hall, London, 1993, p.252.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa de Biomas e de Vegetação. Comunicação social, 2004. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=169>. Acesso em 14 Out. 2009.

Larcher, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: Rima, 2000. 531p.

Lemos-Filho, J. P. Fotoinibição em três espécies do cerrado (*Annona crassifolia*, *Eugenia dysenterica* e *Campomanesia adamantium*) na estação seca e na chuvosa. *Revista Brasileira de Botânica*, v.23, p.45-50, 2000.

Lemos-Filho, J. P.; Isaias, R. M. S. Comparative stomatal conductance and chlorophyll *a* fluorescence in leaves vs. fruits of the cerrado legume tree, *Dalbergia miscolobium*. *Brazilian Journal Plant Physiology*, v.16(2), p.89-93, 2004.

Lopes, J. L. W.; Guerrini, I. A.; Saad, J. C. C. Qualidade de mudas de eucalipto produzidas sob diferentes lâminas de irrigação e dois tipos de substrato. *Revista Árvore*, v.31, p.835-843, 2007.

Lorenzi, H. *Árvores brasileiras*. Nova odessa, Editora Plantarum, 1992.281p.

Machado, A. V. Efeitos do estresse hídrico em plantas jovens de *hedyosmum brasiliense* mart. (chloranthaceae). Florianópolis: UFSC, 2004. 65p. Dissertação Mestrado

Maia, E. L. Comportamento vegetativo de três espécies florestais sob estresse hídrico, com adubação orgânica em solos da região semi-árida nordestina. Areia: UFPB, 2005. 66p. Dissertação Mestrado

Nogueira, R. J. M. C.; Moraes, J. A. P. V.; Burity, H. A.; Neto, E. B. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v.13(1), p.75-87, 2001.

Oliveira, M. A. J.; Bovi, M. L. A.; Machado, E. C.; Gomes, M. M. A.; Habermann, G.; Rodrigues, J. D. Fotossíntese, condutância estomática e transpiração em pupunheira sob deficiência hídrica. *Sci. agric.* v.59, p. 59-63, 2002.

Pimentel, C. Respostas fisiológicas à falta d'água: limitação difusiva ou metabólica? In: Nogueira, R. J. M. C.; Araújo, E. L.; Willadino, L. G.; Cavalcante, U. M. T. Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2005. p.13-21.

Pimentel, C. A relação da água com a planta. Seropédica, RJ: Edur, 2004 191p.

Pinto, C. M.; Távora, F. J. F. A.; Bezerra, M. A.; Corrêa, M. C. M. Crescimento, distribuição do sistema radicular em amendoim, gergelim e mamona a ciclos de deficiência hídrica. Revista Ciência Agronômica, v.39, p.429-439, 2008.

Rodrigues, B. M.; Souza, B. D.; Nogueira, R. M.; Santos, M. G. Tolerance to water deficit in young trees of jackfruit and sugar apple. Revista Ciência Agronômica., v.41, p.245-252. 2010.

Santos, R. F.; Carlesso, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.2, p.287-294. 1998.

Silva, E. C.; Nogueira, R. J. M. C.; Neto, A. D. A.; Santos, V. F. Comportamento estomático e potencial da água da folha em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico. Acta Botânica Brasilica, v.17(2), p.231-246, 2003.

Sales, F. C. V. Revegetação de área degradada da caatinga por meio da semeadura ou transplante de mudas de espécies arbóreas em substrato enriquecido com matéria orgânica. Patos: UFCG, 2008. 67p. Dissertação Mestrado

Taiz, L.; Zeiger, E. Fisiologia vegetal. 3ª Ed. Porto Alegre: artmed, 2006. 722p.

Trovão, D. M. B. M.; Fernandes, P. D.; Andrade, L. A. & Neto, J. D. Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.11, n.3, p.307-311, 2007.

Vellini, A. L. T. T.; Paula, N. F.; Alves, P. L. C. A.; Pavani, L. C.; Bonine, C. A. V.; Scarpinati, E. A.; Paula, R. C. Respostas fisiológicas de diferentes clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação. Revista Árvore, v.32, p.651-663, 2008.

Referências elaboradas segundo as normas da Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Agriambi) ISSN: 1415-4366.

4 Mecanismos de tolerância à seca em duas espécies arbóreas ocorrentes no semi-árido brasileiro, pereiro – *Aspidosperma pyriforme* e mororó – *Bauhinia forficata*

Mecanismos de tolerância à seca em duas espécies arbóreas ocorrentes no semi-árido brasileiro, pereiro - *Aspidosperma pyrifolium* e mororó - *Bauhina forficata*

RESUMO – O objetivo deste trabalho foi avaliar os mecanismos de tolerância à seca em duas espécies arbóreas ocorrentes no semi-árido brasileiro, pereiro - *Aspidosperma pyrifolium* e mororó - *Bauhina forficata*. Foi montado um experimento disposto em delineamento inteiramente ao acaso com arranjo fatorial, 2 (espécies) x 3 (condições hídricas), com 5 repetições. As três condições hídricas constavam de: I) plantas controle, irrigadas diariamente; II) suspensão da irrigação por 11 e 20 dias para mororó e pereiro, respectivamente, seguida de reirrigação; III) suspensão da irrigação por 20 e 28 dias para mororó e pereiro, respectivamente, quando então foi feita a coleta de dados do experimento. Foram estudadas a eficiência quântica do fotossistema II, o acúmulo de solutos orgânicos e o teor de clorofila nas folhas, o crescimento, acúmulo e distribuição de biomassa, e o potencial hídrico foliar no pré-amanhecer no final do experimento em ambas as espécies submetidas à deficiência hídrica. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. De maneira geral o estresse hídrico reduziu o diâmetro do coleto, a altura de planta, o número de folhas, as massas secas de raiz, parte aérea, total e área foliar além de aumentar a relação raiz/parte aérea das espécies estudadas. O potencial hídrico decresceu com aumento do estresse hídrico. Os teores de prolina e N- α -aminosolúvel aumentaram com o incremento do estresse citado nas espécies estudadas, especialmente em mororó. Com relação aos teores de clorofila total as espécies mantiveram-se estáveis. Estas espécies apresentaram início de recuperação ou recuperação total em todas as variáveis estudadas quando foram novamente irrigadas, o que indica que tais espécies apresentam mecanismos para tolerar uma menor disponibilidade hídrica.

Palavras-chave: *Aspidosperma pyrifolium*, *Bauhina forficata*, estresse hídrico

Mechanisms of drought tolerance in two tree species occurring in semi-arid, pereiro - *Aspidosperma pyriforme* and mororó - *Bauhinia forficata*

ABSTRACT - The objective of this study was to evaluate the mechanisms of drought tolerance in two tree species occurring in semi-arid, pereiro - *Aspidosperma pyriforme* and mororó - *Bauhinia forficata*. An experiment was set arranged in completely randomized design with factorial arrangement 2 (species) x 3 (water conditions), with five repetitions. The three water conditions consisted of: I) control plants, irrigated daily; II) suspension of irrigation for 11 and 20 days for mororó and pereiro, respectively, followed by irrigation; III) suspension of irrigation for 20 and 28 days for mororó and pereiro, respectively, when it was made the collect data of the experiment. Were studied the quantum efficiency of photosystem II, the accumulation of organic solutes, leaf chlorophyll content, growth, biomass accumulation and distribution, leaf water potential in the pre-dawn at the end of the experiment in both species subjected to water stress . The data were submitted to ANOVA and means were compared by Tukey test at 5% probability. In general water stress reduced the diameter of the collar, the plant height, leaf number, dry mass of roots, shoots, and total leaf area in addition to increasing roots / shoot species. The water potential decreased with increasing water stress. The levels of proline and N- α -aminosolúvel increased with the increase of stress cited in the species studied, especially in mororó. Regarding the contents of total chlorophyll species were stable. These species were early recovery or full recovery in all variables when they were again irrigated, indicating that these species have mechanisms to tolerate a lower water availability.

KEYWORDS: *Aspidosperma pyriforme*, *Bauhinia forficata*, water stress

4.1 INTRODUÇÃO

A caatinga é composta de árvores e arbustos xerófilos, localizada na região Nordeste do Brasil, e as suas diferentes fisionomias são afetadas diretamente pelas diversas condições climáticas e pedológicas da região. Ela se estende por, praticamente, toda a área do Ceará e do Rio Grande do Norte; o sudeste do Piauí; a maior parte da Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e do interior da Bahia, e uma porção do extremo norte de Minas Gerais (Sales, 2008).

Segundo o IBGE (2004) o bioma caatinga estende-se por 9,92% do território brasileiro. Em Alagoas, este bioma estende-se por quase a metade do território (48%).

O bioma caatinga apresenta diversidade florística resultante de variadas condições fitoecológicas. Sua paisagem natural originada pela auto-organização da biosfera, praticamente tem perdido suas características geocológicas primárias em função do uso inapropriado das atividades socioeconômicas. Nas últimas décadas, vem-se observando um cenário extremamente modificado pela intensa ação degradativa promovida pelo homem, manifestada principalmente, pelo surgimento e/ou intensificação dos processos biofísicos tais como, erosão dos solos, aumento do déficit hídrico do solo, contribuindo na alteração microclimática, afetando a biodiversidade e, conseqüentemente, contribuindo para a expansão da desertificação (Trigueiro et. al. 2009).

Prazeres (1996) evidencia que, na Região Neotrópica, na qual está inserido o Nordeste brasileiro, são escassas as pesquisas com espécies nativas no que se refere aos seguintes aspectos: germinação, desenvolvimento, fisiologia, formas de uso, etc. Conforme esse autor, estudos nestas áreas seriam de extrema importância na preservação de espécies ameaçadas de extinção, uma vez que acarretaria maior conhecimento da biologia das mesmas.

O *Aspidosperma pyrifolium* Mart., conhecido vulgarmente por pereiro pertencente à família Apocynaceae é uma planta decídua, xerófita, heliofita, característica de solos calcários férteis da caatinga. Também encontrados no chaco seco do pantanal e Bolívia. Produz anualmente moderada quantidade de sementes viáveis que são dispersas pelo vento. Mesmo na caatinga seca rebrota abundantemente quando cortada. (Lorenzi 1992). Segundo o mesmo autor, ela é uma planta lactente, de altura muito variável dependendo da região de ocorrência, podendo apresentar-se na forma abustiva em algumas regiões da caatinga até uma árvore de 7-8 m na caatinga arbórea. Sua madeira é muito utilizada na confecção de móveis embora venha a lascas com facilidade. A pequena dimensão limita seu uso na construção civil. A árvore, pelo pequeno porte e pela beleza de sua copa piramidal, pode ser empregada no paisagismo em geral, inclusive na arborização urbana.

A *Bauhinia forficata* Link, conhecida popularmente por mororó pertence à família Leguminosae, sub-família Caesalpinaceae e à tribo Bauhiniae, conhecida também por Mororó do Sertão, e os Cornijós de Águas Belas, Pernambuco, a chamam Txaquiá, conforme cita César (1956) apud Silva et al. (2003). O mesmo autor afirma que essa espécie se espalha pelo Estado, desde a zona da mata até o alto sertão.

Silva et al. (2003), também observaram que os frutos do mororó são simples, secos, do tipo legume, deiscentes, segmentados, com média de 18 cm de comprimento, e 0,15cm de largura; coloração marrom escura; sutura dorsal pouco dilatada, com 15 sementes por fruto; estas são ovaladas, sua coloração depende da época de coleta dos frutos, podendo ser marrom esverdeada, quando coletados no mês de novembro, ou marrom escura, quando coletadas no mês de dezembro; Apresenta em sua extremidade um hilo pontiagudo.

Quando as plantas são expostas a situações de déficit hídrico exibem, freqüentemente, respostas fisiológicas que resultam, de modo indireto, na conservação da água no solo, como se tivessem economizando para períodos posteriores (Santos & Carlesco, 1998).

As previsões ambientais indicam a ocorrência de um aquecimento global nas próximas décadas. Em regiões semi-áridas, certamente períodos de seca acompanharão este fenômeno aumentando assim a necessidade de desenvolvimento e/ou seleção de materiais genéticos tolerantes ao déficit hídrico para que ocorra a manutenção da produção agrossilvopastoril nestas regiões.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar as respostas fisiológicas e de crescimento de mudas de *Aspidosperma pyrifolium* e *Bauhinia forficata* submetidas ao estresse hídrico.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Localização do experimento e espécies estudadas

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação e as análises bioquímicas foram realizadas no laboratório do setor de Fisiologia Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas (CECA/UFAL), localizado no município de Rio Largo (09° 28' S, 35° 49' W e 127 m de altitude), estado de Alagoas.

Foram estudadas as espécies pereiro - *Aspidosperma pyrifolium* e mororó – *Bauhinia forficata*), as quais são de ocorrência confirmada em municípios alagoanos, pertencentes à bacia hidrográfica do Baixo São Francisco, no Bioma Caatinga.

O experimento foi conduzido sob delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 2 (espécies) x 3 (condições hídricas), com 5 repetições.

4.2.2 Produção de mudas

Foram produzidas mudas de pereiro e mororó, a partir de sementes colhidas na região semi-árida de Alagoas, que ao completarem aproximadamente 3 meses e 15 dias de idade foram transplantadas para vasos com capacidade para 8 kg de solo, sendo estes pintados na cor alumínio fosco para minimizar o estresse térmico. Foram então alojadas em casa de vegetação onde permaneceram por cerca de 30 dias para aclimatação sendo então submetidas à deficiência hídrica.

Para a produção de mudas de mororó foi feita escarificação ácida em 125 sementes, estas foram colocadas em 50 ml de ácido sulfúrico permanecendo por quinze minutos, sendo posteriormente lavadas, por três minutos, em água corrente seguida de lavagem com água destilada.

As sementes foram então colocadas em gerbox, contendo 25 sementes cada e levadas ao germinador a 30°C onde permaneceram até a emissão da raiz primária. A partir de então foram colocadas em sacos de polietileno contendo substrato na proporção 4:1 (terra - torta de filtro) e irrigadas diariamente visando o estabelecimento das plantas e produção de mudas.

Para produção de mudas de pereiro, as sementes foram semeadas em areia lavada, sendo irrigadas diariamente até a emissão da raiz primária e dos cotilédones. As plântulas foram então colocadas em sacos plásticos contendo substrato na proporção 4:1 (terra - torta de filtro) visando o estabelecimento das plantas e produção de mudas.

4.2.3 Instalação e condução do experimento

Após o transplântio e aclimatação das mudas de mororó e pereiro, foram estabelecidos três grupos de plantas: I) plantas controle, II) suspensão da irrigação por 11 e 20 dias (para mororó e pereiro respectivamente, quando as plantas já apresentavam sintomas de deficiência hídrica como murchamento e queda de folhas), seguida de re-irrigação; III) suspensão da irrigação por 20 e 28 dias (para mororó e pereiro respectivamente, quando as plantas

apresentavam sintomas de deficiência hídrica severa); quando então foi feita a coleta de dados do experimento.

As plantas do tratamento controle eram irrigadas diariamente para que o solo permanecesse úmido. Durante o período experimental foram registradas alterações relacionadas ao estresse.

4.2.4 Variáveis analisadas

4.2.4.1 Eficiência quântica potencial

As variáveis da fluorescência da clorofila *a* foram determinadas com o auxílio de um fluorômetro portátil de luz modulada (Opti-Sciences, modelo OS1-FL, Hudson, USA), a partir do qual foram obtidas a fluorescência inicial (F_0), a fluorescência máxima (F_m) a Fluorescência variável (F_v) e o rendimento quântico máximo do PSII (F_v/F_m), obtidas após adaptação ao escuro (≈ 20 minutos) com auxílio de presilhas plásticas colocadas no limbo foliar evitando-se a nervura central.

As medições foram realizadas a cada quatro dias (do 1º ao 20º dia em mororó, e do 1º ao 28º dia em pereiro), após a suspensão da irrigação. Estas determinações iniciavam-se às 12:00 horas. Este horário foi escolhido por representar o período mais crítico do dia no tocante a temperatura e incidência de radiação solar no qual ocorre, provavelmente, maior dano ao aparato fotossintético refletindo, portanto, o status do aparato fotossintético instantâneo. Em cada determinação eram realizadas duas leituras em cada planta, sempre na porção mediana da terceira folha totalmente expandida a partir do ápice evitando-se a nervura central.

4.2.4.2 Potencial hídrico foliar

Ao final do período experimental (20 dias para mororó e 28 dias para pereiro), foi determinado o potencial hídrico foliar (Ψ_w) no amanhecer (predawn), com o uso da bomba de pressão (Scholander, Soil Moisture, Equipment Corporation, Santa Barbara, USA) utilizando-se a terceira folha (limbo + pecíolo) totalmente expandida a partir do ápice, de cada planta, sendo a mesma destacada e colocada em saco plástico, devidamente identificado, o

qual foi acondicionado em caixa térmica contendo gelo, para minimizar a perda de umidade, sendo imediatamente levadas ao laboratório, onde foram efetuadas as leituras.

4.2.4.3 Teores de pigmentos fotossintéticos

Ao fim do experimento (20 dias para mororó e 28 dias para pereiro), a terceira e/ou quarta folha totalmente expandida foram utilizadas para a obtenção da estimativa dos teores de clorofilas (*a*, *b* e *total*) e de carotenóides através do método de extração com acetona (Hendry & Grime, 1993). Para tanto, amostras de 20 mg de tecido foliar fresco foram picotadas e agitadas em tubos de ensaio com tampa rosqueável, contendo 10 mL de acetona a 80% (v/v) e protegidos da luz com papel alumínio. Para extração, os tubos permaneceram em refrigerador a 8°C por 72 h, sendo em seguida submetidos a agitação constante por 20 segundos. Após este período, foram determinadas suas absorbâncias em espectrofotômetro a 480, 645 e 663 nm. Os teores de pigmentos fotossintéticos foram calculados pelas seguintes fórmulas:

$$\text{clorofila } a = \frac{(12,7 \times A_{663} - 2,69 \times A_{645}) \times V}{MF} \quad (\text{mg.g}^{-1} \text{ MF})$$

$$\text{clorofila } b = \frac{(22,9 \times A_{645} - 4,68 \times A_{663}) \times V}{MF} \quad (\text{mg.g}^{-1} \text{ MF})$$

$$\text{clorofila total} = \frac{(8,02 \times A_{663} + 20,2 \times A_{645}) \times V}{MF} \quad (\text{mg.g}^{-1} \text{ MF})$$

Onde:

A_{480} , A_{645} e A_{663} = representam, respectivamente, as absorbâncias em 480, 645 e 663 nm;

V = volume de acetona a 80% usado na extração; e

MF = peso da matéria fresca da qual foi extraída a clorofila.

4.2.4.4 Determinação dos solutos orgânicos

Após a coleta, foram determinados os solutos orgânicos (prolina livre, carboidratos solúveis, N- α -aminossolúveis e proteínas solúveis por ligação ao corante). Para isso foi realizada a coleta da terceira e/ou quarta folha totalmente expandida de cada planta. Foram utilizadas luvas cirúrgicas e tesoura devidamente esterilizada. As folhas foram cortadas sem a nervura central e colocadas em papéis alumínio, devidamente identificados, para em seguida

ser congelada em nitrogênio líquido e armazenadas em congelador (a -80 °C). posteriormente, o material vegetal foi liofilizado e em seguida procederam-se as análises bioquímicas, conforme descritas abaixo.

4.2.4.4.1 Prolina livre

O extrato para determinação de prolina livre foi obtido através da maceração de 100 mg de folhas liofilizadas junto com 8 mL de ácido sulfossalicílico a 3%, sendo a mistura deixada em repouso, com agitações periódicas (a cada 15 minutos), por uma hora à temperatura ambiente (25°C). Após este período, o homogenato foi centrifugado a 3000 x g por 5 min, à temperatura ambiente, sendo o precipitado descartado e o sobrenadante (extrato) usado para a determinação de prolina livre pelo método descrito por Bates et. al. (1973), através da reação com a solução de ninhidrina ácida (1,25 g de ninhidrina, em 30 mL de ácido acético glacial, e 20 mL de ácido fosfórico 6M).

Para a reação, foram usados tubos de ensaios com tampas rosqueadas nos quais foram adicionados 40µL de cada extrato e 960 µL de água totalizando 1 mL, 2 mL de ninhidrina ácida e 2 mL de ácido acético glacial, deixando-se a mistura em banho maria (100°C) por 1 h para desenvolvimento da cor. Em seguida, os tubos de ensaio foram colocados em banho de gelo por 10 min para cessar a reação.

A extração do cromóforo foi feita pela adição de 2 mL de tolueno à mistura, seguida de agitação vigorosa por 20 segundos. Após repouso e formação da mistura bifásica, a fase superior foi retirada com auxílio de pipeta de Pasteur, para quantificação dos níveis de prolina livre, através de medidas de absorvâncias em 520 nm, sendo o tolueno utilizado como branco. Utilizou-se como padrão a prolina pura e os resultados foram expressos em µmol g⁻¹ MS. Cada repetição (amostra) foi representada por um extrato simples dosado em triplicata.

4.2.4.4.2 Carboidratos solúveis

Os carboidratos solúveis foram determinados a partir de amostra de 20 mg do tecido foliar liofilizado extraídos com 4mL de água destilada. A mistura permaneceu em repouso durante uma hora, sendo submetidas a agitações periódicas (a cada 15 minutos), e posterior centrifugação a 3000 x g por 5 min, à temperatura ambiente. O precipitado foi descartado e o

sobrenadante (extrato) usado para determinação dos carboidratos solúveis pelo método descrito por Dubois et al. (1956).

Em tubos de ensaios contendo 0,1 mL do extrato, foram adicionados 1 mL de fenol a 5% e 5 mL de ácido sulfúrico concentrado. A solução, então, sofreu vigorosa agitação, seguida de 20 min de repouso para o resfriamento da mesma. Os carboidratos solúveis foram quantificados pelas leituras da absorbância em 490 nm, sendo como branco a mistura de 1 mL de água destilada, 1 mL de fenol a 5% e 5 mL de ácido sulfúrico concentrado. Utilizou-se como padrão a D(+) glicose anidra e os resultados foram expressos em $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS. Cada repetição (amostra foi representada por um extrato simples dosado em triplicata).

4.2.4.4.3 N- α -aminossolúvel e proteínas solúveis

Para determinação dos teores de N- α -aminossolúveis e proteínas solúveis, amostras de 20 mg, respectivamente do tecido foliar liofilizado foram homogeneizadas, em banho de gelo, com 2 mL de tampão Na-K-fostato 0,01 M, pH 7,6, contendo NaCl 0,1 M, e mantidas durante 1 hora à temperatura de 4°C, com agitações periódicas (a cada 15 minutos). Decorrido este período, os homogenatos foram centrifugados a 3000 x g por 5 min, à temperatura de 2°C, sendo os precipitados descartados e os sobrenadantes usados para as determinações dos osmorreguladores anteriormente citados.

Para determinação do N- α -aminossolúvel, tomou-se uma fração de 0,5 mL do sobrenadante de cada amostra, separadamente, e adicionou-se ainda uma alíquota de 0,5 mL de ácido tricloroacético (TCA) a 10% e, após 1 hora de repouso, as amostra foram centrifugadas 12000 x g por 5 min, à temperatura 4°C, sendo o precipitado descartado e o sobrenadante (extrato) usado para determinação de N- α -aminossolúvel. Em tubos de ensaio com tampa rosqueada, foram adicionados 0,25 mL do extrato e 0,25 mL de água; 0,5 mL do tampão de extração; 0,25 mL de tampão citrato de sódio a 0,2 M e pH 5; 0,1 mL de ninhidrina a 5%, em metilcelosolve a 100%; e 0,5 mL de KCN a 0,2 M em metilcelosolve a 100%. Em seguida, os tubos foram deixados em banho-maria a 100°C, por 20 min.

Após resfriamento dos tubos em banho de gelo, por aproximadamente 10 min, foram adicionados aos mesmos 3,65 mL de etanol a 60% para fixar a cor desenvolvida (violeta). Os teores de N- α -aminossolúveis foram determinados pelas leituras em absorbância em 570 nm, e como branco utilizou-se a mistura de 1 mL do tampão de extração (Na-K-fostato 0,01 M, pH 7,6, contendo NaCl 0,1 M) com 1,7 do reagente de ninhidrina (Cocking & Yemm, 1954).

Como padrão foi utilizado a glicina e os resultados foram expressos em $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS. Cada repetição (amostra) foi representada por um extrato simples dosado em triplicata.

Para determinação dos teores de proteínas solúveis foi usada uma fração de 0,05 mL do sobrenadante descrito anteriormente, não tratado com ácido tricloroacético a 10%, a qual foi adicionada 0,95 mL do reagente coomassie blue (Braford, 1976). Este reagente foi preparado dissolvendo-se 100 mg de coomassie brilliant blue G250 (Sigma Chemical Company) em 50 mL de álcool etílico a 95%, seguindo-se da adição de 100 mL de ácido fosfórico a 85%. A solução teve seu volume final completado para 1000 mL com água destilada.

As proteínas solúveis foram, então, determinadas pelas medidas de absorvância em 595 nm, utilizando-se como branco a mistura de 0,1 mL do tampão de extração (Na-K-fosfato 0,01 M, pH 7,6, contendo NaCl a 0,1 M) e 1 mL do reagente coomassie. Como padrão foi utilizado a albumina sérica bovina (BSA, Sigma Chemical Company) e os resultados foram expressos em MG g⁻¹ MS. Cada repetição (amostra) foi representada por um extrato simples dosado em triplicata.

4.2.4.5 Análise de crescimento

Do 1° ao 20° e do 1° ao 28° dia de imposição dos tratamentos em mororó e pereiro respectivamente, foram determinados, a cada quatro dias, o comprimento (altura) e o diâmetro do coleto das plantas, com o auxílio de trena métrica e paquímetro digital, respectivamente, e efetuada a contagem de folhas aderidas à planta.

Ao final do experimento, as plantas foram cortadas rente ao solo e tiveram suas partes separadas (folhas e caule). As folhas foram passadas em medidor de área foliar de bancada, modelo LI- 3100 Area Meter (LI-COR, inc., Lincoln, Nebraska, USA), para a determinação da área foliar. As raízes foram removidas do substrato através de lavagem com jato suave de água, sobre peneira. Em seguida, o material vegetal (folhas, caule e raízes) foi submetido à secagem em estufa de circulação forçada de ar, a 70⁰C, até a massa permanecer constante, para determinação da massa seca.

4.2.4.6 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e teste de comparação de médias, conforme recomendações de Ferreira (2000).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

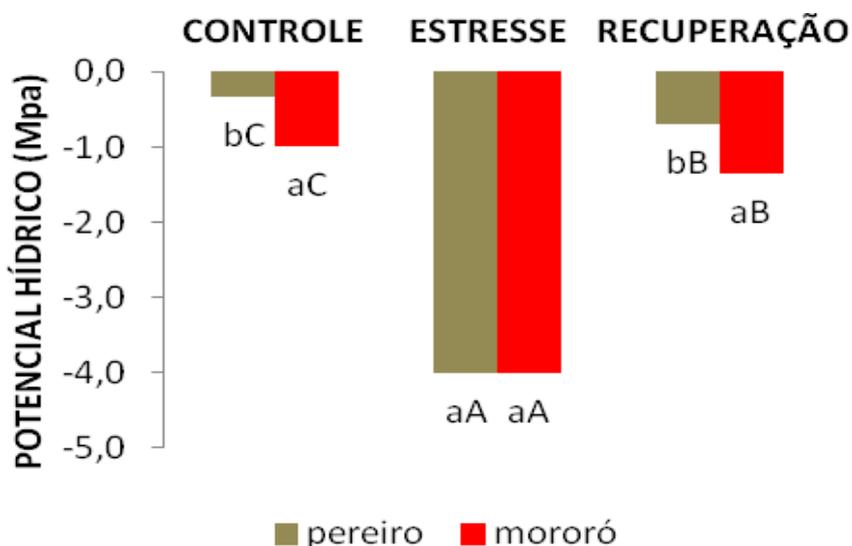
4.3.1 Potencial hídrico foliar

A deficiência hídrica do solo afetou o potencial hídrico foliar tanto em plantas de mororó quanto em plantas de pereiro (Figura 9). Verificou-se que as espécies não se recuperaram totalmente após a reirrigação. Isto pode ter ocorrido porque estas sofreram danos irreversíveis ou mais provavelmente por causa do breve tempo de recuperação a que as plantas foram submetidas. Sabe-se, no entanto, que quanto maior for o déficit hídrico no solo mais negativo deve ser o potencial hídrico das plantas para que haja influxo de água para as mesmas.

Nos tratamentos controle e recuperação, os potenciais hídricos foliares do pereiro foram um pouco maiores que o do mororó, sendo esta diferença estatisticamente significativa. Sob estresse, as espécies não apresentaram diferenças entre si quanto a esta variável.

FIGURA 9 Potencial hídrico de plantas de *Bauhinia forficata* (mororó) e *Aspidosperma pyrifolium* (pereiro), submetidas à deficiência hídrica. (Controle – irrigação diária, recuperação – suspensão da irrigação seguida de reirrigação e estresse – suspensão da irrigação até a coleta do experimento). As recuperações (reirrigações) iniciaram-se aos 11 e 20 dias para mororó e pereiro respectivamente. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Autor, 2011.



Silva et al. (2010) estudando as respostas fisiológicas de clones de café verificou que aos 18 dias de suspensão da irrigação o potencial hídrico na antemanhã alcançou -3 MPa.

Brunini & Cardoso (1998) pesquisando efeito do déficit hídrico no solo sobre o comportamento estomático e potencial da água em mudas de seringueira verificaram que os resultados indicaram um decréscimo contínuo à medida que o estresse progredia.

Segundo Carvalho (2005), estudando respostas de plantas de *Schizolobium amazonicum* [*S. parahyba* var. *amazonicum*] e *Schizolobium parahyba* [*Schizolobium parahybum*] à deficiência hídrica, nas plantas de ambas as espécies, a suspensão da irrigação causou redução abrupta e quase linear dos valores do potencial hídrico ao amanhecer, os quais passaram de valores semelhantes aos das plantas-testemunha (-0,2 e -0,3 MPa) para valores entre -1,5 e -2,0 MPa.

4.3.2 Eficiência fotoquímica potencial

A fotossíntese, processo bioquímico mais importante sobre a terra, é de vital importância tal que plantas, animais ou seres humanos não podem viver sem ela, porque todos eles dependem da energia, matéria orgânica e o oxigênio fornecido através da mesma (Xu & Shen, 2001).

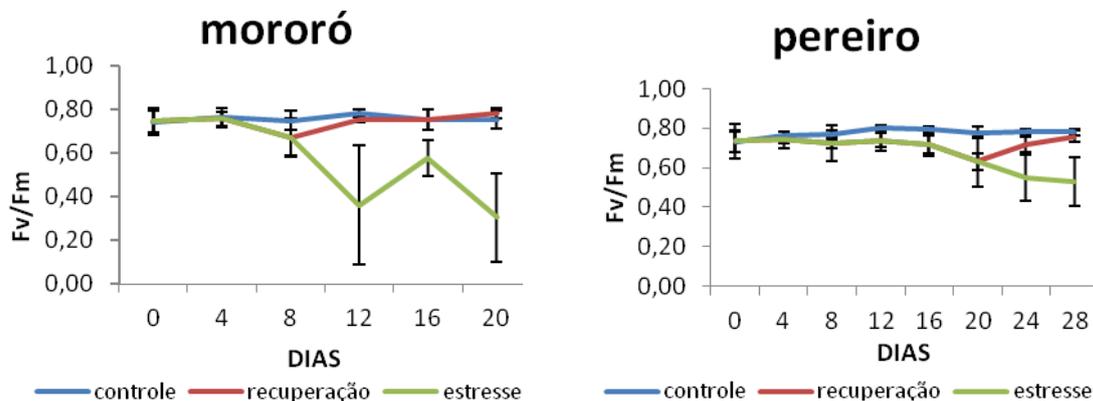
A eficiência da clorofila *a* foi negativamente influenciada pelo decréscimo de água no solo, pois como é mostrado na Figura 10, houve manutenção da eficiência fotoquímica no tratamento controle, reduções com subseqüentes recuperações no tratamento recuperação (reirrigado) e reduções no tratamento estresse para as duas espécies estudadas, indicando haver fotoinibição à medida que o estresse hídrico aumenta.

Observa-se que ambas as espécies em estudo apresentaram a capacidade de regenerar o fotossistema II quando o suprimento hídrico do solo retornou a um nível adequado indicando neste caso a ocorrência de fotoinibição dinâmica (Figura 10). Contudo, o efeito cumulativo desta fotoinibição leva a depressões diárias na taxa fotossintética o que pode acarretar em redução da biomassa ao final da estação de crescimento.

Cavatte (2007) estudando fotossíntese em duas cultivares de *Coffea canephora* submetidas ao déficit hídrico verificou que algumas variáveis de fluorescência da clorofila *a* foram ligeiramente afetadas pelo tratamento. Segundo este autor houve reduções na eficiência fotoquímica máxima do FSII (avaliada pela razão F_v/F_m) em uma das cultivares estudadas.

FIGURA 10 Rendimento quântico da fluorescência da clorofila *a* (Fv/Fm) em folhas de *Bauhinia forficata* (mororó) e *Aspidosperma pyrifolium* (pereiro), submetidas à deficiência hídrica. (Controle – irrigação diária, recuperação – suspensão da irrigação seguida de reirrigação e estresse – suspensão da irrigação até a coleta do experimento). As recuperações (reirrigações) iniciaram-se aos 11 e 20 dias para mororó e pereiro respectivamente. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Autor, 2011.



Os resultados apresentados na Figura 10 concordam ainda com Eickmeier et al. (1993) apud Queiroz et al. (2002), que observaram que nas plantas de *Selaginella lepidophylla* submetidas à dessecação sob alta densidade de fluxo de fótons, nas quais foi observado decréscimo na relação Fv/Fm, as características da fluorescência da clorofila retornaram a valores próximos aos detectados na fase anterior à dessecação, após reidratação por 24 h sob baixa radiação.

De acordo com Baker (1993), apud Lemos-Filho (2000) tem sido demonstrado que plantas sujeitas a estresse hídrico moderado não apresentam decréscimo na atividade potencial do fotossistema II. Entretanto, sob estresse hídrico severo, as plantas frequentemente apresentam um marcante efeito fotoinibitório, caracterizado por um decréscimo significativo no rendimento quântico. Nesse caso, o déficit hídrico, em combinação com altos níveis de irradiância, pode causar uma significativa redução na eficiência da fotossíntese.

4.3.3 Teores de pigmentos fotossintéticos

Ao analisar as respostas das espécies quanto aos teores de pigmentos frente ao estresse hídrico aplicado, verificou-se que as mesmas apresentaram comportamento diferenciado (Tabela 4). Verifica-se que o teor de clorofila *a* apresentou resultados semelhante entre as plantas do tratamento controle e as do estresse em plantas de mororó, enquanto houve redução (41,61%) no pereiro, ocasionado pelo déficit hídrico. Na mesma tabela verifica-se que os

teores de clorofila *b* mantiveram-se estatisticamente semelhantes em pereiro enquanto houve incremento de 100% na espécie mororó. Não houve redução significativa entre os tratamentos controle e estresse para o teor de clorofila total nas duas espécies estudadas. Houve redução de 22,3% e 21,75 na relação Chl *a*/Chl *b* em mororó e pereiro, respectivamente com aumento do déficit hídrico. Por último, nota-se que o teor de carotenóides não variou em pereiro, enquanto em folhas de mororó houve acréscimo de 164% em plantas sob estresse hídrico.

Comparando as espécies, observamos que no tratamento estresse, o mororó apresentou menor redução no teor de Chl *a* que o pereiro além de adições para as variáveis, Chl *b* e carotenóides, apresentando valores semelhantes apenas na relação Chl *a*/Chl *b. total*

Tabela 4 Teores de Clorofila *a* (Chl *a*), clorofila *b* (Chl *b*) clorofila total (Chl *total*), relação clorofila *a* / *b* (Chl *a*/Chl *b*) e carotenóides de mudas de *Bauhinia forficata* (mororó) e de *Aspidosperma pyrifolium* (pereiro) submetidas à deficiência hídrica.

| PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS | | | | | | |
|------------------------------|-------------|---|---|--------------------------------------|----------------------------|---|
| Espécies | Tratamentos | Chl <i>a</i> (mg g ⁻¹ MF) | Chl <i>b</i> (mg g ⁻¹ MF) | Chl total (mg g ⁻¹ MF) | Chl <i>a</i> /Chl <i>b</i> | Carotenóides (μmol g ⁻¹ MF) |
| Mororó | controle | 1,80 bAB | 0,58 aB | 2,38 bAB | 3,05 aA | 0,45 Ab |
| | recuperação | 1,26 bB | 0,43 bB | 1,70 bB | 2,90 aA | 0,29 Bb |
| | estresse | 2,78 aA | 1,16 aA | 3,95 aA | 2,37 aB | 1,19 aA |
| Pereiro | controle | 2,86 aA | 0,92 aA | 3,78 aA | 3,08 aA | 0,70 Aa |
| | recuperação | 2,86 aA | 0,92 aA | 3,78 aA | 3,11 aA | 0,78 aA |
| | estresse | 1,67 bB | 0,67 bA | 2,35 bA | 2,41 aB | 0,42 bA |
| C.V.% | | 32,66 | 35,84 | 33,23 | 8,47 | 39,34 |

(Controle – irrigação diária, recuperação – suspensão da irrigação seguida de reirrigação e estresse – suspensão da irrigação até a coleta do experimento). Letras minúsculas na coluna comparam as espécies no mesmo tratamento e letras maiúsculas na coluna comparam cada espécie em tratamentos diferentes. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Freitas et al. (2007) verificaram que independente da condição hídrica os teores de clorofila não apresentaram diferenças, entretanto, os teores de clorofila *a* foram maiores que os de clorofila *b* em folhas de açazeiro submetidos ao déficit hídrico.

Também não se observaram alterações significativas nas concentrações de clorofila *a* e *b* em *Coffea canephora* submetidas ao déficit hídrico em trabalho realizado por Cavatte (2007).

4.3.4 Efeitos do estresse hídrico no acúmulo de solutos orgânicos

De modo geral, observou-se que o comportamento das espécies em função dos tratamentos de estresse hídrico aplicados, foram semelhantes apenas quanto a N-α-

aminosolúvel cujos valores aumentaram em 255% e 420% para mororó e pereiro, respectivamente.

Para as variáveis, carboidratos solúveis, proteínas solúveis e prolina livre as espécies apresentaram comportamento diferenciados. Em mororó, houve declínio de 23,97% no teor carboidratos solúveis e aumento de 425% no teor de prolina livre não sendo verificados reduções nem acréscimos significativos nestas variáveis em pereiro. Já a proteínas solúveis aumentaram em pereiro enquanto em mororó não houve variação com o incremento no déficit hídrico do solo.

Resultados semelhantes foram encontrados por Silva (2007) que verificou que déficit hídrico não afetou o teor de prolina em aroeira (*Schinus terebinthifolius*) sob déficit hídrico

Observações sobre solutos compatíveis indicam que estes podem ter outras funções além do ajustamento osmótico, como notadamente na proteção de enzimas e estruturas das membranas e na eliminação de espécies reativas de oxigênio. (Bohnert & Shen, 1999).

O acúmulo dos aminoácidos e açúcares livres pode ser decorrente da restrição à síntese de proteínas e da hidrólise das reservas de amido, bem como de distúrbios causados pela deficiência de água nos tecidos do floema, reduzindo a sua translocação para outros órgãos (Subbarao et al., 2000, apud Carvalho 2005). Uma possível restrição na síntese de proteínas não foi verificada neste experimento, especialmente em pereiro, onde o teor de proteínas solúveis aumentou, mesmo com o aumento nos teores de carboidratos solúveis e N- α -aminosolúvel.

Com relação aos carboidratos solúveis, Silva et al. (2010), encontraram resultado semelhante ao que ocorreu com o mororó, onde estes verificaram que concentrações de sacarose e amido foliar sofreram forte redução nas plantas de café Conilon submetidas ao déficit hídrico, independentemente de sua severidade e dos tratamentos.

Segundo Silva et al. (2010), a concentração de aminoácidos totais aumentou significativamente em todas as plantas de café Conilon submetidas ao déficit hídrico severo. Ainda segundo o mesmo autor, sob seca severa, os teores de sacarose decresceram em todos os tratamentos, enquanto os teores de glicose, frutose, e prolina aumentaram.

O acúmulo de prolina pode representar um mecanismo de sobrevivência ao período de estresse, em função de um melhor ajustamento osmótico induzido por esse aminoácido. Quando em situação de baixa disponibilidade de água no solo, como ocorre durante a estação seca nas regiões áridas e semi-áridas, as plantas necessitam reduzir o potencial hídrico de suas células para a manutenção da turgescência celular e esse ajuste se dá, especialmente, através

do acúmulo de substâncias orgânicas que ajudam na osmorregulação, sendo a prolina uma dessas substâncias (Silva et al., 2004).

Tabela 5 Teores de solutos orgânicos de mudas de *Bauhinia forficata* (mororó) e de *Aspidosperma pyrifolium* (pereiro) submetidas à deficiência hídrica.

| SOLUTOS ORGÂNICOS | | | | | |
|-------------------|-------------|--|--|---|--|
| Espécies | Tratamentos | Carboidratos solúveis ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MS) | N- α -aminosolúvel ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MS) | Proteínas solúveis (mg g^{-1} MS) | Prolina livre ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MS) |
| Mororó | controle | 81,68 aA | 37,63 aB | 4,74 bA | 3,24 aC |
| | recuperação | 88,24 aA | 50,54 bB | 4,40 bA | 10,13 aB |
| | estresse | 62,10 bB | 133,74 aA | 10,42 bA | 17,01 aA |
| Pereiro | controle | 81,96 aA | 24,52 aC | 19,50 aB | 1,93 aA |
| | recuperação | 75,91 aA | 91,73 aB | 31,57 aA | 4,19 bA |
| | estresse | 89,92 aA | 127,58 aA | 35,31 aA | 6,06 bA |
| C.V.% | | 13,62 | 26,62 | 33,78 | 40,46 |

(Controle – irrigação diária, recuperação – suspensão da irrigação seguido de reirrigação e estresse – suspensão da irrigação até a coleta do experimento). Letras minúsculas na coluna comparam as espécies no mesmo tratamento e letras maiúsculas na coluna comparam cada espécie em tratamentos diferentes. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

4.3.5 Efeito do déficit hídrico sobre o crescimento e acúmulo de matéria seca

4.3.5.1 Altura das plantas

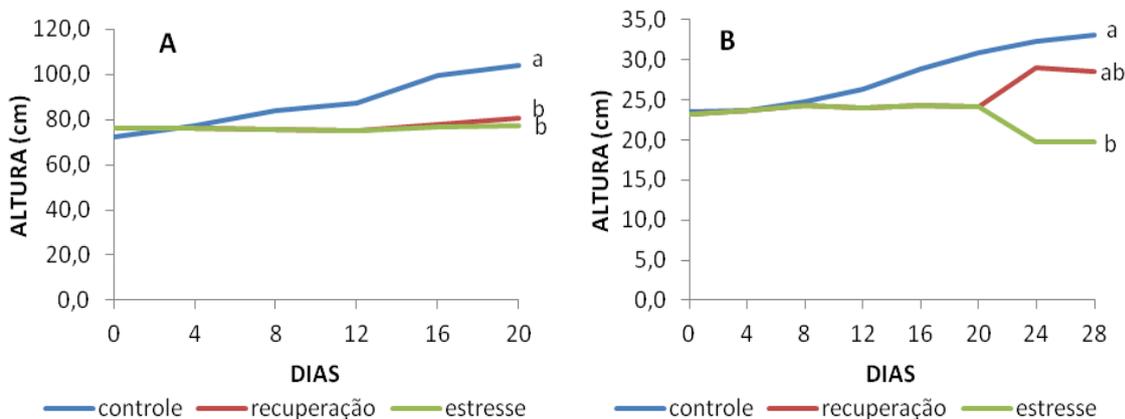
O decréscimo do status hídrico do solo influenciou de maneira negativa a altura das plantas de mororó e pereiro, com reduções de 25,3 e 40,3% para mororó e pereiro, respectivamente (Figura 11).

Estes resultados assemelham-se aos encontrados por Figueirôa et al. (2004) que observaram que a altura média das plantas jovens de *Myracrodruon urundeuva* aos 30 dias sob os regimes hídricos de 50 e 75% cc foram significativamente maiores que no regime de 25% cc. E também com os encontrados por Cabral et al. (2004) os quais observaram que o estresse hídrico reduziu o crescimento da parte aérea das plantas de *Tabebuia aurea* com 25% cc até os 120 dias.

Ao nível de planta, uma resposta usual ao estresse, antes mesmo de haver variação no conteúdo em água dos tecidos, é uma diminuição do crescimento, que é associado com alterações no metabolismo de carbono e de nitrogênio (Yordanov et al. 2000 apud Pimentel, 2004).

FIGURA 11 Altura de plantas de *Bauhinia forficata* (mororó) A e *Aspidosperma pyrifolium* (pereiro) B, submetidas à deficiência hídrica. (Controle – irrigação diária, recuperação – suspensão da irrigação seguida de reirrigação e estresse – suspensão da irrigação até a coleta do experimento). As recuperações (reirrigações) iniciaram-se aos 11 e 20 dias para mororó e pereiro respectivamente. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Autor, 2011.

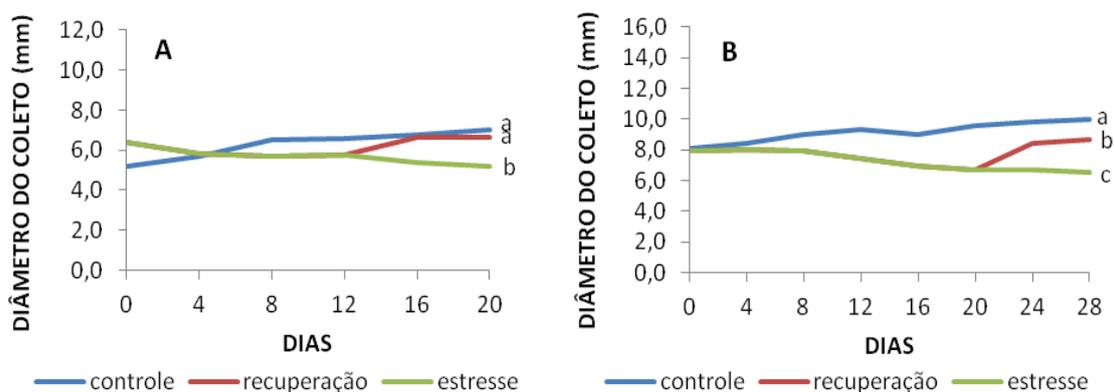


4.3.5.2 Diâmetro do coleto

Verificou-se que o diâmetro do coleto das plantas de mororó e de pereiro foi reduzido com aumento do estresse hídrico do solo, apresentando reduções de 25,7 e 35% para mororó e pereiro respectivamente (Figura 12).

FIGURA 12 Diâmetro do coleto de plantas de *Bauhinia forficata* (mororó) A e *Aspidosperma pyrifolium* (pereiro) B, submetidas à deficiência hídrica. (Controle – irrigação diária, recuperação – suspensão da irrigação seguida de reirrigação e estresse – suspensão da irrigação até a coleta do experimento). As recuperações (reirrigações) iniciaram-se aos 11 e 20 dias para mororó e pereiro respectivamente. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Autor, 2011.



Segundo Reis et al. (2006) apud Vellini et al. (2008), avaliando o comportamento de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* e *E. camaldulensis* x *E. spp* submetidos a dois regimes de irrigação no campo, observaram que o crescimento em altura,

aos 38 meses de idade, não variou significativamente entre os tratamento de irrigação, enquanto em diâmetro e em volume foram significativamente superiores nas plantas do tratamento irrigado em relação ao não irrigado.

4.3.5.3 Número de folhas

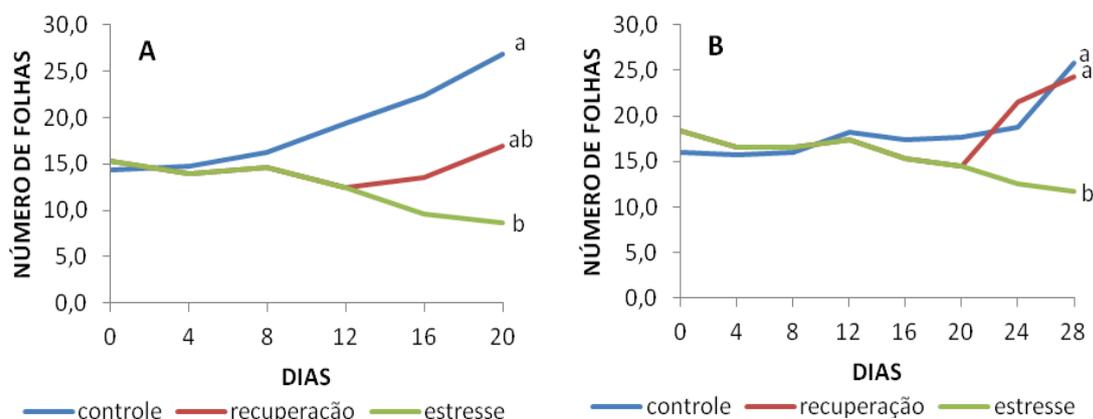
A deficiência hídrica afetou negativamente o número de folhas tanto em mororó quanto em pereiro, pois como se observa na Figura 12 as plantas sob tratamento estresse tiveram o número de folhas reduzidos em ambas as espécies pesquisadas, apresentando reduções de 67,5 e 54,6% para mororó e pereiro, respectivamente.

O número de folhas de plantas jovens de *Myracrodruon urundeuva* no tratamento com 25% da capacidade de campo apresentou as menores médias (Figueirôa et al. 2004).

Se as plantas sofrem um estresse hídrico após um desenvolvimento substancial da área foliar, as folhas sofrerão senescência e subsequente cairão. Um ajustamento da área foliar é uma mudança importante a longo prazo, que beneficia a adequação da planta a um ambiente com limitação hídrica (Taiz & Zeiger, 2006).

Como verifica-se na figura 12 as plantas sob tratamento reirrigado apresentaram valores semelhantes ao do controle indicando que as duas espécies estudadas apresentaram rápida recuperação para esta variável.

FIGURA 13 Número de folhas de plantas de *Bauhinia forficata* (mororó) A e *Aspidosperma pyrifolium* (pereiro) B, submetidas à deficiência hídrica. (Controle – irrigação diária, recuperação – suspensão da irrigação seguida de reirrigação e estresse – suspensão da irrigação até a coleta do experimento). As recuperações (reirrigações) iniciaram-se aos 11 e 20 dias para mororó e pereiro respectivamente. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.



4.3.5.4 Acúmulo de matéria seca

Observando a Tabela 6, verifica-se que as variáveis massa seca da parte aérea, massa seca das raízes, massa seca total e área foliar não variaram na espécie pereiro sob diferentes condições hídricas. Já a variável relação raiz/parte aérea apresentou aumento de 59,1% sob tratamento estresse em relação ao controle nesta espécie. Este aumento ocorreu por causa da redução (não significativa estatisticamente) na massa seca da parte aérea já que a massa seca das raízes não variou com o estresse imposto.

No mororó, a massa seca da parte aérea, a massa seca total e a área foliar tiveram seus valores reduzidos no tratamento estresse quando comparado ao controle (55,03%, 45,73% e 49,62%, respectivamente). A relação raiz/parte aérea aumentou 73,6% no tratamento estresse em relação ao controle enquanto a massa seca das raízes não variou.

Comparando as duas espécies observa-se que o mororó apresentou maiores valores de massa seca da parte aérea, raiz, total além da área foliar tanto no tratamento controle quanto no estresse.

Aos 30 dias de suprimento hídrico diferenciado, foram registradas diferenças significativas, para a massa seca das folhas de *Myracrodruon urundeuva*, refletindo a redução da parte aérea no regime hídrico de 25% cc. (Figueirôa et al. 2004). Ainda segundo estes autores aos 30 dias a alocação de biomassa para as raízes foi maior e mais rápida no tratamento em que as plantas jovens de aroeira foram submetidas aos efeitos do estresse hídrico mais severo, de 25% cc.

Aos 60 dias suprimento hídrico diferenciado, os três tratamentos diferiram significativamente entre si, sendo que a área foliar aumentou com o aumento da disponibilidade hídrica (Figueirôa et al. 2004).

Cabral et al. (2004) afirma que a partir dos 30 dias evidenciou-se redução acentuada na área foliar de plantas jovens de *Tabebuia aurea* com suprimento hídrico diário de 25% cc, em relação ao tratamento 100% cc

A produção de massa seca de raízes de eucalipto foi severamente prejudicada no regime de irrigação a cada seis dias, confirmando a condição desfavorável imposta por este regime ao desenvolvimento das plantas (Velline et al. 2008).

Por ser a redução no turgor o mais precoce efeito biofísico significativo do estresse hídrico, as atividades dependentes do turgor, como a expansão foliar e o alongamento de raízes, são mais sensíveis ao déficit hídrico (Taiz & Zeiger, 2006).

Tabela 6 Massa seca da parte aérea, raiz, total, relação raiz/parte aérea e área foliar de mudas de *Bauhinia forficata* (mororó) e de *Aspidosperma pyrifolium* (pereiro) submetidas à deficiência hídrica.

| Espécies | Tratamentos | MASSA SECA (g) | | | RAIZ/P. AÉREA | ÁREA FOLIAR (cm ²) |
|----------|-------------|----------------|---------|----------|------------------|-----------------------------------|
| | | PARTE AÉREA | RAÍZ | TOTAL | | |
| mororó | controle | 20,17 aA | 7,60 aA | 27,77 aA | 0,38 aB | 1608,62 aA |
| | recuperação | 12,05 aB | 6,74 aA | 18,80 aB | 0,55 aA | 938,05 aB |
| | estresse | 9,07 aC | 5,99 aA | 15,07 aB | 0,66 aA | 810,40 aB |
| Pereiro | controle | 8,37 bA | 4,03 bA | 12,40 bA | 0,49 aB | 412,66 bA |
| | recuperação | 6,73 bA | 3,54 bA | 10,27 bA | 0,52 aB | 348,55 bA |
| | estresse | 5,56 bA | 4,32 bA | 9,88 bA | 0,78 aA | 276,01 bA |
| C.V.% | | 17,51 | 19,43 | 15,39 | 16,66 | 20,62 |

(Controle – irrigação diária, recuperação – suspensão da irrigação seguida de reirrigação e estresse – suspensão da irrigação até a coleta do experimento). Letras minúsculas na coluna comparam as espécies no mesmo tratamento e letras maiúsculas na coluna comparam cada espécie em tratamentos diferentes. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

4.4 CONCLUSÕES

A redução na disponibilidade de água no substrato afeta negativamente o crescimento de *Aspidosperma pyrifolium* e *Bauhinia forficata* reduzindo a altura e diâmetro do caule, área foliar e acúmulo de matéria seca das plantas. Entretanto, as mesmas apresentam mecanismos para tolerar uma menor disponibilidade hídrica, visto que tais espécies mostram estratégias de aclimação frente ao estresse imposto como inibição do crescimento foliar (expansão foliar), abscisão foliar, aumento em osmólitos tais como carboidratos solúveis e N-aminossolúveis, alocação de fotoassimilados para as raízes em detrimento da parte aérea, além de apresentar capacidade de recuperação após a reirrigação.

REFERÊNCIAS

- Bates, L. S. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, v.39, p.205-207, 1973.
- Bradford, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, v.72, p.248-254, 1976.
- Brunini, O.; Cardoso, M. Efeito do déficit hídrico no solo sobre o comportamento estomático e potencial da água em mudas de seringueira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.33, 1998.
- Bohnert, H. J.; Shen, B. Transformation and compatible solutes. *Scientia Horticulturae*, v.78, p.237-260, 1999.
- Cocking, E. C.; Yemm, E. W. Estimation of aminoacids by ninhidrin. *The Biochemical Journal*, v.58, p.12-13, 1954.
- Cabral, E. L.; Barbosa, D. C. A.; Simabukuro, E. A. Crescimento de plantas jovens de *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore submetidas a estresse hídrico. *Acta bot. bras.* v.18(2), p.241-251, 2004.
- Carvalho, C. J. R. Respostas de plantas de *Schizolobium amazonicum* [*S. parahyba* var. *amazonicum*] e *Schizolobium parahyba* [*Schizolobium parahybum*] à deficiência hídrica. *Revista Árvore*, v.29, p.907-914, 2005.
- Cavatte, P. C. Morfologia, relações hídricas e fotossíntese em duas cultivares de *Coffea canephora* submetidas ao déficit hídrico. Viçosa: UFV, 2007. 52p. Dissertação Mestrado.
- Dubois, M.; Gilles, K. A.; Hamilton, J. K.; Rebers, P. A.; Smith, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, v.28, p.350-356, 1956.
- Ferreira, P. V. Estatística experimental aplicada à agronomia. 3ª Ed. Maceió: EDUFAL, 2000. 422p.
- Figueirôa, J. M.; Barbosa, D. C. A.; Simabukuro, E. A. Crescimento de plantas jovens de *myracrodruon urundeuva* allemão (anacardiaceae) sob diferentes regimes hídricos. *Acta bot. bras.* v.18(3), p.573-580, 2004.
- Freitas, J. M. N.; Carvalho, K. S.; Lobato, A. K. S.; Castro, D. S.; Maia, P. S. P.; Neto, C. F. O.; Costa, R. C. L. Atividade da Redutase do Nitrato, Conteúdo relativo de Água e teores de Clorofilas Solúveis totais em Folhas de Açaizeiro (*Euterpe edulis* Mart.) Submetidas ao Déficit Hídrico e ao Alagamento. *Revista Brasileira de Biociências*. v. 5, p.924-926, 2007.
- Hendry, G., Grime, J. *Methods in comparative plant. A laboratory manual*. Chapman & Hall, London, 1993, p.252.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa de Biomas e de Vegetação. Comunicação social, 2004. Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=169>. Acesso em 14 Out. 2009.

Lorenzi, H. Árvores brasileiras. Nova odessa, Editora Plantarum, 1992.281p.

Lemos-Filho, J. P. Fotoinibição em três espécies do serrado (*Annona crassifolia*, *Eugenia dysenterica* e *Campomanesia adamantium*) na estação seca e na chuvosa. Rev. Brasil. Bot., v.23, p.45-50, 2000.

Prazeres, S. M. Germinação e propagação vegetativa. In: Sampaio, V. S. B.; Mayo, S. J.; Barbosa, M. R. V. Pesquisa Botânica Nordestina: progresso e perspectivas. Recife: SBB. 1996. p.172-189.

Pimentel, C. A relação da água com a planta. Seropédica, RJ: Edur, 2004 191p.

Queiroz, C. G. S.; Garcia, Q. S.; Filho, J. P. L. Atividade fotossintética e peroxidação de lipídios de membrana em plantas de aroeira-do-sertão sob estresse hídrico e após reidratação. Braz. J. Plant Physiol., v.14(1), p.59-63, 2002.

Santos, R. F.; Carlesso, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.2, p.287-294. 1998.

Silva, G. M. C.; Silva, H.; Almeida, M. V. A.; Cavalcanti, M. L. F.; Martins, P. L. Morfologia do fruto, semente e plântula do Mororó (ou pata de vaca) – *Bauhinia forficata* Linn Rev. Biologia e Ciências da Terra. v.3, 2003.

Silva, E. C.; Nogueira, R. J. M. C. Neto, A. D. A.; Brito, J. Z.; Cabral, E. L. Aspectos ecofisiológicos de dez espécies em uma área de caatinga no município de Cabaceiras, Paraíba, Brasil. Iheringia, Sér. Bot., v.59, p. 201-205, 2004.

Silva, M. A.; Jifon, J. L.; Silva, J. A. G.; Sharma, V. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. Braz. J. Plant Physiol., v.19(3), p.193-201, 2007.

Sales, F. C. V. Revegetação de área degradada da caatinga por meio da semeadura ou transplante de mudas de espécies arbóreas em substrato enriquecido com matéria orgânica. Patos: UFCG, 2008. 67p. Dissertação de Mestrado

Silva, V. A.; Antunes, W. C.; Guimarães, B. L. S.; Paiva, R. M. C.; Silva, V. F.; Ferrão, M. A. G. DaMatta, F. M.; Loureiro, M. E. Resposta fisiológica de clone de café Conilon sensível à deficiência hídrica enxertado em porta-enxerto tolerante. Pesq. agropec. bras., v.45, p.457-464, 2010.

Taiz, L.; Zeiger, E. Fisiologia vegetal. 3ª Ed. Porto Alegre: artmed, 2006. 722p.

Trigueiro, E. R. C.; Oliveira, V. P. V.; Bezerra, C. L. F. indicadores biofísicos e a dinâmica da degradação/desertificação no bioma caatinga: estudo de caso no município de Tauá, Ceará. REDE – Revista Eletrônica do Prodepa, Fortaleza, v.3, p.62-82, 2009.

Vellini, A. L. T. T.; Paula, N. F.; Alves, P. L, C. A.; Pavani, L. C.; Bonine, C. A. V.; Scarpinati, E. A.; Paula, R. C. Respostas fisiológicas de diferentes clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação. Rev. Árvore, v.32, p.651-663, 2008.

Xu, D. Q.; Shen, Y. K. Photosynthetic Efficiency and Crop Yield. In: Pessaraki, M. (ed). Handbook of plant and crop physiology. New York, USA: Marcel Dekker, Inc., 2001, Cap42 p.821- 834.

Referências elaboradas segundo as normas da Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Agriambi) ISSN: 1415-4366.

5 CONCLUSÃO GERAL

As quatro espécies estudadas apresentam mecanismos de adaptação a situações de deficiência hídrica. As estratégias da aclimação verificadas nestas espécies permitem concluir que todas estas poderiam ser indicadas para o reflorestamento em áreas sujeitas a períodos de estiagem, destacando-se a rapidez na recuperação do crescimento observado nestas espécies quando o suprimento hídrico é normalizado.