



CENTRO DE SAÚDE E TECNOLOGIA RURAL
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
CAMPUS DE PATOS-PB

AMANDA SILVA DA COSTA

**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DE PLANTAS DE AROEIRA AO
DÉFICE HÍDRICO E POSTERIOR REIDRATAÇÃO**

Patos – Paraíba - Brasil
2014

AMANDA SILVA DA COSTA

**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DE PLANTAS DE AROEIRA AO
DÉFICE HÍDRICO E POSTERIOR REIDRATAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, da Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Patos-PB, na Área de Ecologia e Manejo dos Recursos Florestais, como parte das exigências para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador:

Prof. Dr. Antonio Lucineudo de Oliveira
Freire

Patos – Paraíba - Brasil

2014

C837r

Costa, Amanda Silva da.

Respostas fisiológicas e bioquímicas de plantas de aroeira ao déficit hídrico e posterior reidratação. / Amanda Silva da Costa. - Patos - PB: [s.n], 2014.

53 f.

Orientador: Professor Dr. Antonio Lucineudo de Oliveira Freire.

Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Saúde e Tecnologia Rural; Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais - PPGCF.

1. Fisiologia vegetal. 2. Aroeira - fisiologia. 3. Estresse hídrico - plantas. 4. Déficit hídrico - plantas. 5. Reidratação de plantas. I. Freire, Antonio Lucineudo de Oliveira. II. Título.

CDU: 581.1(043.2)

Elaboração da Ficha Catalográfica:

Johnny Rodrigues Barbosa
Bibliotecário-Documentalista
CRB-15/626

AMANDA SILVA DA COSTA

**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DE PLANTAS DE AROEIRA AO
DÉFICE HÍDRICO E POSTERIOR REIDRATAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, da Universidade Federal de Campina Grande, no CSTR, como parte das exigências para a obtenção do Título de MESTRE em CIÊNCIAS FLORESTAIS.

Dissertação aprovada em 28 de março de 2014.



Prof. Dr. Antonio Luceneudo de Oliveira Freire

Universidade Federal de Campina Grande (UAEF/CSTR/UFCG)

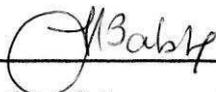
(Orientador)



Prof. Dr. Francisco Hevilásio Freire Pereira

Universidade Federal de Campina Grande (CCTA/UFCG)

(1º Examinador)



Prof. Dr. Ivonete Alves Bakke

Universidade Federal de Campina Grande (UAEF/CSTR/UFCG)

(2º Examinador)

DEDICO

À minha mãe (Lúcia) e ao meu sobrinho (Bernardo).

AGRADECIMENTOS

A Deus, por esta conquista;

À minha família, que foram fundamentais na concretização deste sonho;

Ao meu orientador, Prof. Antonio Lucineudo de O. Freire, pelos ensinamentos, paciência e amizade, que foram muito válidos para o meu crescimento pessoal e profissional;

Aos membros da banca, Prof^a Ivonete Alves Bakke e Francisco Hevilásio, pelas contribuições para esta dissertação;

Aos funcionários do PPGCF, nas pessoas de Nara Cecília e Paulo, pela disponibilidade;

Aos colegas de turma, Cheila Deyse, Danúbia Rejane, Jaiana e, em especial, a Lílian Azevedo, pela amizade construída;

Aos amigos, Jéssica Pessoa, Francisco José e Lucas, que ajudaram nos trabalhos de campo e laboratório;

À CAPES, pela concessão da bolsa.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e Teor relativo de água (TRA) em folhas de plantas de aroeira-do-sertão sob estresse hídrico e posterior reidratação	28
Figura 2 -	Condutância estomática (g_s), taxa de transpiração (E), taxa de fotossíntese (A) e concentração intercelular de CO_2 (C_i) das plantas de aroeira em função do estresse hídrico e posterior reidratação	30
Figura 3 -	Eficiência no uso da água (EUA) e Eficiência de carboxilação (A/C_i) das plantas de aroeira em função do estresse hídrico e posterior reidratação.....	33
Figura 4 -	Concentrações foliares de açúcares solúveis totais (AST) e aminoácidos livres totais (AAT) em plantas de aroeira em função do estresse hídrico e posterior reidratação	35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	9
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
2.1 Caracterização da região semiárida	11
2.2 Considerações sobre a espécie	12
2.3 Fisiologia das plantas sob déficit hídrico	13
REFERÊNCIAS	17
CAPÍTULO 1	22
Resumo	23
Abstract	24
Introdução	24
Materiais e Métodos	26
Resultados e discussão	28
Conclusões	37
Referências	37
Anexo	44

COSTA, Amanda Silva da. **Respostas fisiológicas e bioquímicas de plantas de aroeira ao déficit hídrico e posterior reidratação.** 2014. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais. CSTR/UFCG, Patos - PB. 2014. 51 p.:il.

RESUMO

O estresse hídrico afeta as plantas em vários aspectos, dependendo da sua intensidade e duração, e a habilidade das plantas em suportar essa condição é fundamental para o seu estabelecimento. O objetivo deste trabalho foi avaliar as trocas gasosas e o acúmulo de solutos orgânicos em plantas jovens de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) submetidas ao estresse hídrico e posterior reidratação. Plantas com doze meses de idade, mantidas em sacos plásticos pretos, contendo 5 kg de uma mistura de solo e esterco bovino (2:1) foram submetidas aos tratamentos irrigado (controle) e de estresse hídrico, o qual foi imposto através da suspensão da irrigação. Decorridos 12 dias do estresse, as plantas foram reidratadas. As plantas sob estresse hídrico apresentaram teor relativo de água de 70% ao final do período de estresse. O déficit hídrico promoveu redução progressiva na condutância estomática, na transpiração, na fotossíntese líquida e na eficiência no uso da água. A concentração intercelular de CO₂, as concentrações foliares de açúcares totais e aminoácidos solúveis totais aumentaram. Após a retomada da irrigação, ocorreu rápida recuperação no teor relativo de água, mas a recuperação na condutância estomática e na fotossíntese líquida ocorreram mais lentamente. As plantas de aroeira são capazes de recuperar o status hídrico e o funcionamento do mecanismo estomático e fotossintético após a reidratação, demonstrando tolerância ao estresse hídrico.

Palavras – chave: *Myracrodruon urundeuva*, trocas gasosas, tolerância à seca.

COSTA, Amanda Silva da. **Physiological and Biochemical Responses of Aroeira Plants to Water Deficit and Rehydration.** 2014. Master Thesis in Forest Science. CSTR/UFCG, Patos - PB. 2014. 53 p.:il.

ABSTRACT

Water stress affects plants in several ways, depending on its intensity and duration, and the ability of plants to withstand these conditions is critical to its establishment. The aim of this study was to evaluate gas exchange and accumulation of organic solutes in young aroeira plants (*M. urundeuva* Allemão) subjected to water stress and subsequently to rehydration. 12 months old plants, kept in black plastic bags containing 5 kg of a mixture of soil and manure (2:1) were submitted to the irrigated treatments (control) and drought stress, which was imposed by suspending irrigation. After 12 days of stress, plants were rehydrated. Plants under water stress presented relative water content of 70 % at the end of the stress period. The water deficit promoted progressive reduction in stomatal conductance, transpiration, net photosynthesis and in the efficiency in water use. The intercellular CO₂ concentration, leaf concentrations of total sugars and total soluble amino acids increased. After resumption of irrigation, rapid recovery occurred in relative water content, but the recovery in stomatal conductance and net photosynthesis occurred more slowly. The aroeira plants are able to recover the water status and functioning of stomata and photosynthetic mechanism after rehydration, showing tolerance to water stress.

Keywords: *M. urundeuva* , gas exchange , drought tolerance

1 INTRODUÇÃO GERAL

A região Nordeste do Brasil ocupa uma área de cerca de 1.560.000 km², sendo que, desta, aproximadamente 982.000 km² correspondem à região semiárida, que se caracteriza pela predominância de solos com baixa retenção de umidade, altas temperaturas e taxas de evaporação (SILVA et al., 2010). Além desses fatores, há o problema da irregularidade das chuvas, com grande variabilidade espacial e temporal, levando à ocorrência de secas frequentes. A vegetação predominante dessa região semiárida é do tipo caatinga, estando, portanto, bastante adaptada a essas condições adversas.

A água constitui-se em um fator chave no crescimento, no desenvolvimento e na distribuição das espécies nos vários ecossistemas. Sua distribuição irregular pode levar a longos períodos de estresse hídrico, que afetarão as plantas em vários aspectos, dependendo da intensidade e da duração do mesmo. A habilidade das plantas de suportarem essa condição de baixa disponibilidade de água no meio é fundamental para o seu estabelecimento nessa região. Para que isso seja alcançado, as plantas desenvolvem várias estratégias fisiológicas, morfoanatômicas e bioquímicas, que variam, desde o acúmulo de solutos osmoticamente ativos, que possibilitem a absorção de água, até a perda das folhas. Uma das primeiras reações dos vegetais à condição de estresse hídrico é o fechamento estomático, minimizando ou mesmo evitando as perdas de água por transpiração, e a velocidade com que a planta realiza tal processo é vital para que a mesma permaneça viva. No entanto, essas respostas variam com a espécie vegetal, a idade das plantas e com a intensidade do estresse hídrico ao qual estão sendo submetidas.

Quanto aos efeitos do estresse hídrico sobre o comportamento fisiológico das espécies nativas da Caatinga, são pouco estudados, principalmente em relação às trocas gasosas entre as plantas e o ambiente, sob essa condição de baixa disponibilidade hídrica. O desenvolvimento de tais estudos é necessário, contribuindo para a ampliação dos conhecimentos acerca do comportamento das plantas desse bioma exclusivamente brasileiro, tão pouco conhecido do ponto de vista científico.

A aroeira-do-sertão (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) é uma espécie com ampla faixa de distribuição geográfica e climática, com ocorrência na caatinga, cerrado e mata atlântica. Devido às suas propriedades medicinais e madeireiras, tem sido bastante explorada, levando à diminuição do número de indivíduos ou mesmo o seu desaparecimento em algumas regiões, o que leva à necessidade do desenvolvimento de estratégias de manejo adequado da mesma. Apesar do conhecimento a respeito da tolerância à seca na fase adulta da maioria das

espécies da caatinga, tem-se que atentar para a fase inicial, verificando-se o desenvolvimento das mudas em função das alterações que ocorrem no ambiente.

Esse trabalho teve como objetivo verificar as trocas gasosas e o acúmulo de solutos orgânicos de plantas jovens de aroeira submetidas ao estresse hídrico, imposto através da suspensão da irrigação, bem como após a retomada do fornecimento de água.

2 REFERENCIALTEÓRICO

2.1 Caracterização da região semiárida

O domínio ecogeográfico da caatinga ocupa uma área que corresponde a 54% da Região Nordeste e a 11% do território brasileiro. Seus solos, com raras exceções, são limitadamente desenvolvidos, mineralmente ricos, pedregosos e pouco espessos e com insuficiente capacidade de retenção da água, fator que limita a produção primária nessa região. A cobertura vegetal é representada por formações xerófilas muito diversificadas por razões climáticas, edáficas, topográficas e antrópicas. As populações da vegetação que povoam essa área comumente apresentam folhas pequenas, sendo uma adaptação para minimizar a transpiração (ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2009).

Em vários aspectos, o bioma caatinga é o mais negligenciado dos biomas brasileiros, apesar de ter sido um dos mais ameaçados devido a centenas de anos de exploração inadequada do solo e dos recursos naturais (VELLOSO; SAMPAIO; PAREYN, 2002). É o bioma brasileiro mais desvalorizado e mal conhecido botanicamente e, apesar de extensamente alterado por ações antrópicas, possui grande variedade de tipos vegetacionais e de espécies e remanescentes ainda bem preservados, compreendendo um número significativo de táxons raros e endêmicos (GIULIETTI et al., 2003).

Nesse bioma, é possível encontrar áreas totalmente distintas, com vegetação arbustiva rala ou até mesmo florestas densas, podendo chegar a 8 metros de altura. Essa vegetação caracteriza-se por apresentar espécies microfilas e decíduas, adaptações caulinares e foliares, além da grande quantidade de espécies herbáceas anuais (ZAPPI, 2008). Além de apresentar alta biodiversidade e elevado valor endêmico, a caatinga fornece informações de como plantas e animais se adequam a um regime de precipitação inconstante e estressante (LEAL et al., 2005).

As espécies arbustivas e arbóreas da vegetação caatinga estão constantemente sujeitas a estresses ambientais, sendo o déficit hídrico o mais frequente, tendo que desenvolver várias estratégias de sobrevivência (MENDES, 1994; DOMBROSKI et al., 2011). Esses fatores tornam importante a compreensão da fisiologia da vegetação desse bioma para a conservação do mesmo, contribuindo para o entendimento das características adaptativas que possibilitam o estabelecimento dos indivíduos em locais que apresentem condições inadequadas ao seu desenvolvimento (TROVÃO et al., 2004), e informações acerca das espécies florestais nativas

são necessárias para o manejo apropriado na região (FIGUEIRÔA; BARBOSA; SIMABUKURO, 2004).

Apesar das circunstâncias severas, este bioma possui uma notável variedade de ambientes, através de um mosaico vegetacional, com espécies caducifólias, espinhosas, que variam de acordo com os solos e condições hídricas.

Os solos são caracterizados pela disposição espacial complexa, com fragmentos de solos rasos e pedregosos aos arenosos e profundos, de baixa ou alta fertilidade. Em algumas áreas são degradados, após anos de intenso uso agropecuário e desmatamento.

A maior distinção dessa ecorregião é a irregularidade das chuvas, submetendo a vegetação, na maior parte do ano, à deficiência hídrica. A sua precipitação média anual varia de 500 a 800 mm, embora haja períodos com registros superiores e inferiores a estes. Em geral, o período chuvoso ocorre de outubro a maio, com precipitações concentradas de fevereiro a maio, sendo comum a ocorrência de secas contínuas. (VELLOSO; SAMPAIO; PAREYN, 2002).

No bioma Caatinga, é tradicional a prática da exploração da vegetação de forma intensiva, que, aliada à instabilidade climática, convergiu para uma extensa degradação ambiental e, de modo consequente, para um dano à diversidade biológica. Nessa região, a elevada taxa de deficiência hídrica se dá devido à ocorrência das irregulares chuvas, acompanhada por altas temperaturas. Esse conjunto de possibilidades aumenta as taxas de evapotranspiração potencial e real, diminuindo a umidade do solo e a água acumulada nos reservatórios (SILVA, et al., 2010).

2.2 Considerações sobre a espécie

A aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão), também conhecida como aroeira-do-sertão, pertencente à família Anacardiaceae, é uma planta decídua, heliófila, seletiva xerófila; ocorre em agrupamentos densos, tanto em formações abertas e muito secas, como em formações muito úmidas e fechadas, com distribuição geográfica em todos os estados do Nordeste, parte do Centro Oeste, Sudeste e Sul (LORENZI, 2008), estando presente nos biomas Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica (FLORA DO BRASIL, 2010).

O porte das plantas varia de acordo com a localidade encontrada, podendo atingir de 6-14m no cerrado e caatinga, e de 20-25m em solos mais férteis da floresta latifoliada semidecídua; possui madeira com grande resistência mecânica, excelente para fabricação de mourões, estacas, dormentes, sendo utilizada na construção civil; e apresenta qualidades

paisagísticas pela beleza de sua copa. (LORENZI, 2008). Possui madeira de cor parda, avermelhada, de paladar adstringente, resistente e imputrescível, bastante apreciada pela indústria civil; sua casca é dotada de placas subdivididas nos troncos mais antigos e placas íntegras nos mais jovens, com cerca de 15% de tanino, componente muito utilizado na indústria de curtume (OLIVEIRA et al., 2007) e na medicina popular (SILVA et al., 2010; GOMES et al., 2013).

A floração é ampla e variável, e as sementes são aladas e de maturação rápida, com dispersão anemocórica (CARVALHO, 1994). Apresenta faixa ótima de germinação entre 20 e 30 °C, podendo germinar em mínimas de 10 °C e máximas de 40 °C (SILVA et al., 2002).

Apresenta características adaptativas às condições hídricas adversas, como elevada germinação sem tratamento prévio, cotilédones resistentes e crescimento rápido da raiz principal, e as folhas são compostas com inúmeros estômatos na porção abaxial (FIGUEIRÔA; BARBOSA; SIMABUKURO, 2004).

Em virtude de suas características, a exploração da madeira limitou o volume das populações naturais, chegando a dizimar essa espécie em alguns lugares. No entanto, um novo panorama, em relação à sua utilização com uso medicinal, vem sendo efetuado. Desse modo, novas diretrizes relacionadas à extração poderão transparecer (FREITAS et al., 2005). Em consequência dessa ampla utilização e exploração, essa espécie foi incluída na lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2008).

Essa espécie possui características de tolerância a locais contaminados por dejetos de zinco, devido à ocorrência natural nessas áreas. Devido à sua longevidade e grande produção de biomassa, a aroeira é capaz de consolidar, em seus tecidos internos, altas quantidades de metais, reduzindo o impacto que o zinco causa ao ambiente (GOMES et al., 2013).

2.3 Fisiologia das plantas sob déficit hídrico

É incontestável a influência que o ambiente pode causar no crescimento, desenvolvimento e produtividade vegetal das plantas, e, diante desse fato, é importante avaliar os efeitos das condições ambientais na fisiologia e no crescimento das espécies de importância econômica e ecológica (CABRAL; BARBOSA; SIMABUKURO, 2004). A água é o principal fator ambiental para qualquer ser vivo, sendo crucial para a existência, sobrevivência e perpetuação de qualquer forma de vida (PIMENTEL, 2004). É o principal constituinte dos vegetais, representando 50% da massa fresca nas plantas lenhosas e cerca de

80 a 95% nas herbáceas, interferindo na turgescência das células e tecidos e sendo essencial para o transporte de solutos e crescimento da planta (FIGUEIRÔA; BARBOSA; SIMABUKURO, 2004; LARCHER, 2006).

Diante da variedade de limitações à produção vegetal, o déficit hídrico exerce papel principal, uma vez que prejudica as relações hídricas da planta, modificando o metabolismo. Quando a redução do teor de água no solo ocorre de forma rápida, o funcionamento morfofisiológico é seriamente atingido, e, para sobreviver, a planta deve desenvolver mecanismos de adaptação a essa condição, e sua sobrevivência vai depender do grau de tolerância apresentado. Esta tolerância ao déficit hídrico é um forte mecanismo de defesa, permitindo a conservação do sistema produtivo sob condições hídricas desfavoráveis (SANTOS; CARLESSO, 1998). As informações do modo como as plantas se comportam em situações de estresse hídrico são essenciais para o desenvolvimento de espécies com tolerância à seca (VARGAS, 2007).

Quando submetidas ao déficit hídrico, ocorrem várias alterações em nível morfológico, fisiológico ou molecular, visando à adaptação a essa condição adversa. Estes mecanismos são imprescindíveis para que a planta possa sobreviver e recuperar-se do estresse hídrico quando o fornecimento de água for retomado. Existem intensidades diferentes de estresse, e as plantas têm respostas diferentes para cada um deles, possibilitando a identificação de genótipos mais resistentes.

O primeiro efeito da falta de água nos vegetais é a diminuição no alongamento celular (HSIAO, 1973; LARCHER, 2006), resultando na redução do desenvolvimento da área foliar e, conseqüentemente, na produção de biomassa (LUDLOW; MUCHOW, 1990). A estratégia inicial desenvolvida pelas plantas, quando ocorre redução na disponibilidade de água, é o fechamento dos estômatos, evitando a perda excessiva de água e, conseqüentemente, perda da turgescência (FLEXAS et al., 2004; ALBUQUERQUE et al., 2013). Tal mecanismo permite a manutenção da integridade do sistema de transporte de água, além do desenvolvimento de potencial hídrico favorável, mantendo o crescimento foliar durante a estação seca ou sob condições de estresse hídrico (MATTOS, 1998). Redução na transpiração, devido à diminuição na condutância estomática, resultante do fechamento dos estômatos em resposta ao déficit hídrico, tem sido observada em várias pesquisas (GONÇALVES; SILVA; GUIMARÃES, 2009; MARIANO et al., 2009; CHEN et al., 2010; OLIVEIRA; GUALTIERI; BOCCHETTI, 2011). No entanto, a velocidade e a hora do dia em que ocorre esse fechamento estomático variam com a espécie, sendo esses aspectos fundamentais na determinação da tolerância da planta ao estresse hídrico (NOGUEIRA et al., 2001; SILVA et al., 2003). Os

valores de transpiração, taxa de crescimento, eficiência na transpiração e no uso da água são indícios de um rápido estabelecimento da vegetação em áreas apropriadas (MAES et al., 2009).

Por outro lado, essa estratégia, desenvolvida com o objetivo de reduzir a perda de água causa prejuízos ao processo fotossintético, pois ocorre redução na condutância estomática e, conseqüentemente, restrição na disponibilidade de CO₂ (COSTA; MARENCO, 2007; NASCIMENTO et al., 2011; TAIZ; ZEIGER, 2013). No entanto, os efeitos do estresse hídrico no processo fotossintético não são apenas devido a fatores estomáticos, sendo que aspectos não estomáticos também devem ser considerados. Podem ocorrer danos no aparato fotoquímico, com diminuição na taxa de transporte de elétrons no PSII (fotossistema II), refletindo na síntese de ATP, reduzindo-a; queda na atividade ou na taxa de regeneração da enzima Rubisco, responsável pela captura do CO₂ (FLEXAS; MEDRANO, 2002; FLEXAS et al., 2004), assim como diminuição da capacidade de regenerar a RuBP (BOUSSADIA et al., 2008), além de redução na síntese de pigmentos (LARCHER, 2006).

Em relação às alterações metabólicas, ocorre o acúmulo de substâncias orgânicas e inorgânicas, denominado de ajustamento osmótico, o qual proporciona decréscimo no potencial osmótico celular, garantindo a absorção de água e pressão de turgescência celular, as quais podem contribuir para a manutenção de processos fisiológicos essenciais, como abertura dos estômatos, fotossíntese e expansão celular (SAKAMOTO; MURATA, 2002; SERRAJ; SINCLAIR, 2002).

Dentre os solutos orgânicos que se acumulam sob condições de estresse, os principais são açúcares solúveis (SIRCELJ et al., 2005; CHEN et al., 2010; NIO et al., 2011), proteínas (HAMEED et al., 2011) e aminoácidos (PINHEIRO; PASSARINHO; RICARDO, 2004; SIRCELJ et al., 2007). No entanto, a quantidade e o tipo de soluto acumulado depende da espécie vegetal e da duração do período de estresse. Quanto aos carboidratos solúveis, em *Lupinus albus*, observou-se acúmulo de glicose, frutose e sacarose (PINHEIRO; CHAVES; RICARDO, 2001). Em pesquisas com *Prunus persica*, foi observado que os açúcares que desempenharam importante papel sob condições de estresse hídrico foram sorbitol e sacarose (LO BIANCO; RIEGER; SUNG, 2000). O manitol, juntamente com glicose e sacarose, aumentaram significativamente nas plantas de *Olea europaea*, contribuindo, de forma significativa, para o potencial osmótico e posterior ajustamento osmótico dessas plantas (DICHIO et al., 2009). Frutose e sacarose também foram os açúcares encontrados em maiores concentrações em *Triticum* (NIO et al., 2011). Em *Ziziphus joazeiro*, houve aumento nas

concentrações de açúcares solúveis totais à proporção que a quantidade de água disponível diminuía (SILVA, 2011).

Em relação às proteínas, tem sido observado aumento na concentração foliar sob condições de estresse hídrico (SILVA, 2011; HAMEED et al., 2011). Essa resposta pode ser devida à produção de enzimas antioxidantes ou de proteínas de estresse, as proteínas desidrinas (HAMEED et al., 2011), as quais têm um papel fundamental na resposta das plantas e adaptação a estresse abiótico, estando envolvidas na prevenção à desidratação (HANIN et al., 2011).

Aliado às substâncias anteriormente mencionadas, pode ocorrer acúmulo de glicina betaína (NAYYAR, 2003; ZHU et al., 2005; NIO et al., 2009) e do aminoácido prolina (MORGAN, 1992; NIO et al., 2009). Além de contribuírem para o ajustamento osmótico dos tecidos, esses compostos podem desempenhar outras funções. A glicina betaína pode exercer o papel de proteção às enzimas sob condições de estresse hídrico (RHODES; HANSON, 1993), além de aumentar e estabilizar a atividade do complexo de proteínas envolvido no transporte de oxigênio no fotossistema II (PSII) (PAPAGEORGIOU; MURATA, 1995). Por sua vez, a prolina pode contribuir para a estabilização de macromoléculas, além de ser fonte de carbono e nitrogênio para as plantas após a condição de estresse hídrico ser eliminada (RAYMOND; SMIRNOFF, 2002), podendo também ser utilizada na síntese de proteínas ou ser convertida em intermediários do ciclo de Krebs, contribuindo para a síntese de ATP (SZABADOS; SAVOURÉ, 2010). Em plantas de *Khaya ivorensis*, a concentração de prolina, após 14 dias sem irrigação, foi de 45,01 $\mu\text{g g}^{-1}$ MS, enquanto que, nas plantas irrigadas, os valores eram próximos de zero (ALBUQUERQUE et al., 2013). Segundo esses autores, possivelmente esse acúmulo de prolina tenha contribuído, de forma significativa, na recuperação do status hídrico das plantas após a reidratação.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, M. P. F.; MORAES, F. K. C.; SANTOS, R. I. N.; CASTRO, G. L. S.; RAMOS, E. M. L. S.; PINHEIRO, H. A. Ecofisiologia de plantas jovens de mogno-africano submetidas a déficit hídrico e reidratação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, p. 9-16, 2013.
- ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A.; NASCIMENTO, S. S. Degradação da caatinga: uma investigação ecogeográfica. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, p. 126-135, 2009.
- BOUSSADIA, O.; MARIEM, F. B.; MECHRI, B.; BOUSSETTA, W.; BRAHAM, M.; EL HADJ, S. B. Response to drought of two olive tree cultivars (cv Koroneki and Meski). **Scientia Horticulturae**, v. 116, p. 388-393, 2008.
- 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**, São Paulo, v. 18, p. 241-251, 2004.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1994. 640 p.
- CHEN, J. W.; ZHANG, Q.; LI, X. S.; CAO, K. F. Gas exchange and hydraulics in seedlings of *Hevea brasiliensis* during water stress and recovery. **Tree Physiology**, v. 30, p. 876-885, 2010.
- COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 37, p. 229-234, 2007.
- DICHIO, B.; MARGIOTTA, G.; XILOYANNIS, C.; BUFO, S. A.; SOFO, A.; CATALD, T. R. I. Changes in water status and osmolyte contents in leaves and roots of olive plants (*Olea europaea* L.) subject to water deficit. **Tree**, v. 23, p. 247-256, 2009.
- DOMBROSKI, J. L. D.; PRAXEDES, S. C.; FREITAS, R. M. O.; PONTES, F. M. Water relations of Caatinga trees in the dry season. **South African Journal of Botany**, v. 77, p. 430-434, 2011.
- 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**, São Paulo, v. 18, p. 573-580, 2004.
- FLEXAS, J.; BOTA, J.; LORETO, F.; CORNIC, G.; SHARKEY, T.D. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C₃ plants. **Plant Biology**, v. 6, p. 269-279, 2004.
- FLEXAS, J.; MEDRANO, H. Drought-inhibition of photosynthesis in C₃ plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. **Annals of Botany**, v. 89, p. 183-189, 2002.

FLORA DO BRASIL. 2010. Introdução. IN: **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em <<http://reflora.jbrj.gov.br/downloads/vol11.pdf>> Acesso em: 10 de novembro de 2013.

FREITAS, M. L. M.; AUKAR, A. P. A.; SEBBENN, A. M.; MORAES, M. L. T.; LEMOS, E. G. M. Variabilidade genética intrapopulacional em *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. por marcador AFLP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 68, p. 21-28, 2005.

GIULIETTI, A. M.; BOCAGE NETA, A. L.; CASTRO, A. A. J. F.; GAMARRA-ROJAS, C. F. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; VIRGÍNIO, J. F.; QUEIROZ, L. P.; FIGUEIREDO, M. A.; RODAL, M. J. N.; BARBOSA, M. R. N.; HARLEY, R. M. Diagnóstico da vegetação nativa do bioma caatinga. In: SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T.; LINS, L. V. (Orgs.) **Biodiversidade da Caatinga**: áreas e ações prioritárias para a conservação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2003. p. 48-78.

GOMES, M. P.; DUARTE, D. M.; CARNEIRO, M. M. L. C.; BARRETO, L. C.; CARVALHO, M.; SOARES, A. M.; GUILHERME, L. R. G.; GARCIA, Q. S. Zinc tolerance modulation in *Myracrodruon urundeuva* plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 67, p. 1-6, 2013.

GOMES, V. T. L.; CHAVES, T. P.; ALENCAR, L. C. B.; DANTAS, I. C.; MEDEIROS, A. C. D.; FELISMINO, D. C. Antimicrobial activity of natural products from *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Aroeira-do-sertão). **Revista Cubana de Plantas Medicinales**, v. 18, p. 529-533, 2013.

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

HAMEED, A.; BIBI, N.; AKHTER, J.; IQBAL, N. Differential changes in antioxidants, proteases, and lipid peroxidation in flag leaves of wheat genotypes under different levels of water deficit conditions. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 49, p. 178-185, 2011.

HANIN, M.; BRINI, F.; EBEL, C.; TODA, Y.; TAKEDA, S.; MASMOUDI, K. Plant dehydrins and stress tolerance. **Plant Signaling & Behavior**, v. 6, p. 1503-1509, 2011.

HSIAO, T. C. Plant responses to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**. v. 24, p. 519-570, 1973.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**, São Carlos: RiMa Artes e Textos, 2006. 531 p.

LEAL, I. R.; SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; LARCHER JR, T. E. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na caatinga do nordeste do Brasil. **Megadiversidade**, Belo Horizonte, v. 1, p. 139-146, 2005.

LO BIANCO, R.; RIEGER, M.; SUNG, S. J. Effect of drought on sorbitol and sucrose metabolism in sinks and sources of peach. **Physiologia Plantarum**, v. 101, p. 71-78, 2000.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. vol 1. 5. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008.

LUDLOW, M. M.; MUCHOW, R. C. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited. **Advances in Agronomy**, v. 43, p. 107-153, 1990.

MAES, W. H.; ACHTEN, W. M. J.; REUBENS, B.; RAES, D.; SAMSON, R.; MUYS, B. Plant–water relationships and growth strategies of *Jatropha curcas* seedlings under different levels of drought stress. **Journal of Arid Environments**, v. 73, p. 877–884, 2009.

MARIANO, K. R. S.; BARRETO, L. S.; SILVA, A. H. B.; NEIVA, G. K. P.; RIBEIRO, A. J.; AMORIM, S. M. C. Fotossíntese e tolerância protoplasmática foliar em *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. **Floresta**, Curitiba, v. 39, p. 853-859, 2009.

MATTOS, E. A. Perspectives in comparative ecophysiology of some Brazilian vegetation types: leaf CO₂ and H₂O exchange, chlorophyll *a* fluorescence and carbon isotope discrimination. In: SCARANO, F. R.; FRANCO, A. (Ed.) **Ecophysiological strategies of xerophytic and amphibious plants in the Neotropics**. Series Oecologia Brasiliensis, v. 4, p. 1-22, 1998.

MENDES, B. V. **Uso e conservação da biodiversidade no semiárido. Projeto Áridas: Uma Estratégia de Desenvolvimento sustentável para o Nordeste**. Vol . 1, n. 1, 151 p. 1994.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção**. 2008. Disponível em:

<http://www.mma.gov.br/estruturas/ascom_boletins/_arquivos/83_19092008034949.pdf>. Acesso em 12 de fev de 2014.

MORGAN, J. M. Osmotic components and properties associated with genotypic differences in osmoregulation in wheat. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 19, p. 67-76, 1992.

NASCIMENTO, H. H. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA, E. C.; SILVA, M. A. Análise do crescimento de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em diferentes níveis de água no solo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, p. 617-626, 2011.

NAYYAR, H. Variation in osmoregulation in differentially drought-sensitive wheat genotypes involves calcium. **Biologia Plantarum**, v. 47, p. 541-547, 2003.

NIO, S. A.; CAWTHRAY, G. R.; WADE, L. J.; COLMER, T. D. Pattern os solutes accumulation during leaf osmotic adjustment as related to duration of water deficit for wheat at the reproductive stage. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 49, p. 1126-1137, 2011.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; MORAES, J. A. P. V.; BURITY, H. A.; BEZERRA NETO, E. E. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 13, p. 75-87, 2001.

OLIVEIRA, A. M.; LINHARES, P. C. F.; MARACAJÁ, P. B.; RIBEIRO, M. C.; BENEDITO, C. P. Salinidade na germinação e desenvolvimento de plântulas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr All.). **Caatinga**, Mossoró, v. 20, p. 39-42, 2007.

OLIVEIRA, A. K. M.; GUALTIERI, S. C. J.; BOCCHESI, R. A. Gas exchange of potted *Tabebuia aurea* plants under hydric stress. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, p. 641-647, 2011.

PAPAGEORGIOU, G.; MURATA, N. The unusually strong stabilizing effects of glycine betaine on the structure and function of the oxygen-evolving Photosystem II complex. **Photosynthesis Research**, v. 44, p. 245-252, 1995.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: Edur, 2004.

PINHEIRO, C.; CHAVES, M. M.; RICARDO, C. P. Alterations in carbon and nitrogen metabolism induced by water deficit in the stem and leaves of *Lupinus albus* L. **Journal of Experimental Botany**, v. 52, p. 1063-1070, 2001.

PINHEIRO, C.; PASSARINHO, J. A.; RICARDO, C. P. Effect of drought and rewatering on the metabolism of *Lupinus albus* organs. **Journal of Plant Physiology**, v. 161, p. 1203-1210, 2004.

RAYMOND, M. J.; SMIRNOFF, N. Proline metabolism and transport in maize seedlings at low water potential. **Annals of Botany**, v. 89, p. 812-823, 2002.

RHODES, D.; HANSON, A. D. Quaternary ammonium and tertiary sulfonium compounds in higher plants. **Annual Review of plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 44, p. 357-84, 1993.

SAKAMOTO, A.; MURATA, N. The role of glycine betaine in the protection of plants from stress: clues from transgenic plants. **Plant and Cell Environment**, v. 25, p. 163-171, 2002.

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

SERRAJ, R.; SINCLAIR, T. R. Osmolyte accumulation: can it really increase crop yield under drought condition? **Plant, Cell and Environment**, v. 25, p. 333-341, 2002.

SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; AZEVEDO NETO, A. D. SANTOS, V. F. Comportamento estomático e potencial de água da folha em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 17, p. 231-246, 2003.

SILVA, L. M. M.; RODRIGUES, T. J. D.; AGUIAR, I. B. Efeito da luz e da temperatura na germinação de sementes de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, p. 691-697, 2002.

SILVA, M. A. V. **Caracterização fisioanatômica e bioquímica do juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart.) submetido ao déficit hídrico**. 2011. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011. 159f.

SILVA, P. C. G.; MOURA, M. S. B.; KIILL, L. H. P.; BRITO, L. T. L.; PEREIRA, L. A.; SA, I. B.; CORREIA, R. C.; TEIXEIRA, A. H. C.; CUNHA, T. J. F.; GUIMARÃES FILHO, C. Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. In: SA, I. B.; SILVA,

P. C. G. (Ed.). **Semiárido brasileiro**: pesquisa, desenvolvimento e inovação. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. cap. 1, p. 19-48.

SIRCELJ, H.; TAUSZB, M.; GRILL, D.; BATIC, F. Biochemical responses in leaves of two apple tree cultivars subjected to progressing drought. **Journal of Plant Physiology**, v. 162, p. 1308-1318, 2005.

SIRCELJ, H.; TAUSZB, M.; GRILL, D.; BATIC, F. Detecting different levels of drought stress in apple trees (*Malus domestica* Borkh.) with selected biochemical and physiological parameters. **Scientia Horticulturae**, v. 113, p. 362-369, 2007.

SZABADOS, L.; SAVOURÉ, A. Proline: a multifunctional aminoacid. **Trends in Plant Science**, v. 15, p. 89-97, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.

TROVÃO, D. M. B. M.; FERNANDES, P. D.; ANDRADE, L. A.; DANTAS NETO, J.; OLIVEIRA, A. B.; QUEIROZ, J. A. Avaliação do potencial hídrico de espécies da caatinga sob diferentes níveis de umidade do solo. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 4, n.2, 2004.

VARGAS, M. A. O. **Respostas ecofisiológicas e bioquímicas do *Ocimum basilicum* L. cultivado em diferentes níveis hídricos**. 2007. 62 p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas). Universidade Federal do Sergipe, São Cristóvão, 2007.

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. (Eds). **Ecorregiões propostas para o bioma caatinga**. Recife: Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil, 2002.

ZAPPI, D. Fitofisionomia da Caatinga associada à cadeia do Espinhaço. **Megadiversidade**, Belo Horizonte, v. 4, p. 34-38, 2008.

ZHU, X.; GONG, H.; CHEN, G.; WANG, S.; ZHANG, C. Different solute levels in two spring wheat cultivars induced by progressive field water stress at different development stages. **Journal of Arid Environments**, v. 62, p. 1-14, 2005.

CAPÍTULO 1

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DE PLANTAS DE AROEIRA AO DÉFICE HÍDRICO E POSTERIOR REIDRATAÇÃO

Respostas fisiológicas e bioquímicas de plantas de aroeira ao déficit hídrico e posterior reidratação

Amanda Silva da Costa⁽¹⁾ e Antonio Lucineudo de Oliveira Freire⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Avenida Universitária, s/n, CEP 58704-110 Patos, PB. E-mail: amanda.florestal@gmail.com, lofreire@cstr.ufcg.edu.br

Resumo – O estresse hídrico afeta as plantas em vários aspectos, dependendo da sua intensidade e duração, e a habilidade das plantas de suportarem essa condição é fundamental para o seu estabelecimento. O objetivo deste trabalho foi avaliar as trocas gasosas e o acúmulo de solutos orgânicos em plantas jovens de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) submetidas ao estresse hídrico e posterior reidratação. Plantas com doze meses de idade, mantidas em sacos plásticos pretos, contendo 5 kg de uma mistura de solo e esterco bovino (2:1) foram submetidas aos tratamentos irrigado (controle) e de estresse hídrico, o qual foi imposto através da suspensão da irrigação. Decorridos 12 dias do estresse, as plantas foram reidratadas. As plantas sob estresse hídrico apresentaram teor relativo de água de 70% ao final do período de estresse. O déficit hídrico promoveu redução progressiva na condutância estomática, na transpiração, na fotossíntese líquida e na eficiência no uso da água. A concentração intercelular de CO₂, as concentrações foliares de açúcares totais e aminoácidos solúveis totais aumentaram. Após a retomada da irrigação, ocorreu rápida recuperação no teor relativo de água, mas a recuperação na condutância estomática e na fotossíntese líquida ocorreram mais lentamente. As plantas de aroeira são capazes de recuperar o status hídrico e o funcionamento do mecanismo estomático e fotossintético após a reidratação, demonstrando tolerância ao estresse hídrico.

Termos para indexação: *Myracrodruon urundeuva*, trocas gasosas, tolerância à seca.

Physiological and biochemical responses of *Myracrodruon urundeuva* plants to water stress and rehydration

Abstract – The aim of this study was to evaluate the stomatal behavior and organic solutes accumulation *Myracrodruon urundeuva* Allemão young plants subjected to water stress and subsequent rehydration. Plants of 12 months old were exposed to irrigated treatments (control) and drought stress, imposed by withholding water. After 12 days of drought stress, plants were rehydrated. Plants under water stress showed relative water content of 70% at the end of the stress period. The stomatal conductance, transpiration, photosynthesis rate, efficiency of water use and photosynthetic efficiency reduced with water stress. The intercellular CO₂ concentration, leaf concentrations, total sugars, and total soluble amino acids concentrations increased. After resumption of irrigation, rapid recovery occurred in the relative water content of the second day, while the recovery in stomatal conductance and photosynthesis rate were slower. Plants are able to recover the water status and functioning of stomatal and photosynthetic mechanism after water stress, evidencing drought tolerance.

Index terms: Gas exchange, drought tolerance, organic solutes.

Introdução

O crescimento e a distribuição das espécies vegetais são severamente restringidos por uma ampla variedade de fatores ambientais, sendo o estresse hídrico um dos que exercem maior influência (Sakamoto & Murata, 2002). Os efeitos do estresse hídrico vão desde redução no potencial hídrico foliar e teor relativo de água (Farooq et al., 2009), na condutância estomática e na taxa de transpiração, causadas pelo fechamento dos estômatos (Otieno et al., 2005), até a queda acentuada na taxa fotossintética (Farooq et al., 2009). Esse declínio na fotossíntese pode ocorrer devido a fatores estomáticos, em virtude da redução na condutância estomática, restringindo as trocas gasosas entre a planta e o meio externo (Flexas & Medrano, 2002; Flexas et al., 2004), ou por fatores não estomáticos, como danos no aparato

fotossintético (Fu & Huang, 2001) e decréscimo na atividade de enzimas do Ciclo de Calvin (Monakhova & Chernyad'ev, 2004).

Para sobreviver sob condições de déficit hídrico, várias estratégias podem ser desenvolvidas pelas plantas, como fechamento dos estômatos, para evitar perda excessiva de água, e, conseqüentemente, perda da turgescência (Flexas et al., 2004; Albuquerque et al., 2013), queda das folhas ou acúmulo de substâncias osmoticamente ativas (Pinheiro et al., 2004; Chen et al., 2010; Nio et al., 2011). Esse processo, também denominado de ajustamento osmótico, proporciona decréscimo no potencial osmótico celular, garantindo a absorção de água e pressão de turgescência celular, que podem contribuir para a manutenção de processos fisiológicos essenciais, como abertura dos estômatos, fotossíntese e expansão celular (Sakamoto & Murata, 2002; Serraj & Sinclair, 2002). Dentre os solutos orgânicos que se acumulam sob condições de estresse, os principais são açúcares solúveis (Sircelj et al., 2005; Chen et al., 2010; Nio et al., 2011), proteínas (Hameed et al., 2011) e aminoácidos (Pinheiro et al., 2004; Sircelj et al., 2007).

A aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão), também conhecida como aroeira-do-deserto, é uma espécie arbórea, pertencente à família Anacardiaceae, possui ampla distribuição geográfica e é classificada como pioneira, heliófita. É utilizada como planta medicinal e na extração de taninos (Gomes et al., 2013), além da exploração madeireira, largamente utilizada nas indústrias e propriedades rurais (Lorenzi, 2008). Devido à exploração desordenada e redução no número de indivíduos, passou a fazer parte da lista de espécies ameaçadas de extinção (Ministério do Meio Ambiente, 2008), sendo oportuna a prioridade da conservação. No entanto, pouco se sabe a respeito de aspectos relacionados à sua fisiologia, principalmente acerca dos mecanismos fisiológicos que determinam sua tolerância à seca. A compreensão a respeito desses métodos fisiológicos, dos prejuízos provocados por estresse e do

funcionamento de adaptação e aclimatação da vegetação a estresses ambientais é de grande significância para o ecossistema do semiárido (Taiz & Zeiger, 2013).

Em virtude da importância da espécie e do número reduzido de informações, na literatura especializada, acerca dos efeitos do estresse hídrico na mesma durante a fase inicial de crescimento, conduziu-se esse experimento com o objetivo de avaliar as trocas gasosas e o acúmulo de solutos orgânicos em plantas jovens de aroeira submetidas ao déficit hídrico e posterior reidratação.

Materiais e Métodos

O experimento foi conduzido em ambiente telado, no Viveiro Florestal da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Patos-PB, nas coordenadas geográficas 7°03'34" S e 37°16'30" O, entre julho de 2012 e agosto de 2013. Sementes provenientes do Laboratório de Análise de Sementes da UAEF/CSTR foram semeadas em sacos plásticos pretos, contendo 2 kg de substrato, composto de uma mistura de terra de subsolo e esterco bovino, na proporção 2:1 (v/v), até atingirem três meses de idade. Em seguida, foram transferidas para sacos plásticos pretos, contendo 5 kg do substrato citado anteriormente, sendo irrigadas uma vez por dia, procurando-se manter a umidade do substrato próximo a 60% da capacidade de retenção do substrato. O substrato apresentava as seguintes características químicas: pH 6,5; P 2,9 mg kg⁻¹; Ca 5,0 cmol_c dm⁻³; Mg 2 cmol_c dm⁻³; K 4,6 cmol_c dm⁻³; H+Al 0,22 cmol_c dm⁻³; e T 94,1 cmol_c dm⁻³.

A superfície superior dos sacos foi coberta com plástico opaco, no intuito de evitar a perda de água do substrato por evaporação. O controle do teor de umidade do substrato foi feito diariamente de acordo com metodologia descrita por Souza et al. (2000). Quando atingiram doze meses de idade, iniciaram-se os tratamentos, correspondendo a dois regimes hídricos, o tratamento irrigado (controle) e o de estresse hídrico. No tratamento controle, a irrigação foi feita de forma a manter o nível de umidade em 60% da capacidade de retenção

do substrato. No tratamento de estresse hídrico, as plantas tiveram a irrigação suspensa até que se observasse que os valores de fotossíntese das plantas chegassem próximos de zero, o que aconteceu no 12º dia. Decorrido esse tempo, houve a retomada do fornecimento de água às plantas não irrigadas, até que a taxa de fotossíntese das plantas do tratamento de estresse hídrico atingisse valores próximos aos observados nas plantas do tratamento controle, o que se deu seis dias após a reidratação.

Os parâmetros abaixo discriminados foram avaliados durante a imposição dos tratamentos e após a reidratação. O teor relativo de água (*TRA*) foi determinado usando-se discos foliares e foi calculado através da fórmula $TRA = [(PF - PS)/(PT - PS)] \times 100$ (Weatherley, 1950), sendo que PF, PS e PT correspondem, respectivamente, ao peso fresco, peso seco e peso túrgido dos discos. Através do analisador portátil de fotossíntese *LCpro-SD* (ADC BioScientific Ltd.), foram medidas a radiação fotossinteticamente ativa (*RFA*), a taxa de transpiração (*E*), a condutância estomática (g_s), a taxa de fotossíntese (*A*) e a concentração interna de CO₂ (*C_i*). Essas leituras foram feitas em folíolos completamente expandidos inseridos no terceiro nó a partir do ápice das plantas, entre 9:00 e 10:00 horas da manhã. De posse dos valores de *A* e *E*, foi calculada a Eficiência no uso da água (*EUA*) e, com os dados de *A* e *C_i*, obteve-se a Eficiência de carboxilação (*A/C_i*).

Para as análises bioquímicas, as folhas foram maceradas em MCA (metanol:clorofórmio:água), na proporção 12:5:3, segundo Bialeski & Turner (1966). As análises das concentrações foliares de açúcares solúveis totais, proteínas e aminoácidos livres totais foram realizadas de acordo com metodologias propostas, respectivamente, por Yemm & Willis (1954), Bradford (1976) e Yemm & Cocking (1955).

Os tratamentos foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com 4 repetições, e 1 planta por repetição. As análises estatísticas foram feitas individualmente para

cada dia de observação. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas entre si, pelo teste de Tukey.

Resultados e discussão

Os dados referentes à radiação fotossinteticamente ativa (RFA), durante o período de condução de experimento, estão na Figura 1, que variou entre 940 e 1.437 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Nos dois primeiros dias após o início dos tratamentos, não foi verificada diferença significativa entre os mesmos quanto ao teor relativo de água, sendo que, em ambos, os valores observados permaneceram próximos a 80% (Figura 1). Nas plantas irrigadas, ocorreu variação entre 82 e 91%, enquanto que, naquelas submetidas ao estresse hídrico, houve redução progressiva até o 12º dia, atingindo teor relativo de água de 70%. Esse valor pode ser considerado satisfatório, indicando que as plantas de aroeira foram capazes de se manter hidratadas, mesmo depois de 12 dias sem receber irrigação. Pardo (2010) afirmou que o valor de teor relativo de água em tecidos bem hidratados varia entre 85 e 95%, e 50% é considerado como o ponto crítico e letal para as plantas, apesar de que algumas espécies xerófilas podem atingi-lo sem que ocorra a morte dos tecidos.

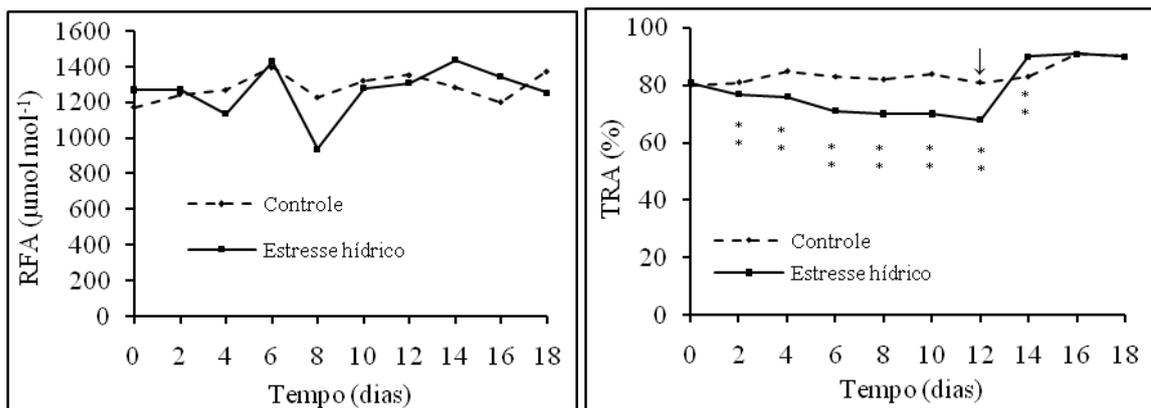


Figura 1 - Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e Teor relativo de água (TRA) em folhas de plantas de aroeira-do-sertão sob estresse hídrico e posterior reidratação. **Corresponde à diferença significativa entre as plantas do tratamento controle e as plantas sob estresse hídrico, em cada dia de avaliação ($P \leq 0,01$).

A redução no teor relativo de água em resposta ao déficit hídrico é esperada em função da diminuição na disponibilidade de água às plantas, e tem sido verificada em vários estudos. No entanto, a resposta do teor relativo de água ao estresse hídrico varia com a espécie vegetal e o nível de estresse imposto. Em *Schizolobium amazonicum* e *S. parahyba*, o teor relativo de água diminuiu de 95-98% para, aproximadamente, 70%, entre o primeiro e o sexto dia de estresse hídrico (Carvalho, 2005). Em plantas de *Hevea brasiliensis*, Chen et al. (2010) verificaram redução significativa em teor relativo de água após 17 dias da suspensão da irrigação, atingindo, no 35º dia sem irrigação, o menor valor (70%). Após a retomada do fornecimento da irrigação, observou-se rápida recuperação nessa variável (Figura 1), atingindo valor de 91%, superior ao obtido nas plantas do tratamento irrigado dois dias após, e sendo iguais estatisticamente até o fim do experimento. Essa recuperação rápida também foi verificada por Gallé et al. (2007) e Chen et al. (2010). Estresse hídrico severo pode trazer vários efeitos nos vasos do xilema, como redução na condutividade hidráulica (Chen et al., 2010) e cavitação (Holbrook et al., 2001; Otieno et al., 2005). Entretanto, a cavitação pode ser imediatamente neutralizada após a reidratação, aumentando a condutividade hidráulica em virtude da absorção de água (Holbrook et al., 2001; Otieno et al., 2005), o que pode explicar a rápida recuperação na hidratação das plantas de aroeira nesse estudo. Esse comportamento demonstra que o estresse hídrico imposto não foi capaz de causar danos irreversíveis à capacidade de absorção das plantas. Os fatores citados anteriormente podem levar a aumento no estado de hidratação dos tecidos, com conseqüente elevação no potencial hídrico e teor relativo de água foliar.

Em relação às trocas gasosas, observou-se redução progressiva na condutância estomática (g_s), taxa de transpiração (E) e taxa de fotossíntese (A) e aumento na concentração intercelular de CO_2 (C_i) (Figura 2), em resposta ao déficit hídrico. Quanto à condutância estomática das plantas irrigadas, observou-se variação ao longo do período de avaliação,

permanecendo entre 0,062 e 0,091 mol m⁻² s⁻¹. Esses valores eram sempre superiores aos das plantas sob estresse hídrico. Quando o fornecimento de água foi suspenso, a condutância estomática era 0,06 mol m⁻² s⁻¹, atingindo 0,002 mol m⁻² s⁻¹ no 12º dia sem irrigação, equivalendo a uma redução de, aproximadamente, 97%. Comparando-se com as plantas irrigadas, nesse mesmo dia, a redução na condutância estomática chegou a 98%, demonstrando forte influência da baixa disponibilidade de água no solo na abertura dos estômatos.

Esses resultados corroboram os obtidos por Gonçalves et al. (2009) e Queiroz et al. (2002), os quais observaram redução de 93% e 91% na condutância estomática de plantas de *Carapa guianensis* e *Myracrodruon urundeuva*, respectivamente, no 14º dia após a suspensão da irrigação, em comparação com as plantas do tratamento controle.

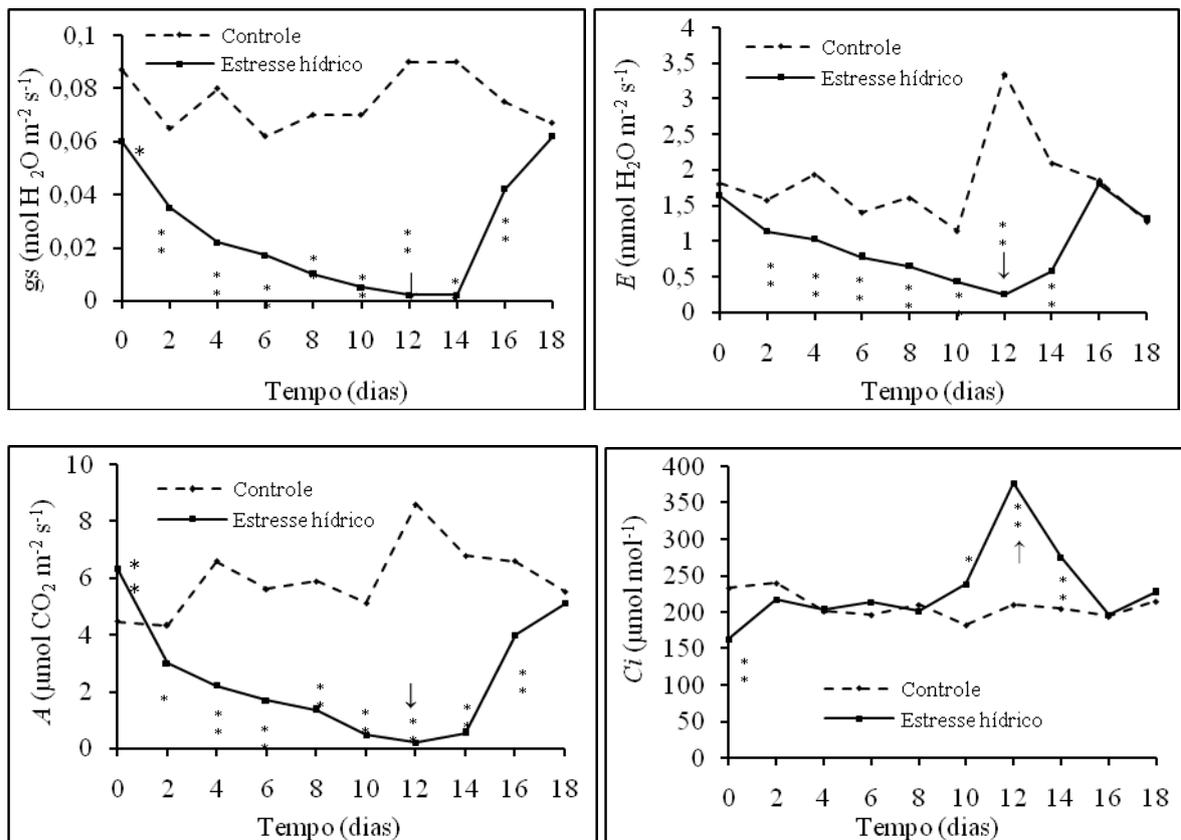


Figura 2 - Condutância estomática (g_s), taxa de transpiração (E), taxa de fotossíntese (A) e concentração intercelular de CO₂ (C_i) das plantas de aroeira em função do estresse hídrico e

posterior reidratação. * e ** correspondem à diferença significativa, respectivamente, a 5 e 1% de probabilidade, entre as plantas do tratamento controle e as plantas sob estresse hídrico, em cada dia de avaliação.

Após a retomada do fornecimento de água às plantas, a recuperação da condutância estomática ocorreu de forma lenta, e, apenas no 18º dia, seis dias após a reidratação, é que foi observada igualdade estatística entre os tratamentos. Percebe-se, então, que, apesar da rápida recuperação no estado hídrico das folhas, conforme constatado no teor relativo de água, a abertura dos estômatos não ocorreu na mesma velocidade. Recuperação lenta na condutância estomática também foi verificada em *T. aurea*, pois, apenas aos 14 dias após a reidratação, é que foi observada igualdade estatística em relação às plantas do tratamento controle (Oliveira et al., 2011).

Diminuição na condutância estomática em plantas sob estresse hídrico foi acompanhada por queda na taxa de transpiração, e o menor valor ($0,26 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi obtido no 12º dia, correspondendo a uma redução de, aproximadamente, 92% em relação às plantas do tratamento controle, demonstrando a estreita relação entre a condutância estomática e a taxa de transpiração das plantas. Em *T. aurea*, semelhante ao observado na condutância estomática, apenas após 14 dias sem irrigação, é que foi verificada a diminuição significativa na taxa de transpiração, reduzindo de 3,5 para $0,0 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, no décimo primeiro dia de estresse hídrico (Oliveira et al., 2011). Semelhante ao observado na condutância estomática, os valores da taxa de transpiração, após a reidratação, continuaram baixos até o 4º dia, evidenciando uma lenta recuperação no mecanismo estomático.

O comportamento da taxa de fotossíntese foi similar ao da condutância estomática, tanto nas plantas do tratamento irrigado como naquelas do tratamento de estresse hídrico. Os valores da taxa de fotossíntese das plantas irrigadas variaram entre 4,33 e $8,59 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, durante todo o período de duração do experimento. Em relação às plantas submetidas ao

estresse hídrico, observou-se redução rápida já no segundo dia sem irrigação, verificando-se diminuição de 31% em relação às plantas irrigadas. No último dia de estresse hídrico, o valor da taxa de fotossíntese das plantas sob estresse hídrico ($0,2275 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) representava apenas 3% (redução de 97%) da obtida nas plantas irrigadas ($8,59 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Em plantas de *M. urundeuva* submetidas a cinco dias de estresse hídrico, foi verificada a redução significativa da taxa de fotossíntese em relação às plantas irrigadas (Mariano et al., 2009). Redução drástica na taxa de fotossíntese, devido ao déficit hídrico, também foi observada em *H. brasiliensis* (Chen et al., 2010) e *T. aurea* (Oliveira et al., 2011). A diminuição na disponibilidade hídrica causa o fechamento dos estômatos devido à redução no potencial hídrico foliar, o qual proporciona perda de turgescência, promovendo declínio na condutância estomática (Flexas & Medrano, 2002; Flexas et al., 2004). Isso se constitui em uma estratégia das plantas para reduzir a perda excessiva de água pela transpiração (Albuquerque et al., 2013), evitando, assim, a desidratação dos tecidos, além de permitir a manutenção da integridade do sistema de transporte de água e o desenvolvimento de potencial hídrico favorável, mantendo o crescimento foliar durante a estação seca ou sob condições de estresse hídrico (Mattos, 1998). Sendo assim, a diminuição progressiva na condutância estomática verificada nesse estudo, quase chegando a zero, aos doze dias de estresse, pode ser encarada como estratégia para reduzir a taxa de transpiração e manter os tecidos foliares hidratados. De acordo com Medrano et al. (2002), valores de condutância estomática entre 50 e $100 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ demonstram estresse moderado, e a fotossíntese é limitada pelos estômatos; enquanto que valores inferiores a $0,05 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, observados neste estudo, são indicativos de estresse hídrico severo e são acompanhados por limitações não-estomáticas.

Em relação à concentração intercelular de CO_2 (C_i), verificou-se aumento significativo nas plantas sob estresse hídrico a partir do oitavo dia da suspensão da irrigação, em relação às plantas do tratamento irrigado. No último dia de estresse hídrico, o aumento foi de 24%. Em

Quercus pubescens (Gallé et al., 2007) e *Coffea arabica* (Souza, 2012), foi observado elevação na concentração intercelular de CO₂ à proporção que o período sem irrigação aumentava. Após a reidratação, a recuperação concentração intercelular de CO₂ ocorreu no quarto dia, à semelhança do observado em condutância estomática e taxa de transpiração. Em *C. arabica*, a recuperação na concentração intercelular de CO₂ deu-se 2 dias após a retomada do fornecimento de água (Souza, 2012).

Analisando-se a eficiência no uso da água (*EUA*), observou-se redução dos valores nas plantas com estresse hídrico após o segundo dia sem irrigação, atingindo o menor valor no último dia do tratamento de estresse (Figura 3).

Em comparação com o valor obtido no primeiro dia de avaliação, houve redução de 78% e, comparando-se com as plantas irrigadas, de 67%. Esse comportamento da eficiência no uso da água reflete o efeito do estresse hídrico, limitando tanto a transpiração como a fotossíntese. Após a retomada do fornecimento de água, a eficiência no uso da água aumentou, porém, em função do comportamento apresentado pela taxa de fotossíntese, a recuperação ocorreu apenas no último dia de avaliação.

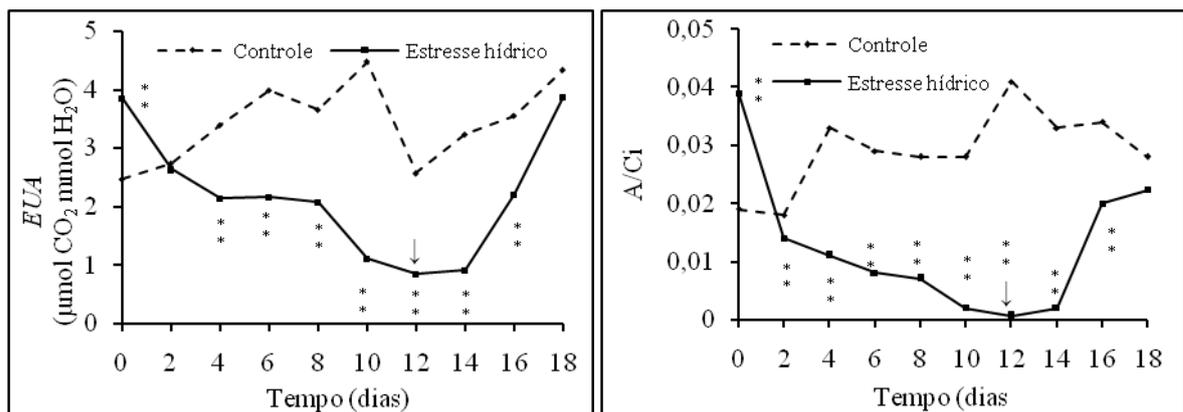


Figura 3 - Eficiência no uso da água (*EUA*) e Eficiência de carboxilação (*A/Ci*) das plantas de aroeira em função do estresse hídrico e posterior reidratação. **Corresponde à diferença significativa entre as plantas do tratamento controle e as plantas sob estresse hídrico, em cada dia de avaliação ($P \leq 0,01$).

Quanto à eficiência de carboxilação (A/C_i), observou-se redução progressiva e acentuada nas plantas sob estresse hídrico, à proporção que o período sem irrigação avançava, apresentando comportamento idêntico ao obtido na taxa de fotossíntese. A redução na eficiência de carboxilação das plantas irrigadas no último dia de estresse hídrico, tanto em relação ao início dos tratamentos, como em relação às plantas irrigadas, correspondeu a 98,5%. Igualmente ao observado na taxa de fotossíntese, a recuperação na eficiência de carboxilação foi obtida apenas seis dias após a reidratação.

A redução da taxa de fotossíntese verificada neste estudo pode estar relacionada a fatores não estomáticos, pois, analisando-se a concentração intercelular de CO_2 , ao longo dos oito primeiros dias de estresse hídrico, nota-se que esta permaneceu inalterada, em relação às plantas irrigadas, e aumentou até o décimo segundo dia, mostrando que não estava ocorrendo limitação de CO_2 . Ou seja, apesar da condutância estomática e da taxa de transpiração apresentarem-se extremamente baixas, ainda estava ocorrendo entrada de CO_2 , porém a fotossíntese não estava sendo realizada devido a fatores não estomáticos. Além disso, analisando-se a A/C_i , verificou-se redução com o aumento do estresse hídrico. O déficit hídrico afeta a fotossíntese por limitação estomática ao influxo de CO_2 (Sircelj et al., 2007) ou por danos no aparato fotoquímico, através da desestruturação das membranas dos tilacóides (Dias & Brüggermann, 2010), com diminuição na taxa de transporte de elétrons no PSII (fotossistema II), com reflexos na síntese de ATP, reduzindo-a; queda na atividade ou na taxa de regeneração da enzima Rubisco, responsável pela captura do CO_2 (Flexas et al., 2004), assim como diminuição da capacidade de regenerar a RuBP (Boussadia et al., 2008).

Outro fator que reforça esse pensamento é que a completa recuperação de g_s e E (Figura 2) aconteceu primeiro do que a A , fato também evidenciado por Albuquerque et al. (2013), e em A/C_i . De acordo com Flexas & Medrano (2002), a lenta recuperação em A é um

indicativo do efeito prejudicial do estresse hídrico ao aparato fotossintético e/ou bioquímico de fixação do CO₂.

Em relação à concentração de açúcares solúveis totais nas folhas, observou-se que o estresse hídrico proporcionou aumento após o 8º dia após a suspensão da irrigação (Figura 4). No 12º dia, as plantas do tratamento controle apresentaram concentração de 12,2 µg g⁻¹ MF, enquanto que, nas plantas sob estresse hídrico, foi de 17,3 µg g⁻¹ MF, representando aumento de 41%.

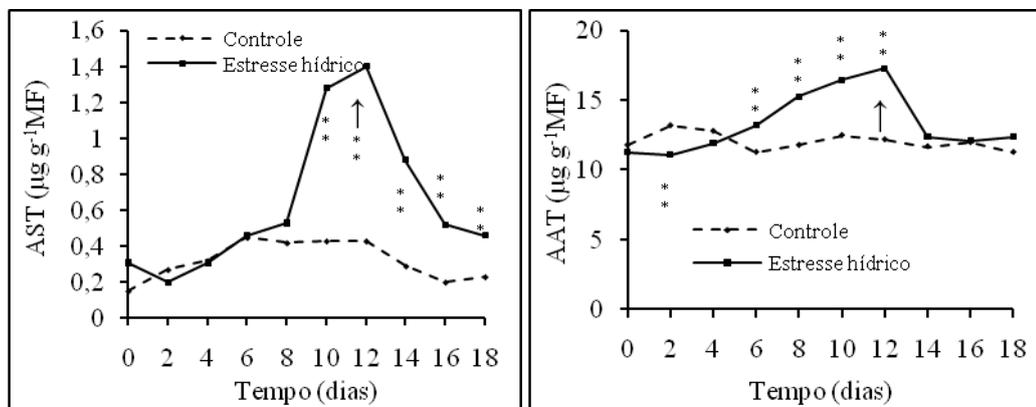


Figura 4 - Concentrações foliares de açúcares solúveis totais (AST) e aminoácidos livres totais (AAT) em plantas de aroeira em função do estresse hídrico e posterior reidratação. **Corresponde à diferença significativa entre as plantas do tratamento controle e as plantas sob estresse hídrico, em cada dia de avaliação ($P \leq 0,01$).

Após a reidratação, houve redução na concentração desses açúcares nas plantas, porém os valores encontrados continuaram superiores estatisticamente aos das plantas irrigadas.

Quanto à concentração foliar de proteínas, não foi observada diferença significativa entre os tratamentos ao longo do período experimental. No entanto, observou-se aumento progressivo nas concentrações foliares de aminoácidos totais a partir do 6º dia (Figura 4), e, no último dia de estresse, os valores obtidos nas plantas sob estresse hídrico (1,4 µg g⁻¹ MF) eram cerca de 3,2 vezes maiores do que aqueles das plantas do tratamento controle (0,43 µg g⁻¹ MF). Esse aumento nas concentrações foliares de aminoácidos totais pode ter sido causado

pelo aumento na síntese dos mesmos, ou ser resultante da não utilização desses para a síntese de proteínas, uma vez que não houve alteração na concentração de proteínas.

Em *Malus domestica*, Sircelj et al. (2007) afirmaram que o acúmulo de aminoácidos livres pode ter sido reflexo do aumento na proteólise ou inibição da síntese de proteínas. Aumento nas concentrações de aminoácidos também foi verificado em *Lupinus albus* (Pinheiro et al., 2004) e *Schinus terebinthifolius* (Silva, 2007).

O acúmulo de açúcares solúveis totais e de aminoácidos livre totais obtidos neste estudo pode ter contribuído para o ajustamento osmótico das plantas, mantendo a hidratação dos tecidos, uma vez que o TRA obtido pode ser considerado bom. Vários estudos têm mostrado acúmulo de solutos osmoticamente ativos causado pelo estresse hídrico, sendo que a quantidade e o tipo de soluto acumulado depende da espécie vegetal e da duração do período de estresse. Em relação aos carboidratos solúveis, o manitol, juntamente com glicose e sacarose, aumentaram significativamente nas plantas de *Olea europaea*, contribuindo, de forma significativa, para o potencial osmótico e posterior ajustamento osmótico dessas plantas (Dichio et al., 2009). Frutose e sacarose também foram os açúcares encontrados em maiores concentrações em *Triticum* (Nio et al., 2011).

Dentre os aminoácidos que se acumulam sob estresse hídrico, os principais são prolina e glicina betaína (Zhu et al., 2005). Além de contribuírem para o ajustamento osmótico dos tecidos, esses aminoácidos podem desempenhar outras funções. A glicina betaína pode exercer o papel de proteção às enzimas sob condições de estresse hídrico (Rhodes & Hanson, 1993), além de aumentar e estabilizar a atividade do complexo de proteínas envolvido no transporte de oxigênio no fotossistema II (PSII) (Papageorgiou & Murata, 1995). Por sua vez, a prolina pode contribuir para a estabilização de macromoléculas, além de ser fonte de carbono e nitrogênio para as plantas após a condição de estresse hídrico ser eliminada (Raymond & Smirnoff, 2002), podendo também ser utilizada na síntese de proteínas ou ser

convertida em intermediários do ciclo de Krebs, contribuindo para a síntese de ATP (Szabados & Saviouré, 2010). Albuquerque et al. (2013) relataram que o acúmulo de prolina contribuiu, de forma significativa, na recuperação do status hídrico das plantas após a reidratação.

Conclusões

- O estresse hídrico promove rápido fechamento dos estômatos das plantas.
- Ocorre acúmulo de açúcares solúveis e aminoácidos totais nas folhas à proporção que o estresse hídrico aumenta.
- As plantas são capazes de recuperar o status hídrico e o funcionamento do mecanismo estomático e fotossintético após a reidratação, evidenciando tolerância ao estresse hídrico.

Referências

- ALBUQUERQUE, M.P.F. de; MORAES, F.K.C.; SANTOS, R.I.N.; CASTRO, G.L.S. de; RAMOS, E.M.L.S.; PINHEIRO, H.A. Ecofisiologia de plantas jovens de mogno-africano submetidas a déficit hídrico e reidratação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, p.9-16, 2013. DOI: 10.1590/S0100-204X2013000100002.
- BIELESKI, R. I., TURNER, N. A. Separation and estimation of amino acids in crude plants extracts by thin-layer electrophoresis and chromatography. **Analytical Biochemistry**, v.17, p.278-293, 1966.
- BOUSSADIA, O.; MARIEM, F.B.; MECHRI, B.; BOUSSETTA, W.; BRAHAM, M.; EL HADJ, S.B. Response to drought of two olive tree cultivars (cv Koroneki and Meski). **Scientia Horticulturae**, v.116, p.388-393, 2008. DOI: 10.1016/j.scientia.2008.02.016.
- BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein binding. **Analytical Biochemistry**, v.72, p.248-254, 1976.

- CARVALHO, C.J.R. de. 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. DOI: 10.1590/S0100-67622005000600009.
- CHEN, J.W; ZHANG, Q.; LI, X.S.; CAO, K.F. Gas exchange and hydraulics in seedlings of *Hevea brasiliensis* during water stress and recovery. **Tree Physiology**, v.30, p.876-885, 2010. DOI: 10.1093/treephys/tpq043.
- DIAS, M.C.; BRÜGGERMANN, W. Limitations of photosynthesis in *Phaseolus vulgaris* under drought stress: gas exchange, chlorophyll fluorescence and Calvin cycle enzymes. **Photosynthetica**, v.48, p.96-102, 2010.
- DICHIO, B.; MARGIOTTA, G.; XILOYANNIS, C.; BUFO, S.A.; SOFO, A.; CATALD, T.R.I. Changes in water status and osmolyte contents in leaves and roots of olive plants (*Olea europaea* L.) subject to water deficit. **Tree**, v.23, p.247-256, 2009. DOI: 10.1007/s00468-008-0272-1.
- FAROOQ, M.; BASRA, S.M.A.; WAHID, A.; AHMAD, N.; SALLEM, B.A. Improving the drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) by exogenous application of salicylic acid. **Journal of Agronomy & Crop Science**, v.195, p.237-246, 2009. DOI: 10.1111/j.1439-037X.2009.00365.x.
- FLEXAS, J.; MEDRANO, H. Drought-inhibition of photosynthesis in C₃ plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. **Annals of Botany**, v.89, p.183-189, 2002. DOI: 10.1093/aob/mcf027.
- FLEXAS, J.; BOTA, J.; LORETO, F.; CORNIC, G.; SHARKEY, T.D. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C₃ plants. **Plant Biology**, v.6, p.269-279, 2004. DOI: 10.1055/s-2004-820867.

FU, J.; HUANG, B. Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress. **Environment and Experimental Botany**, v.45, p.105-112, 2001. DOI: 10.1016/S0098-8472(00)00084-8.

GALLÉ, A.; HALDIMANN, P.; FELLER, U. Photosynthetic performance and water relations in young pubescent oak (*Quercus pubescens*) trees during drought stress and recovery. **New Phytol**, v.174, p.799-810, 2007. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2007.02047.x.

GOMES, V.T.L.; CHAVES, T.P.; ALENCAR, L.C.B.; DANTAS, I.C.; MEDEIROS, A.C.D. de; FELISMINO, D. de C. Antimicrobial activity of natural products from *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Aroeira-do-sertão). **Revista Cubana de Plantas Medicinales**, v.18, p.529-533, 2013.

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

HAMEED, A.; BIBI, N.; AKHTER, J.; IQBAL, N. Differential changes in antioxidants, proteases, and lipid peroxidation in flag leaves of wheat genotypes under different levels of water deficit conditions. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.49, p.178-185, 2011. DOI: 10.1016/j.plaphy.2010.11.009.

HOLBROOK, N.M.; AHRENS, E.T.; BURNS, M.J.; ZWIENIECKI, M.A. In vivo observation of cavitation and embolism repair using magnetic resonance imaging. **Plant Physiology**, v.126, p.27-31, 2001.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil, vol 1., 5 ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008.

MARIANO, K.R.S.; BARRETO, L.S.; SILVA, A.H.B da.; NEIVA, G.K.P.; RIBEIRO, A. de J.; AMORIM, S.M.C. de. Fotossíntese e tolerância protoplasmática foliar em *Myracrodruon*

urundeuva Fr. All. **Floresta**, v.39, p.853-859, 2009. DOI: 10.5380%2F1982-4688.2009.39.16320.

MATTOS, E.A. de. Perspectives in comparative ecophysiology of some Brazilian vegetation types: leaf CO₂ and H₂O exchange, chlorophyll *a* fluorescence and carbon isotope discrimination. In: SCARANO, F.R.; FRANCO, A. (Ed.) **Ecophysiological strategies of xerophytic and amphibious plants in the Neotropics**. Oecologia Brasiliensis, v.4, p.1-22, 1998.

MEDRANO, H.; ESCALONA, J.M.; BOTA, J.; GULÍAS, J.; FLEXAS, J. Regulation of photosynthesis in C₃ plants in response of progressive drought: stomatal conductance as a reference parameter. **Annals of Botany**, v.89, p.895-905, 2002. DOI: 10.1093/aob/mcf079.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção**. 2008. Disponível em:

http://www.mma.gov.br/estruturas/ascom_boletins/_arquivos/83_19092008034949.pdf.

Acesso em 12 fev. 2014.

MONAKHOVA, O.F.; CHERNYAD'EV, L.I. Effects of cytokinin preparations on the stability of the photosynthetic apparatus of two wheat cultivars experiencing water deficiency. **Applied Biochemical and Microbiology**, v.40, p.573-580, 2004.

NIO, S.A.; CAWTHRAY, G.R.; WADE, L.J.; COLMER, T.D. Pattern os solutes accumulation during leaf osmotic adjustment as related to duration of water deficit for wheat at the reproductive stage. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.49, p.1126-1137, 2011. DOI: 10.1016/j.plaphy.2011.05.011.

OLIVEIRA, A.K.M.; GUALTIERI, S.C.J. de; BOCCHESI, R.A. Gas exchange of potted *Tabebuia aurea* plants under hydric stress. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.33, p.641-647, 2011. DOI: 10.4025/actasciagron.v33i4.11254.

OTIENO, D.O.; SCHMIDT, M.W.T.; ADIKU, S.; TENHUNEN, J. Physiological and morphological responses to water stress in two *Acacia* species from contrasting habitats. **Tree Physiology**, v.25, p.361-371, 2005. DOI: 10.1093/treephys/25.3.361.

PAPAGEORGIOU, G.; MURATA, N. The unusually strong stabilizing effects of glycine betaine on the structure and function of the oxygen-evolving Photosystem II complex. **Photosynthesis Research**, v.44, p.245-252, 1995.

PARDO, J.M. Biotechnology of water and salinity stress tolerance. **Current Opinion in Biotechnology**, v.21, p.185-196, 2010. DOI: 10.1016/j.copbio.2010.02.005.

PINHEIRO, C.; PASSARINHO, J. A.; RICARDO, C. P. Effect of drought and rewatering on the metabolism of *Lupinus albus* organs. **Journal of Plant Physiology**, v.161, p.1203-1210, 2004. doi:10.1016/j.jplph.2004.01.016.

QUEIROZ, C.G.S.; GARCIA, Q.S.; LEMOS FILHO, J.P. Atividade fotossintética e peroxidação de lipídios de membrana em plantas de aroeira-do-sertão sob estresse hídrico e após reidratação. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.14, p.59-63, 2002. DOI: 10.1590/S1677-04202002000100008

RAYMOND, M.J.; SMIRNOFF, N. Proline metabolism and transport in maize seedlings at low water potential. **Annals of Botany**, v.89, p.812-823, 2002. DOI: 10.1093/aob/mcf082.

RHODES, D.; HANSON, A.D. Quaternary ammonium and tertiary sulfonium compounds in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.44, p.357-84, 1993. DOI: 10.1146/annurev.pp.44.060193.002041

SAKAMOTO, A.; MURATA, N. The role of glycine betaine in the protection of plants from stress: clues from transgenic plants. **Plant and Cell Environment**, v.25, p.163-171, 2002. DOI: 10.1046/j.0016-8025.2001.00790.x.

SERRAJ, R.; SINCLAIR, T.R. Osmolyte accumulation: can it really increase crop yield under drought condition? **Plant, Cell and Environment**, v.25, p.333-341, 2002. DOI: 10.1046/j.1365-3040.2002.00754.x.

SILVA, M.A.V. da. **Avaliação fisiológica da aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) sob déficit hídrico com vista para o reflorestamento**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2007. 84f.

SIRCELJ, H. TAUSZB, M.; GRILL, D.; BATIC, F. Biochemical responses in leaves of two apple tree cultivars subjected to progressing drought. **Journal of Plant Physiology**, v.162, p.1308-1318, 2005. DOI: 10.1016/j.jplph.2005.01.018.

SIRCELJ, H. TAUSZB, M.; GRILL, D.; BATIC, F. Detecting different levels of drought stress in apple trees (*Malus domestica* Borkh.) with selected biochemical and physiological parameters. **Scientia Horticulturae**, v.113, p.362-369, 2007. DOI: 10.1016/j.scienta.2007.04.012.

SOUZA, C.C.; OLIVEIRA, F.A.; SILVA, I.F.; AMORIM NETO, M.S. Avaliação de métodos de determinação de água disponível e manejo da irrigação em terra roxa sob cultivo de algodoeiro herbáceo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, p.338-342, 2000.

SOUZA, V.F. de. **Estudo de rede para compreender as respostas fotossintéticas de cafeeiros em condições de deficiência hídrica**. Dissertação. 2012. (Mestrado em Agronomia/Fisiologia Vegetal). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012. 56f.

SZABADOS, L.; SAVOURÉ, A. Proline: a multifunctional aminoacid. **Trends in Plant Science**, v.15, p.89-97, 2010. DOI: 10.1016/j.tplants.2009.11.009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: Atmed, 2013. 918p.

WEATHERLEY, P.E. Studies in the water relations of cotton plant. I. The field measurements of water deficits in leaves. **New Phytologist**, v.49, p.81-97, 1950.

YEMM, E.W.; COCCKING, E.C. The determination of amino acid with ninhidrin. **Analyst**, v. 80, p. 209-213, 1955.

YEMM, E.W.; WILLIS, A.J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **The Biochemical Journal**, v. 57, p. 508-14, 1954.

ZHU, X.; GONG, H.; CHEN, G.; WANG, S.; ZHANG, C. Different solute levels in two spring wheat cultivars induced by progressive field water stress at different development stages. **Journal of Arid Environments**, v.62, p.1-14, 2005. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2004.10.010

ANEXO

Diretrizes para Autores

Escopo e política editorial

A revista Pesquisa Agropecuária Brasileira (PAB) é uma publicação mensal da Embrapa, que edita e publica trabalhos técnico-científicos originais, em português, espanhol ou inglês, resultantes de pesquisas de interesse agropecuário. A principal forma de contribuição é o Artigo, mas a PAB também publica Notas Científicas e Revisões a convite do Editor.

Análise dos artigos

A Comissão Editorial faz a análise dos trabalhos antes de submetê-los à assessoria científica. Nessa análise, consideram-se aspectos como escopo, apresentação do artigo segundo as normas da revista, formulação do objetivo de forma clara, clareza da redação, fundamentação teórica, atualização da revisão da literatura, coerência e precisão da metodologia, resultados com contribuição significativa, discussão dos fatos observados em relação aos descritos na literatura, qualidade das tabelas e figuras, originalidade e consistência das conclusões. Após a aplicação desses critérios, se o número de trabalhos aprovados ultrapassa a capacidade mensal de publicação, é aplicado o critério da relevância relativa, pelo qual são aprovados os trabalhos cuja contribuição para o avanço do conhecimento científico é considerada mais significativa. Esse critério é aplicado somente aos trabalhos que atendem aos requisitos de qualidade para publicação na revista, mas que, em razão do elevado número, não podem ser todos aprovados para publicação. Os trabalhos rejeitados são devolvidos aos autores e os demais são submetidos à análise de assessores científicos, especialistas da área técnica do artigo.

Forma e preparação de manuscritos

Os trabalhos enviados à PAB devem ser inéditos (não terem dados – tabelas e figuras – publicadas parcial ou integralmente em nenhum outro veículo de divulgação técnico-científica, como boletins institucionais, anais de eventos, comunicados técnicos, notas científicas etc.) e não podem ter sido encaminhados simultaneamente a outro periódico científico ou técnico. Dados publicados na forma de resumos, com mais de 250 palavras, não devem ser incluídos no trabalho.

- São considerados, para publicação, os seguintes tipos de trabalho: Artigos Científicos, Notas Científicas e Artigos de Revisão, este último a convite do Editor.

- Os trabalhos publicados na PAB são agrupados em áreas técnicas, cujas principais são: Entomologia, Fisiologia Vegetal, Fitopatologia, Fitotecnia, Fruticultura, Genética, Microbiologia, Nutrição Mineral, Solos e Zootecnia.

- O texto deve ser digitado no editor de texto Microsoft Word, em espaço duplo, fonte Times New Roman, corpo 12, folha formato A4, com margens de 2,5 cm e com páginas e linhas numeradas.

Informações necessárias na submissão on-line de trabalhos

No passo 1 da submissão (Início), em “comentários ao editor”, informar a relevância e o aspecto inédito do trabalho.

No passo 2 da submissão (Transferência do manuscrito), carregar o trabalho completo em arquivo Microsoft Word.

No passo 3 da submissão (Inclusão de metadados), em “resumo da biografia” de cada autor, informar o link do sistema de currículos lattes (ex.: <http://lattes.cnpq.br/0577680271652459>). Clicar em “incluir autor” para inserir todos os coautores do trabalho, na ordem de autoria.

Ainda no passo 3, copiar e colar o título, resumo e termos para indexação (key words) do trabalho nos respectivos campos do sistema.

No passo 4 da submissão (Transferência de documentos suplementares), carregar, no sistema on-line da revista PAB, um arquivo Word com todas as cartas (mensagens) de concordância dos coautores coladas conforme as explicações abaixo:

- Colar um e-mail no arquivo word de cada coautor de concordância com o seguinte conteúdo:

"Eu, ..., concordo com o conteúdo do trabalho intitulado "....." e com a submissão para a publicação na revista PAB.

Como fazer:

Peça ao coautor que lhe envie um e-mail de concordância, encaminhe-o para o seu próprio e-mail (assim gerará os dados da mensagem original: assunto, data, de e para), marque todo o email e copie e depois cole no arquivo word. Assim, teremos todas as cartas de concordâncias dos co-autores num mesmo arquivo.

Organização do Artigo Científico

A ordenação do artigo deve ser feita da seguinte forma:

- Artigos em português - Título, autoria, endereços institucionais e eletrônicos, Resumo, Termos para indexação, título em inglês, Abstract, Index terms, Introdução, Material e Métodos, Resultados e Discussão, Conclusões, Agradecimentos, Referências, tabelas e figuras.

- Artigos em inglês - Título, autoria, endereços institucionais e eletrônicos, Abstract, Index terms, título em português, Resumo, Termos para indexação, Introduction, Materials and Methods, Results and Discussion, Conclusions, Acknowledgements, References, tables, figures.

- Artigos em espanhol - Título, autoria, endereços institucionais e eletrônicos, Resumen, Términos para indexación; título em inglês, Abstract, Index terms, Introducción, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión, Conclusiones, Agradecimientos, Referencias, cuadros e figuras.

- O título, o resumo e os termos para indexação devem ser vertidos fielmente para o inglês, no caso de artigos redigidos em português e espanhol, e para o português, no caso de artigos redigidos em inglês.

- O artigo científico deve ter, no máximo, 20 páginas, incluindo-se as ilustrações (tabelas e figuras), que devem ser limitadas a seis, sempre que possível.

Título

- Deve representar o conteúdo e o objetivo do trabalho e ter no máximo 15 palavras, incluindo-se os artigos, as preposições e as conjunções.

- Deve ser grafado em letras minúsculas, exceto a letra inicial, e em negrito.

- Deve ser iniciado com palavras chaves e não com palavras como "efeito" ou "influência".

- Não deve conter nome científico, exceto de espécies pouco conhecidas; neste caso, apresentar somente o nome binário.

- Não deve conter subtítulo, abreviações, fórmulas e símbolos.

- As palavras do título devem facilitar a recuperação do artigo por índices desenvolvidos por bases de dados que catalogam a literatura.

Nomes dos autores

- Grafar os nomes dos autores com letra inicial maiúscula, por extenso, separados por vírgula; os dois últimos são separados pela conjunção "e", "y" ou "and", no caso de artigo em português, espanhol ou em inglês, respectivamente.

- O último sobrenome de cada autor deve ser seguido de um número em algarismo arábico, em forma de expoente, entre parênteses, correspondente à chamada de endereço do autor.

Endereço dos autores

- São apresentados abaixo dos nomes dos autores, o nome e o endereço postal completos da instituição e o endereço eletrônico dos autores, indicados pelo número em algarismo arábico, entre parênteses, em forma de expoente.

- Devem ser agrupados pelo endereço da instituição.

- Os endereços eletrônicos de autores da mesma instituição devem ser separados por vírgula.

Resumo

- O termo Resumo deve ser grafado em letras minúsculas, exceto a letra inicial, na margem esquerda, e separado do texto por travessão.

- Deve conter, no máximo, 200 palavras, incluindo números, preposições, conjunções e artigos.

- Deve ser elaborado em frases curtas e conter o objetivo, o material e os métodos, os resultados e a conclusão.

- Não deve conter citações bibliográficas nem abreviaturas.

- O final do texto deve conter a principal conclusão, com o verbo no presente do indicativo.

Termos para indexação

- A expressão Termos para indexação, seguida de dois-pontos, deve ser grafada em letras minúsculas, exceto a letra inicial.

- Os termos devem ser separados por vírgula e iniciados com letra minúscula.

- Devem ser no mínimo três e no máximo seis, considerando-se que um termo pode possuir duas ou mais palavras.

- Não devem conter palavras que compoñham o título.

- Devem conter o nome científico (só o nome binário) da espécie estudada.

- Devem, preferencialmente, ser termos contidos no [AGROVOC: Multilingual Agricultural Thesaurus](#) ou no [Índice de Assuntos da base SciELO](#).

Introdução

- A palavra Introdução deve ser centralizada e grafada com letras minúsculas, exceto a letra inicial, e em negrito.

- Deve apresentar a justificativa para a realização do trabalho, situar a importância do problema científico a ser solucionado e estabelecer sua relação com outros trabalhos publicados sobre o assunto.

- O último parágrafo deve expressar o objetivo de forma coerente com o descrito no início do Resumo.

Material e Métodos

- A expressão Material e Métodos deve ser centralizada e grafada em negrito; os termos Material e Métodos devem ser grafados com letras minúsculas, exceto as letras iniciais.
- Deve ser organizado, de preferência, em ordem cronológica.
- Deve apresentar a descrição do local, a data e o delineamento do experimento, e indicar os tratamentos, o número de repetições e o tamanho da unidade experimental.
- Deve conter a descrição detalhada dos tratamentos e variáveis.
- Deve-se evitar o uso de abreviações ou as siglas.
- Os materiais e os métodos devem ser descritos de modo que outro pesquisador possa repetir o experimento.
- Devem ser evitados detalhes supérfluos e extensas descrições de técnicas de uso corrente.
- Deve conter informação sobre os métodos estatísticos e as transformações de dados.
- Deve-se evitar o uso de subtítulos; quando indispensáveis, grafá-los em negrito, com letras minúsculas, exceto a letra inicial, na margem esquerda da página.

Resultados e Discussão

- A expressão Resultados e Discussão deve ser centralizada e grafada em negrito, com letras minúsculas, exceto a letra inicial.
- Todos os dados apresentados em tabelas ou figuras devem ser discutidos.
- As tabelas e figuras são citadas seqüencialmente.
- Os dados das tabelas e figuras não devem ser repetidos no texto, mas discutidos em relação aos apresentados por outros autores.
- Evitar o uso de nomes de variáveis e tratamentos abreviados.
- Dados não apresentados não podem ser discutidos.
- Não deve conter afirmações que não possam ser sustentadas pelos dados obtidos no próprio trabalho ou por outros trabalhos citados.
- As chamadas às tabelas ou às figuras devem ser feitas no final da primeira oração do texto em questão; se as demais sentenças do parágrafo referirem-se à mesma tabela ou figura, não é necessária nova chamada.
- Não apresentar os mesmos dados em tabelas e em figuras.
- As novas descobertas devem ser confrontadas com o conhecimento anteriormente obtido.

Conclusões

- O termo Conclusões deve ser centralizado e grafado em negrito, com letras minúsculas, exceto a letra inicial.
- Devem ser apresentadas em frases curtas, sem comentários adicionais, com o verbo no presente do indicativo.

- Devem ser elaboradas com base no objetivo do trabalho.
- Não podem consistir no resumo dos resultados.
- Devem apresentar as novas descobertas da pesquisa.
- Devem ser numeradas e no máximo cinco.

Agradecimentos

- A palavra Agradecimentos deve ser centralizada e grafada em negrito, com letras minúsculas, exceto a letra inicial.
- Devem ser breves e diretos, iniciando-se com "Ao, Aos, À ou Às" (pessoas ou instituições).
- Devem conter o motivo do agradecimento.

Referências

- A palavra *Referências* deve ser centralizada e grafada em negrito, com letras minúsculas, exceto a letra inicial.
- Devem ser de fontes atuais e de periódicos: pelo menos 70% das referências devem ser dos últimos 10 anos e 70% de artigos de periódicos.
- Devem ser normalizadas de acordo com a NBR 6023 da ABNT, com as adaptações descritas a seguir.
- Devem ser apresentadas em ordem alfabética dos nomes dos autores, separados por ponto-e-vírgula, sem numeração.
- Devem apresentar os nomes de todos os autores da obra.
- Devem conter os títulos das obras ou dos periódicos grafados em negrito.
- Devem conter somente a obra consultada, no caso de citação de citação.
- Todas as referências devem registrar uma data de publicação, mesmo que aproximada.
- Devem ser trinta, no máximo.

Exemplos:

- Artigos de Anais de Eventos (aceitos apenas trabalhos completos)

AHRENS, S. A fauna silvestre e o manejo sustentável de ecossistemas florestais. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 3., 2004, Santa Maria. **Anais**. Santa Maria: UFSM, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, 2004. p.153-162.

- Artigos de periódicos

SANTOS, M.A. dos; NICOLÁS, M.F.; HUNGRIA, M. Identificação de QTL associados à simbiose entre *Bradyrhizobium japonicum*, *B. elkanii* e soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.67-75, 2006.

- Capítulos de livros

AZEVEDO, D.M.P. de; NÓBREGA, L.B. da; LIMA, E.F.; BATISTA, F.A.S.; BELTRÃO, N.E. de M. Manejo cultural. In: AZEVEDO, D.M.P.; LIMA, E.F. (Ed.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão; Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p.121-160.

- Livros

OTSUBO, A.A.; LORENZI, J.O. **Cultivo da mandioca na Região Centro-Sul do Brasil**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004. 116p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Sistemas de produção, 6).

- Teses

HAMADA, E. **Desenvolvimento fenológico do trigo (cultivar IAC 24 - Tucuruí), comportamento espectral e utilização de imagens NOAA-AVHRR**. 2000. 152p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

- Fontes eletrônicas

EMBRAPA AGROPECUÁRIA OESTE. **Avaliação dos impactos econômicos, sociais e ambientais da pesquisa da Embrapa Agropecuária Oeste**: relatório do ano de 2003. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2004. 97p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 66). Disponível em: . Acesso em: 18 abr. 2006.

Citações

- Não são aceitas citações de resumos, comunicação pessoal, documentos no prelo ou qualquer outra fonte, cujos dados não tenham sido publicados. - A autocitação deve ser evitada. - Devem ser normalizadas de acordo com a NBR 10520 da ABNT, com as adaptações descritas a seguir.

- Redação das citações dentro de parênteses

- Citação com um autor: sobrenome grafado com a primeira letra maiúscula, seguido de vírgula e ano de publicação.

- Citação com dois autores: sobrenomes grafados com a primeira letra maiúscula, separados pelo "e" comercial (&), seguidos de vírgula e ano de publicação.

- Citação com mais de dois autores: sobrenome do primeiro autor grafado com a primeira letra maiúscula, seguido da expressão et al., em fonte normal, vírgula e ano de publicação.

- Citação de mais de uma obra: deve obedecer à ordem cronológica e em seguida à ordem alfabética dos autores.

- Citação de mais de uma obra dos mesmos autores: os nomes destes não devem ser repetidos; colocar os anos de publicação separados por vírgula.

- Citação de citação: sobrenome do autor e ano de publicação do documento original, seguido da expressão "citado por" e da citação da obra consultada.

- Deve ser evitada a citação de citação, pois há risco de erro de interpretação; no caso de uso de citação de citação, somente a obra consultada deve constar da lista de referências.

- Redação das citações fora de parênteses

- Citações com os nomes dos autores incluídos na sentença: seguem as orientações anteriores, com os anos de publicação entre parênteses; são separadas por vírgula.

Fórmulas, expressões e equações matemáticas

- Devem ser iniciadas à margem esquerda da página e apresentar tamanho padronizado da fonte Times New Roman.

- Não devem apresentar letras em itálico ou negrito, à exceção de símbolos escritos convencionalmente em itálico.

Tabelas

- As tabelas devem ser numeradas seqüencialmente, com algarismo arábico, e apresentadas em folhas separadas, no final do texto, após as referências.
- Devem ser auto-explicativas.
- Seus elementos essenciais são: título, cabeçalho, corpo (colunas e linhas) e coluna indicadora dos tratamentos ou das variáveis.
- Os elementos complementares são: notas-de-rodapé e fontes bibliográficas.
- O título, com ponto no final, deve ser precedido da palavra Tabela, em negrito; deve ser claro, conciso e completo; deve incluir o nome (vulgar ou científico) da espécie e das variáveis dependentes.
- No cabeçalho, os nomes das variáveis que representam o conteúdo de cada coluna devem ser grafados por extenso; se isso não for possível, explicar o significado das abreviaturas no título ou nas notas-de-rodapé.
- Todas as unidades de medida devem ser apresentadas segundo o Sistema Internacional de Unidades.
- Nas colunas de dados, os valores numéricos devem ser alinhados pelo último algarismo.
- Nenhuma célula (cruzamento de linha com coluna) deve ficar vazia no corpo da tabela; dados não apresentados devem ser representados por hífen, com uma nota-de-rodapé explicativa.
- Na comparação de médias de tratamentos são utilizadas, no corpo da tabela, na coluna ou na linha, à direita do dado, letras minúsculas ou maiúsculas, com a indicação em nota-de-rodapé do teste utilizado e a probabilidade.
- Devem ser usados fios horizontais para separar o cabeçalho do título, e do corpo; usá-los ainda na base da tabela, para separar o conteúdo dos elementos complementares. Fios horizontais adicionais podem ser usados dentro do cabeçalho e do corpo; não usar fios verticais.
- As tabelas devem ser editadas em arquivo Word, usando os recursos do menu Tabela; não fazer espaçamento utilizando a barra de espaço do teclado, mas o recurso recuo do menu Formatar Parágrafo.
- Notas de rodapé das tabelas
- Notas de fonte: indicam a origem dos dados que constam da tabela; as fontes devem constar nas referências.
- Notas de chamada: são informações de caráter específico sobre partes da tabela, para conceituar dados. São indicadas em algarismo arábico, na forma de expoente, entre parênteses, à direita da palavra ou do número, no título, no cabeçalho, no corpo ou na coluna indicadora. São apresentadas de forma contínua, sem mudança de linha, separadas por ponto.
- Para indicação de significância estatística, são utilizadas, no corpo da tabela, na forma de expoente, à direita do dado, as chamadas ns (não-significativo); * e ** (significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente).

Figuras

- São consideradas figuras: gráficos, desenhos, mapas e fotografias usados para ilustrar o texto.

- Só devem acompanhar o texto quando forem absolutamente necessárias à documentação dos fatos descritos.
- O título da figura, sem negrito, deve ser precedido da palavra Figura, do número em algarismo arábico, e do ponto, em negrito.
- Devem ser auto-explicativas.
- A legenda (chave das convenções adotadas) deve ser incluída no corpo da figura, no título, ou entre a figura e o título.
- Nos gráficos, as designações das variáveis dos eixos X e Y devem ter iniciais maiúsculas, e devem ser seguidas das unidades entre parênteses.
- Figuras não-originais devem conter, após o título, a fonte de onde foram extraídas; as fontes devem ser referenciadas.
- O crédito para o autor de fotografias é obrigatório, como também é obrigatório o crédito para o autor de desenhos e gráficos que tenham exigido ação criativa em sua elaboração. - As unidades, a fonte (Times New Roman) e o corpo das letras em todas as figuras devem ser padronizados.
- Os pontos das curvas devem ser representados por marcadores contrastantes, como: círculo, quadrado, triângulo ou losango (cheios ou vazios).
- Os números que representam as grandezas e respectivas marcas devem ficar fora do quadrante.
- As curvas devem ser identificadas na própria figura, evitando o excesso de informações que comprometa o entendimento do gráfico.
- Devem ser elaboradas de forma a apresentar qualidade necessária à boa reprodução gráfica e medir 8,5 ou 17,5 cm de largura.
- Devem ser gravadas nos programas Word, Excel ou Corel Draw, para possibilitar a edição em possíveis correções.
- Usar fios com, no mínimo, 3/4 ponto de espessura.
- No caso de gráfico de barras e colunas, usar escala de cinza (exemplo: 0, 25, 50, 75 e 100%, para cinco variáveis).
- Não usar negrito nas figuras.
- As figuras na forma de fotografias devem ter resolução de, no mínimo, 300 dpi e ser gravadas em arquivos extensão TIF, separados do arquivo do texto.
- Evitar usar cores nas figuras; as fotografias, porém, podem ser coloridas.

Notas Científicas

- Notas científicas são breves comunicações, cuja publicação imediata é justificada, por se tratar de fato inédito de importância, mas com volume insuficiente para constituir um artigo científico completo.

Apresentação de Notas Científicas

- A ordenação da Nota Científica deve ser feita da seguinte forma: título, autoria (com as chamadas para endereço dos autores), Resumo, Termos para indexação, título em inglês, Abstract, Index terms, texto propriamente dito (incluindo introdução, material e métodos, resultados e discussão, e conclusão, sem divisão), Referências, tabelas e figuras.

- As normas de apresentação da Nota Científica são as mesmas do Artigo Científico, exceto nos seguintes casos:

- Resumo com 100 palavras, no máximo.
- Deve ter apenas oito páginas, incluindo-se tabelas e figuras.
- Deve apresentar, no máximo, 15 referências e duas ilustrações (tabelas e figuras).

Outras informações

- Não há cobrança de taxa de publicação.
- Os manuscritos aprovados para publicação são revisados por no mínimo dois especialistas.
- O editor e a assessoria científica reservam-se o direito de solicitar modificações nos artigos e de decidir sobre a sua publicação.
- São de exclusiva responsabilidade dos autores as opiniões e conceitos emitidos nos trabalhos.
- Os trabalhos aceitos não podem ser reproduzidos, mesmo parcialmente, sem o consentimento expresso do editor da PAB.

Contatos com a secretaria da revista podem ser feitos por telefone: (61)3448-4231 e 3273-9616, fax: (61)3340-5483, via e-mail: pab@sct.embrapa.br ou pelos correios:

Embrapa Informação Tecnológica Pesquisa Agropecuária Brasileira – PAB

Caixa Postal 040315 CEP 70770 901 Brasília, DF

[Embrapa Informação Tecnológica](#)

Parque Estação Biológica - PqEB - Av. W3 Norte (final) Caixa Postal 040315 - Brasília, DF - Brasil - 70770-901

Fone: +55 (61) 3448-4231 / 3448-4162 - Fax: (61) 3272-4168