



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E  
CONSERVAÇÃO



RESPOSTAS ECOFISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DO PAJEÚ  
(*Triplaris gardneriana* Wedd.) SUBMETIDO AO DÉFICIT HÍDRICO.

Jéssica Chapeleiro Peixoto Queiroz  
Mestrado Acadêmico

São Cristóvão  
Sergipe – Brasil  
2018

JÉSSICA CHAPELEIRO PEIXOTO QUEIROZ

RESPOSTAS ECOFISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DO PAJEÚ  
(*Triplaris gardneriana* Wedd.) SUBMETIDO AO DÉFICIT HÍDRICO.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Federal de Sergipe, como requisito parcial exigido para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Dias da Silva Jr.

São Cristóvão  
Sergipe – Brasil  
2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

Q3r Queiroz, Jéssica Chapeleiro Peixoto.  
Respostas ecofisiológicas e bioquímicas do Pajeú (*Triplaris gardneriana* Wedd.) submetido ao déficit hídrico / Jéssica Chapeleiro Peixoto Queiroz; orientador Carlos Dias da Silva Jr. – São Cristóvão, 2018.  
98 f.: il.

Dissertação (mestrado em Ecologia e Conservação)–  
Universidade Federal de Sergipe, 2018.

1. Plantas da Caatinga. 2. Recursos hídricos. 3. Fisiologia vegetal. 4. Bioquímica. 5. Fluorescência. I. Silva Junior, Carlos Dias da, orient. II. Título.

CDU 582.091

**TERMO DE APROVAÇÃO**

**RESPOSTAS ECOFISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DO  
PAJEÚ (*Triplaris gardneriana* Wedd.) SUBMETIDO AO DÉFICIT HÍDRICO**

por

**JESSICA CHAPELEIRO PEIXOTO QUEIROZ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Federal de Sergipe, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação.

**APROVADA** pela banca examinadora composta por



**DR. CARLOS DIAS DA SILVA JUNIOR**  
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da  
Universidade Federal de Sergipe



**DR. LUIZ FERNANDO GANASSALI DE OLIVEIRA JUNIOR**  
Universidade Federal de Sergipe



**DR. MARCOS VINICIUS MEIADO**  
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da  
Universidade Federal de Sergipe

São Cristóvão/SE, 28 de fevereiro de 2018

## **Dedico**

*A Deus, pelo dom da vida, por ser o autor do meu destino, meu guia, minha fortaleza e meu refúgio. A ti toda honra e glória.*

*Aos meus pais, Flávio e Helena e à minha irmã, Joyce.*

*Ao meu marido, amor da minha vida, João Augusto.*

*Aos meus avós, João Peixoto e Carminha (in memoriam), pelos bons exemplos, pelo carinho, apoio e, principalmente, pelas orações.*

## AGRADECIMENTOS

O tempo do mestrado é curto, pois vem recheado de muita carga de conhecimento e responsabilidade, além de inúmeras experiências oriundas de situações boas e ruins. Nesses dois anos, grandes coisas aconteceram em minha vida, desde grandes conquistas a grandes perdas. E só é possível passar por tudo isso, se tivermos conosco pessoas que nos ajudem a enfrentar tantos desafios. Portanto, nesta etapa final, não poderia deixar de agradecer, pois para mim, ser grato é obrigação.

Antes e acima de tudo meu muito OBRIGADO a Deus, o autor da minha vida, é a ele que devo toda a honra e glória de minhas conquistas e de meus fracassos.

Aos meus pais, Helena e Flávio, que com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até aqui. Pelo incentivo e por não me deixarem desistir. Sem vocês nenhuma conquista valeria a pena. Vocês foram enviados por Deus, sempre me apoiaram e incentivaram minhas escolhas, e foram de fundamental importância nesses dois anos de mestrado. Amo vocês incondicionalmente.

À minha irmã, Joyce, que mesmo distante, sempre acreditou em mim quando nem eu mais acreditava.

Ao meu esposo, João Augusto, pelo apoio incondicional em todos os momentos, principalmente nos de incerteza, muito comuns para quem tenta trilhar novos caminhos. Foi ele que suportou todas as minhas angústias e medos com toda a paciência do mundo. Só ele sabe o que aguentou em dias de estresse e desespero. Na verdade, sua calma e equilíbrio foram essenciais para que eu não perdesse o meu foco e objetivo. Obrigada por tudo. Eu te amo demais.

Aos meus familiares e amigos em geral, que indiretamente acabam mandando apoio e orações. Em especial, à minha prima Thaíse, que passando pelo mesmo processo, entendia perfeitamente e acreditava em mim.

O meu obrigado mais que especial vai para meus avós, João Peixoto e Carminha, tendo esta me deixado exatamente no período do mestrado. E por incrível que pareça, ao iniciar o mestrado, pedi a Deus que não a deixasse ir embora neste período, pois não saberia suportar sua ausência e recuperar as forças para continuar. Não é que Deus não tenha atendido minhas orações ao levá-la, mas a levou porque havia chegado sua hora. Na verdade, com sua partida, descobri uma força que não imaginava existir em mim. Levantei a cabeça, entreguei tudo nas mãos de Deus e segui, com o coração ferido, mas grata por tê-la tido ao meu lado durante os 28 anos de minha vida.

Ao meu orientador, Carlos Dias, por ter aceitado o desafio de me orientar, mesmo sabendo da minha pouca experiência e de minhas limitações. Muito obrigada pela oportunidade!

Aos professores do PPEC os quais tive o prazer de participar das disciplinas, foi uma grande satisfação poder aprender tantas coisas novas e compartilhar tanto conhecimento.

Ao professor Paulo e à professora Elizamar, que me auxiliaram sempre que precisava, desde emprestando materiais para utilizar nas análises até oferecendo conhecimento e palavras de apoio. Ao professor Marcos Vinicius Meiado, que gentilmente nos forneceu as sementes de Pajeu para que pudéssemos realizar nosso

trabalho e ao professor Luiz Fernando Ganassali, por ter generosamente oferecido o equipamento IRGA para a realização das análises, e por ter disponibilizado seu aluno Paulo para nos ajudar... meu muito obrigado!

Aos meus colegas de mestrado, à famosa “turma do campo”, vocês foram essenciais nesta caminhada. Nunca me senti tão acolhida e tão bem numa turma como foi com vocês. Espero tê-los para o resto de minha vida.

Aos colegas dos outros laboratórios, que me proporcionaram muitos momentos de aprendizado e de descontração. Talvez essa jornada não tivesse sido tão engrandecedora se não tivesse encontrado vocês.

Aos anjos que Deus colocou em minha vida nesse mestrado, Allan, Paulo, Juliana e Sr. João, pois foram de uma generosidade incrível, tendo por muitas vezes adotado o meu projeto como se fosse deles, entrando de cabeça nas minhas idéias, trabalhos e tudo o mais. À Allan, colega de laboratório, meu muitíssimo obrigado, pois esteve ao meu lado em todos os momentos, “topava qualquer parada”, não tinha dia, hora ou qualquer coisa que o impedisse de estar comigo. Não sei se esse mestrado teria acontecido sem você. À Paulo, aluno de doutorado da fisiologia de pós-colheita, o qual inicialmente tive a oportunidade de cursar uma disciplina em comum, mas que ao passar do tempo tornou-se realmente um anjo que Deus colocou em minha vida, pois sem a ajuda dele, muitas análises não teriam sido feitas. Um cara de uma generosidade sem tamanho, sempre pronto pra ajudar em qualquer situação. Serei eternamente grata por tudo o que fez por mim, que Deus te abençoe e te proteja por todos os seus caminhos, pois você merece tudo de bom que a vida possa oferecer. Ao Sr. João, técnico da Universidade, minha eterna gratidão, pois sempre ajudou em tudo o que precisei e acabou se tornando mais que amigo, se tornou uma “espécie” de pai/irmão, pois seus conselhos eram sempre sábios e confortadores. E à Juliana, secretária do ppec, a qual tenho o prazer de chamar de minha amiga, nem toda essa dissertação seria suficiente para agradecer tudo o que fez por mim. Sua porta, whatsapp e ouvidos sempre estiveram “abertas, online e atentos” (risos) para me ouvir. Saiba que você é uma profissional incrível, pois nunca vi alguém se preocupar tanto com os alunos como você se preocupa. Espero também tê-la daqui pra frente sempre em minha vida.

Aos membros da banca de defesa, professor Dr. Luiz Fernando Ganassali de Oliveira Junior e professor Dr. Marcos Vinicius Meiado, pela disponibilidade e contribuições dadas ao trabalho.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

À Universidade Federal de Sergipe pela estrutura e por todo o apoio logístico e administrativo.

**MUITO OBRIGADA!**

*“Meu filho, se entrares para o serviço de Deus, permanece firme na justiça e no temor, e prepara a tua alma para a provação; humilha teu coração, espera com paciência, dá ouvidos e acolhe as palavras de sabedoria; não te perturbes no tempo da infelicidade, sofre as demoras de Deus; dedica-te a Deus, espera com paciência, a fim de que no derradeiro momento tua vida se enriqueça. Aceita tudo o que te acontecer. Na dor, permanece firme; na humilhação, tem paciência. Pois é pelo fogo que se experimentam o ouro e a prata, e os homens agradáveis a Deus, pelo cadinho da humilhação. Põe tua confiança em Deus e ele te salvará; orienta bem o teu caminho e espera nele. Conserva o temor a ele até na velhice”.*

Eclesiástico 2, 1-6.



## SUMÁRIO

|                        |      |
|------------------------|------|
| NOMENCLATURA .....     | IX   |
| LISTA DE FIGURAS ..... | X    |
| LISTA DE TABELAS ..... | XII  |
| RESUMO GERAL.....      | XIII |
| GENERAL ABSTRACT ..... | XIV  |
| APRESENTAÇÃO .....     | XV   |

### **CAPÍTULO I**

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO .....                 | 17 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA .....      | 20 |
| 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... | 35 |

### **CAPÍTULO II (CURSO DIÁRIO DAS TROCAS GASOSAS DO PAJEU (TRIPLARIS GARDNERIANA WEDD.)**

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| RESUMO .....                     | 46 |
| ABSTRACT .....                   | 46 |
| INTRODUÇÃO .....                 | 47 |
| MATERIAL E MÉTODOS .....         | 49 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO .....     | 51 |
| CONCLUSÕES .....                 | 54 |
| AGRADECIMENTOS .....             | 54 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... | 55 |

### **CAPÍTULO III (RELAÇÕES HÍDRICAS, TROCAS GASOSAS, FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA A E PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS DO PAJEU SOB DÉFICIT HÍDRICO).**

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| RESUMO .....                     | 60 |
| ABSTRACT .....                   | 61 |
| INTRODUÇÃO .....                 | 62 |
| MATERIAL E MÉTODOS .....         | 63 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO .....     | 66 |
| CONCLUSÕES .....                 | 76 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... | 77 |

### **CAPÍTULO IV (O EFEITO DO DÉFICIT HÍDRICO SOBRE AS RELAÇÕES HÍDRICAS, TOLERÂNCIA PROTOPLASMÁTICA FOLIAR E SOLUTOS ORGÂNICOS DO PAJEU).**

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| RESUMO .....                     | 83 |
| ABSTRACT .....                   | 83 |
| INTRODUÇÃO .....                 | 84 |
| MATERIAL E MÉTODOS .....         | 85 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO .....     | 88 |
| CONCLUSÕES .....                 | 95 |
| AGRADECIMENTOS .....             | 96 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... | 96 |

## NOMENCLATURA

- A – Taxa fotossintética líquida  
C<sub>i</sub> – Concentração interna de CO<sub>2</sub>  
Chl - Clorofila  
DPV – Déficit de pressão de vapor  
E – Taxa de transpiração  
EUA – Eficiência no uso da água  
F<sub>0</sub> – Fluorescência inicial  
F<sub>m</sub> – Fluorescência máxima  
F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub> – Eficiência do fotossistema II  
g<sub>s</sub> – Condutância estomática  
RFA – Radiação fotossinteticamente ativa  
PD – Percentual de danos  
PIA – Percentual de integridade absoluta  
PI<sub>ABS</sub> – Índice de Performance  
PIR – Percentual de integridade relativa  
PS II – Fotossistema II  
TRA – Teor relativo de água  
UR – Umidade relativa  
Ψ<sub>w</sub> – Potencial hídrico foliar

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo I

**Figura 1:** Aspecto da árvore do Pajeú (*Triplaris gardneriana* Wedd.)

**Figura 2:** Árvore de *Triplaris gardneriana* (A); aspecto da casca (B); ramos ociosos com formigas (C); características das folhas (D); Inflorescência, feminina e masculina, respectivamente (E); Aspecto do fruto (F); Sementes de *T. gardneriana* (G).

### Capítulo II

**Figura 1:** Temperatura (°C) e Umidade Relativa do ar (%) registrados em casa de vegetação nos horários de avaliação.

**Figura 2:** Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e Déficit de pressão de vapor (DPV) registrados em casa de vegetação nos horários de avaliação. Letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Figura 3:** A. Taxa de fotossíntese (A); B. condutância estomática (gs); C. transpiração (E); D. concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci); E. temperatura foliar; F. eficiência no uso da água (EUA) em plantas jovens de pajeú (*Triplaris gardneriana* Wedd.). Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### Capítulo III

**Figura 1:** Dados de temperatura e umidade relativa do ar registrado no interior da casa de vegetação durante o período de análises.

**Figura 2:** Valores médios de potencial hídrico foliar (MPa) ± erro padrão em plantas jovens de *Triplaris gardneriana* submetida à quatro regimes de reposição de água perdida por evapotranspiração. Médias seguidas de letras iguais maiúsculas não diferiram entre os dias de avaliação e iguais minúsculas entre os tratamentos dentro do mesmo dia pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Figura 3:** Valores médios de teor relativo de água (%) ± erro padrão em plantas jovens de *Triplaris gardneriana* submetida à quatro regimes de reposição de água perdida por evapotranspiração. Médias seguidas de letras iguais maiúsculas não diferiram entre os dias de avaliação e iguais minúsculas entre os tratamentos dentro do mesmo dia pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### Capítulo IV

**Figura 1:** Temperatura (°C) e Umidade relativa do ar (%) registrados em casa de vegetação durante o período de análises.

**Figura 2:** Valores médios de potencial hídrico foliar (MPa)  $\pm$  erro padrão em plantas jovens de *Triplaris gardneriana* submetida à quatro regimes de reposição de água perdida por evapotranspiração. Médias seguidas de letras iguais maiúsculas não diferiram entre os dias de avaliação e iguais minúsculas entre os tratamentos dentro do mesmo dia pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Figura 3:** Valores médios de teor relativo de água (%)  $\pm$  erro padrão em plantas jovens de *Triplaris gardneriana* submetida à quatro regimes de reposição de água perdida por evapotranspiração. Médias seguidas de letras iguais maiúsculas não diferiram entre os dias de avaliação e iguais minúsculas entre os tratamentos dentro do mesmo dia pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo II

**Tabela 1:** Resultado da análise físico-química do solo.

### Capítulo III

**Tabela 1:** Resultado da análise físico-química do solo.

**Tabela 2:** Valores médios de condutância estomática (gs); transpiração (E); fotossíntese líquida (A); eficiência no uso da água (EUA)  $\pm$  erro padrão em plantas jovens de *Triplaris gardneriana* submetida à quatro regimes de reposição de água perdida por evapotranspiração. Médias seguidas de letras iguais maiúsculas não diferiram entre os dias de avaliação e iguais minúsculas entre os tratamentos dentro do mesmo dia pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 3:** Valores médios de fluorescência inicial ( $F_0$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ), eficiência quântica do PSII ( $F_v/F_m$ ), Área e Índice de Performance ( $PI_{ABS}$ )  $\pm$  erro padrão em plantas jovens de *Triplaris gardneriana* submetida à quatro regimes de reposição de água perdida por evapotranspiração. Médias seguidas de letras iguais maiúsculas não diferiram entre os dias de avaliação e iguais minúsculas entre os tratamentos dentro do mesmo dia pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 4:** Valores médios de teor de clorofila a, b, total e carotenóides  $\pm$  erro padrão em plantas jovens de *Triplaris gardneriana* submetidas à quatro regimes de reposição de água perdida por evapotranspiração. Médias seguidas de letras iguais maiúsculas não diferiram entre os dias de avaliação e iguais minúsculas entre os tratamentos dentro do mesmo dia pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### Capítulo IV

**Tabela 1:** Resultado da análise físico-química do solo.

**Tabela 2:** Valores médios de percentual de integridade absoluta (PIA); percentual de integridade relativa (PIR) e percentual de danos membranares (PD)  $\pm$  erro padrão em plantas jovens de *Triplaris gardneriana* submetida a quatro regimes de reposição de água perdida por evapotranspiração.

**Tabela 3:** Valores médios de teor de proteínas solúveis; carboidratos solúveis e prolina livre  $\pm$  erro padrão em plantas jovens de *Triplaris gardneriana* submetida a quatro regimes de reposição de água perdida por evapotranspiração.

## RESUMO GERAL

A água é substância essencial à sobrevivência dos vegetais. Reduções em sua disponibilidade, causada por elevada demanda evaporativa e/ou por limitação no suprimento, podem acarretar inúmeras alterações morfofisiológicas na planta. O bioma Caatinga, localizado no semiárido brasileiro, caracteriza-se por apresentar um regime irregular de chuvas associado a elevadas temperaturas, ocasionando, portanto, situações de deficiência hídrica aos vegetais que lá habitam. Ocorrendo naturalmente na Caatinga, especialmente associada ao Rio São Francisco, em várzeas inundáveis e encostas úmidas do pantanal matogrossense, o pajeuzeiro é uma árvore que tem importância destacada na ornamentação, medicina popular, fornecimento de madeira e restauração de áreas degradadas. Os mecanismos utilizados pelo pajeuzeiro para sobreviver em situações de déficit hídrico ainda são escassos. Diante disto, o presente trabalho teve o objetivo de investigar alterações fisiológicas e bioquímicas do pajeuzeiro quando submetido ao déficit hídrico, assim como sua capacidade de recuperação após a reidratação, tendo esta acontecido quando a fotossíntese aproximava-se de zero. Para isto, foi realizado um experimento em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos de reposição de água perdida por evapotranspiração (T100 – controle; T50 – 50%; T25 - 25% e T0 – sem reposição), com seis repetições cada, avaliando-se a cada 7 dias durante 28 dias. Foram avaliados o potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ), teor relativo de água (TRA), tolerância protoplasmática foliar, trocas gasosas ( $g_s$ ,  $E$ ,  $A$  e EUA), além da fluorescência da clorofila  $a$ . Para as análises bioquímicas, analisou-se o teor de pigmentos fotossintéticos (Chl  $a$ , Chl  $b$ , Chl total e carotenoides), proteínas solúveis, prolina livre e carboidratos. O Pajeuzeiro demonstrou ter sido afetado pelo déficit hídrico, com redução significativa em relação ao T100 no  $\Psi_w$  e TRA para o T0, T25 e T50. Além destas, também foram verificadas reduções significativas na condutância estomática ( $g_s$ ), transpiração ( $E$ ), taxa fotossintética ( $A$ ), eficiência quântica do PSII ( $F_v/F_m$ ), área e índice de performance ( $PI_{ABS}$ ) nos tratamentos sob déficit hídrico. À medida que o déficit hídrico se intensificava, foi observado um aumento no percentual de danos de membrana, tendo o T0 apresentado o maior índice de danos em relação ao controle. A restrição na disponibilidade de água também afetou significativamente a concentração de pigmentos fotossintéticos, com reduções para a chl  $a$ ,  $b$  e total e incremento para carotenóides. Além disso, o déficit promoveu aumento significativo na concentração de proteínas solúveis para o T0 e T25 e de prolina livre para os três tratamentos com deficiência hídrica. Para a concentração de carboidratos, houve incremento, porém não significativo. O pajeuzeiro foi bastante afetado pelo déficit hídrico, porém demonstrou forte capacidade de recuperação de todos os parâmetros analisados após a reidratação, o que demonstra certo grau de tolerância da espécie. Portanto, a espécie *Triplaris gardneriana* utiliza o fechamento estomático, juntamente com a senescência e abscisão foliar, como principal mecanismo para evitar a perda excessiva de água.

**Palavras-chave:** pajeu, relações hídricas, trocas gasosas, fluorescência, solutos orgânicos.

## GENERAL ABSTRACT

Water is essential to the survival of plants. Reductions in availability, caused by high evaporative demand and/or supply limitation, can lead to numerous morphophysiological changes in the plant. The Caatinga biome, located in the Brazilian semi-arid region, is characterized by an irregular rainfall regime associated with high temperatures, causing, therefore, situations of water deficiency to the plants that live there. Occurring naturally in the Caatinga, especially associated with the São Francisco River, in floodplain and humid slopes of the Matogrossense pantanal, the pajezeiro is a tree that has important importance in the ornamentation, popular medicine, wood supply and restoration of degraded areas. The mechanisms used by the pajezeiro to survive in situations of water deficit are still scarce. In view of this, the present work had the objective of investigating physiological and biochemical changes of the pajezeiro when submitted to the water deficit, as well as its capacity of recovery after the rehydration. For this, a greenhouse experiment was carried out in a completely randomized design, with four treatments to recover water lost by evapotranspiration (T100 - control, T50 - 50%, T25 - 25% and T0 - without replacement) repetitions each. Leaf water potential ( $\Psi_w$ ), relative water content (TRA), foliar protoplasm tolerance, gas exchange ( $g_s$ , E, A and WUE), as well as chlorophyll fluorescence a were evaluated. For the biochemical analyzes, the content of photosynthetic pigments (Chl a, Chl b, total Chl and carotenoids), soluble proteins, free proline and carbohydrates were analyzed. The Pajezeiro was affected by the water deficit, with a significant reduction in its  $\Psi_w$  and TRA, which reached values below 60%. In addition, significant reductions in stomatal conductance ( $g_s$ ), transpiration (E), photosynthetic rate (A), quantum efficiency of PSII ( $F_v/F_m$ ), area and performance index ( $PI_{ABS}$ ) were observed in treatments under water deficit. As the water deficit intensified, an increase in the percentage of membrane damage was observed, with T0 presenting the highest damage index in relation to the control. The restriction in water availability also significantly affected the concentration of photosynthetic pigments, with reductions for chl a, b and total and increase for carotenoids. In addition, the deficit promoted a significant increase in the concentration of soluble proteins for T0 and T25 and of free proline for the three treatments with water deficiency. For the carbohydrate concentration, there was an increase, but not significant. The pajezeiro was strongly affected by the water deficit, but demonstrated a strong recovery capacity of all parameters analyzed after rehydration, which shows a certain degree of tolerance of the species. Therefore, the *Triplaris gardneriana* species uses stomatal closure, along with leaf senescence and abscission, as the main mechanism to prevent excessive water loss.

**Key words:** pajeu, water relations, gas exchange, fluorescence, organic solutes.

## APRESENTAÇÃO

A presente dissertação é composta por quatro capítulos. O primeiro capítulo foi escrito de acordo com as normas da ABNT e destina-se a oferecer uma fundamentação teórica dos temas que envolvem o trabalho, inserindo aspectos das relações hídricas das plantas, a problemática do déficit hídrico no bioma da Caatinga e as características da espécie *Triplaris gardneriana* Wedd. O segundo capítulo, destinou-se a analisar o curso diário de trocas gasosas do paju com o intuito de verificar o horário adequado para a realização das análises fisiológicas durante o experimento. No terceiro capítulo, foram analisados o potencial hídrico foliar, teor relativo de água, as trocas gasosas, fluorescência da clorofila a e teores de pigmentos fotossintéticos da *Triplaris gardneriana* Wedd. Por fim, o último capítulo, teve o intuito de investigar, além das relações hídricas, a tolerância protoplasmática foliar e solutos orgânicos na espécie quando submetida ao déficit hídrico, analisando o teor de proteínas solúveis, prolina livre e carboidratos solúveis.



**CAPÍTULO I**



**REVISÃO DE LITERATURA**

## 1. INTRODUÇÃO

A água é uma substância essencial para a ocorrência da vida no planeta (MARENCO; LOPES, 2009; VIEIRA et al., 2010; KERBAUY, 2012; TAIZ; ZEIGER, 2013). Foi no meio aquoso que ocorreu a evolução da vida, através da fotossíntese oxigênica com a quebra da molécula de água, o que permitiu um aumento na concentração de oxigênio na atmosfera (PIMENTA, 2008). A água é fundamental para a ocorrência de inúmeros processos bioquímicos e para a manutenção da integridade funcional de moléculas orgânicas biológicas (LARCHER, 2006; VIEIRA et al., 2010; TAIZ; ZEIGER, 2013). Apesar de ser o constituinte mais abundante no ecossistema terrestre (VIERA et al., 2010), é também o mais limitante, pois constitui cerca de 80 a 95% da massa fresca do vegetal e é utilizada em grandes quantidades em suas atividades metabólicas (TAIZ; ZEIGER, 2013; MATOS et al., 2014).

Grande parte do conteúdo hídrico absorvido pela planta (~97%) é perdido via transpiração. Desta forma, a planta necessita equilibrar as taxas transpiratórias e o fornecimento de CO<sub>2</sub>, imprescindível para a realização da fotossíntese (LARCHER, 2006; MARENCO; LOPES, 2009; TAIZ; ZEIGER, 2013). Nas situações em que a planta não consegue solucionar o desafio da absorção versus perda de água, se estabelece um quadro de estresse. Segundo Larcher (2006), o estresse é tido como um desvio significativo das condições ótimas para a vida, que induz respostas e mudanças nos organismos. Essas respostas podem ser reversíveis ou irreversíveis, a depender do tempo de duração e da intensidade do agente estressor.

No ambiente natural, os vegetais estão expostos a diversos fatores que podem causar estresse, sejam eles abióticos, como temperatura, umidade, salinidade, pH, luminosidade, oxigênio, minerais; ou bióticos, como patógenos em geral (LARCHER, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2013). O déficit hídrico é tido como um tipo de estresse a que a planta está submetida e se estabelece quando a absorção de água não é suficiente para atender às demandas do vegetal, ocorrendo, portanto, um balanço hídrico negativo (LARCHER, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2013; SEIXAS et al., 2015).

O desenvolvimento do vegetal é, de modo geral, afetado pelo déficit hídrico (MORANDO et al., 2014, PINTO et al., 2014). A perda da turgescência (FIOREZE et al., 2011; TAIZ; ZEIGER, 2013; SEIXAS et al., 2015) e todos os seus processos relacionados, como crescimento, área foliar, sistema radicular, condutância estomática e integridade de membranas são as primeiras consequências do estresse por déficit de

água (LARCHER, 2006; VIEIRA et al., 2010; KERBAUY, 2012; TAIZ; ZEIGER, 2013). Além destes, efeitos no aparato fotossintético (GONÇALVES et al., 2010; SILVA et al., 2015) e na concentração de solutos orgânicos como, por exemplo, proteínas solúveis, prolina livre e carboidratos solúveis também são evidenciados (NEPOMUCENO et al., 2001; MORANDO et al., 2014; SEIXAS et al., 2015; MOURA et al., 2016).

Um ambiente em que o déficit hídrico é bastante evidente é o bioma Caatinga, pois se caracteriza por apresentar um clima semiárido, com elevadas médias anuais de temperatura (25°C a 29°C), de evaporação (média de 2.000 mm), além de baixos índices de precipitação pluviométrica (entre 250 e 1000 mm), mal distribuídos e concentrados em três a cinco meses do ano (CASTRO; CAVALCANTE, 2011; FIGUEIREDO et al., 2012; LOIOLA et al., 2012; SANTOS; SILVA; JUNIOR, 2014). O bioma Caatinga está inserido exclusivamente em território brasileiro, com uma extensão aproximada de 800.000 Km<sup>2</sup>, o que corresponde a aproximadamente 54% da região Nordeste e 10% do território nacional (CASTELLETI et al., 2004; GARIGLIO et al., 2010; COE; SOUZA, 2014).

A Caatinga possui uma vegetação típica, resultante da condição climática existente no bioma (GARIGLIO et al., 2010). É composta por ervas, cactáceas, bromeliáceas, arvoretas e arbustos, subdivididas em estratos herbáceo, arbustivo e arbóreo. A vegetação da Caatinga é caracterizada por apresentar inúmeros mecanismos de adaptação à seca, como folhas pequenas ou modificadas em espinhos, cutículas altamente impermeáveis, caules suculentos, sistema radicular desenvolvido, entre outros (PRADO, 2003; NOGUEIRA, ALBUQUERQUE; SILVA, 2005). Outro mecanismo característico da vegetação da Caatinga é a caducifolia, onde quase todas as folhas das plantas caem e a vegetação apresenta aspecto esbranquiçado (PRADO, 2003; LEAL et al., 2005; ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2009).

Ocorrendo naturalmente na Caatinga e nas várzeas inundáveis e encostas úmidas da região do Pantanal Matogrossense, a *Triplaris gardneriana* Wedd. é popularmente conhecida no Nordeste como “Pajeú” ou “Pajáu” e como “coaçú”, “formigueiro”, “novateiro preto” e “pau-formiga” em outras regiões (FRANÇA et al., 2007; MELO, 2010; SANTOS et al., 2013; MACEDO et al., 2015b, 2016; TABOSA et al., 2016). No semiárido, é característica de mata ciliar do Rio São Francisco, podendo atingir de 4 a 15 metros de altura (FRANÇA et al., 2007; SANTOS et al., 2013; PONTARA et al., 2016; ALMEIDA et al., 2017).

É uma espécie que possui inúmeras utilizações, como medicinal (ARAUJO, 2009; CARTAXO; SOUZA; ALBUQUERQUE, 2010; FARIAS et al., 2013, MACEDO et al., 2015b) ornamental (SANTOS et al., 2013; ALMEIDA et al., 2017), fornecimento de madeira (SILVA-BRAMBILHA; MOSCHETA, 2001), biológica, servindo como sítio de formigas, e ecológica, na restauração de áreas degradadas (LORENZI, 2000; SANTOS et al., 2013; CUSTODIO; COMTOIS; ARAUJO, 2017).

O conhecimento dos mecanismos desenvolvidos pela *Triplaris gardneriana* Wedd. para lidar com regimes hídricos deficitários pode servir como base para o entendimento dos processos gerais de tolerância à seca e em projetos de restauração de áreas degradadas. Desta forma, é nesta idéia que reside a importância de estudos em ambientes como a Caatinga, que permitem adquirir novos conhecimentos no ramo da ecofisiologia vegetal, compreendendo os efeitos do déficit hídrico sobre o desenvolvimento vegetal.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Relações hídricas das plantas**

A água é uma das substâncias mais importantes do planeta. É única em termos ecofisiológicos, pois, através de suas características específicas, como o alto calor latente de fusão e ebulição, alto calor específico, elevada tensão superficial, capilaridade, boa viscosidade, boa transmitância de luz visível e solvente universal, tornaram possível o surgimento e a manutenção da vida na terra (PIMENTEL, 2004; VIEIRA et al., 2010; KERBAUY, 2012). Participando como reagente ou substrato, a água é importante em diversos processos bioquímicos imprescindíveis para toda forma de vida conhecida como, por exemplo, na liberação do oxigênio molecular no processo fotossintético (PIMENTEL, 2004; LARCHER, 2006; PIMENTA, 2008; KERBAUY, 2012; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Na célula, a água pode se apresentar quimicamente associada a íons e preenchendo espaços (água de hidratação), armazenada em vacúolos ou vesículas (água de estoque) ou servindo como meio de transporte aos espaços intercelulares (água intersticial) e aos elementos condutores do xilema e floema (água vascular) (LARCHER, 2006). É o constituinte mais abundante no ecossistema terrestre (VIEIRA et al., 2010) e substância essencial na manutenção da integridade funcional das moléculas orgânicas biológicas e na atividade metabólica de vegetais e animais (LARCHER, 2006; MARENCO; LOPES, 2009; KERBAUY, 2012). A fitomassa é em grande parte constituída por água. Em células vegetais vivas, constitui cerca de 80% a 95% da massa fresca dos tecidos metabolicamente ativos (PIMENTEL, 2004; LARCHER, 2006; MARENCO; LOPES, 2009; VIEIRA et al., 2010; KERBAUY, 2012).

A maior parte do conteúdo hídrico absorvido pelas plantas provém do solo, é absorvido pelo sistema radicular e transportado pelo sistema solo-planta com o auxílio de um sistema de vasos condutores, por meio de processos passivos como, fluxo em massa, difusão ou osmose (VIERA et al., 2010; TAIZ; ZEIGER, 2013). Ao passar pelas raízes, a água percorre os tecidos vegetais por diferentes vias: apoplástica (água percorre por paredes celulares e espaços intercelulares), simplástica (através dos plasmodesmas de células adjacentes) e transmembrana (água passa pela célula atravessando a membrana com auxílio de aquaporinas) (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Inúmeros fatores podem afetar a absorção de água pelas plantas, tais como disponibilidade hídrica, temperatura e aeração do solo, concentração da solução do solo, além de características da própria planta (VIEIRA et al., 2010). No que diz respeito ao tipo de solo, quando arenoso, existem grandes espaços e canais entre as partículas, determinando sua baixa retenção de água e elevada drenagem. Quando argiloso, possui alta área superficial, com menores espaços entre as partículas, o que possibilita uma elevada retenção de água e baixa drenagem (LARCHER, 2006; MARENCO; LOPES, 2009; VIEIRA et al., 2010; KERBAUY, 2012; TAIZ; ZEIGER, 2013).

O transporte solo-planta é efetuado quando o potencial hídrico da planta se apresenta relativamente mais baixo (mais negativo) em relação ao potencial da água do solo, permitindo o fluxo de água de toda a planta para a atmosfera (LARCHER, 2006; VIEIRA et al., 2010; TAIZ; ZEIGER, 2013). O potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) representa o grau de disponibilidade da água dentro do vegetal para usos diversos e é considerado um bom indicador do estado de saúde da planta, uma vez que influencia enormemente seus processos fisiológicos (TAIZ; ZEIGER, 2013). A adição de substâncias polares e/ou íons pode reduzir o potencial hídrico de um sistema, causando redução na atividade da água. Em uma célula vegetal adulta, o potencial hídrico é o resultado da ação dos potenciais osmótico ( $\Psi_\pi$ ), matricial ( $\Psi_{mat}$ ), de pressão ( $\Psi_p$ ) e gravitacional ( $\Psi_g$ ). Para estudos de potencial hídrico, o  $\Psi_{mat}$  e o  $\Psi_g$  são desconsiderados por não apresentarem influência significativa (PIMENTEL, 2004; MARENCO; LOPES, 2009; VIERA et al., 2010; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Aproximadamente 97% da água absorvida do solo pelas plantas terrestres, que possuem sua parte aérea exposta ao ambiente atmosférico, é perdida via transpiração, permanecendo apenas cerca de 3% destinados às demais atividades e processos metabólicos (TAIZ; ZEIGER, 2013). Para Vieira e colaboradores (2010), a transpiração é tida como um processo de perda de água na forma de vapor que ocorre nas folhas e é dirigido por uma diferença de pressão ou concentração de vapor de água entre a folha e o meio atmosférico. Além disso, apresenta-se como uma forma eficiente de dissipar calor (TAIZ; ZEIGER, 2013) e se constitui na principal força que movimenta a água contra o potencial gravitacional e as resistências presentes nas vias de transporte, tanto em termos quantitativos (volume de água) como de velocidade (fluxo de massa) (VIEIRA et al., 2010). Para cada grama de matéria orgânica produzida pela planta, cerca de 500g de água são absorvidos e perdidos para a atmosfera (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Portanto, contrabalancear as taxas transpiratórias, ocasionada pela alta demanda evaporativa requerida pela atmosfera, e o fornecimento de CO<sub>2</sub>, necessário ao processo fotossintético, é um grande desafio enfrentado pelas plantas. Para isso, os vegetais precisam manter um balanço hídrico positivo, uma relação equilibrada entre absorção e perda de água, para que os tecidos permaneçam hidratados e que possam realizar suas atividades metabólicas e sobreviver (LARCHER, 2006; MARENCO; LOPES, 2009; TAIZ; ZEIGER, 2013). O aparato estomático também pode auxiliar na resolução da problemática, regulando a perda excessiva de água para a atmosfera e, ao mesmo tempo, facilitando a entrada de CO<sub>2</sub> (VIEIRA et al., 2010). Fatores como o grau de hidratação das células-guarda, luz, CO<sub>2</sub>, temperatura, umidade relativa e concentração de ácido abscísico (ABA) influenciam o mecanismo de abertura e fechamento estomático (LARCHER, 2006; MARENCO; LOPES, 2009; VIEIRA et al., 2010; KERBAUY, 2012; TAIZ; ZEIGER, 2013).

De todos os recursos que a planta necessita para funcionar e desenvolver, a água é o mais abundante e, ao mesmo tempo, o mais limitante, por ser utilizado em grandes quantidades (MATOS et al., 2014; TAIZ; ZEIGER, 2013). Dessa forma, se faz necessário entender as relações hídricas das plantas, pois a água influencia fortemente suas funções morfofisiológicas e mesmo ecológicas, determinando, inclusive, a distribuição da flora sobre a superfície terrestre (PINTO et al., 2014).

## **2.2. A deficiência hídrica nas plantas**

No ambiente natural, os vegetais estão sujeitos a inúmeros fatores bióticos e abióticos que podem lhe causar estresse, como patógenos em geral, água, temperatura, pH, salinidade, luminosidade, oxigênio, elementos minerais, entre outros (LARCHER, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2013). De acordo com Larcher (2006), o estresse é tido como um desvio significativo das condições ótimas para a vida e que induz respostas e mudanças nos organismos. As respostas e mudanças ocorridas nas plantas podem ser reversíveis a princípio, se a atuação do estressor for temporária, mas podem se tornar permanentes se os limites de tolerância e a capacidade de aclimação forem transgredidos, ocasionando uma injúria, dano permanente ou mesmo a morte.

Dentre os inúmeros fatores abióticos, a água é um dos mais limitantes e seu excesso ou déficit influenciam fortemente o desenvolvimento do vegetal (MORANDO

et al., 2014; PINTO et al., 2014). O estresse causado pela deficiência hídrica se estabelece quando a absorção de água pelo sistema radicular não consegue atender às demandas da planta, causando, portanto, um desequilíbrio entre absorção e perda de água (SANTOS; CARLESSO, 1998; SILVA; ALCÂNTARA, 2009; TAIZ; ZEIGER, 2013; SEIXAS et al., 2015). Segundo Taiz e Zeiger (2013), o déficit hídrico pode ser definido como todo o conteúdo de água de um tecido ou célula que está abaixo do mais alto exibido no estado de maior hidratação.

A maneira como o déficit hídrico se desenvolve nas plantas, seja ele proveniente de uma grande demanda evaporativa e/ou de um suprimento limitado de água no solo, é muito variável e complexo (FERNANDES; CAIRO; NOVAES, 2015). Aspectos de crescimento, modificações anatômicas, morfológicas, fisiológicas e bioquímicas são, de algum modo, afetados pela diminuição da disponibilidade hídrica ao vegetal (SANTOS; CARLESSO, 1998; ARAUJO et al., 2008, MARENCO; LOPES, 2009; TAIZ; ZEIGER, 2013; OSAKABE et al., 2014; SEIXAS et al., 2015). Os efeitos fisiológicos causados pela deficiência hídrica em vegetais são diretamente proporcionais à duração, natureza e intensidade do estresse, assim como ao genótipo e estágio de desenvolvimento da planta (LARCHER, 2006; SILVA; ALCÂNTARA, 2009; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Segundo Lichtenthaler (1998), as respostas das plantas ao estresse ocorrem em quatro fases distintas. Na primeira fase, chamada de fase de alarme, em resposta ao estresse, a planta apresenta declínio de algumas funções normais, como o processo fotossintético. Se o estresse é mantido, a planta entra numa segunda fase de resposta, o estágio de resistência. Neste estágio, a planta inicia uma adaptação às condições de estresse, podendo ocorrer processos de reparação. Perdurando o efeito estressor, começa a terceira fase, a de exaustão, na qual há uma severa intensidade do agente causador do estresse, levando a planta a um estado crônico ou mesmo a morte. Se o estresse for retirado, a planta entra na quarta e última fase, onde obtém uma restauração parcial ou total de suas funções fisiológicas. Para Sinclair e Ludlow (1986), em casos de estresse por deficiência hídrica, a planta passa por três estádios de desidratação: I – a transpiração se mantém até que o conteúdo em água disponível no solo seja reduzido a 50%, e a demanda transpiratória supere a de absorção; II – a transpiração começa a ser menor que o potencial, iniciando o fechamento estomático; III – os estômatos estão completamente fechados, e toda a perda de água da planta para a atmosfera ocorre via cuticular.



Considerado como um estado ambiental em que a demanda de energia pela planta é maior que a produção, a seca induz o desenvolvimento de problemas fisiológicos, seguidos por aclimação e estratégias de adaptação nas gerações seguintes (LARCHER, 2006). Em ambientes com períodos de restrição hídrica, as plantas apresentam, basicamente, duas estratégias que as possibilitam crescer e desenvolver-se adequadamente: escapar ou tolerar. No “escapar à seca”, o vegetal antecipa seu desenvolvimento e completa seu ciclo vital antes da estiagem; “Tolerar a seca” é a estratégia em que o vegetal busca evitar a desidratação, economizando água por meio do fechamento estomático ou reduzindo o potencial hídrico através do acúmulo de solutos compatíveis (NOGUEIRA; ALBUQUERQUE; SILVA, 2005).

Com o solo seco, há uma redução do potencial hídrico, o que dificulta as plantas conseguir extrair água do solo de forma rápida e eficiente para compensar suas perdas por transpiração. Nessa condição, uma das primeiras consequências é a perda da turgescência, provocada pela diminuição do conteúdo de água, onde há perda de potencial de pressão nas paredes da célula (LARCHER, 2006; MARENCO; LOPES, 2009; FIOREZE et al., 2011; TAIZ; ZEIGER, 2013; SEIXAS et al., 2015). Atividades relacionadas à turgidez, como expansão foliar, alongamento das raízes ou mesmo o crescimento do vegetal são afetadas (TAIZ; ZEIGER, 2013). A redução da área foliar reduz a perda de água por transpiração, conservando o limitado suprimento de água no solo por um tempo maior. Para inúmeras espécies lenhosas, essa redução de área foliar é feita através da abscisão foliar parcial ou completa (LYNCH; BROWN, 2001). Reduzindo a área foliar, o vegetal obtém economia hídrica, mas, por outro lado, limita a produção de fotoassimilados, ocasionando a queda na absorção de CO<sub>2</sub> e da captação de luz (MATTOS; GOMIDE; HUAMAN, 2005; OSAKABE et al., 2014). A expansão do sistema radicular estimulada pela deficiência hídrica possibilita às plantas explorarem, além da umidade, a fertilidade do solo, conferindo adaptação à seca e favorecendo sua sobrevivência (PIMENTEL, 2004; NOGUEIRA; ALBUQUERQUE; SILVA, 2005).

O fechamento estomático, modulado pelo conteúdo de água presente nos tecidos e pela turgidez das células-guarda ou síntese do ácido abscísico (ABA), é tido como uma das primeiras linhas de defesa da planta contra o déficit hídrico. O ABA promove o aumento da concentração citosólica de Ca<sup>2+</sup>, causando o fechamento (LARCHER, 2006). Além destes, fatores como a temperatura e umidade do ar também condicionam a regulação dos estômatos (TAIZ; ZEIGER, 2013; SANTOS; SILVA; JUNIOR, 2014). O fechamento dos estômatos contribui notavelmente para reduzir as perdas de água em

períodos de escassez (VIEIRA et al., 2010; TAIZ; ZEIGER, 2013). Assim, à medida que a disponibilidade de água no solo diminui, a taxa de transpiração decresce como resultado do fechamento estomático (SILVA et al., 2000; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Alterações na condutância estomática alteram o processo das trocas gasosas, principalmente por condicionar o bloqueio à entrada de CO<sub>2</sub> para as folhas, diminuindo a fixação de carbono e reduzindo a atividade fotossintética (PIMENTEL, 2004; LARCHER, 2006; MARENCO; LOPES, 2009; TAIZ; ZEIGER, 2013). Em fases iniciais de déficit hídrico moderado, o fechamento estomático pode ocasionar também um aumento na eficiência do uso da água, sendo mais CO<sub>2</sub> absorvido por unidade de água transpirada (TAIZ; ZEIGER, 2013). Como lembra Silva e colaboradores (2015), o movimento estomático é considerado o principal mecanismo de controle das trocas gasosas nas plantas superiores.

A partir do CO<sub>2</sub> atmosférico e da água, o vegetal sintetiza carboidrato e gera a energia necessária às atividades de todos os organismos do planeta, processo denominado de fotossíntese (PIMENTEL, 2004; LARCHER, 2006; MARENCO; LOPES, 2009; VIEIRA et al., 2010; KERBAUY, 2012; TAIZ; ZEIGER, 2013). A eficiência do processo fotossintético é influenciada por um conjunto sistêmico de variáveis, como potencial hídrico, condutância estomática, déficit de pressão de vapor, fixação de CO<sub>2</sub>, quantidade de pigmentos fotossintetizantes (clorofila, carotenoides, xantofilas), entre outros (VIEIRA et al., 2010; TAIZ; ZEIGER, 2013). Em condições de desidratação celular, há redução das taxas de fotossíntese devido, principalmente, a uma diminuição na síntese de ATP sintase e, conseqüentemente, da ATP (Adenosina Tri-fosfato), que ocasiona uma limitação na eficiência de carboxilação da RuBP (Ribulose bis-fosfato) (TEZARA et al., 1999; LARCHER, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2013).

No déficit hídrico associado a elevados níveis de irradiância, a absorção da luz solar pode ser afetada pela redução na concentração de pigmentos fotossinteticamente ativos ou por uma inibição do aparato fotossintético. Em função do excesso de energia não absorvido e que não tenha sido dissipado em forma de calor ou refletido por fluorescência, processo denominado de fotoinibição, pode ocorrer redução na eficiência quântica do processo fotossintético (LEMONS-FILHO, 2000; TROVÃO et al., 2007; GONÇALVES et al., 2010; PALHARES; FRANCO; ZAIDAN, 2010; TAIZ; ZEIGER, 2013). Através de medidas de fluorescência podem ser verificadas mudanças na cinética da fluorescência da clorofila, eficiência quântica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), além de

outras variáveis que refletem, de uma maneira geral, o comprometimento do aparato fotossintético (GONÇALVES et al., 2010; SILVA et al., 2015).

No intuito de manter valores ótimos de potencial hídrico, turgescência e processos relacionados, mediante situações de reduzida disponibilidade de água, algumas plantas podem sofrer alterações metabólicas. Para isso, ocorre a redução do potencial hídrico e do potencial osmótico, através do acúmulo de substâncias orgânicas como carboidratos solúveis, aminoácidos (principalmente a prolina livre) e proteínas solúveis (NEPOMUCENO et al., 2001; MORANDO et al., 2014; SEIXAS et al., 2015; MOURA et al., 2016). Esse processo é conhecido como ajustamento osmótico e é tido como um importante mecanismo de tolerância à seca (MORANDO et al., 2014). O acúmulo de açúcares solúveis e de proteínas é, respectivamente, devido à hidrólise das reservas de amido e da restrição na síntese de proteínas. A prolina livre, além de ser um soluto orgânico acumulado em estratégia de ajustamento osmótico, funciona na osmoproteção e manutenção da estabilidade das membranas (NEPOMUCENO et al., 2001; LARCHER, 2006; MOURA et al., 2016).

Convém lembrar que, em processo de desidratação, pode ocorrer o acúmulo de solutos nas células devido à redução do volume de água e, não necessariamente, por estratégia de ajustamento osmótico (NEPOMUCENO et al., 2001; TAIZ; ZEIGER, 2013). Neste caso, é necessário cautela ao inferir que a espécie adotou estratégia de ajustamento osmótico e que é tolerante à seca, pois as alterações metabólicas podem ser justificadas pelo reduzido conteúdo hídrico celular.

O déficit hídrico também pode ocasionar desajustes em nível molecular, como a desestabilização de membranas das células e suas organelas, ou mesmo a síntese de substâncias de defesa (LARCHER, 2006). Alterações na estrutura, composição e integridade das membranas são causadas, em parte, pelo aumento da atividade de lipases, proteases e formas ativas de oxigênio no citoplasma, que tem como consequência o aumento da permeabilidade celular e a saída de íons da célula (ROY-MACAULEY et al., 1992). Essa saída de íons pode ser avaliada pela medida de condutividade elétrica e, portanto, verificar o grau de tolerância protoplasmática foliar à seca (VASQUEZ-TELLO et al., 1990; PIMENTEL et al., 2002; MARIANO et al., 2009).

### 2.3. A Caatinga

Caatinga é um termo que surge da combinação dos elementos “ca’a” (floresta), “tí” (branco) e do sufixo “ngá” (que lembra), de origem indígena e que significa “floresta branca”. Essa denominação é resultado do aspecto da floresta durante a estação seca, quando as folhas de quase todas as plantas caem e os troncos das árvores e arbustos ficam esbranquiçados (PRADO, 2003; LEAL et al., 2005; ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2009).

Situada inteiramente entre a linha do Equador e o Trópico de Capricórnio, sob a latitude subequatorial compreendida entre 2° 45’ e 17° 21’ Latitude Sul (ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2009), a Caatinga é, por vezes, denominada de Bioma, Domínio ou mesmo Província das Caatingas (CASTRO; CAVALCANTE, 2011). Reveste a quase totalidade do semiárido brasileiro (PINHEIRO; COSTA; ARAUJO, 2013), no chamado Polígono das Secas, e compreende uma área de 844.453 Km<sup>2</sup> (IBGE, 2004), o que corresponde a aproximadamente 54% da região Nordeste e 10% do território brasileiro (CASTELLETTI et al., 2004; ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2009; GARIGLIO et al., 2010; COE; SOUZA, 2014). É o único bioma inserido exclusivamente no Brasil (RODAL; SAMPAIO, 2002), se estendendo de forma contínua por parte dos territórios dos estados do Maranhão (1%), Piauí (63%), Ceará (quase 100%), Rio Grande do Norte (95%), Pernambuco (83%), Paraíba (92%), Alagoas (48%), Sergipe (49%), Bahia (54%) e Minas Gerais (2%). Limita-se ao norte com o Oceano Atlântico, a leste e a sudeste com a Mata Atlântica e a oeste e sudoeste com o Cerrado (PRADO, 2003; LEAL et al., 2005; ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2009; ANGELOTTI; FERNANDES JUNIOR; SÁ, 2011; MMA, 2011; LOIOLA et al., 2012).

A Caatinga cobre a maior parte da área com clima semiárido da região Nordeste do Brasil (LEAL et al., 2005; FIGUEIREDO et al., 2012). O clima é de caráter semiárido quente, caracterizado por apresentar uma intensa irregularidade climática, com elevadas médias anuais de temperatura (entre 25°C e 29°C) e de evaporação (média de 2.000 mm), além de baixos índices de precipitação pluviométrica (em torno de 250 a 1000 mm anuais) mal distribuídos e concentrados em três a cinco meses, com o número de meses secos aumentando da periferia para o centro (DRUMOND et al., 2000; LEAL et al., 2005; NOGUEIRA, ALBUQUERQUE; SILVA, 2005; ALVES; ARAÚJO;

NASCIMENTO, 2009; CASTRO; CAVALCANTE, 2011; FIGUEIREDO et al., 2012; LOIOLA et al., 2012; SANTOS; SILVA; JUNIOR, 2014).

Caracteriza-se por apresentar terrenos de embasamento cristalino e de bacia sedimentar (ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2009). Em geral, os solos da porção cristalina são rasos e praticamente impermeáveis, com isolados afloramentos rochosos e chão pedregoso. Predominantemente argiloso e rico em minerais, apresenta elevado escoamento superficial, baixa possibilidade de infiltração e reduzida capacidade natural de drenagem. Os da bacia sedimentar apresentam-se profundos e arenosos e com boas reservas de água subterrânea (SILVA et al., 2003; ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2009; CASTRO; CAVALCANTE, 2011; MMA, 2011). Os rios, em sua maioria, são efêmeros ou intermitentes (DRUMOND et al., 2000), devido à sua base geológica cristalina. Nas áreas de embasamento sedimentar, os cursos de água podem ser perenes ou manter seu fluxo por até dois meses após o encerramento do período chuvoso (ANDRADE, 2017). Segundo Sampaio (2010), o sistema de formação de chuvas, a disposição do relevo, a variabilidade do solo juntamente com o escoamento das águas, são as principais causas da sazonalidade característica do bioma.

Sua formação vegetal é resultado da variação da disponibilidade hídrica, de seu relevo, assim como da disponibilidade de nutrientes, sendo, portanto, caracterizada como tropical seca (GARIGLIO et al., 2010). Distingue-se por apresentar três estratos: o herbáceo (abaixo de 2 metros), arbustivo (2 a 5 metros) e o arbóreo (8 a 12 metros) (ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2009). Segundo Sá, Riché e Fotius (2003) é subdividida em quatro grandes zonas, o domínio da vegetação hiperxerófila (34,3%), domínio da vegetação hipoxerófila (43,2%), ilhas úmidas (9%) e agreste mais área de transição (13,4%). A Hiperxerófila, caducifólia e espinhosa, está situada nas regiões mais secas, de elevados valores de temperatura e evaporação, de baixos índices pluviométricos, além de solo raso e pedregoso. Possui vegetação arbustiva e rala, sendo as cactáceas e as bromeliáceas fortemente presentes. Situada numa região da Caatinga com uma intensidade climática mais amena está a Hipoxerófila, composta por vegetação arbustivo-arbórea, com ou sem a presença de cactáceas e com espécies vegetais de matas úmidas (ALVES, 2008).

A vegetação é ainda dotada de mecanismos de sobrevivência relacionadas à deficiência hídrica presente na região, tais como as folhas pequenas e, às vezes, modificadas em espinhos, os acúleos, as cutículas altamente impermeáveis, os caules suculentos e clorofilados, a senescência na estação seca (economia de energia), os

mecanismos especiais de abertura e fechamento dos estômatos, os troncos suberificados, além de um sistema radicular bem desenvolvido (PRADO, 2003; NOGUEIRA, ALBUQUERQUE; SILVA, 2005). Segundo Rodal, Lins-Silva e Pessoa (2005), a heterogeneidade de fatores climáticos, geomorfológicos e edáficos, é tida como o fator de formação da grande variabilidade florística e fisionômica no domínio da Caatinga.

Apesar de sua importância ambiental, a Caatinga é um dos biomas menos conhecidos cientificamente e pouca atenção tem sido dada à sua conservação (SILVA et al., 2004; LOIOLA et al., 2012; SIQUEIRA FILHO, 2012). Inicialmente, acreditava-se que a degradação de outros biomas como a Mata Atlântica e a Floresta Amazônica teriam originado a Caatinga e, por esta razão, este bioma vinha sendo visto como pobre em diversidade e riqueza de espécies vegetais e animais, assim como em endemismo (CASTELETTI et al., 2004; ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2009; CASTRO; CAVALCANTE, 2011). Em contrapartida, há, atualmente, estudos que comprovaram que apesar de bastante frágil, a Caatinga é heterogênea e rica em biodiversidade (ALVES, 2007). Segundo Giuliatti e colaboradores (2004), a Caatinga possui um patrimônio biológico bastante diversificado e uma riqueza imensurável de fauna e flora. Dados do Ministério do Meio Ambiente (2011) relataram que são conhecidas 932 espécies de plantas (318 endêmicas), 148 espécies de mamíferos (10 endêmicas), 348 espécies de aves (15 endêmicas) e entre anfíbios e répteis, cerca de 15% também são endêmicos. Estima-se, ainda, que estes números sejam ainda maiores, pois cerca de 41% da região nunca foi investigada e aproximadamente 80% permanece subamostrada (TABARELLI; VICENTE, 2004).

Por seus fatores climáticos e pela intensa interferência antrópica, a Caatinga apresenta-se como uma região altamente vulnerável (ANGELOTTI; FERNANDES JUNIOR; SÁ, 2011). Segundo dados do Ministério do Meio Ambiente (2017), cerca de 27 milhões de pessoas vivem na região e dependem dos seus recursos para sobreviver. Atividades como o desmatamento indiscriminado para a formação de novas lavouras, o comércio de madeira, as queimadas, a pecuária, a agricultura com uso inadequado do solo e o extrativismo estão modificando a paisagem natural desse ecossistema (LOIOLA et al., 2012; JUNIOR et al., 2014). De acordo com Casteletti e colaboradores (2004), de 30,4% a 51,7% da área da Caatinga foi alterada por atividades antrópicas e encontra-se distribuída em muitos fragmentos de diferentes tamanhos.

A Caatinga é o terceiro bioma brasileiro mais modificado pelo homem, sendo superado apenas pela Mata Atlântica e pelo Cerrado. Porém, considerando-se que

apenas cerca de 7% de sua área é protegida por unidades de conservação e que menos de 1% são unidades de proteção integral, o bioma passa a assumir a posição de menos protegido (CASTELETTI et al., 2004; LEAL et al., 2005; MMA, 2017). De acordo com Alves, Araújo e Nascimento (2009), as atividades econômicas, juntamente com a fragilidade natural do bioma, trazem sérias consequências como, por exemplo, o comprometimento dos recursos hídricos, erosão, salinização e compactação dos solos e a redução da diversidade biológica e da produção primária.

Diante deste cenário e considerando a complexidade da Caatinga, sua importância econômica e ecológica, é importante conhecer todos os aspectos deste bioma. É a partir deste conhecimento que se torna possível o estabelecimento de políticas públicas para a criação e implantação de novas unidades de conservação e de programas de educação ambiental, além do desenvolvimento de técnicas de manejo e uso sustentável da biodiversidade do bioma (ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2009; ALBUQUERQUE et al., 2012; LOIOLA et al., 2012). Segundo Alves, Araújo e Nascimento (2009), a Caatinga vem sendo mais valorizada nas últimas décadas, porém, ainda falta muito a ser feito para que este bioma seja devidamente conservado e protegido.

#### **2.4. *Triplaris gardneriana* Wedd. (POLYGONACEAE)**

A família Polygonaceae inclui cerca de 1.200 espécies (CARNEIRO; CITO; PESSOA, 2010; SANCHEZ et al., 2011; LAJTER et al., 2013; MACEDO et al., 2016) e é a única da ordem das Polygonales (TABOSA et al., 2016). Possui 51 gêneros, distribuídos pelas zonas tropical e temperada (MACEDO et al., 2016), com maior representação no hemisfério Norte (OLIVEIRA; CONSERVA; LEMOS, 2008; MELO; MARCONDES-FERREIRA, 2009; LAJTER et al., 2013). Apenas 9 gêneros da família são encontrados no Brasil (MELO; FRANÇA, 2006; OLIVEIRA; CONSERVA; LEMOS, 2008; CARNEIRO; CITO; PESSOA, 2010; LAJTER et al., 2013). Destes, apenas cinco ocorrem no semiárido: *Coccoloba* P. Browne, *Polygonum* L., *Rumex* L., *Ruprechtia* C. A. Mey. e *Triplaris* L. (MACEDO et al., 2015a, 2016). Ocorre, em sua maioria, em matas da região litorânea e, na Caatinga, são encontradas, principalmente, à beira dos rios ou inundações. São utilizadas, principalmente, para fins medicinais, ornamental e de corte de madeira para fabricação de utensílios domésticos (MELO;

FRANÇA, 2006; SOUZA; LORENZI, 2012). Os representantes da família Polygonaceae se apresentam em forma de ervas ou arbóreas, com folhas simples, alternas e inteiras, caules articulados com nós e entrenós bem definidos, além de estípulas concrecentes, que se fundem e envolvem por completo o caule, formando a estrutura denominada de ócrea (MELO; FRANÇA, 2006, 2009).

A *Triplaris gardneriana* Wedd. (Figura 1) é conhecida popularmente no Nordeste como “pajeú” e “pajáu” e, em outras regiões, como “coaçu”, “formigueiro”, “novateiro-preto” e “pau-formiga” (BRANDBYGE, 1986; FRANÇA et al., 2007; MELO, 2010; SANTOS et al., 2013; MACEDO et al., 2015b, 2016; TABOSA et al., 2016). No Brasil, se distribui pelos estados de Pernambuco, Paraíba, Ceará, Maranhão, Alagoas, Bahia, Piauí, Mato Grosso, Goiás, Distrito Federal, Minas Gerais e Paraná (MELO, 2010). Ocorre naturalmente na Caatinga e nas várzeas inundáveis e encostas úmidas da região do Pantanal Matogrossense, podendo atingir de 4 a 15 m de altura (LORENZI, 2000; MELO, 2000; SANTOS et al., 2013; PONTARA et al., 2016; TABOSA et al., 2016; ALMEIDA et al., 2017) . Segundo Lorenzi (2000), dentro da mesma área de dispersão, pode ocorrer com frequência elevada em alguns locais, faltando completamente em outros. No semiárido, é uma espécie característica de mata ciliar do Rio São Francisco, com interesse na recuperação de áreas degradadas, principalmente de vegetações associadas à cursos d’água, pois possui rápido crescimento (FRANÇA et al., 2007; SANTOS et al., 2013).



Figura 1 – Árvore do Pajeú (*Triplaris gardneriana* Wedd. - Polygonaceae). Fonte: Macêdo, 2015.



A formação vegetal ribeirinha situa-se em torno dos cursos de água e funciona na proteção dos leitos de córregos e rios, impedindo seu assoreamento devido à erosão das margens (SANTOS; VIEIRA, 2005; SILVA et al., 2015). A relação com o ambiente aquático e terrestre a seu redor promove variações na composição florística, observada por dezenas de metros a partir das margens. Na Caatinga, apresentam um padrão fisionômico e florístico diferenciado em relação às demais áreas do bioma (LACERDA et al., 2010). As matas ciliares têm grande importância por funcionarem como corredores para a locomoção da fauna pela paisagem e para a dispersão vegetal e, portanto, são classificadas como áreas de preservação permanente, de acordo com o Código Florestal Brasileiro, Lei nº 4771/65 (MAIA, 2004; SANTOS; VIEIRA, 2005; LACERDA et al., 2010; FERRAZ, 2016). Para Ab'Saber (2001), a denominação de mata ciliar envolve todos os tipos de vegetação arbórea vinculada à beira de curso d'água e o Brasil é o país que exhibe o maior e o mais diferenciado elenco de matas ciliares dos trópicos. Lacerda e colaboradores (2010) destacaram a importância ecológica das matas ciliares, evidenciando a necessidade de sua conservação.

A *Triplaris gardneriana* é uma árvore dióica, com tronco tortuoso e ramificado (Figura 2A), revestido por uma casca fina, lisa e descamante (Figura 2B). Os seus ramos são ocos, geralmente com formigas habitando em seu interior (Figura 2C). As folhas desta planta são simples e coriáceas, apresentando pilosidade em sua face inferior (Figura 2D). Suas inflorescências são paniculadas, sendo a feminina bastante atrativa e ornamental (Lado esquerdo da Figura 2E) e a masculina sem atrativo (Lado direito da Figura 2E). Florescem durante os meses de julho e agosto. Fruto aquênio, coletados no mês de setembro (Figura 2F). Sementes poligonadas produzidas anualmente e facilmente disseminadas pelo vento (Figura 2G). Rebrotam com facilidade após queima ou corte, gerando plantas com vários caules. (ARAUJO, 2009; BRANDBYGE, 1986).

A *T. gardneriana* possui inúmeras utilizações: a medicinal, ornamental (SANTOS et al., 2013; ALMEIDA et al., 2017), fornecimento de madeira (SILVA-BRAMBILHA; MOSCHETA, 2001), biológica, como sítio de formigas, e ecológica, na restauração de áreas degradadas (LORENZI, 2000; SANTOS et al., 2013). Na medicina popular, a casca ou a raiz, ao serem cozidas, são utilizadas no tratamento da blenorragia e leucorréia; suas folhas, nos banhos de assento, servem para o tratamento de hemorróidas sangrentas e, quando embebidas, tratam da inflamação de órgãos internos (ARAUJO, 2009; CARTAXO; SOUZA; ALBUQUERQUE, 2010; MACEDO et al., 2015a).

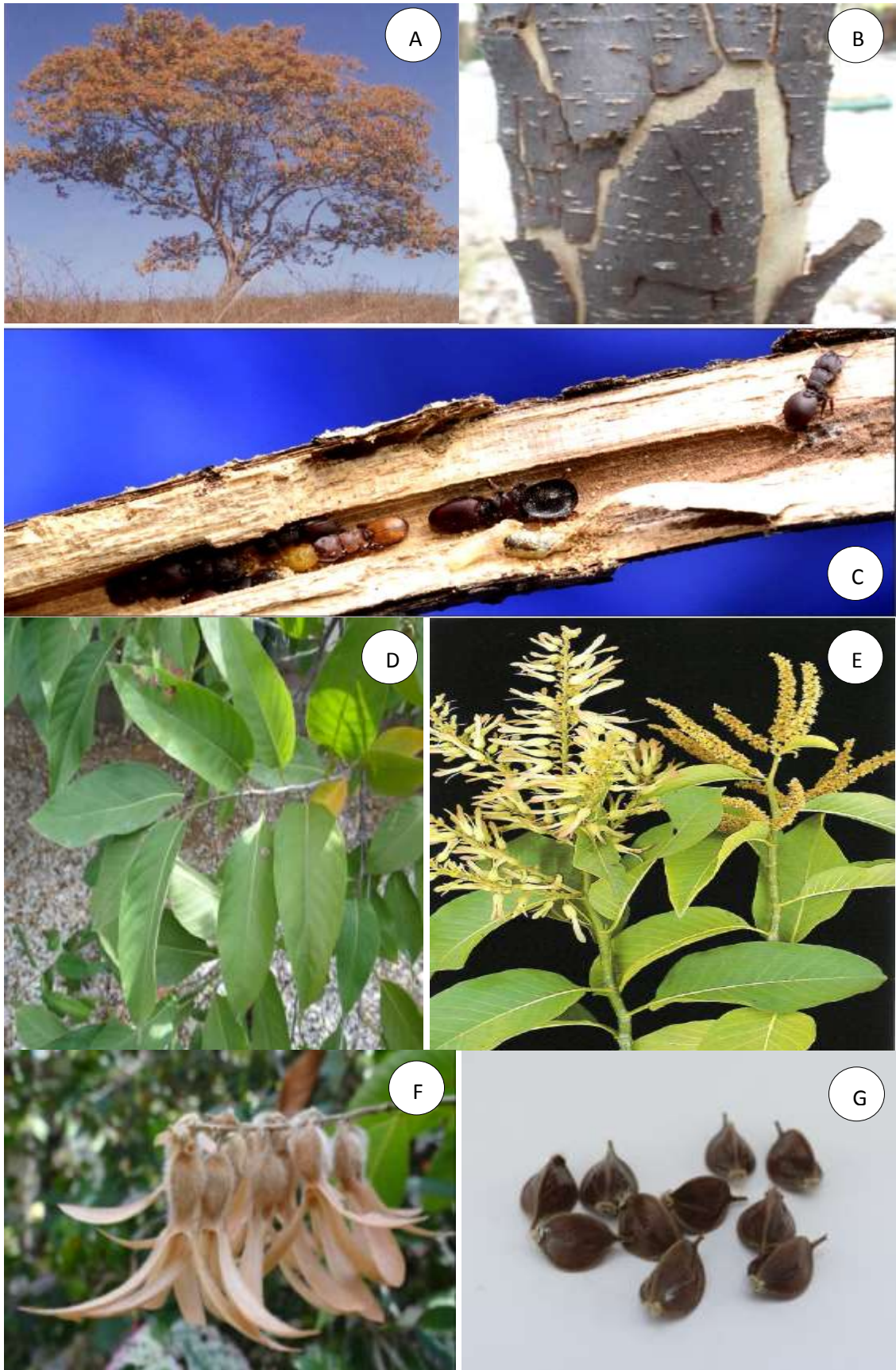


Figura 2 – Árvore de *Triplaris gardneriana* Wedd.(Polygonaceae) (A); aspecto da casca (B); ramos ocos com formigas (C); características das folhas (D); Inflorescência, feminina e masculina, respectivamente (E); Aspecto do fruto (F); Sementes (G). Fonte: A e E – Harri Lorenzi, 2000; C – Souza, 2014b; B, D, F e G - appverde.wordpress.com

Em estudo realizado no município de Monteiro-PB, onde espécies da Caatinga foram investigadas como alternativa para o desenvolvimento de novos fitofármacos, Pereira Junior e colaboradores (2014) verificaram que a comunidade utiliza a casca da *T. gardneriana* na confecção de lambedor e chá frio para o tratamento do câncer, gastrite, úlcera, tosse, dor, azia, gripe e reumatismo. Farias e colaboradores (2013) identificaram, através do extrato das sementes de *T. gardneriana*, atividade antibacteriana, antioxidante e anticolinesterásica. Além destes, foi identificado um grande potencial farmacológico nos estudos de Macêdo e colaboradores (2015), onde foram identificados flavonóides nas folhas, além da composição do óleo fixo das folhas e das sementes. Neto e colaboradores (2017) identificaram uma maior bioacessibilidade gastrointestinal dos compostos fenólicos das sementes de *T. gardneriana*. Processos ecológicos como fonte atrativa para insetos polinizadores (CUSTODIO; COMTOIS; ARAUJO, 2017), sítio de nidificação de formigas (SILVA-BRAMBILHA; MOSCHETA, 2001; ROGLIN et al., 2013; SANTOS et al., 2013) ou restauração de áreas degradadas também foram identificados para a espécie.

Estudos realizados sobre espécies de mata ciliar da Caatinga ainda são escassos no Brasil, havendo, portanto, uma lacuna no conhecimento da heterogeneidade daquela vegetação. Diante do exposto e do atual panorama de degradação deste ambiente, torna-se necessário entender os diversos aspectos de sua vegetação para promover o reequilíbrio da natureza associada.

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB' SABER, A. N. O suporte geo-ecológico das florestas beiradeiras (ciliares). In: Rodrigues, R. R.; Leitão Filho, H. F. **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2ª ed. São Paulo: Editora USP: Fapesp, 2001, p.15-26.

ALBUQUERQUE, U. P. et al. Caatinga revisited: Ecology and Conservation of an Important Seasonal Dry Forest. **The Scientific World Journal**, New York, v. 2012, n.3, p. 1–18, 2012.

ALMEIDA, T. S. de et al. Phenolic compounds of *Triplaris gardneriana* can protect cells against oxidative stress and restore oxidative balance. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 93, p. 1261–1268, 2017.

ALVES, J. J. A. Geocologia da caatinga no semiárido do Nordeste brasileiro. **CLIMEP: Climatologia e Estudos da Paisagem**, Rio Claro, v.2, n.1, p. 58 -71, 2007.

ALVES, J. J. A. **Biogeografia**. João Pessoa: Ed. Fotograf, 2008,108 p.

ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A.; NASCIMENTO, S. S. Degradação da Caatinga: uma investigação ecogeográfica. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 3, p. 126-135, 2009.

ANDRADE, E. M de. A floresta tropical seca, caatinga: As certezas e incertezas das águas. **TRIM**, Ceará, v.12, p. 11-20, 2017.

ANGELOTTI, F.; FERNANDES JUNIOR, P. I.; SÁ, I. B. Mudanças climáticas no semiárido brasileiro: medidas de mitigação e adaptação. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 6, p. 1097–1111, 2011.

ARAÚJO, E. L. et al. Ecofisiologia de plantas da caatinga e implicações na dinâmica das populações e do ecossistema. In: Moura, A. N.; Araújo, E. L.; Albuquerque, U. P. (Eds.). **Biodiversidade, potencial econômico e processos ecofisiológicos em ecossistemas nordestinos**. Recife, Editora Comunigraf, 2008, p. 329-361.

ARAÚJO, M. M. **Estudo etnobotânico das plantas utilizadas como medicinais no assentamento Santo Antônio, Cajazeiras, PB Brasil**. 2009. 130 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2009.

BRANDBYGE, J. A revision of the genus *Triplaris* (Polygonaceae). **Nordic journal of Botany**, v. 6, n. 5, p. 545–570, 1986.

CARNEIRO, J. G. M.; CITO, A. M. G. L.; PESSOA, E. F. Volatile constituents of pajeuzero fruit (*Triplaris* sp.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 3, p. 907–909, 2010.

CARTAXO, S. L.; SOUZA, M. M. A.; ALBUQUERQUE, U. P. Medicinal plants with bioprospecting potential used in semi-arid northeastern Brazil. **Journal of ethnopharmacology**, v. 131, n. 2, p. 326-342, 2010.

CASTELLETTI, C. H. M. et al. Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar. In: Silva J. M. C. et al. (Org.). **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Universidade Federal de Pernambuco, 2004, p. 91-100.

CASTRO, A. S.; CAVALCANTE, A. **Flores da caatinga**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2011. 116p.

COE, H. H. G.; SOUZA, L. O. F. The Brazilian “Caatinga”: ecology and vegetal biodiversity of a Semiarid region. In: Greer, F. E. (Ed.). **Dry forests: ecology, species diversity and sustainable management**. New York: Nova Science Publishers, 2014. p. 81-113.

CUSTODIO, T.; COMTOIS, P.; ARAUJO, A. C. Reproductive biology and pollination ecology of *Triplaris gardneriana* (Polygonaceae): a case of ambophily in the Brazilian Chaco. **Plant Biology**, v. 19, n. 4, p. 504–514, 2017.

DRUMOND, M. A. Estratégias para o uso sustentável da biodiversidade do bioma Caatinga In: EMBRAPA SEMI-ÁRIDO. **Relatório sobre avaliação e identificação de ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios do bioma Caatinga**. Petrolina, 2000.

FARIAS, D. F. et al. Antibacterial, antioxidant and anticholinesterase activities of plant seed extracts from Brazilian semiarid region. **BioMed Research International**, p.1-9, 2013.

FERNANDES, E. T.; CAIRO, P. A. R.; NOVAES, A. B. Respostas fisiológicas de clones de eucalipto cultivados em casa de vegetação sob deficiência hídrica. **Ciência Rural**, v. 45, n. 1, p. 29–34, 2015.

FERRAZ, J. S. F. Conhecimento sobre espécies lenhosas úteis da mata ciliar do Riacho do Navio, Floresta, Pernambuco. **Zonas Áridas**, v. 9, n. 1, p. 25–34, 2016.

FIGUEIREDO, J. M. et al. Revegetation of degraded Caatinga sites. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 24, n. 3, p. 332–343, 2012.

FIOREZE, S. L. et al. Comportamento de genótipos de soja submetidos a déficit hídrico intenso em casa de vegetação. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n.3, p. 342-349, 2011.

FRANÇA, P. R. C. et al. Germinação e Vigor de Sementes de Coaçu em Diferentes Substratos. In: **47º Congresso Brasileiro de Olericultura IV Simpósio Brasileiro de Curcubitáceas**, Porto Seguro, Horticultura Brasileira, 2007.

GARIGLIO, M. A. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Serviço Florestal Brasileiro, 2010.

GIULIETTI, A.M. et al. Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. In: Silva J.M.C. et al. (Org.). **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004, p. 48-90.

GONÇALVES, J. F. C. et al. Análise dos transientes da fluorescência da clorofila a de plantas jovens de *Carapa guianensis* e de *Dipteryx odorata* submetidas a dois ambientes de luz. **Acta Amazônica**, v.40, n. 1, p.89-98, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Mapa de biomas do Brasil**: primeira aproximação. Rio de Janeiro: IBGE, 2004.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012.

LACERDA, A. V. et al. Flora arbustiva-arbórea de três áreas ribeirinhas no semiárido paraibano, Brasil. **Biota Neotropica**, v. 10, n. 4, p. 275–284, 2010.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos, SP: Rima Artes e Textos, 2006, 531 p.

LAJTER, I. et al. Antiproliferative Activity of Polygonaceae Species from the Carpathian Basin against Human Cancer Cell Lines. **Phytotherapy Research**, v. 27, n. 1, p. 77–85, 2013.

LEAL, I.R. et al. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. In: Conservação Internacional do Brasil (ed.). **Megadiversidade**, v.1, p. 139-146, 2005.

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

LICHTENTHALER, H.K. The stress concept in plants: an introduction. **Annals New York Academy of Science**, v. 851, p. 187-198, 1998.

LOIOLA, M. I. B. et al. Caatinga: Vegetação do semiárido brasileiro. **Revista online da Sociedade Portuguesa de Ecologia**, n. 4, p. 14–19, 2012.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. 3 ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2000, 351p.

LYNCH, J.P.; BROWN, K.M. Topsoil foraging: an architectural adaptation to low phosphorus availability. **Plant and Soil**, v.237, p.225-237, 2001.

MACÊDO, S. K. S. **Estudo químico e avaliação da atividade biológica in vitro de *Triplaris gardneriana* Wedd (POLYGONACEAE)**. 2015, 213 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de PósGraduação em Recursos Naturais do Semiárido, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, 2015a.

MACÊDO, S. K. S. et al. Identification of flavonol glycosides and in vitro photoprotective and antioxidant activities of *Triplaris gardneriana* Wedd. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 9, n. 7, p. 207–215, 2015b.

MACÊDO, S. K. S. et al. GC-MS analysis of esterified fatty acids obtained from leaves and seeds of *Triplaris gardneriana* Wedd. **African Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v. 10, n. 30, p. 623–630, 2016.

MAIA, G.N. **Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades**. São Paulo, D & Z Computação Gráfica e Editora, 2004, 415 p.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2009. 486 p.

- MARIANO, K. R. S. et al. Fotossíntese e tolerância protoplasmática foliar em *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. **Floresta**, v. 39, n. 4, p. 853–859, 2009.
- MATOS, F. S. et al. Estratégia morfofisiológica de tolerância ao déficit hídrico de mudas de pinhão manso. **Magistra**, v. 26, n. 1, p. 19–27, 2014.
- MATTOS, J. L. S.; GOMIDE, J. A.; HUAMAN, C. A. M. Crescimento de espécies do gênero *Brachiaria*, sob déficit hídrico, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.3, p.746-754, 2005.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Monitoramento do Desmatamento nos Biomas Brasileiros por Satélite**. Bioma Caatinga 2008-2009. Brasília - DF: MMA, 2011.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Caatinga**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/caatinga>. Acesso em 09.09.2017
- MELO, E.; MARCONDES-FERREIRA, W. Polygonaceae. In: Wanderley, M. G. L. et al. (eds). **Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo**. Instituto de Botânica, FAPESP, São Paulo, v.6, p. 169-193, 2009
- MELO, E.; FRANÇA F. A família Polygonaceae no semiárido brasileiro. In: Giuliatti, A. M.; Conceição, A.; Queiroz, L. P. (eds.): **Diversidade e caracterização das fanerógamas do semiárido brasileiro**: Recife, Associação Plantas do Nordeste, 2006, p. 437-488.
- MELO, E.; FRANÇA, F. Neotropical Polygonaceae, 2009 In: Milliken, W.; Klitgård, B.; Baracat, A. Neotropikey - **Interactive key and information resources for flowering plants of the Neotropics**. Disponível em: <http://www.kew.org/science/tropamerica/neotropikey/families/Polygonaceae>. Acesso em 09 setembro 2017.
- MELO, E. Polygonaceae da Cadeia do Espinhaço, Brasil. **Acta botânica brasílica**. v.14, n.3, p. 273-300, 2000.
- MELO, E. Polygonaceae, 2010. In: **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2010/FB013735>. Acesso em 09.09.2017.



- MORANDO, R. et al. Déficit hídrico: Efeito sobre a cultura da soja. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 3, n. especial, p. 114–129, 2014.
- MOURA, A. R. de et al. Relações hídricas e solutos orgânicos em plantas jovens de *Jatropha curcas* L. sob diferentes regimes hídricos. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 345–354, 2016.
- NEPOMUCENO, A. L. et al. Tolerância à seca em Plantas. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, v. 4, n. 23, p. 12–18, 2001.
- NETO, J. J. L. et al. Impact of bioaccessibility and bioavailability of phenolic compounds in biological systems upon the antioxidant activity of the ethanolic extract of *Triplaris gardneriana* seeds. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 88, p. 999–1007, 2017.
- NOGUEIRA, R.J.M.C.;ALBUQUERQUE, M. B.; SILVA, E. C. **Aspectos ecofisiológicos da tolerância à seca em plantas da Caatinga**. Estresses ambientais: danos e benefícios. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2005, 500p.
- OLIVEIRA, P. E. S.; CONSERVA, L. M.; LEMOS, R. P. L. Chemical constituents from *Triplaris americana* L. (Polygonaceae). **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 36, n. 2, p. 134–137, 2008.
- OSAKABE, Y. et al. Response of plants to water stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, n. 86, p. 1-8, 2014.
- PALHARES, D.; FRANCO, A. C.; ZAIDAN, L. B. P. Respostas fotossintéticas de plantas do cerrado nas estações seca e chuvosa. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 8, n. 2, p. 231–220, 2010.
- PEREIRA JUNIOR, L. R. et al. Espécies da Caatinga como alternativa para o desenvolvimento de novos fitofármacos. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 4, p. 509–520, 2014.
- PIMENTA, J.A. Relações Hídricas. In: Kerbauy, G.B. **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 1-32, 2008.
- PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica, Rio de Janeiro: Edur, 2004, 191 p.

PIMENTEL, C. et al. Tolerância protoplasmática foliar à seca, em dois genótipos de caupi cultivados em campo. **Revista Universidade Rural**, Ciências da Vida. v. 22, n. 1, p. 7–14, 2002.

PINHEIRO, E. A. R.; COSTA, C. A. G.; ARAÚJO, J. C. Effective root depth of the Caatinga biome. **Journal of Arid Environments**, vol. 89, p. 1-4, 2013.

PINTO, C. M. et al. Relações hídricas, trocas gasosas em amendoim, gergelim e mamona submetidos a ciclos de deficiência hídrica. **Agropecuária Técnica**, v. 35, n.1, p. 31-40, 2014.

PONTARA, V. et al. Flooding avoidance *Triplaris gardneriana* Wedd. (Polygonaceae): growth and morpho-anatomical aspects. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 38, n. 3, p. 341-346, 2016.

PRADO, D. As caatingas da América do Sul. In: Leal I.R., Tabarelli M.; Silva J.M.C. (eds.). **Ecologia e conservação da Caatinga**. Recife, Universidade Federal de Pernambuco, Editora Universitária, 2003, p. 3-73.

RODAL, M.J.N.; SAMPAIO, E.V.S.B. A vegetação do bioma Caatinga. In: Sampaio, E.V.S.B. et al. (eds.). **Vegetação e Flora da Caatinga**. Recife, Associação Plantas do Nordeste / Centro Nordestino de Informações sobre Plantas, 2002, p. 11-24.

RODAL, M. J. N.; LINS-SILVA, A. C. B.; PESSOA, L. M. Vegetação e flora fanerogâmica da área de Betânia, Pernambuco. In: Araújo, F. S.; Rodal, M. J. N.; Barbosa, M. R. V. **Análise das variações da biodiversidade do bioma Caatinga: suporte a estratégias regionais de conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005, p.141-168.

ROGLIN, A. et al. Avaliação dos danos causados por formigas cortadeiras em espécies nativas do cerrado de áreas degradadas em processo de recuperação. **Enciclopédia Biosfera**. v.9, n.16, p. 434-442, 2013.

ROY-MACAULEY, H. et al. Effect of drought stress on proteolytic activities in Phaseolus and Vigna leaves from sensitive and resistant plants. **Physiol. Plantarum**, v.85, p.90-96, 1992.

SÁ, I.B.; RICHE, G.R.; FOTIUS, G.A. Parte I: Fatores abióticos - As paisagens e o processo de degradação do semi-árido nordestino. In: Silva, J. M. C. et al. (eds.). **Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Ministério do Meio Ambiente: Universidade Federal de Pernambuco, 2003, p.15-37.

SAMPAIO, E.V.S.B. Caracterização do bioma caatinga. In: Gariglio, M.A. et al. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010, p.28-48.

SANCHEZ, A. et al. Taxonomy of Polygonoideae (Polygonaceae): a new tribal classification. **Taxon**, v. 60, n. 1, p. 151–160, 2011.

SANTOS, L. M. J.; SILVA, E. C.; JUNIOR, C. D. S. Análise preliminar das trocas gasosas, fluorescência de clorofila e potencial hídrico caulinar do juazeiro em uma região semi-árida de Sergipe, Brasil. **Scientia Plena**, v. 10, n. 2, 2014.

SANTOS, R. A. et al. Características dendrológicas e insetos associados ao pau-jaú (*Triplaris gardineriana*). In **IV CONEFLO-III SEEFLO**. Vitória da Conquista, 2013.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 287–294, 1998.

SANTOS, R. M.; VIEIRA, F. A. Estrutura e florística de um trecho de mata ciliar do rio Carinhonha no extremo Norte de Minas Gerais, Brasil. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 5, p. 1-13. 2005.

SEIXAS, A. et al. Déficit hídrico em plantas forrageiras–revisão de literatura. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, v. 24, p. 1–14, 2015.

SILVA-BRAMBILHA, M. G.; MOSCHETA, I. S. Anatomia foliar de Polygonaceae (Angiospermae) da planície de inundação do alto rio Paraná. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 23, n. 2, p. 571–585, 2001.

SILVA, D. F.; ALCÂNTARA, C. R. Déficit Hídrico na Região Nordeste: Variabilidade Espaço-Temporal. **UNOPAR Científica Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 8, n. 1, p. 45–51, 2009.

SILVA, F. G. et al. Levantamento florístico de um trecho de mata ciliar na mesorregião do Sertão Paraibano. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 13, n. 4, p. 250–258, 2015.

SILVA, R. A. et al. Riqueza e diversidade de plantas lenhosas em cinco unidades de paisagens da Caatinga. In: Leal I.R., Tabarelli M., Silva J.M.C. (eds) **Ecologia e**

**Conservação da Caatinga.** Recife, Editora Universitária, Universidade Federal de Pernambuco, 2003.

SILVA, J.M.C. et al. (orgs.). **Biodiversidade da Caatinga:** áreas e ações prioritárias para a conservação. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 2004.

SILVA, W. et al. Taxa transpiratória de mudas de eucalipto em resposta a níveis de água no solo e à convivência com braquiária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 35, n. 5, p. 923-928, 2000.

SINCLAIR, T.R.; LUDLOW, M.M. Influence of soil water supply on the plant water balance of four tropical grain legumes. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.13,n. 3, p. 329-341, 1986.

SIQUEIRA FILHO, J.A. (org). **Flora das Caatingas do Rio São Francisco:** História Natural e Conservação. Rio de Janeiro, Andrea Jakobsson Estúdio Editorial Ltda, 2012, 552 p.

SOUZA, P. R. **Padrões de distribuição e diversidade de espécies da mirmecofauna (Hymenoptera, Formicidae) de uma Savana estépica (Chaco) no município de Porto Murtinho, Mato Grosso do Sul, Brasil.** 136 f.Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2014.

SOUZA, V.C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática:** guia ilustrado para identificação das plantas nativas e exóticas do Brasil, baseado em APG III. 3ª ed. Instituto Plantarum, Nova Odessa, 2012, 768p.

TABARELLI, M.; VICENTE A. Conhecimento sobre plantas lenhosas da Caatinga: lacunas geográficas e ecológicas. In: Silva, J.M.C. et al. (orgs.). **Biodiversidade da Caatinga:** áreas e ações prioritárias para a conservação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004, p. 101-111.

TABOSA, F. R. S. et al. Flora do Ceará, Brasil: Polygonaceae. **Rodriguésia**, v. 67, n. 4, p. 981–996, 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

TEZARA, W. et al. Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP. **Nature**, v.401, p. 914-917, 1999.

TROVÃO, D. M. B. M. et al. Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.3, p.307-311, 2007.

VASQUEZ-TELLO, A. et al. Electrolyte and Pi leakages and soluble sugar content as physiological tests for screening resistance to water stress in Phaseolus and Vigna species. **Journal of Experimental Botany**, v. 41, p. 827-32, 1990.

VIEIRA, E. L. et al. **Manual de Fisiologia Vegetal**. São Luis: EDUFMA, 2010.

## **CAPÍTULO II**



**CURSO DIÁRIO DAS TROCAS GASOSAS DO PAJEÚ (*TRIPLARIS GARDNERIANA*  
WEDD.)**

## <sup>1</sup>Curso diário das trocas gasosas do Pajezeiro

**Resumo:** Este trabalho teve o objetivo de realizar uma análise das trocas gasosas em plantas de pajeú (*Triplaris gardneriana* Wedd.) ao longo do dia, com o intuito de estabelecer o horário mais adequado para a realização das análises fisiológicas. As avaliações foram realizadas no horário entre 8 h e 16 h, com intervalos de 2 h, em 10 indivíduos escolhidos aleatoriamente. Foram avaliadas a fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), transpiração (E), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci), além de parâmetros climáticos de temperatura, umidade relativa do ar e radiação fotossinteticamente ativa (RFA). Os dados mostraram que a fotossíntese (A) foi maior no período das 8 h às 14 h. A transpiração (E) apresentou-se mais intensa no horário entre 10 h e 12 h, juntamente com a condutância estomática (gs). Neste horário, foram verificados os maiores valores de RFA e DPV, com 2000  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  e 3,12 KPa, respectivamente. A concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci) não apresentou diferenças significativas nos horários avaliados. Desta forma, conclui-se que o pajeú exibe sua maior atividade no horário compreendido entre as 10 h e 12 h e que possui o fechamento estomático como uma das estratégias para evitar a perda excessiva de água.

**Palavras-chave:** condutância estomática, ecofisiologia vegetal, fotossíntese, transpiração, *Triplaris gardneriana* Wedd.

## Daily course of gas exchange of Pajeu tree

**Abstract:** This work had the objective of performing an analysis of the gas exchange in pajeú plants (*Triplaris gardneriana* Wedd.) over one day, in order to establish the most adequate time for the physiological analysis. The evaluations were performed between 8 a.m. and 16 p.m., at intervals of 2 hours, in 10 individuals randomly selected. Were evaluated liquid photosynthesis (A), stomatal conductance (gs), transpiration (E), internal CO<sub>2</sub> concentration (Ci), and climatic parameters of temperature and relative humidity, photosynthetically active radiation (RFA). The data showed that photosynthesis (A) was

---

<sup>1</sup> A ser submetido ao periódico *Physiologia Plantarum*

<sup>2</sup> A ser submetido ao periódico *Journal of Experimental Botany*

higher in the period from 8 a.m. to 14 p.m. The transpiration (E) was more intense in the period between 10 a.m. and 12 p.m., together with the stomatal conductance (gs). At this time, the highest values of RFA and DPV were verified, with  $2000 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  and 3.12 KPa, respectively. The internal CO<sub>2</sub> concentration (Ci) didn't present significant differences in the evaluated schedules. In this way, it can be concluded that pajeu tree exhibits its greatest activity in time between 10 a.m. and 12 p.m. and that it has stomatal closure as one of the strategies to avoid the excessive water loss.

**Key-words:** stomatal conductance, plant ecophysiology, photosynthesis, transpiration, *Triplaris gardneriana* Wedd.

## INTRODUÇÃO

Ao longo de um dia, as condições ambientais variam e, com isso, as trocas gasosas foliares também oscilam em resposta às tais variações (Mohotti; Lawlor, 2002). Mudanças diárias de inúmeros processos fisiológicos como, por exemplo, a fotossíntese e a condutância estomática também ocorrem mesmo quando o ambiente apresenta-se em condições uniformes (Mencuccini et al., 2000; Dodd et al., 2005). Diante disto, o ideal é realizar um acompanhamento ao longo de um dia, com o intuito de verificar o horário correto em que a condição fisiológica pretendida é alcançada.

Mesmo sob condição hídrica satisfatória, há alguns horários durante o dia em que a alta demanda evaporativa, causada por elevadas temperaturas e reduzidos valores de umidade relativa do ar, ocasiona situações de deficiência hídrica, em que as perdas de água superam as taxas de absorção (Larcher, 2006). É por isto, então, que se torna importante a realização de experimentos que possam determinar o horário adequado para efetuar determinadas análises, uma vez que se feitas em horários incorretos, podem demonstrar respostas diferentes da condição real da planta.

Quando a absorção de água na planta não é suficiente para atender suas demandas metabólicas, o vegetal se encontra em situação de estresse (Larcher, 2006; Taiz & Zeiger, 2013; Seixas et al., 2015). O estresse por déficit hídrico desencadeia inúmeras respostas morfofisiológicas no vegetal, moduladas pela duração, intensidade, genótipo, natureza do estresse e pelo estágio de desenvolvimento da planta (Larcher, 2006; Taiz &



Zeiger, 2013). A perda da turgescência e os processos relacionados, como expansão foliar e radicular, crescimento vegetal e fechamento estomático são as primeiras consequências do déficit hídrico (Larcher, 2006; Taiz & Zeiger, 2013). O fechamento estomático, modulado, principalmente, pela turgidez das células-guarda, contribui, notavelmente, para reduzir a perda de água em períodos de escassez. Em contrapartida, ocorrem alterações no mecanismo das trocas gasosas com o bloqueio à entrada de CO<sub>2</sub> para as folhas, diminuindo a fixação de carbono e reduzindo a atividade fotossintética (Larcher, 2006; Taiz & Zeiger, 2013).

Ocorrendo naturalmente na Caatinga, especialmente associada às margens do Rio São Francisco (Santos et al., 2013b), ambiente em que a problemática do déficit hídrico é marcante (Loiola et al., 2012; Santos et al., 2014), a *Triplaris gardneriana* Wedd. é uma espécie pertencente à família Polygonaceae e conhecida popularmente como pajeú, pajáu, coaçu, formigueiro, novateiro-preto e pau-formiga (Santos et al., 2013b; Macedo et al., 2015; Tabosa et al., 2016). Tem importância destacada no uso medicinal (Cartaxo et al., 2010; Farias et al., 2013; Macedo et al., 2015), ornamental (Santos et al., 2013b; Almeida et al., 2017), fornecimento de madeira (Silva-Brambilha & Moscheta, 2001), e na recuperação de áreas degradadas, principalmente de vegetações associadas à cursos d'água, pois possui rápido crescimento (Santos et al., 2013b).

Diante da escassez de trabalhos sobre a fisiologia da espécie *T. gardneriana* e da importância em determinar corretamente o horário para a realização de experimentos, o presente trabalho teve como objetivo investigar o horário mais adequado para a realização das medições das trocas gasosas, em casa de vegetação, através dos dados de fotossíntese líquida (A), transpiração foliar (E), condutância estomática (gs), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci) e déficit de pressão de vapor (DPV) em plantas de Pajeú mantidas na capacidade de campo.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Material vegetal e condições de crescimento

O trabalho foi conduzido em casa de vegetação localizada no Departamento de Biologia da Universidade Federal de Sergipe (UFS), no município de São Cristóvão – SE (10° 92' de latitude S e 37° 10' de longitude W). As mudas de Pajeú (*Triplaris gardneriana* Wedd. - Polygonaceae) foram obtidas a partir da germinação de sementes disponibilizadas pelo NEMA (Núcleo de Ecologia e Monitoramento Ambiental) da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), coletadas no município do Barro, no interior do Ceará, no dia 29 de Setembro de 2015. A semeadura foi realizada no dia 19 de Agosto de 2016, em bandejas de plástico com 36 células e preenchidas com substrato de terra vegetal. Após 28 dias, as plântulas foram transplantadas vasos plásticos com capacidade aproximada de 18 Kg, ambos preenchidos com substrato de terra vegetal. A análise físico-química do solo foi realizada pelo ITPS (Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe), utilizando o método de ensaio constante no Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes – EMPBRAPA – 1999 (Tabela 1).

Tabela 1. Resultado da análise físico-química do solo.

| Ensaio                              | Resultado | Unidade               | LQ <sup>2</sup> |
|-------------------------------------|-----------|-----------------------|-----------------|
| pH em água                          | 6,56      | -                     | -               |
| Cálcio + Magnésio                   | 5,27      | cmolc/dm <sup>3</sup> | 0,38            |
| Cálcio                              | 4,10      | cmolc/dm <sup>3</sup> | 0,22            |
| Alumínio                            | <0,08     | cmolc/dm <sup>3</sup> | 0,08            |
| Sódio                               | 112       | mg/dm <sup>3</sup>    | 2,20            |
| Potássio                            | 100       | mg/dm <sup>3</sup>    | 1,40            |
| Fósforo                             | 21,9      | mg/dm <sup>3</sup>    | 1,39            |
| Matéria Orgânica                    | 11,3      | g/dm <sup>3</sup>     | -               |
| Magnésio                            | 1,17      | cmolc/dm <sup>3</sup> | -               |
| Hidrogênio + Alumínio               | 0,672     | cmolc/dm <sup>3</sup> | -               |
| pH em SMP                           | 7,3       | -                     | -               |
| SB – Soma de Bases Trocáveis        | 6,02      | cmolc/dm <sup>3</sup> | -               |
| CTC – Capacidade de Troca Catiônica | 6,69      | cmolc/dm <sup>3</sup> | -               |
| PST – Porcentagem de Sódio Trocável | 7,28      | %                     | -               |
| V- Índice de Saturação de Bases     | 90,00     | %                     | -               |
| Ferro (Fe)                          | 168,79    | mg/dm <sup>3</sup>    | 0,063           |

|                        |         |                    |       |
|------------------------|---------|--------------------|-------|
| Cobre (Cu)             | 1,76    | mg/dm <sup>3</sup> | 0,01  |
| Manganês (Mn)          | 23,79   | mg/dm <sup>3</sup> | 0,040 |
| Zinco (Zn)             | 14,67   | mg/dm <sup>3</sup> | 0,008 |
| Granulometria - Areia  | 60,56   | %                  | -     |
| Granulometria – Argila | 13,38   | %                  | -     |
| Granulometria – Silte  | 26,06   | %                  | -     |
| Classificação Textural | FRANCO  | -                  | -     |
|                        | ARENOSO |                    |       |

<sup>1</sup>Análise realizada em amostra de terra fina seca em estufa (t.f.s.e.) a 40°C.

<sup>2</sup> Limite de Quantificação do Método.

As avaliações foram realizadas quando as plantas tinham sete meses de idade. A capacidade de campo, definida como a máxima retenção de água no substrato após a drenagem do seu excesso, foi determinada utilizando-se o método gravimétrico (Sousa et al., 2000). A umidade do solo foi mantida com irrigação diária, com valores próximos à capacidade de campo e medida diariamente utilizando um tensiômetro (AT Delta-T Device, HH2 Moisture Meter, Cambridge – England). Para o monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar durante a condução do experimento foi instalado um termohigrômetro (Datalogger AKSO – AK172) no interior da casa de vegetação, onde foram feitas leituras diárias em intervalos de 30 minutos.

### Coleta e análise dos dados

Foram selecionados, de modo aleatório, 10 indivíduos em condições hídricas próximas a capacidade de campo. Todas as determinações foram realizadas em folhas maduras, de aparência fitossanitária apropriada, idade similar e mesma disposição no caule.

As avaliações de trocas gasosas foram realizadas *in vivo* no horário entre 08 e 16 h, em intervalos de 2 h e em folhas localizadas no terço médio de cada unidade experimental, maduras e completamente expandidas, utilizando um analisador portátil de gás a infravermelho IRGA modelo LI6400XT (LI-COR, USA), sob luz saturante com densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos de 1.500  $\mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$  e sob condições de concentração de CO<sub>2</sub> de 400 ppm e temperatura ambiente. Foram analisadas as seguintes variáveis: fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), transpiração (E), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci), déficit de pressão de vapor de água (DPV) e radiação fotossinteticamente ativa (RFA). De posse dos dados de fotossíntese

(A) e transpiração (E), foi possível calcular a eficiência no uso da água (EUA) através da relação A/E (Graciano et al., 2016).

Os valores dos resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os testes estatísticos foram feitos utilizando o programa Sisvar versão 5.6.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante as análises, foram registrados os dados climáticos na casa de vegetação nos horários de avaliação, com valores médios de temperatura do ar variando de 31,7 a 38,8 °C e de umidade relativa do ar de 48,3 a 68,5% (Figura 1).

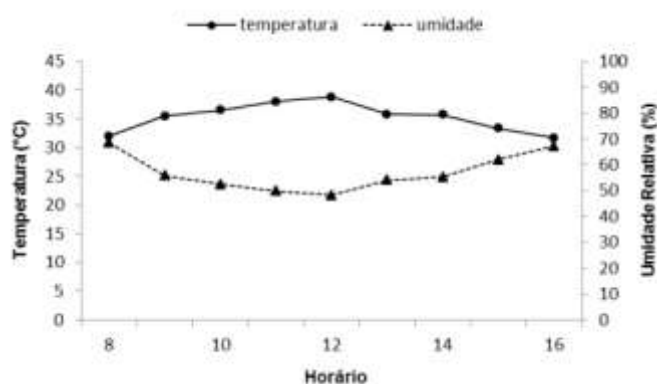


Figura 1. Temperatura (°C) e Umidade Relativa do ar (%) registrados em casa de vegetação nos horários de avaliação.

A radiação fotossinteticamente ativa (RFA), responsável pela excitação das moléculas de clorofila e pelo fornecimento de energia para o processo fotossintético (Sobrinho et al., 2011), apresentou valores acima de  $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (registradas no interior da casa de vegetação, coberta com plástico transparente) nos horários entre 10 h e 14 h, com maior média registrada ao meio dia ( $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) (Figura 2). O déficit de pressão de vapor (DPV), influenciado pela umidade relativa do ar e temperatura (Taiz & Zeiger, 2013), variou pouco entre os horários das 10 h e 14 h com valores de aproximadamente 3 KPa, diferindo significativamente dos horários de 8 h e 16 h, com 1,96 KPa e 2,14 KPa, respectivamente (Figura 2). Elevados valores de DPV podem causar efeitos negativos sobre a fotossíntese, pois podem condicionar o fechamento estomático (Costa & Marengo, 2007).

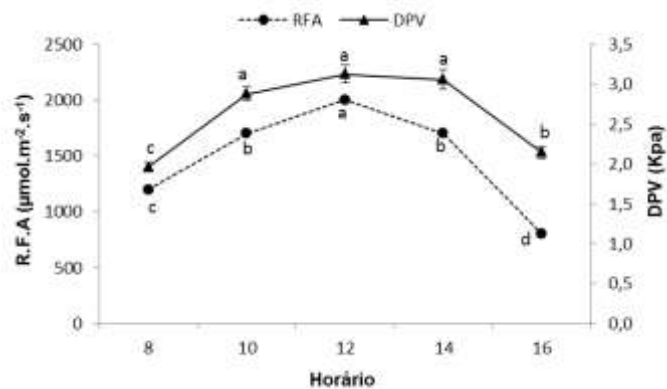


Figura 2. Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e déficit de pressão de vapor (DPV) registrados em casa de vegetação nos horários de avaliação. Letras minúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade (n=10).

A fotossíntese líquida (A) apresentou valores médios mais elevados às 10 h e às 14 h com um pequeno decréscimo ao meio-dia (Figura 3A). Essa redução na assimilação de carbono pode estar associada ao aumento do déficit de pressão de vapor (DPV) evidenciado neste horário. A elevação da temperatura e a diminuição da umidade relativa do ar evidenciam que a redução da fotossíntese pode ter ocorrido em virtude de uma redução da condutância estomática (Figura 3B).

Ao analisar as trocas gasosas de plantas jovens de ipê-roxo submetidas ao déficit hídrico e posterior reidratação, Pessoa e colaboradores (2017) verificaram que nas plantas irrigadas, situação similar às desse estudo, as taxas de fotossíntese variaram pouco. Santos e colaboradores (2014) ao realizar uma análise preliminar das trocas gasosas de plantas de juazeiro em uma região semiárida de Sergipe, evidenciaram uma redução gradativa das taxas fotossintéticas ao longo do dia, com os maiores valores atingidos nas primeiras horas da manhã.

A condutância estomática (gs) diminuiu gradativamente ao longo do dia, com valores de 0,41 mol de H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> às 8 h e de 0,20 mol de H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> às 16 h (Figura 3B). Este resultado está relacionado com os valores de DPV e alta demanda evaporativa, que aumentaram suas taxas até às 12 h, reduzindo ao final do dia.

Resultados semelhantes foram observados em um estudo realizado com angico-vermelho por Santos e colaboradores (2013a), em que a condutância estomática reduziu gradativamente ao longo do dia, apresentando maior grau de abertura entre às 10 h e 12 h. Segundo Silva e colaboradores (2004), nos horários mais quentes do dia, muitas espécies, especialmente as que vivem em locais áridos e semiáridos, utilizam o fechamento estomático como uma estratégia para evitar a perda excessiva de água,

conservando seu reduzido conteúdo hídrico por um período maior de tempo, tentando, portanto, manter processos metabólicos ativos e essenciais à sua sobrevivência.

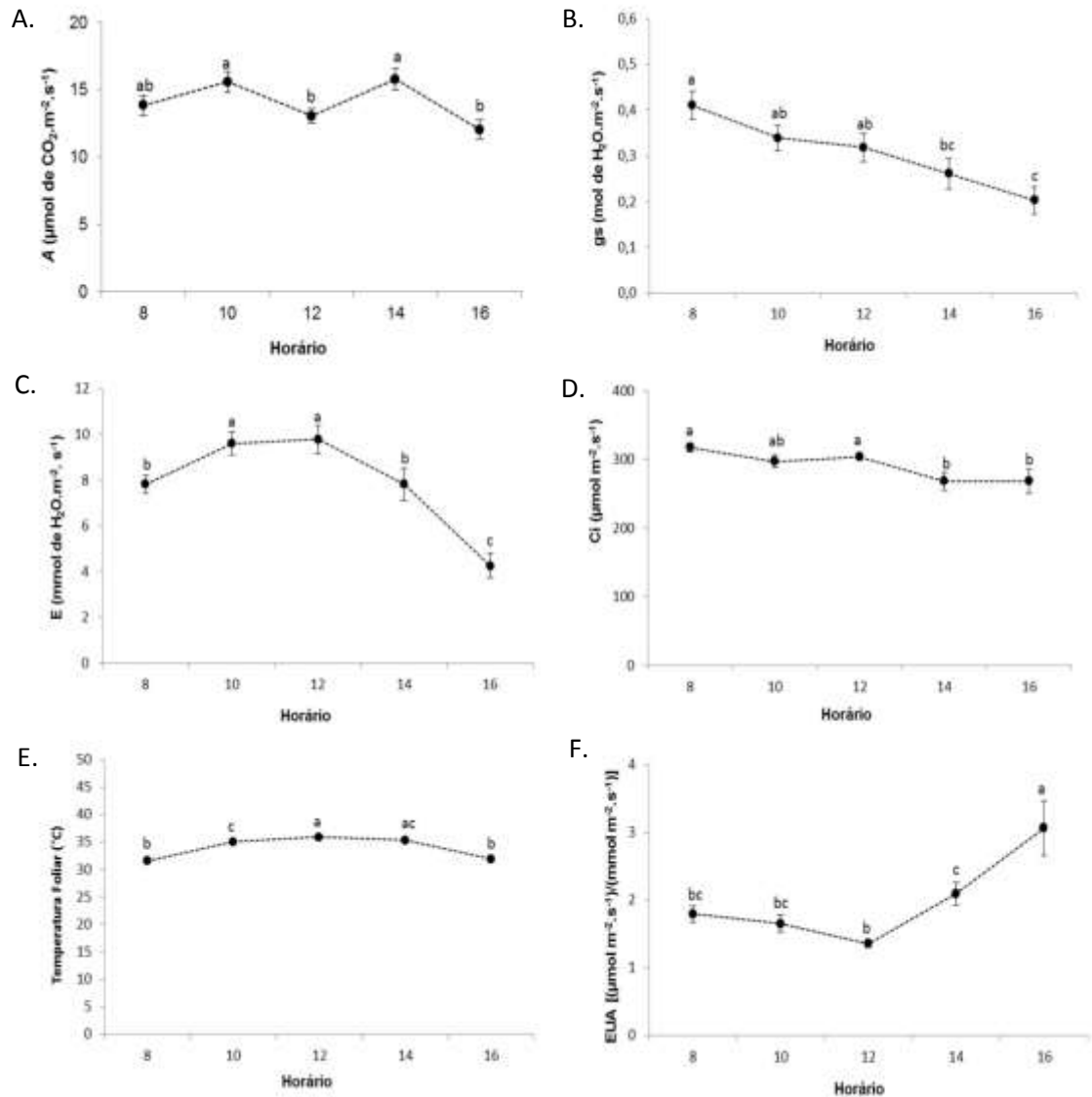


Figura 3. A. Taxa de fotossíntese (A); B. condutância estomática (gs); C. transpiração (E); D. concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci); E. temperatura foliar; F. Eficiência no uso da água (EUA) em plantas jovens de pajeu (*Triplaris gardneriana* Wedd.). Letras minúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. N=10

A transpiração (E) apresentou os maiores valores médios de 9,59 e 9,78 mmol de H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> às 10 h e 12 h, respectivamente (Figura 3C). Esses resultados estão associados à maior abertura estomática nesses horários.

Segundo Larcher (2006), as taxas de transpiração se alteram juntamente com o déficit de pressão de vapor entre a planta e o ar. Sendo a transpiração uma variável

relacionada ao DPV e que influencia diretamente a temperatura foliar ( $T_f$ ), esta também apresentou os maiores valores médios nos horários entre 10h e 14h (Figura 3E).

A relação entre a assimilação de carbono ( $A$ ) e consumo de água ( $E$ ) é tida como a eficiência no uso da água (EUA), que pode apresentar-se positiva quando os estômatos se encontram parcialmente fechados (Larcher, 2006). Os maiores valores de eficiência no uso da água foram alcançados à partir do meio dia, com maior valor médio às 16 h ( $3,06 \mu\text{mol m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} / \text{mmol m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) (Figura 3F). Graciano e colaboradores (2016), em um estudo realizado com amendoim sob deficiência hídrica no solo verificaram que a EUA aumentou em função da redução da disponibilidade hídrica tanto para o grupo com restrição total, quanto para o grupo com restrição a cada 5 dias.

A concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ) não apresentou diferença estatística significativa para os horários de 8 h às 12 h ( $\sim 300 \mu\text{mol m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ), demonstrando pequena redução à partir das 14 h (Figura 3D). Este comportamento pode ser explicado pelos resultados encontrados para as taxas fotossintéticas ( $A$ ), que também não apresentaram diferenças significativas nos mesmos horários, não alterando a carboxilação e, portanto, não apresentando acúmulo ou redução na concentração interna de  $\text{CO}_2$  (Pessoa et al., 2017).

## CONCLUSÕES

Os horários compreendidos entre 10h e 12h apresentaram os maiores de valores de condutância estomática ( $g_s$ ) e de transpiração ( $E$ ), os quais foram influenciados pelo DPV. Uma maior  $g_s$ , por sua vez, ao permitir a entrada de  $\text{CO}_2$  eleva as taxas fotossintéticas ( $A$ ) e concentra uma maior quantidade de  $\text{CO}_2$  interno ( $C_i$ ). Desta forma, foi possível concluir que o horário mais adequado para a realização das análises de trocas gasosas em plantas de *T. gardneriana* foi entre 10 e 12h.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Sergipe, por todo o apoio logístico e estrutural, à CAPES pela concessão da bolsa, ao Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação (PPEC) pelo apoio acadêmico e administrativo e ao Laboratório de Botânica Aplicada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, T. S. de; Neto, J. J. L.; Sousa, N. M. de; Pessoa, I. P.; Vieira, L. R.; Medeiros, J. L. de; Boligon, A. A.; Hamers, A. R. M.; Farias, D. F.; Peijnenburg, A.; Carvalho, A. F. U. Phenolic compounds of *Triplaris gardneriana* can protect cells against oxidative stress and restore oxidative balance. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 93, p. 1261–1268, 2017.

Cartaxo, S. L.; Souza, M. M. A.; Albuquerque, U. P. Medicinal plants with bioprospecting potential used in semi-arid northeastern Brazil. **Journal of ethnopharmacology**, v. 131, n. 2, p. 326-342, 2010.

Costa, G. da; Marengo, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta amazônica**, v. 37, n. 2, p. 229–234, 2007.

Custodio, T.; Comtois, P.; Araujo, A. C. Reproductive biology and pollination ecology of *Triplaris gardneriana* (Polygonaceae): a case of ambophily in the Brazilian Chaco. **Plant Biology**, v. 19, n. 4, p. 504–514, 2017.

Dodd, A.N.; Salathia, N.; Hall, A.; Kévei, E.; Tóth, R.; Nagy, F., Hibberd, J.M.; Millar, A.J. e Webb, A.A.R. 2005. Plant circadian clocks increase photosynthesis, growth, survival, and competitive advantage. **Science**, v. 309, n. 5734, p. 630 – 633.

Farias, D. F.; Souza, T. M.; Viana, M. P.; Soares, B. M.; Cunha, A. P.; Vasconcelos, I. M.; Ricardo, N. M. P. S.; Ferreira, P. M. P.; Melo, V. M. M.; Carvalho, A. F. U. Antibacterial, antioxidant and anticholinesterase activities of plant seed extracts from Brazilian semiarid region. **BioMed Research International**, p.1-9, 2013.

Gariglio, M. A. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília, MMA: Serviço Florestal Brasileiro, 2010.

Graciano, E. S. A.; Santos, H. R. B.; Nogueira, R. J. M. C. Trocas gasosas, eficiência fotoquímica e pigmentos fotossintético de cultivares de amendoim sob deficiência



hídrica no solo. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v. 9, n. 1, p. 27–36, 2016.

Kerbaudy, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012.

Larcher, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos, SP: Rima Artes e Textos, 2006. 531 p.

Loiola, M. I. B.; Roque, A. de A.; Oliveira, A. C. P. de. Caatinga: Vegetação do semiárido brasileiro. **Revista online da Sociedade Portuguesa de Ecologia**, n. 4, p. 14–19, 2012.

Macedo, S. K. S.; Santos, T. A. dos; Alves, A. C. F.; Oliveira, A. P.; Anjos, V. H. A.; Siqueira Filho, J. A.; Araujo, E. C. da Cruz; Almeida, J. R. G. da S.; Silva; N. D. S.; Nunes, X. P. Identification of flavonol glycosides and in vitro photoprotective and antioxidant activities of *Triplaris gardneriana* Wedd. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 9, n. 7, p. 207–215, 2015.

Matos, F. S.; Torres Junior, H. D.; Rosa, V. do R.; Santos, P. G. de F.; Borges, L. F. de O.; Ribeiro, R. P.; Neves, T. G.; Cruvinel. C. K. L. Estratégia morfofisiológica de tolerância ao déficit hídrico de mudas de pinhão manso. **Magistra**, v. 26, n. 1, p. 19–27, mar. 2014.

Melo, E. Polygonaceae da Cadeia do Espinhaço, Brasil. **Acta botânica brasílica**. v.14, n.3, p. 273-300, 2000.

Mencuccini, M.; Mambelli, S. e Comstock J. 2000. Stomatal responsiveness to leaf water status in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is a function of time of day. **Plant, Cell and Environment**, v. 23, n.10, p. 1109– 1118.

Mohotti A.J.; Lawlor, D.W. 2002. Diurnal variation of photosynthesis and photoinhibition in tea: effects of irradiance and nitrogen supply during growth in the field. **Journal f Experimental Botany**, v. 53, n.367, p. 313-322.

Pessoa, J. L.; Freire, A. L. O.; Costa, A. S. Trocas gasosas de plantas de *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC) Mattos submetidas ao déficit hídrico e posterior reidratação. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 16, n. 3, p. 269–276, 2017.

Pontara, V.; Bueno, M. L.; Scremin-Dias, E. Flooding avoidance *Triplaris gardneriana* Wedd. (Polygonaceae): growth and morpho-anatomical aspects. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 38, n. 3, p. 341, 2016.

Santos, C. A. dos; Walter, L. S.; Lima, O. M. L. R.; Silva, C. V. S.; Barreto, T. H. L.; Nogueira, R. J. M. C. Curso diário das trocas gasosas em mudas de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. In: **XIII JEPEX**. Recife, 2013a.

Santos, R. A.; Ribeiro, E. S. M.; Souza, J. K. R.; Souza, R. E. G.; Lima, V. O. B. Características dendrológicas e insetos associados ao Pau-Jaú (*Triplaris gardneriana*). In **IV CONEFLOR-III SEEFLOR**. Vitória da Conquista, 2013b.

Santos, L. M. de J.; Silva, E. C. da; Junior, C. D. da S. Análise preliminar das trocas gasosas, fluorescência de clorofila e potencial hídrico caulinar do juazeiro em uma região semi-árida de Sergipe, Brasil. **Scientia Plena**, v. 10, n. 2, 2014.

Seixas, A. A.; Gomes, V. M.; Serafim, V. F.; Viana, W. de A. Déficit hídrico em plantas forrageiras–revisão de literatura. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, v.24, p.1–14, 2015.

Silva-Brambilha, M. G.; Moscheta, I. S. Anatomia foliar de Polygonaceae (Angiospermae) da planície de inundação do alto rio Paraná. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 23, n. 2, p. 571–585, 2001.

Silva, E. C. da; Nogueira, R. J. M. C.; Azevedo Neto, A. D. de; Brito, J. Z. de; Cabral, E. L. Aspectos ecofisiológicos de dez espécies em uma área de caatinga no município de Cabaceiras, Paraíba, Brasil. **Iheringia. Série Botânica.**, v. 59, n. 2, p. 201–205, 2004.

Sobrinho, J. E.; Pereira, V. da C.; Oliveira, A. D. de; Santos, W. de O. Relação entre a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e a radiação global nas condições climáticas

de Mossoró - RN. In: **XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Guarapari - ES, 2011.

Sousa, 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**, Campina Grande, v.4, p. 338-342, 2000.

Tabosa, F. R. S.; Almeida, E. M.; Melo, E.; Loiola, M. I. B. Flora do Ceará, Brasil: Polygonaceae. **Rodriguésia**, v. 67, n. 4, p. 981–996, 2016.

Taiz, L.; Zeiger, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

### **CAPÍTULO III**



**RELAÇÕES HÍDRICAS, TROCAS GASOSAS, FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA E PIGMENTOS FOTOSINTÉTICOS DO PAJEÚ SOB DÉFICIT HÍDRICO.**

## **<sup>2</sup>RELAÇÕES HÍDRICAS, TROCAS GASOSAS, FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA *a* E PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS DO PAJEÚ SOB DÉFICIT HÍDRICO.**

**RESUMO** – A redução na disponibilidade de água para as plantas, situação marcante no bioma Caatinga, induz inúmeras respostas morfofisiológicas e metabólicas nos vegetais. Com o objetivo de avaliar o desempenho de plantas jovens de pajeú sob déficit hídrico e a capacidade de recuperação após a reidratação, realizou-se um experimento em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos de reposição de água perdida por evapotranspiração (T100 – controle; T50 – 50%; T25 – 25% e T0 – sem reposição), com seis repetições cada, avaliados a cada 7 dias durante 28 dias. A reidratação ocorreu no momento que a taxa fotossintética aproximou-se de zero. Foram avaliados o potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ), teor relativo de água (TRA), trocas gasosas ( $g_s$ ,  $E$ ,  $A$  e EUA), fluorescência da clorofila *a* e o teor de pigmentos fotossintéticos (Chl *a*, Chl *b*, Chl total e carotenóides). A deficiência hídrica causou redução significativa nas relações hídricas do Pajeú ( $\Psi_w$  e TRA), nos parâmetros de trocas gasosas ( $g_s$ ,  $E$  e  $A$ ), assim como na eficiência quântica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), tendo o tratamento com restrição total de rega (T0) reduzido significativamente seus valores médios em relação ao controle no 7º dia. O T50 e o T25, também sofreram redução significativa em relação ao T100 no 14º dia de avaliação. Os pigmentos Chl *a*, Chl *b* e Chl total reduziram sua concentração à medida que se intensificava o déficit hídrico, enquanto para carotenóides ocorreu um incremento nos tratamentos sob déficit. A espécie *Triplaris gardneriana* utiliza o fechamento estomático como principal mecanismo para evitar a perda excessiva de água, sendo capaz de recuperar todos os seus parâmetros fisiológicos após a reidratação, demonstrando tolerância ao déficit hídrico. Além disso, a espécie também apresentou forte senescência e abscisão foliar com posterior rebrota nos tratamentos sob déficit.

**Palavras-chave:** Eficiência fotoquímica. Fotossíntese. Potencial hídrico. *Triplaris gardneriana*. Trocas gasosas.

---

<sup>2</sup> A ser submetido ao periódico Journal of Experimental Botany

## WATER RELATIONS, GAS EXCHANGES, FLUORESCENCE OF CHLOROPHYL AND PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS OF PAJEÚ UNDER WATER DEFICIT.

**ABSTRACT** – The reduction in water availability for plants, a remarkable situation in the Caatinga biome, induces several morphophysiological and metabolic responses in plants. In order to evaluate the performance of young pajeú plants under water deficit and the capacity of recovery after rehydration, an experiment was carried out in a greenhouse in a completely randomized design, with four treatments of replacement of water lost by evapotranspiration (T100 - control; T25 - 25% and T0 - without replacement), with six replicates each, evaluated every 7 days for 28 days. Rehydration occurred at the time the photosynthetic rate approached zero. Leaf water potential ( $\Psi_w$ ), relative water content (TRA), gas exchange ( $g_s$ ,  $E$ ,  $A$  and WUE), chlorophyll a fluorescence and photosynthetic pigment content (Chl a, Chl b, total Chl and carotenoids) were analyzed. The water deficiency caused a significant reduction in the Pajeú ( $\Psi_w$  and TRA) water relations, the gas exchange parameters ( $g_s$ ,  $E$  and  $A$ ), as well as the quantum efficiency of photosystem II ( $F_v/F_m$ ), treatment with total restriction (T0) significantly reduced their mean values in relation to the control on the 7th day. The T50 and T25 also suffered a significant reduction compared to the T100 on the 14th day of evaluation. The pigments Chl a, Chl b and Chl total reduced their concentration as the water deficit intensified, while for carotenoids an increase in the treatments under deficit occurred. The species *Triplaris gardneriana* uses stomatal closure as the main mechanism to avoid excessive water loss, being able to recover all its physiological parameters after rehydration, demonstrating tolerance to water deficit. In addition, the species also showed strong senescence and leaf abscission with subsequent regrowth in treatments under deficit.

**Keywords:** Photochemical efficiency. Photosynthesis. Water potencial. *Triplaris gardneriana*. Gas exchange.

## INTRODUÇÃO

Diante das mudanças climáticas que vêm ocorrendo nas últimas décadas, têm-se observado um aumento das zonas áridas por todo o mundo, o que torna cada vez mais importante o conhecimento acerca das respostas das plantas à disponibilidade de água (AYAN et al., 2014, MATOS et al., 2014).

A água é uma substância essencial para o desenvolvimento e principal constituinte dos vegetais, sendo a sua disponibilidade o fator que condiciona a distribuição de espécies pelos diversos ambientes (PIMENTEL, 2004; TAIZ et al., 2017). O déficit hídrico, causado por um desequilíbrio entre absorção e perda de água, induz nos organismos vegetais respostas que afetam aspectos morfofisiológicos e metabólicos (AYAN et al., 2014), sendo tais respostas dependentes da duração e intensidade do estresse, assim como do genótipo e estágio de desenvolvimento da planta (LARCHER, 2006; AYAN et al., 2014).

Os efeitos do déficit hídrico vão desde reduções no potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) e teor relativo de água (TRA), devido à perda de turgescência, na condutância estomática e transpiração, até reduções acentuadas na taxa fotossintética (PIMENTEL, 2004; LARCHER, 2006; AYAN et al., 2014; TAIZ et al., 2017). Além destes, outros componentes do processo fotossintético também podem ser afetados pelo déficit hídrico, tais como degradação de clorofilas, diminuição na síntese de pigmentos, típico de folhas senescendo (MATOS et al., 2014) e diminuição na eficiência fotoquímica potencial do fotossistema II (ARAÚJO; DEMICINIS, 2009).

Na Caatinga, as plantas precisam enfrentar condições de elevadas temperaturas e reduzida precipitação pluviométrica e, por esta razão, desenvolvem estratégias para resistir à seca, como o escape e a tolerância. No escape, há uma conclusão antecipada do ciclo reprodutivo da planta, e, na tolerância, as plantas suportam a desidratação reduzindo o  $\Psi_w$ , através do acúmulo de solutos compatíveis ou toleram através do fechamento estomático em horários de maior demanda evaporativa para manter o status hídrico (NOGUEIRA et al., 2005).

A *Triplaris gardneriana* Wedd. (Polygonaceae), conhecida como pajeú, pajaú, coaçu, formigueiro, novateiro-preto e pau-formiga, é uma árvore dióica que pode atingir de 4 a 15 m de altura (MELO, 2000; LORENZI, 2002). Ocorre naturalmente na Caatinga, especialmente em floresta ribeirinha do Vale do Rio São Francisco, e em várzeas inundáveis e encostas úmidas do pantanal matogrossense (MACEDO et al., 2016), sendo comumente utilizada em

ornamentação urbana e medicina popular (ALMEIDA et al., 2017), fornecimento de madeira e restauração de áreas degradadas (LORENZI, 2002).

Tendo em vista a escassez de trabalhos relacionados às espécies de mata ciliar da Caatinga, especialmente a *T. gardneriana*, é necessário a realização de estudos que possibilitem o entendimento sobre as adaptações que as plantas possuem para sobreviver neste ambiente, visando futuras orientações de manejo e políticas de conservação. Diante disto, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar os aspectos ecofisiológicos em plantas jovens de pajeú submetidas ao déficit hídrico e posterior reidratação.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em Casa de Vegetação e em Laboratório de Botânica Aplicada, localizados no Departamento de Biologia da Universidade Federal de Sergipe (10° 92' de latitude S e 37° 10' de longitude W), no período de 25 de Maio de 2017 a 21 de Junho de 2017. Foram utilizadas mudas de pajeú com nove meses de idade, provenientes da germinação de sementes que foram disponibilizadas pelo NEMA (Núcleo de Ecologia e Monitoramento Ambiental) da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), coletadas no município do Barro, interior do Ceará. A semeadura foi realizada em bandejas plásticas preenchidas com substrato de terra vegetal e após 28 dias, as plântulas passaram por uma seleção quanto à uniformidade e em seguida foram transplantadas para vasos plásticos contendo aproximadamente 18 Kg do mesmo substrato. A análise físico-química do solo foi feita pelo ITPS (Instituto Tecnológico e de Pesquisas de Estado de Sergipe) utilizando o método de ensaio constante no Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes – EMPBRAPA – 1999 (Tabela 1).

**Tabela 1.** Resultado da análise físico-química do solo.

| Ensaio            | Resultado | Unidade               | LQ <sup>2</sup> |
|-------------------|-----------|-----------------------|-----------------|
| pH em água        | 6,56      | -                     | -               |
| Cálcio + Magnésio | 5,27      | cmolc/dm <sup>3</sup> | 0,38            |
| Cálcio            | 4,10      | cmolc/dm <sup>3</sup> | 0,22            |
| Alumínio          | <0,08     | cmolc/dm <sup>3</sup> | 0,08            |
| Sódio             | 112       | mg/dm <sup>3</sup>    | 2,20            |



|                                     |         |                       |       |
|-------------------------------------|---------|-----------------------|-------|
| Potássio                            | 100     | mg/dm <sup>3</sup>    | 1,40  |
| Fósforo                             | 21,9    | mg/dm <sup>3</sup>    | 1,39  |
| Matéria Orgânica                    | 11,3    | g/dm <sup>3</sup>     | -     |
| Magnésio                            | 1,17    | cmolc/dm <sup>3</sup> | -     |
| Hidrogênio + Alumínio               | 0,672   | cmolc/dm <sup>3</sup> | -     |
| pH em SMP                           | 7,3     | -                     | -     |
| SB – Soma de Bases Trocáveis        | 6,02    | cmolc/dm <sup>3</sup> | -     |
| CTC – Capacidade de Troca Catiônica | 6,69    | cmolc/dm <sup>3</sup> | -     |
| PST – Porcentagem de Sódio Trocável | 7,28    | %                     | -     |
| V- Índice de Saturação de Bases     | 90,00   | %                     | -     |
| Ferro (Fe)                          | 168,79  | mg/dm <sup>3</sup>    | 0,063 |
| Cobre (Cu)                          | 1,76    | mg/dm <sup>3</sup>    | 0,01  |
| Manganês (Mn)                       | 23,79   | mg/dm <sup>3</sup>    | 0,040 |
| Zinco (Zn)                          | 14,67   | mg/dm <sup>3</sup>    | 0,008 |
| Granulometria - Areia               | 60,56   | %                     | -     |
| Granulometria – Argila              | 13,38   | %                     | -     |
| Granulometria – Silte               | 26,06   | %                     | -     |
| Classificação Textural              | FRANCO  | -                     | -     |
|                                     | ARENOSO |                       |       |

<sup>1</sup>Análise realizada em amostra de terra fina seca em estufa (t.f.s.e.) a 40°C.

<sup>2</sup>Limite de Quantificação do Método.

Antes de iniciar a fase experimental, o solo foi mantido com umidade próxima à capacidade de campo, determinada segundo a metodologia de Sousa et al. (2000). O monitoramento do teor de umidade do solo foi realizado diariamente utilizando um tensiômetro (AT Delta-T Device, HH2 Moisture Meter, Cambridge – England). Os registros de temperatura e umidade relativa do ar foram feitos com o auxílio de um termohigrômetro (Datalogger AKSO – AK172) instalado no interior da casa de vegetação, cujas medidas eram tomadas a cada 30 minutos.

A diferenciação dos tratamentos iniciou quando as plantas estavam com nove meses de idade e foram mantidos até o valor de fotossíntese líquida (A) se aproximar de zero, quando as plantas foram reidratadas para observação da capacidade de recuperação dos parâmetros fisiológicos obtidos antes do estabelecimento do déficit hídrico. O final do experimento ocorreu com cerca de 30 dias.

O experimento foi implementado, utilizando-se uma única espécie vegetal *T. gardneriana* Wedd., com quatro tratamentos dispostos em delineamento experimental inteiramente causalizado (DIC), em arranjo fatorial 4 x 5, sendo 4 níveis de reposição de água perdida por evapotranspiração: T100 (controle – com 100% de reposição), T50 (com 50% de

reposição), T25 (com 25% de reposição) e T0 (sem reposição) e cinco períodos de avaliação (0, 7, 14, 21 e 28 dias), com seis repetições, totalizando 24 unidades amostrais. A reposição de água para cada tratamento foi realizada diariamente com base na verificação do peso dos vasos.

Para a avaliação das relações hídricas, o  $\Psi_w$  foi medido semanalmente utilizando-se uma bomba de pressão (SCHOLANDER et al., 1965), em uma folha madura de cada unidade experimental, com boa condição fitossanitária, completamente expandida e localizada na quarta ou quinta posição a partir do ápice caulinar, coletada no horário entre 10:00 e 11:00h. Em seguida, foram retirados, da mesma folha da análise de  $\Psi_w$ , cinco discos foliares de 1cm de diâmetro e registrou-se o peso da massa fresca (PMF) em uma balança de precisão. Os discos foliares foram submersos em água destilada e acondicionados em geladeira por 24h, a fim de se obter o peso da massa túrgida (PMT). Após a pesagem, os discos foram levados à estufa de secagem sob temperatura de 70°C, durante 48 horas, para obtenção do peso da massa seca (PMS) (BARRS; WEATHERLEY, 1962). O teor relativo de água, em valores percentuais, foi determinado com base na seguinte fórmula:  $TRA = [(PMF-PMS)/(PMT-PMS)] \times 100$ .

As avaliações de trocas gasosas foram realizadas semanalmente, na quarta ou quinta folha totalmente expandida a partir do ápice caulinar, entre 10:00 e 12:00h com o auxílio de um medidor portátil de gás a infravermelho (modelo IRGA LI-6400 XT, LICOR®, USA). Foram obtidos os valores de condutância estomática (gs), transpiração (E), fotossíntese líquida (A) e eficiência no uso da água (EUA).

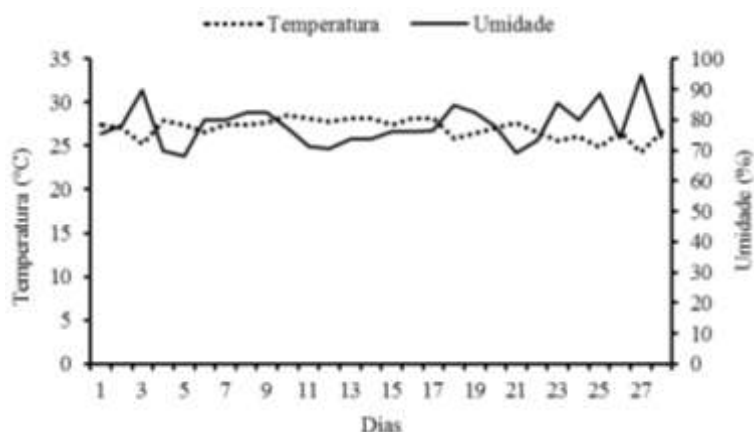
A avaliação da fluorescência da clorofila *a* foi medida às 07:00h, com o intuito de diminuir os efeitos da temperatura sobre o aparato fotossintético, em folhas totalmente expandidas e previamente adaptadas ao escuro (uso de cliques foliares) durante 30 minutos, utilizando-se um fluorômetro portátil (Handy-PEA, Hanstech, King's Lynn, Norfolk, UK). Foram obtidos dados de fluorescência inicial ( $F_0$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ), rendimento quântico do PSII ( $F_v/F_m$ ), Área e  $PI_{ABS}$ .

O teor de pigmentos fotossintetizantes foi determinado após extração com acetona 80%, de acordo com a metodologia de Arnon (1949). A leitura espectrofotométrica foi realizada nas absorvâncias 645 nm, 663 nm e 470 nm com o uso de um espectrofotômetro (FEMTO®, CIRRUS 80PR). As determinações dos teores de clorofila (a, b e total) e carotenóides foram realizadas por meio da aplicação das equações de Arnon (1949) e Lichtenthaler e Buschmann (2001), respectivamente.

Para o delineamento aplicado neste trabalho, no qual se avaliou uma sequência de medidas repetidas ao longo do tempo, os valores dos resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os testes estatísticos foram realizados utilizando-se os programas Sisvar versão 5.6 e GraphPad Prism 6.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante as análises, foram registrados os dados climáticos no interior da casa de vegetação, com valores médios de temperatura do ar variando de 24,2°C a 28,5°C e umidade relativa de 68,2% a 94,4% (Figura 1). A radiação fotossinteticamente ativa (RFA), apresentou valores médios de aproximadamente 1500  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  nos horários de avaliação.

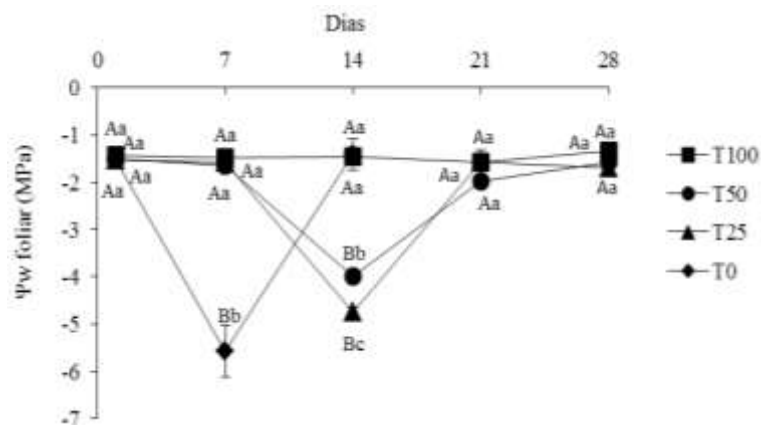


**Figura 1.** Dados de temperatura e umidade relativa do ar registrados no interior da casa de vegetação durante o período de análises.

A análise dos resultados de potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) em plantas jovens de *T. Gardneriana* Wedd. (Figura 2) permite afirmar que a espécie é bastante sensível às reduções na quantidade de água no solo.

O menor valor médio de -5,57 MPa foi observado para o tratamento sem reposição de água (T0), seguido por -4,75 MPa no T25 e por -3,99 MPa para o T50. Houve uma redução significativa para todos os tratamentos em relação ao T100 (controle), que manteve seus valores entre -1,35 MPa e -1,57 MPa. No sétimo e décimo quarto dias, foram observados sinais de perda de turgescência e de abscisão foliar para os tratamentos T0 e T50/T25,

respectivamente. Após a retomada da irrigação em sua totalidade, o  $\Psi_w$  recuperou rapidamente seus valores, ficando semelhante aos do controle.



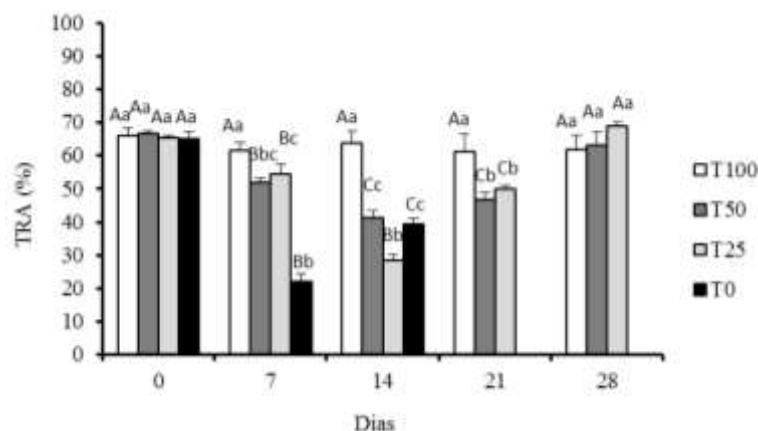
**Figura 2.** Valores médios de potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ )  $\pm$  erro padrão em plantas jovens de *Triplaris gardneriana* submetidas à quatro regimes de reposição de água perdida por evapotranspiração. Médias seguidas de letras iguais maiúsculas não diferiram entre os dias de avaliação e iguais minúsculas entre os tratamentos dentro do mesmo dia pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. N=24.

À medida que a quantidade de água no solo diminui, o potencial hídrico foliar torna-se mais negativo, principalmente em horários de maior demanda evaporativa (LARCHER, 2006). A alta demanda evaporativa, ocasionada por elevadas temperaturas e baixos índices de umidade relativa do ar, é característica de ambientes semiáridos como a Caatinga e resultam na perda de tensão de água no xilema, reduzindo, portanto, os valores de  $\Psi_w$  (MARQUES et al., 2011).

Em termos de potencial hídrico no solo, valores iguais ou menores que - 1,5 MPa impossibilitaria a planta de absorver água do solo, atingindo, portanto, o ponto de murcha permanente (PMP). No entanto, existem algumas espécies que conseguem tolerar bem a escassez de água, suportando reduções de até - 6,0 MPa no solo (PIMENTEL, 2004). Em um trabalho realizado por Moura e colaboradores (2016) com o pinhão-manso (*Jatropha curcas* L. - Euphorbiaceae) foi verificada redução significativa do potencial hídrico foliar ao meio-dia para os tratamentos com 60% e 40% CP, nos três períodos de avaliação (60, 90 e 120 dias), chegando a valores de -3,5 MPa no tratamento com 40% da CP aos 120 dias.

Assim como verificado para o  $\Psi_w$ , o teor relativo de água (TRA) apresentou reduções significativas para os três tratamentos submetidos ao déficit hídrico (Figura 3).

Os valores de TRA variaram de 21,96% a 69% durante os 28 dias de avaliação. Diferenças significativas entre os tratamentos foram observadas no sétimo dia de avaliação, com valores médios de 51,86%, 54,30% e 21,96%, para os T50, T25 e T0, respectivamente.



**Figura 3.** Valores médios de teor relativo de água (TRA) ± erro padrão em plantas jovens de *Triplaris gardneriana* submetidas à quatro regimes de reposição de água perdida por evapotranspiração. Médias seguidas de letras iguais maiúsculas não diferiram entre os dias de avaliação e iguais minúsculas entre os tratamentos dentro do mesmo dia pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. N=24.

Por meio destes dados, foi possível observar que o pajeú não conseguiu manter a turgescência de seus tecidos em situações de déficit hídrico, sofrendo intensa dessecação. Quando a planta não consegue manter seu status hídrico acima do CRAc (conteúdo relativo de água crítico) é observada a queda das folhas de forma progressiva, com o objetivo de diminuir as perdas de água por transpiração (FIOREZE et al., 2011), conforme observado para a *T. gardneriana*.

O teor relativo de água apresentou discreto aumento após a reidratação das plantas tratadas, reestabelecendo seus valores aos do grupo controle somente na última semana de avaliação, com TRA médio de 64,71%. A recuperação das plantas sob déficit hídrico demonstra que não foram causados danos irreversíveis à capacidade de absorção de água pelas raízes e ao seu transporte para a parte aérea (ALBUQUERQUE et al., 2013).

Em plantas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão - Anacardiaceae) foi observada redução significativa no teor relativo de água para o grupo com suspensão de rega com valores de 70%, quando comparados ao controle que estava entre 82% e 91% (COSTA et al., 2015). Esses mesmos autores relatam que o teor relativo de água é bastante variável de acordo com a espécie vegetal e o nível de estresse imposto. Além disto, em experimentos realizados com plantas acondicionadas em vasos, o déficit hídrico se desenvolve de maneira

mais intensificada e rápida devido à redução da área efetiva para a expansão radicular (FERNANDES et al., 2014).

As reduções significativas observadas para o TRA sugerem que a *T. Gardneriana* não utiliza o ajustamento osmótico como um mecanismo para manter o equilíbrio hídrico mediante situações de déficit de água.

Em relação às trocas gasosas, observou-se um declínio na condutância estomática (gs), transpiração (E) e fotossíntese líquida (A) para os tratamentos com redução na disponibilidade de água no solo (Tabela 2).

**Tabela 2.** Valores médios de condutância estomática (gs); transpiração (E); fotossíntese líquida (A); eficiência no uso da água (EUA)  $\pm$  erro padrão em plantas jovens de *Triplaris Gardneriana* submetidas à quatro regimes de reposição de água perdida por evapotranspiração. Médias seguidas de letras iguais maiúsculas não diferiram entre os dias de avaliação e iguais minúsculas entre os tratamentos dentro do mesmo dia pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. N=24.

| Tratamento | Dias de avaliação   |                      |                      |                      |                     |
|------------|---|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
|            | 0   | 7                    | 14                   | 21                   | 28                  |
|            | gs (mol de H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )                                |                      |                      |                      |                     |
| T100       | 0,46 $\pm$ 0,04 Ca  | 0,57 $\pm$ 0,03 Aca  | 0,53 $\pm$ 0,06 ACa  | 0,67 $\pm$ 0,05 Aa   | 0,20 $\pm$ 0,02 Ba  |
| T50        | 0,44 $\pm$ 0,03 ACa   | 0,53 $\pm$ 0,01 Aac  | 0,04 $\pm$ 0,007 Bb  | 0,34 $\pm$ 0,10 Cb   | 0,17 $\pm$ 0,01 Ba  |
| T25        | 0,39 $\pm$ 0,04 Aa  | 0,41 $\pm$ 0,05 Ac   | 0,02 $\pm$ 0,004 Bb  | 0,38 $\pm$ 0,05 Ab   | 0,21 $\pm$ 0,005 Ca |
| T0         | 0,49 $\pm$ 0,02 Aa  | 0,03 $\pm$ 0,01 Bb   | 0,18 $\pm$ 0,05 Bb   | 0,40 $\pm$ 0,05 Ab   | 0,16 $\pm$ 0,03 Ba  |
|            | E (mmol de H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )                                |                      |                      |                      |                     |
| T100       | 5,94 $\pm$ 0,25 Aa  | 5,57 $\pm$ 0,16 Aa   | 6,06 $\pm$ 0,51 Aa   | 6,88 $\pm$ 0,34 Aa   | 5,86 $\pm$ 0,50 Aa  |
| T50        | 5,15 $\pm$ 0,31 Aa  | 5,17 $\pm$ 0,26 Aa   | 0,57 $\pm$ 0,09 Bbc  | 3,85 $\pm$ 0,85 Ab   | 5,32 $\pm$ 0,46 Aa  |
| T25        | 4,76 $\pm$ 0,40 ACa   | 4,29 $\pm$ 0,58 Ca   | 0,22 $\pm$ 0,05 Bb   | 4,43 $\pm$ 0,48 ACb  | 6,21 $\pm$ 0,29 Aa  |
| T0         | 5,51 $\pm$ 0,11 Aa  | 0,35 $\pm$ 0,10 Bb   | 2,21 $\pm$ 0,66 Bc   | 4,72 $\pm$ 0,55 Ab   | 4,77 $\pm$ 1,11 Aa  |
|            | A ( $\mu$ mol de CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )                           |                      |                      |                      |                     |
| T100       | 21,15 $\pm$ 1,20 Aa   | 20,95 $\pm$ 0,84 ABa | 17,95 $\pm$ 1,73 ABa | 18,80 $\pm$ 1,49 ABa | 15,48 $\pm$ 0,74 Ba |
| T50        | 21,80 $\pm$ 1,18 Aa   | 21,16 $\pm$ 0,87 Aa  | -0,05 $\pm$ 0,51 Bb  | 10,28 $\pm$ 1,15 Cb  | 14,21 $\pm$ 0,89 Ca |
| T25        | 20,75 $\pm$ 1,70 Aa   | 18,91 $\pm$ 1,95 Aa  | -1,88 $\pm$ 0,45 Bb  | 11,80 $\pm$ 1,77 Cb  | 17,61 $\pm$ 1,04 Aa |
| T0         | 21,61 $\pm$ 1,25 Aa   | 1,51 $\pm$ 0,77 Bb   | 7,10 $\pm$ 1,98 Bc   | 18,32 $\pm$ 1,85 ACa | 13,31 $\pm$ 3,51 Ca |
|            | EUA [( $\mu$ mol m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )/(mmol m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )] |                      |                      |                      |                     |
| T100       | 3,56 $\pm$ 0,30 Aa  | 3,76 $\pm$ 0,22 Aa   | 2,96 $\pm$ 0,19 Aac  | 2,73 $\pm$ 0,23 Aa   | 2,64 $\pm$ 0,33 Aa  |
| T50        | 4,23 $\pm$ 0,13 Aa  | 4,09 $\pm$ 0,11 Aa   | -0,10 $\pm$ 1,04 Ac  | 2,67 $\pm$ 0,47 Aa   | 2,67 $\pm$ 0,12 Aa  |
| T25        | 4,36 $\pm$ 0,22 Aa  | 4,41 $\pm$ 0,45 Aa   | -8,76 $\pm$ 3,47 Bb  | 2,66 $\pm$ 0,30 Aa   | 2,84 $\pm$ 0,10 Aa  |
| T0         | 3,92 $\pm$ 0,20 Aa  | 4,25 $\pm$ 3,75 Aa   | 3,21 $\pm$ 7,32 Aa   | 3,88 $\pm$ 0,33 Aa   | 2,79 $\pm$ 0,48 Aa  |

Para a gs, verificou-se que os menores valores foram registrados para os tratamentos T0 no 7º dia, T25 e T50 no 14º dia, com 0,03 mol de H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>, 0,02 mol de H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> e 0,04 mol de H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 2). Ao se comparar com as plantas irrigadas, as reduções foram de aproximadamente 95%, 96% e 92%, para os T0, T25 e T50, respectivamente, o que demonstra forte relação da abertura estomática com a disponibilidade de água. Após a retomada da irrigação, observou-se recuperação gradativa dessa variável.

Segundo Fernandes e colaboradores (2014), assim que o valor crítico de  $\Psi_w$  é atingido, há uma redução substancial da condutância estomática, chegando até um quase fechamento

total. Para o estudo realizado com a *T. gardneriana*, sugere-se que esse nível tenha sido atingido, tendo em vista que os tratamentos com déficit hídrico reduziram significativamente sua  $g_s$ . A deficiência hídrica afeta inicialmente o aparato estomático, podendo provocar seu completo fechamento, em resposta a um declínio da turgescência da folha e/ou de seu potencial hídrico, ou ainda a um aumento na concentração de ácido abscísico (ABA) no xilema (LARCHER, 2006; TAIZ et al, 2017).

Resultados semelhantes foram obtidos por Costa e colaboradores (2015) em plantas de aroeira ao observar redução significativa da  $g_s$  devido ao fechamento dos estômatos, com valores de até  $0,02 \text{ mol m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  no 12º dia sem irrigação. Tal comportamento evidencia um possível ajustamento às condições de seca, sendo esta uma estratégia das plantas para diminuir a perda excessiva de água (LARCHER, 2006; TAIZ et al., 2017), principalmente em ambientes semiáridos.

Em decorrência da diminuição na  $g_s$  das plantas sob déficit hídrico, ocorreu redução na taxa de E à medida que se reduzia o percentual de reposição de água (Tabela 2). No sétimo dia de avaliação, o T0 reduziu em aproximadamente 94% sua transpiração ( $0,35 \text{ mmol m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) em relação ao grupo controle ( $5,57 \text{ mmol m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Reduções significativas de 90% e 96% também ocorreram no T50 ( $0,57 \text{ mmol m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) e T25 ( $0,22 \text{ mmol m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ), respectivamente, a partir do 14º dia de imposição de deficiência hídrica.

Ao realizarem uma análise morfo-fisiológica em plantas de Alamanda-roxa, espécie endêmica da caatinga, Alves e colaboradores (2017) verificaram diminuição significativa das taxas de transpiração para os tratamentos com 60% e 40% da capacidade máxima de retenção de água à medida que se prolongava o tempo de estresse (66, 85 e 105 dias).

Segundo Larcher (2006), à medida que se intensifica o déficit hídrico, as plantas efetuam o fechamento estomático com o intuito de manter o equilíbrio hídrico por um período maior de tempo, tentando, desta forma, evitar a perda excessiva de água ou mesmo a morte por dessecação, reduzindo, conseqüentemente as taxas de transpiração. Para o autor, a transpiração também é intensificada ou reduzida à medida que se altera o déficit de pressão de vapor entre a superfície da planta e o ar atmosférico.

A fotossíntese líquida (A) reduziu significativamente suas taxas de acordo com a redução da disponibilidade hídrica (Tabela 2). Os valores de A variaram de  $-1,88$  a  $21,8 \text{ } \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Assim como observado para a condutância estomática, o T0 aproximou sua taxa fotossintética de zero mais rapidamente que os demais tratamentos sob déficit hídrico. No sétimo dia, a A do T0 foi de  $1,51 \text{ } \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , o que corresponde a uma redução de aproximadamente 93% em relação ao grupo controle ( $20,95 \text{ } \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ). O T50 e

o T25 sofreram reduções significativas na  $A$  no 14º dia de avaliação, reduzindo em aproximadamente 99,8% e 90% suas taxas, respectivamente. Após a reidratação, os tratamentos sob déficit hídrico demonstraram lenta recuperação da variável a valores próximos ao controle. A recuperação da variável a valores semelhantes ao controle indica que não foram causados danos irreversíveis ao aparato fotossintético do vegetal (BERTOLLI; SOUZA; SOUZA, 2015).

Costa e Marengo (2007) verificaram que existe uma estreita correlação entre o  $\Psi_w$ , a  $g_s$  e a  $A$ , pois se a planta perde uma quantidade de água maior do que a que consegue absorver, há uma diminuição do potencial hídrico, que leva ao fechamento estomático e à redução da fotossíntese. Segundo Araujo e Deminicis (2009) e Campelo e colaboradores (2015), reduções nas taxas de fotossíntese podem ocorrer por diversos motivos, sendo a limitação estomática ao fluxo de  $CO_2$  o mais evidente. Além disso, pode ocorrer devido a danos no aparato fotossintético, redução de ATP e diminuição na eficiência e regeneração da Rubisco. Portanto, a queda da fotossíntese pode ser atribuída à fotoinibição ou à redução da condutância estomática. De acordo com Medrano e colaboradores (2002), valores de  $g_s$  entre 0,05 e 0,1  $mol\ m^{-2}\cdot s^{-1}$  demonstram déficit moderado e a fotossíntese é limitada pelos estômatos. Já valores inferiores a 0,05  $mol\ m^{-2}\cdot s^{-1}$ , são indicativos de déficit hídrico severo e são acompanhados por limitações não-estomáticas.

Padilha e colaboradores (2016) ao analisarem o crescimento inicial de pinhão-mansão submetido a diferentes regimes hídricos, verificaram que a menor taxa fotossintética foi registrada aos 14 DAE (Dias após a emergência) para o regime hídrico de 20% da CRAS (Capacidade de retenção de água no solo). Ao analisarem as trocas gasosas em plantas jovens de *Tabebuia aurea*, espécie comumente encontrada no Pantanal Matogrossense, área com sazonalidade hídrica, Oliveira e Gualtieri (2017) verificaram queda significativa da fotossíntese a partir do 15º de suspensão da irrigação, chegando a zero no 23º dia. Neste mesmo trabalho também foi verificada a recuperação das trocas gasosas ( $g_s$ ,  $E$  e  $A$ ) a valores iniciais após 96h.

Quanto à eficiência no uso da água (EUA) (Tabela 2), observa-se que houve diferença significativa nos tratamentos T25 e T0 no 14º dia de déficit hídrico. No sétimo dia, quando o T0 estava sob déficit intenso, houve acréscimo na EUA em relação ao controle, porém, não significativo. A partir desse dia, o T0 foi reidratado e reduziu seus valores médios de EUA para 3,21 ( $\mu mol\ m^{-2}\cdot s^{-1}/(mmol\ m^{-2}\cdot s^{-1})$ ) enquanto o controle apresentou valor médio de 2,96 ( $\mu mol\ m^{-2}\cdot s^{-1}/ mmol\ m^{-2}\cdot s^{-1}$ ). Nas análises seguintes, a média retornou à valores próximos ao T100. O T50 e o T25 reduziram significativamente seus valores médios (-0,10  $\mu mol\ m^{-2}\cdot s^{-1}$ ).



$^1/\text{mmol m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  e  $-8,76 \mu\text{mol m}^{-2}.\text{s}^{-1}/\text{mmol m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , respectivamente) também no 14º dia de avaliação. Esses dados demonstram que tais tratamentos não conseguiram regular a perda de água por transpiração, enquanto o T0 conseguiu regular essa perda de modo eficiente.

Segundo Larcher (2006), uma maior EUA é alcançada quando os estômatos se encontram parcialmente fechados, pois há uma melhor relação entre absorção de  $\text{CO}_2$  e consumo de água (A/E). Sob estresse hídrico severo, a desidratação intensa provoca o fechamento estomático e conseqüentemente a redução da fotossíntese, fazendo com que a EUA seja reduzida (TAIZ et al., 2017).

Tatagiba, Pezzopane e Reis (2015) estudando as trocas gasosas em *Eucalyptus* sob diferentes condições edafoclimáticas, verificou um incremento significativo na EUA durante a estação seca em relação à estação chuvosa.

Em plantas que habitam locais com condições de baixa disponibilidade de água, caso da *T. gardneriana*, é extremamente importante conseguir estabelecer um equilíbrio entre absorção de  $\text{CO}_2$  e perda de água por transpiração, ou seja, conseguir manter uma boa eficiência no uso da água (TAIZ et al., 2017). No caso do Pajeu, sua ocorrência na Caatinga associada a cursos d'água é justificada, pois somente dispendo de uma umidade mínima é que essa espécie conseguiu manter-se metabolicamente ativa. Tal fato é corroborado com as reduções nos parâmetros de trocas gasosas (gs, E, e A) para os tratamentos com déficit hídrico.

Como complemento às análises de trocas gasosas, foi avaliada a eficiência fotoquímica da fotossíntese através das variáveis da fluorescência da clorofila a, técnica que avalia a ocorrência de danos no processo de transferência de elétrons no fotossistema II (PSII) (STRASSER; TSIMILLI-MICHAEL; SRIVASTAVA, 2004). Observa-se na tabela 3 que houve diferença significativa entre as médias das variáveis da fluorescência da clorofila a.

As maiores médias de  $F_0$  (Tabela 3) foram observadas para o T0 no sétimo dia, T25 no 14º dia e T50 no 21º dia, evidenciando que as condições de déficit hídrico, assim como as condições de temperatura e umidade, provocaram aumento nos valores desta variável, o que pode indicar que a redução significativa do  $\Psi_w$  ocasionou danos no centro de reação do PSII. Resultados semelhantes, porém com padrão inverso, foram obtidos para  $F_m$ , com as menores médias encontradas para o T0, T25 e T50, no 7º, 14º e 21º dias, respectivamente, sugerindo que o déficit hídrico pode causar deficiência na fotorredução da quinona A ( $Q_A$ ) e no fluxo de elétrons entre os fotossistemas (TATAGIBA; PEZZOPANE; REIS, 2015).

Analisando-se os valores de  $F_v/F_m$  (Tabela 3) foi verificado um padrão de resposta similar ao das variáveis anteriores, demonstrando diferenças significativas para os tratamentos

sob déficit hídrico no 7º, 14º e 21º dias de avaliação, havendo recuperação após a reidratação. Os valores médios de  $F_v/F_m$  variaram de 0,61 a 0,84, sendo o menor valor indicativo de fotoinibição e danos no aparato fotossintético.

**Tabela 3.** Valores médios de fluorescência inicial ( $F_0$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ), eficiência quântica do PSII ( $F_v/F_m$ ), Área e Índice de Performance ( $PI_{ABS}$ ) em plantas jovens de *Triplaris gardneriana* submetidas à quatro regimes de reposição de água perdida por evapotranspiração. Médias seguidas de letras iguais maiúsculas não diferiram entre os dias de avaliação dentro do tratamento e iguais minúsculas entre os tratamentos dentro do mesmo dia de avaliação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. N=24.

| Tratamento | $F_0$             |                 |                  |                  |                |
|------------|-------------------|-----------------|------------------|------------------|----------------|
|            | Dias de avaliação |                 |                  |                  |                |
|            | 0                 | 7               | 14               | 21               | 28             |
| T100       | 526± 18,4 Aa      | 537± 17,7 Ab    | 551± 16,5 Ab     | 575± 13,0 Ab     | 591± 19,4 Aa   |
| T50        | 558± 34,7 Ba      | 557± 8,4 Bb     | 683± 17,7 Bb     | 861± 62,4 Aa     | 575± 26,1 Ba   |
| T25        | 577± 27,8 Ba      | 547± 23,2 Bb    | 856± 81,4Aa      | 751± 34,7Aa      | 569± 22,3 Ba   |
| T0         | 518± 15,8 Ba      | 759± 63,0 Aa    | 604± 43,3 ABb    | 563± 25,8 Bb     | 539± 31,4 Ba   |
|            | $F_m$             |                 |                  |                  |                |
| T100       | 2978± 120,4 Aa    | 2946± 98,0 Aab  | 3063± 100,5 Aa   | 3159± 115,0 Aab  | 3353± 106,9 Aa |
| T50        | 2852± 169,9 Aa    | 3073± 64,0 Aa   | 3229± 89,79 Aa   | 2781± 180,8 Ab   | 3202± 116,9 Aa |
| T25        | 3177± 151,5Aa     | 3113± 137,4 Aa  | 2853± 127,0 Aa   | 2883± 248,7 Aab  | 3362± 91,2 Aa  |
| T0         | 2937± 109,6 ABa   | 2124± 419,46 Bb | 3165± 138,8 ABa  | 3468± 110,6 Aa   | 3443± 204,9 Aa |
|            | $F_v/F_m$         |                 |                  |                  |                |
| T100       | 0,82± 0,003 Aa    | 0,82± 0,002 Aa  | 0,82± 0,003Aa    | 0,82± 0,006Aac   | 0,82± 0,005 Aa |
| T50        | 0,80± 0,01Aa      | 0,82± 0,003 Aa  | 0,79± 0,003 Aab  | 0,68± 0,034Bb    | 0,82± 0,004 Aa |
| T25        | 0,82± 0,005 Aca   | 0,83± 0,005 Aca | 0,70± 0,03 Bb    | 0,72± 0,041 BCbc | 0,83± 0,003 Aa |
| T0         | 0,82± 0,004Aa     | 0,61± 0,099 Bb  | 0,81± 0,008 Aa   | 0,84± 0,002 Aa   | 0,84± 0,002 Aa |
|            | Área              |                 |                  |                  |                |
| T100       | 46609± 3105 Aa    | 48230± 2878 Aa  | 48324± 1448 Aa   | 42906± 2834 Aa   | 51218± 3175 Aa |
| T50        | 43116± 2761 ABa   | 47306± 3349 Aa  | 39541± 3983 ABab | 29806± 4003 Ba   | 52230± 2649 Aa |
| T25        | 52283± 3254 Aa    | 54158± 5804 Aa  | 31617± 4042 Bb   | 37077± 5350 Ba   | 57939± 1500 Aa |
| T0         | 47423± 2976 Aa    | 27674± 7682 Bb  | 49302± 3423 Aa   | 60726± 1059 Ab   | 57187± 664 Aa  |
|            | $PI_{ABS}$        |                 |                  |                  |                |
| T100       | 2,69± 0,28 Aa     | 2,34± 0,17 Aa   | 2,36± 0,15 Aa    | 2,05± 0,30 Ac    | 2,76± 0,44 Ab  |
| T50        | 2,19± 0,29 Aca    | 2,25± 0,20 Aca  | 1,23± 0,19 BCbc  | 0,52± 0,09 Bb    | 2,46± 0,23 Ab  |
| T25        | 3,11± 0,44 Aa     | 2,70± 0,21 Aa   | 0,55± 0,18 Bb    | 0,86± 0,26 Bb    | 3,12± 0,22 Aab |
| T0         | 2,90± 0,34 Aca    | 0,69± 0,33 Bb   | 2,20± 0,40 Cac   | 3,51± 0,17 Aca   | 4,04± 0,008 Aa |

Marengo e colaboradores (2014) afirmam que a relação  $F_v/F_m$  indica a quantidade de energia luminosa absorvida pelas clorofilas no PSII que é utilizada no transporte de elétrons. Em adição, Araújo e Demicinis (2009) afirmam que a relação  $F_v/F_m$  é utilizada como um

indicador sensível da performance fotossintética da planta e valores entre 0,75 e 0,85 indicam que a planta está em uma boa condição ambiental, com o PSII preservado. Em contrapartida, valores abaixo deste limiar sugerem efeitos fotoinibitórios, inativação irreversível do PSII ou mesmo uma regulação fotoprotetora reversível.

Em um estudo realizado com a mangabeira (*Hancornia speciosa* Gomez - Apocynaceae), Silva e colaboradores (2016) também observaram uma redução significativa na  $F_v/F_m$  (0,69), acompanhada de um incremento na  $F_0$  e um decréscimo na  $F_m$ , para o tratamento com 20% da CC após 30 dias de avaliação. Tais autores sugerem que o decréscimo na eficiência quântica é indicativo de fotoinibição e que a estrutura do PSII foi afetada momentaneamente pelo estresse severo, pois houve recuperação após a reidratação.

Quanto à área (Tabela 3), variável que indica o pool de elétrons transportado pelo ciclo de Calvin (SANTOS; SILVA; SILVA JUNIOR et al., 2014), foi observado o mesmo comportamento que às demais variáveis da fluorescência. Houve redução significativa para os tratamentos com déficit hídrico, seguida de recuperação após a reidratação. As menores médias foram observadas para o T0 (27674), seguida por T50 (29806) e T25 (31617), representando uma redução de aproximadamente 42%, 30% e 34% em relação ao controle, respectivamente.

Quanto às respostas da *T. gardneriana* para  $PI_{ABS}$  (Tabela 3), também foi evidenciado o mesmo padrão anterior, com reduções significativas para o T0, T25 e T50, nos dias 7, 14 e 21, respectivamente. Segundo Gonçalves e Santos Jr. (2005), o parâmetro da  $PI_{ABS}$  demonstra a eficiência de captura, absorção e transferência de energia de excitação pelo PSII, sendo, portanto, mais sensível que a relação  $F_v/F_m$  sozinha.

Ao analisar os transientes da clorofila a em plantas jovens de *D. odorata* e *C. guianensis* expostas a dois ambientes de luz, Gonçalves e colaboradores (2010) verificaram que *C. guianensis* possuía maior área, portanto, maior número de aceptores de elétrons no PSII. Além disto, os autores também verificaram significativa redução nos valores de  $PI_{ABS}$  e de  $F_v/F_m$ , após 15 dias de experimento em plantas de *D. odorata* e *C. guianensis* expostas ao sol. Em um estudo realizado com plantas de juazeiro no semiárido de Sergipe, Santos, Silva e Silva Jr. (2014) verificaram que os indivíduos analisados apresentavam um bom funcionamento do PSII, sem fotoinibição, pois não apresentaram reduções significativas das variáveis  $F_v/F_m$ , Área e  $PI_{ABS}$  durante o dia.

Na análise de pigmentos fotossintéticos foram verificadas diferenças significativas para os tratamentos com déficit hídrico, seguida de recuperação após a reidratação (Tabela 4). Sendo constatadas reduções significativas no sétimo dia de avaliação para o T0 (23%, 17% e

21%, respectivamente) e no 21º dia para o T25 (20%, 27% e 23%, respectivamente) e T50 (25%, 31% e 28%, respectivamente). Os indivíduos submetidos ao déficit hídrico severo apresentaram elevados índices de senescência e abscisão foliar, conforme pôde ser observado para o T0 aos 21 e 28 dias.

**Tabela 4.** Valores médios de teor de clorofila a, b, total e carotenóides em plantas jovens de *Triplaris gardneriana* submetidas à quatro regimes de reposição de água perdida por evapotranspiração. Médias seguidas de letras iguais maiúsculas não diferiram entre os dias de avaliação dentro do tratamento e iguais minúsculas entre os tratamentos dentro do mesmo dia de avaliação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. N=24.

| Tratamentos | Chl a ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )        |                  |                  |                 |                 |
|-------------|--|------------------|------------------|-----------------|-----------------|
|             | Dias de avaliação                          |                  |                  |                 |                 |
|             | 0  | 7                | 14               | 21              | 28              |
| T100        | 33,4 ± 1,06 Aa                             | 33,3 ± 0,58 Aa   | 24,2 ± 1,21 Ba   | 24,0 ± 0,70 Ba  | 22,3 ± 0,87 Bb  |
| T50         | 33,8 ± 0,75 Aa                             | 33,7 ± 0,39 Aa   | 23,0 ± 0,91 Ca   | 17,9 ± 0,71 Bb  | 23,7 ± 0,69 Cab |
| T25         | 34,5 ± 0,98 Aa                             | 37,0 ± 1,01 Aa   | 20,9 ± 1,31 Ba   | 19,1 ± 1,58 Bb  | 26,6 ± 1,43 Ca  |
| T0          | 30,4 ± 1,68 Aa                             | 25,6 ± 2,43 Cb   | 21,0 ± 1,42 Ba   | -               | -               |
| Tratamentos | Chl b ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )        |                  |                  |                 |                 |
|             | Dias de avaliação                          |                  |                  |                 |                 |
|             | 0  | 7                | 14               | 21              | 28              |
| T100        | 10,4 ± 0,41 Ba                             | 12,3 ± 0,33 Bab  | 20,8 ± 1,61 Aa   | 22,1 ± 0,62 Aa  | 20,6 ± 1,42 Aa  |
| T50         | 10,3 ± 0,42 Ba                             | 12,2 ± 0,31 BCab | 18,2 ± 0,51 ADab | 15,1 ± 0,57 CDb | 19,5 ± 0,85 Aa  |
| T25         | 10,4 ± 0,60 Ba                             | 14,3 ± 0,66 Ca   | 16,1 ± 0,77 Cb   | 16,1 ± 1,16 Cb  | 21,5 ± 1,21 Aa  |
| T0          | 9,03 ± 0,59 Ba                             | 10,2 ± 0,79 Bb   | 16,0 ± 1,21 Ab   | -               | -               |
| Tratamentos | Chl Total ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )    |                  |                  |                 |                 |
|             | Dias de avaliação                          |                  |                  |                 |                 |
|             | 0  | 7                | 14               | 21              | 28              |
| T100        | 43,8 ± 1,43 Aa                             | 45,7 ± 0,88 Aa   | 45,0 ± 2,64 Aa   | 46,1 ± 0,93 Aa  | 43,0 ± 2,09 Aa  |
| T50         | 44,1 ± 1,16 Aa                             | 46,0 ± 0,63 Aa   | 41,2 ± 1,34 Aab  | 33,0 ± 1,24 Bb  | 43,2 ± 1,52 Aa  |
| T25         | 45,0 ± 1,57 Aa                             | 51,4 ± 1,67 Aa   | 37,0 ± 2,06 Bb   | 35,2 ± 2,74 Bb  | 48,1 ± 2,59 Aa  |
| T0          | 39,4 ± 2,26 Aa                             | 35,8 ± 3,07 Ab   | 37,0 ± 2,53 Ab   | -               | -               |
| Tratamentos | Carotenóides ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) |                  |                  |                 |                 |
|             | Dias de avaliação                          |                  |                  |                 |                 |
|             | 0  | 7                | 14               | 21              | 28              |
| T100        | 8,1 ± 0,17 Aa                              | 7,0 ± 0,23 Aa    | 3,5 ± 0,27 Bb    | 2,9 ± 0,26 Bb   | 3,4 ± 0,36 Ba   |
| T50         | 8,4 ± 0,11 Aa                              | 7,6 ± 0,28 Aa    | 4,3 ± 0,29 Bab   | 5,1 ± 0,45 Ba   | 4,3 ± 0,46 Ba   |
| T25         | 7,7 ± 0,37 Aa                              | 7,4 ± 0,18 Aa    | 4,2 ± 0,22 Bab   | 4,7 ± 0,28 Ba   | 4,2 ± 0,28 Ba   |
| T0          | 8,1 ± 0,27 Aa                              | 6,6 ± 0,91 Ca    | 5,1 ± 0,60 Ba    | -               | -               |

As clorofilas desempenham papel importante no processo fotossintético, pois funcionam na captação da energia luminosa, sendo a clorofila *a* o principal pigmento do complexo antena para as reações fotoquímicas (TAIZ et al., 2017). A queda nos valores médios de pigmentos fotossintéticos foi devido ao que pode ter ocorrido um estresse oxidativo como resultado da formação de espécies reativas de oxigênio (EROs), que têm como parte de seus efeitos, a oxidação de pigmentos fotossintéticos (SILVA et al., 2016). Segundo Matos e colaboradores (2014), folhas que estão em processo de senescência

apresentam elevada taxa de degradação de clorofila, o que pode ter contribuído também para o decréscimo dessa variável nas plantas de pajeú submetidas ao déficit hídrico.

Graciano, Santos e Nogueira (2016) também constataram que os pigmentos fotossintéticos (Chl a, Chl b e carotenoides) em cultivares de amendoim sofreram reduções significativas em função da disponibilidade hídrica no solo. Esses resultados divergem do que foi observado por Matos e colaboradores (2014) com mudas de pinhão-manso submetidas à deficiência hídrica, sendo constatada pequena variação na concentração de clorofila total entre os tratamentos com déficit e testemunha. No geral, os autores verificaram um ligeiro aumento da concentração após 10 dias de déficit hídrico. Moura e colaboradores (2016) também constataram que o déficit hídrico em plantas jovens de *Jatropha curcas* não afetou de forma significativa os pigmentos fotossintéticos aos 60 e 90 dias de avaliação.

Para o teor de carotenoides foi observado aumento de aproximadamente 45% aos 14 dias a partir do início das análises para o T0 ( $5,1 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) em relação ao controle ( $3,5 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ). Os T25 e T50 obtiveram incremento no 21º dia de avaliação, correspondendo a 62% e 75%, respectivamente, quando comparado ao T100. Desta forma, verificou-se que houve incremento nos teores de carotenoides à medida que se acentuava o déficit hídrico. Este fato pode ser explicado pela possível tentativa de minimizar danos ao aparato fotossintético, pois os carotenóides agem como um filtro à radiação ultravioleta ao absorverem radiação visível, assim como proporcionam fotoproteção ao extinguir rapidamente os estados excitados da clorofila, evitando assim a fotooxidação (TAIZ et al., 2017).

O mesmo padrão de resposta também foi verificado por Matos e colaboradores (2014) em um estudo realizado com mudas de pinhão-manso submetidas à deficiência hídrica. No estudo, os autores constataram uma concentração superior de carotenoides totais nos tratamentos com 5, 10 e 15 dias sem irrigação em relação às testemunhas.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem inferir que plantas de pajeú submetidas ao déficit hídrico, principalmente as com restrição total de rega, reduzem mais rapidamente o potencial hídrico foliar do que os T50 e T25 em relação ao tratamento controle. O mesmo padrão de resposta foi observado para o teor relativo de água nos tecidos. Em consequência dessa redução e da perda de turgescência, ocorreu rápido declínio da condutância estomática e da

fotossíntese, assim como das taxas transpiratórias nos tratamentos que estavam sob déficit hídrico. Os T50, T25 e T00 também apresentaram redução significativa na eficiência quântica do fotossistema II, no pool de plastoquinonas e no índice de performance em plantas jovens de *Triplaris gardneriana*, quando comparadas ao T100. À medida que o déficit hídrico se intensificava, também foi verificado decréscimo no teor dos pigmentos clorofila a e b, bem como incremento no teor de carotenóides, possivelmente associado a uma função osmoprotetora.

Após a reidratação, houve recuperação de todos os parâmetros analisados, o que demonstra a capacidade de tolerância da espécie. Além disso, foi nítida a senescência e abscisão foliar nas plantas submetidas ao déficit de água, com intensa capacidade de rebrota após a reidratação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, M. P. F. de et al. Ecofisiologia de plantas jovens de mogno-africano submetidas a déficit hídrico e reidratação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n.1, p. 9-16, 2013.

ALMEIDA, T. S. de et al. Phenolic compounds of *Triplaris gardneriana* can protect cells against oxidative stress and restore oxidative balance. **Biomedicine & Pharmacotherapy**. v. 93, p. 1261-1268, 2017.

ALVES, M. M. et al. Morpho-physiological analyses of *Allamanda blanchetii* A. DC. Seedlings under water déficit. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 33, n.5, p. 1134-1143, 2017.

ARAÚJO, S. A. do C.; DEMICINIS, B. B. Fotoinibição da fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 7, n.4, p. 463-472, 2009.

ARNON, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplast. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*, **Plant Physiology**, v.24, p.1-15, 1949.

AYAN, L.R. et al. Aspectos fisiológicos, bioquímicos y expresión de genes em condiciones de déficit hídrico. Influencia en el proceso de germinación. **Cultivos Tropicales**, Cuba, v. 35, n. 3, p. 24-35, 2014.

BARRS, H. D.; P. E. WEATHERLEY. A re-Examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. **Australian Journal of Biological Sciences**, Melbourne, v. 15, p. 413-428, 1962.

BERTOLLI, S. C.; SOUZA, J.; SOUZA, G. M. Caracterização fotossintética da espécie isohídrica pata-de-elefante em condições de deficiência hídrica. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n.3, p. 196-205, 2015.

CAMPELO, D. de H. et al. Trocas gasosas e eficiência do fotossistema II em plantas adultas de seis espécies florestais em função do suprimento de água no solo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n.5, p. 973-983, 2015.

COSTA, A. S. et al. Respostas fisiológicas e bioquímicas de plantas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) ao déficit hídrico e posterior recuperação. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 4, p. 705-717, 2015.

COSTA, G.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta amazônica**, Manaus, v. 37, n. 2, p. 229–234, 2007.

FERNANDES, E. T.; CAIRO, P. A. R.; NOVAES, A. B. de. Respostas fisiológicas de clones de eucalipto cultivados em casa de vegetação sob deficiência hídrica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 1, p. 29-34, 2015.

FIOREZE, S. L. et al. Comportamento de genótipos de soja submetidos a déficit hídrico intenso em casa de vegetação. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 3, p. 342-349, 2011.

GONÇALVES, E. R. et al. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 4, p. 378-386, 2010.

GONÇALVES, J.F.C.; SANTOS JR., U.M. Utilization of the chlorophyll a fluorescence technique as a tool for selecting tolerant species to environments of high irradiance. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v.17, p. 307-313, 2005.

GRACIANO, E. S. A.; SANTOS, H. R. B.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Trocas gasosas, eficiência fotoquímica e pigmentos fotossintéticos de cultivares de amendoim sob deficiência hídrica no solo. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, Guarapuava, v. 9, n. 1, p. 27-36, 2016.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos, SP: Rima Artes e Textos, 2006. 531 p.

LICHTENTHALER, H.K., BUSCHMANN, C.: Chlorophylls and carotenoids-measurement and characterisation by UV-VIS.-Current Protocols in Food Analytical Chemistry (CPFA), , **John Wiley**, New York, Supplement 1, 2001.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**, 2. ed. Nova Odessa/SP: Instituto Plantarum, 2002. 368 p.

MACÊDO et al. GC-MS analysis of esterified fatty acids obtained from leaves and seeds of *Triplaris gardneriana* Wedd. **African Journal of Pharmacy and Pharmacology**. v. 10, n. 30, p. 623-630, 2016.

MARENCO, R. A. et al. Fisiologia de espécies florestais da Amazônia: fotossíntese, respiração e relações hídricas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, p. 786-799. 2014.

MARQUES, R. P. et al. Relações hídricas e produção de pigmentos fotossintéticos em mudas de *Eugenia Uniflora* I. sob condições de salinidade. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife: UFPE, v. 3, p. 497-509, 2011.

MATOS, F. S. et al. Estratégia morfofisiológica de tolerância ao déficit hídrico de mudas de pinhão manso. **Magistra**, Cruz das Almas, v.26, n.1, p.19-27, 2014.



MEDRANO, H. et al. Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: the interest of stomatal conductance as a reference parameter. **Annals of Botany**, Oxford, v.89, p. 895–905, 2002.

MELO, E. Polygonaceae of the "Cadeia do Espinhaço", Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, Minas Gerais, v. 14, n. 3, p. 273-300, 2000.

MOURA, A. R. de et al. Relações hídricas e solutos orgânicos em plantas jovens de *Jatropha curcas* L. sob diferentes regimes hídricos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 345-354, 2016.

NOGUEIRA, R. J. M. C. Aspectos ecofisiológicos da tolerância à seca em plantas da caatinga. In: NOGUEIRA, R. J. M. C.; ARAÚJO, E. L.; WILLADINO, L. G.; CAVALCANTE, U. M. T. **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2005, p. 22-31.

OLIVEIRA, A. K. M. de; GUALTIERI, S. C. J. Gas exchange in young plants of the species *Tabebuia aurea* exposed to conditions of induced water stress. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.33, n. 2, p. 401-410, 2017.

PADILHA, N. de S. et al. Crescimento inicial do pinhão-mansão submetido a diferentes regimes hídricos em latossolo vermelho distrófico. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 513-521, 2016.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: EDUR, 2004. 192p.

SANTOS, L. M. J.; SILVA, E. C.; SILVA JUNIOR, C. D. Análise preliminar das trocas gasosas, fluorescência da clorofila e potencial hídrico de plantas de juazeiro em uma região semi-árida de Sergipe, Brasil. **Scientia Plena**, Sergipe, v. 10, n. 2, 2014.

SCHOLANDER P.F. et al. Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of mangroves and some other plants. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, USA, v.52, p.119–125, 1964.

SILVA, E. C. et al. Different levels of water deficit induces changes in growth pattern but not in chlorophyll fluorescence and water relations of *Hancornia speciosa* seedlings. **Scientia Plena**, Sergipe, v. 12, n. 2, 2016.

SOUSA, C. C. et al. 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**, Campina Grande, v.4, p. 338-342, 2000.

STRASSER, R. J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; SRIVASTAVA, A. **Chlorophyll a fluorescence**: A signature of Photosynthesis, Analysis of the chlorophyll a Fluorescence Transient. Cap. 12, Spring, v. 14, p. 321-362, 2004.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6ª edição. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F. Fotossíntese em Eucalyptus sob diferentes condições edafoclimáticas. **Engenharia na Agricultura**. Viçosa, v. 23, n. 4, 2015.

## **CAPÍTULO IV**



O EFEITO DO DÉFICIT HÍDRICO SOBRE AS RELAÇÕES HÍDRICAS, TOLERÂNCIA PROTOPLASMÁTICA FOLIAR E SOLUTOS ORGÂNICOS DO PAJEÚ.

### **<sup>3</sup>Efeito do déficit hídrico sobre relações hídricas, tolerância protoplasmática foliar e solutos orgânicos do pajeú.**

**Resumo:** O déficit hídrico, causado por um desequilíbrio na relação entre absorção e perda de água, influencia diversos aspectos fisiológicos e metabólicos do vegetal. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar as relações hídricas, a tolerância protoplasmática foliar e a concentração de solutos orgânicos da *Triplaris gardneriana* submetida ao déficit hídrico. Realizou-se um experimento em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 4 x 5, sendo quatro tratamentos de reposição de água perdida por evapotranspiração (T100 – controle; T50 – 50%; T25 - 25% e T0 – sem reposição), e cinco períodos de avaliação (0, 7, 14, 21 e 28 dias), com seis repetições cada, totalizando 24 unidades amostrais. A cada 7 dias foram avaliados o potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ), o teor relativo de água (TRA), o percentual de integridade absoluta (PIA), relativa (PIR) e de danos membranares (PD), além do teor de proteínas solúveis, prolina livre e carboidratos. O déficit hídrico promoveu uma redução significativa do potencial hídrico foliar e do teor relativo de água, assim como um aumento no percentual de danos membranares (PD) e diminuição dos percentuais de integridade absoluta e relativa (PIA e PIR). Para os tratamentos com reduzida disponibilidade de água, houve acúmulo significativo de proteínas solúveis e prolina livre, e não significativo de carboidratos. A espécie *Triplaris gardneriana* demonstrou, após a reidratação, forte capacidade de recuperação dos parâmetros analisados, demonstrando ser tolerante à deficiência de água.

**Palavras-chave:** carboidratos, integridade de membranas, prolina livre, proteínas solúveis, *Triplaris gardneriana* Wedd.

**Effect of water deficit on water relations, foliar protoplasmatic tolerance and organic solutes of pajeú.**

**Abstract:** The water deficit, caused by an imbalance in the relation between water absorption and loss, influences several physiological and structural aspects of the plant.

---

<sup>3</sup> A ser submetido ao periódico Environmental and Experimental Botany

Thus, the objective of this work was to evaluate the water relations, foliar protoplasmatic tolerance and the concentration of organic solutes of *Triplaris gardneriana* submitted to water deficit. An experiment was carried out in a greenhouse, in a completely randomized design, in a 4x5 factorial arrangement with four treatments of water lost by evapotranspiration (T100 – control; T50 – 50%; T25 – 25% and T0 – without replacement), with six replications each, totaling 24 samples units. Leaf water potential ( $\Psi_w$ ), relative water content (TRA), percentage of absolute integrity (PIA), relative (PIR) and membrane damage (PD), as well as soluble protein, free proline and carbohydrate levels were evaluated. The water deficit promoted a significant reduction of leaf water potential and relative water content, as well as an increase in the percentage of membrane damage (DP) and decrease of absolute and relative integrity (PIA and PIR). For treatments with reduced water availability, there was a significant accumulation of soluble proteins and free proline, and not significant of carbohydrates. The species *Triplaris gardneriana* showed, after rehydration, a strong recovery capacity of the analyzed parameters, demonstrating that it is tolerant to the water deficiency.

**Keywords:** carbohydrates, membrane integrity, free proline, soluble proteins, *Triplaris gardneriana* Wedd.

## INTRODUÇÃO

A água é uma substância indispensável a inúmeros processos metabólicos nos seres vivos, sendo estes totalmente dependentes dela (Taiz et al, 2017). É substância essencial na manutenção da integridade funcional de moléculas orgânicas biológicas e constituinte fundamental de células vegetais vivas (~80 a 95%) (Larcher, 2006; Kerbauy, 2012). De todos os recursos que a planta necessita, a água é o mais abundante e ao mesmo tempo o mais limitante, por ser utilizado em grandes quantidades (Matos et al., 2014; Taiz et al., 2017).

Quando ocorre um desequilíbrio entre a quantidade de água absorvida pela planta e a quantidade perdida por transpiração, o vegetal se encontra em situação de estresse (Larcher, 2006; Seixas et al., 2015; Taiz et al., 2017). As respostas morfofisiológicas do

vegetal dependem da duração, intensidade e natureza do estresse, genótipo e estágio de desenvolvimento da planta (Larcher, 2006; Taiz et al., 2017). O estresse por déficit hídrico promove a perda da turgescência, o que provoca dessecação dos tecidos, aumentando a permeabilidade e rompendo a membrana, causando, portanto, a liberação de eletrólitos. Nesta situação, há alteração na composição e estrutura das membranas da célula vegetal, ocasionada, principalmente, pelo aumento na atividade de lipases e proteases (Roy-Macauley et al., 1992; Zoz et al., 2013).

Alguns vegetais, sob condições de baixa disponibilidade de água, adotam a estratégia de acumular solutos osmoticamente ativos, denominada de ajustamento osmótico, o que proporciona queda do potencial osmótico celular, na tentativa de garantir a absorção de água e a manutenção da turgescência celular (Larcher, 2006). Entre as substâncias utilizadas no ajustamento estão as proteínas, os aminoácidos como a prolina livre e os açúcares (Silva et al., 2004; Moura et al., 2016).

A avaliação das relações hídricas, bem como da tolerância protoplasmática foliar e da concentração de solutos orgânicos é de fundamental importância para o entendimento da fisiologia do vegetal. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo investigar o efeito do déficit hídrico sobre o potencial hídrico foliar, o teor relativo de água, a integridade e os danos na membrana da célula vegetal, assim como sobre a concentração de solutos orgânicos osmoticamente ativos, como proteínas solúveis, prolina livre e carboidratos solúveis.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Os experimentos foram realizados em casa de vegetação e em Laboratório de Botânica Aplicada, localizados no Departamento de Biologia da Universidade Federal de Sergipe (10° 92' de latitude S' e 37° 10' de longitude W). Foram utilizadas mudas de pajeú com nove meses de idade, provenientes da germinação de sementes que foram disponibilizadas pelo NEMA (Núcleo de Ecologia e Monitoramento Ambiental) da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), coletadas no município do Barro, interior do Ceará. A semeadura foi realizada em bandejas plásticas preenchidas com substrato de terra vegetal e após 28 dias, as plântulas passaram por uma seleção quanto à uniformidade e foram transplantadas para vasos plásticos contendo aproximadamente 18 Kg do mesmo substrato. A análise físico-química do solo foi feita

pelo ITPS (Instituto Tecnológico e de Pesquisas de Estado de Sergipe) utilizando o método de ensaio constante no Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes – EMPBRAPA – 1999 (Tabela 1).

Tabela 1. Resultado da análise físico-química do solo.

| Ensaio                              | Resultado         | Unidade               | LQ <sup>2</sup> |
|-------------------------------------|-------------------|-----------------------|-----------------|
| pH em água                          | 6,56              | -                     | -               |
| Cálcio + Magnésio                   | 5,27              | cmolc/dm <sup>3</sup> | 0,38            |
| Cálcio                              | 4,10              | cmolc/dm <sup>3</sup> | 0,22            |
| Alumínio                            | <0,08             | cmolc/dm <sup>3</sup> | 0,08            |
| Sódio                               | 112               | mg/dm <sup>3</sup>    | 2,20            |
| Potássio                            | 100               | mg/dm <sup>3</sup>    | 1,40            |
| Fósforo                             | 21,9              | mg/dm <sup>3</sup>    | 1,39            |
| Matéria Orgânica                    | 11,3              | g/dm <sup>3</sup>     | -               |
| Magnésio                            | 1,17              | cmolc/dm <sup>3</sup> | -               |
| Hidrogênio + Alumínio               | 0,672             | cmolc/dm <sup>3</sup> | -               |
| pH em SMP                           | 7,3               | -                     | -               |
| SB – Soma de Bases Trocáveis        | 6,02              | cmolc/dm <sup>3</sup> | -               |
| CTC – Capacidade de Troca Catiônica | 6,69              | cmolc/dm <sup>3</sup> | -               |
| PST – Porcentagem de Sódio Trocável | 7,28              | %                     | -               |
| V- Índice de Saturação de Bases     | 90,00             | %                     | -               |
| Ferro (Fe)                          | 168,79            | mg/dm <sup>3</sup>    | 0,063           |
| Cobre (Cu)                          | 1,76              | mg/dm <sup>3</sup>    | 0,01            |
| Manganês (Mn)                       | 23,79             | mg/dm <sup>3</sup>    | 0,040           |
| Zinco (Zn)                          | 14,67             | mg/dm <sup>3</sup>    | 0,008           |
| Granulometria - Areia               | 60,56             | %                     | -               |
| Granulometria – Argila              | 13,38             | %                     | -               |
| Granulometria – Silte               | 26,06             | %                     | -               |
| Classificação Textural              | FRANCO<br>ARENOSO | -                     | -               |

<sup>1</sup>Análise realizada em amostra de terra fina seca em estufa (t.f.s.e.) a 40°C.

<sup>2</sup>Limite de Quantificação do Método.

Antes de iniciar a fase experimental, o solo foi mantido com umidade próxima à capacidade de campo, determinada segundo a metodologia de Sousa et al. (2000). O monitoramento do teor de umidade do solo foi realizado diariamente utilizando um tensiômetro (AT Delta-T Device, HH2 Moisture Meter, Cambridge – England). Os registros de temperatura e umidade relativa do ar foram feitos com o auxílio de um

termohigrômetro (Datalogger AKSO – AK172) instalado no interior da casa de vegetação, cujas medidas eram tomadas a cada 30 minutos.

A diferenciação dos tratamentos iniciou quando as plantas estavam com nove meses de idade e foram mantidos até o valor de fotossíntese líquida (A) se aproximar de zero, quando as plantas foram reidratadas para observação da capacidade de recuperação dos parâmetros fisiológicos obtidos antes do estabelecimento do déficit hídrico. O final do experimento ocorreu com cerca de 30 dias.

O experimento foi implementado, utilizando-se uma única espécie vegetal *Triplaris gardneriana* Wedd., com quatro tratamentos dispostos em delineamento experimental inteiramente causalizado (DIC), em arranjo fatorial 4 x 5, sendo 4 níveis de reposição de água perdida por evapotranspiração: T100 (controle – com 100% de reposição), T50 (com 50% de reposição), T25 (com 25% de reposição) e T0 (sem reposição) e cinco períodos de avaliação (0, 7, 14, 21 e 28 dias), com seis repetições, totalizando 24 unidades amostrais. A reposição de água para cada tratamento foi realizada diariamente com base na verificação do peso dos vasos.

Para a avaliação das relações hídricas, o  $\Psi_w$  foi medido semanalmente utilizando-se uma bomba de pressão (Scholander et al., 1965), em uma folha madura de cada unidade experimental, com boa condição fitossanitária, completamente expandida e localizada na quarta ou quinta posição a partir do ápice caulinar, coletada no horário entre 10:00 e 11:00h. Em seguida, foram retirados, da mesma folha da análise de  $\Psi_w$ , cinco discos foliares de 1cm de diâmetro e registrou-se o peso da massa fresca (PMF) em uma balança de precisão. Os discos foliares foram submersos em água destilada e acondicionados em geladeira por 24h, a fim de se obter o peso da massa túrgida (PMT). Após a pesagem, os discos foram levados à estufa de secagem sob temperatura de 70°C, durante 48 horas, para obtenção do peso da massa seca (PMS) (Barrs & Weatherley, 1962). O teor relativo de água, em valores percentuais, foi determinado com base na seguinte fórmula:  $TRA = [(PMF-PMS)/(PMT-PMS)] \times 100$ .

A tolerância protoplasmática foliar foi avaliada a partir do extravasamento de eletrólitos de discos foliares, baseada na metodologia de Vasquez-Tello et al. (1990). Foram recortados 20 discos foliares com 1 cm de diâmetro, que posteriormente foram submetidos a três lavagens de 30 minutos em frascos de vidro contendo 20 ml de água destilada, com o intuito de remover os solutos e veias danificadas. Após a lavagem, os discos foram mantidos por 24 horas em frascos contendo água destilada para posterior medição da condutividade elétrica com o auxílio de um condutivímetro (Digimed –



modelo DM-31). A primeira medida de condutividade foi chamada de condutividade livre (CL,  $\mu$ Siemens). Posteriormente, os frascos contendo os discos em água destilada foram levados ao banho-maria por um período de 1 hora a 100°C, e em seguida, foi feita uma segunda medição da condutividade, esta chamada de condutividade total (CT,  $\mu$ Siemens). A partir desses dados, foi calculada a porcentagem de integridade absoluta (PIA=  $[1-(CL/CT)] \times 100$ ), a porcentagem de integridade relativa (PIR =  $[PIA \text{ plantas estressadas}/ PIA \text{ plantas irrigadas}] \times 100$ ) e a porcentagem de danos membranares (PD =  $100- PIR$ ).

A determinação de proteínas foi realizada pelo método da ligação ao corante Azul de Comassie, segundo metodologia de Bradford (1976), utilizando-se como padrão a albumina sérica bovina (BSA) e como tampão o TRIS a 50 mM. Após maceração e centrifugação, foi feita a leitura em espectrofotômetro digital (FEMTO<sup>®</sup>, CIRRUS 80PR) a 595 nm. As concentrações foram expressas em mg/g de massa fresca.

A determinação de prolina livre foi realizada pelo método da nihidrina (Bates et al., 1973), utilizando-se a prolina como padrão. Após a maceração, centrifugação e leitura em espectrofotômetro a 520 nm, as concentrações foram expressas em  $\mu$ mol/g de massa fresca.

A determinação de carboidratos foi realizada a 640 nm, com o reativo de Antrona segundo metodologia descrita por Ashwell (1957), utilizando-se glicose como padrão. Após maceração, centrifugação e leitura em espectrofotômetro, as concentrações foram expressas em mg/g de massa seca.

Para o delineamento aplicado neste trabalho, no qual se avaliou uma sequência de medidas repetidas ao longo do tempo, os valores dos resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os testes estatísticos foram realizados utilizando-se o programa Sisvar versão 5.6 e o GraphPad Prism 6.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Durante as análises, foram registrados os dados climáticos no interior casa de vegetação, com valores médios de temperatura do ar variando de 24,2 °C a 28,5 °C e de umidade relativa do ar de 68,2% a 94,4% (Figura 1). A radiação fotossinteticamente

ativa (RFA), apresentou valores médios de aproximadamente  $1500 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  durante o período de avaliação.

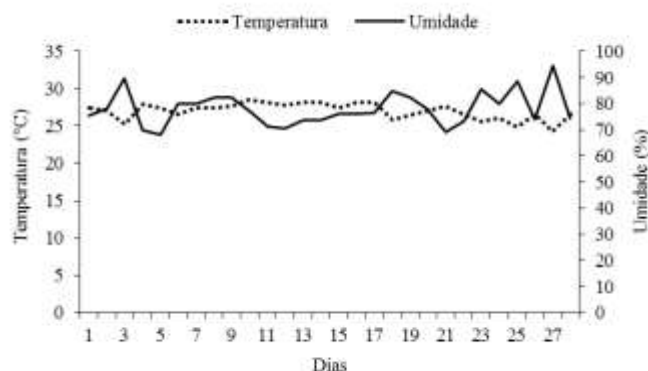


Figura 1. Temperatura (°C) e Umidade relativa do ar (%) registrados no interior da casa de vegetação durante o período de análises.

A análise dos resultados de potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) em plantas jovens de *T. gardneriana* Wedd. (Figura 2) permite afirmar que a espécie é bastante sensível às reduções na quantidade de água no solo.

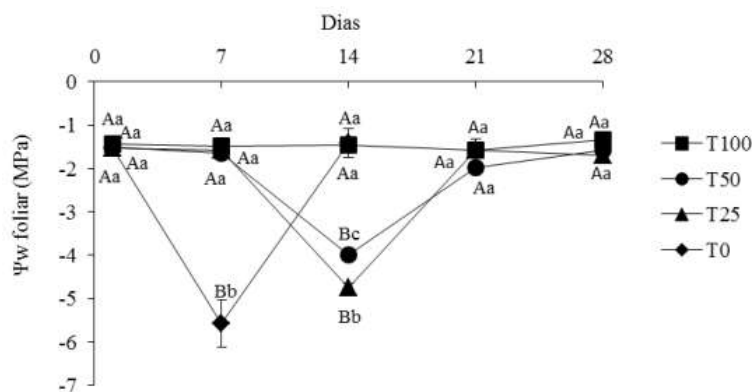


Figura 2. Valores médios de potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ )  $\pm$  erro padrão em plantas jovens de *Triplaris gardneriana* submetidas à quatro regimes de reposição de água perdida por evapotranspiração. Médias seguidas de letras iguais maiúsculas não diferiram entre os dias de avaliação e iguais minúsculas entre os tratamentos dentro do mesmo dia pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O menor valor médio de  $-5,57 \text{ MPa}$  foi observado para o tratamento sem reposição de água (T0), seguido por  $-4,75 \text{ MPa}$  no T25 e por  $-3,99 \text{ MPa}$  para o T50. Houve uma redução significativa para todos os tratamentos em relação ao T100 (controle), que manteve seus valores entre  $-1,35 \text{ MPa}$  e  $-1,57 \text{ MPa}$ . No sétimo e décimo quarto dias, foram observados sinais de perda de turgescência e de abscisão foliar para os

tratamentos T0 e T50/T25, respectivamente. Após a retomada da irrigação em sua totalidade, o  $\Psi_w$  recuperou rapidamente seus valores, ficando próximo aos do controle.

À medida que a quantidade de água no solo diminui, o potencial hídrico foliar torna-se mais negativo, principalmente em horários de maior demanda evaporativa (Larcher, 2006). A alta demanda evaporativa, ocasionada por elevadas temperaturas e baixos índices de umidade relativa do ar, é característica de ambientes semiáridos como a Caatinga e resultam na perda de tensão de água no xilema, reduzindo, portanto, os valores de  $\Psi_w$  (Marques et al., 2011). Em termos de potencial hídrico no solo, valores iguais ou menores que - 1,5 MPa impossibilitaria a planta de absorver água do solo, atingindo, portanto, o ponto de murcha permanente (PMP). No entanto, existem algumas espécies que conseguem tolerar bem a escassez de água, suportando reduções de até - 6,0 MPa (Pimentel, 2004).

Moura e colaboradores (2016) trabalhando com mudas de pinhão-manso (*Jatropha curcas*) verificaram redução significativa do potencial hídrico foliar ao meio-dia para os tratamentos com 60% e 40% CP, nos três períodos de avaliação (60, 90 e 120 dias), chegando a valores de -3,5 MPa no tratamento com 40% da CP aos 120 dias.

Assim como verificado para o  $\Psi_w$ , o teor relativo de água (TRA) apresentou reduções significativas para os três tratamentos submetidos ao déficit hídrico (Figura 3).

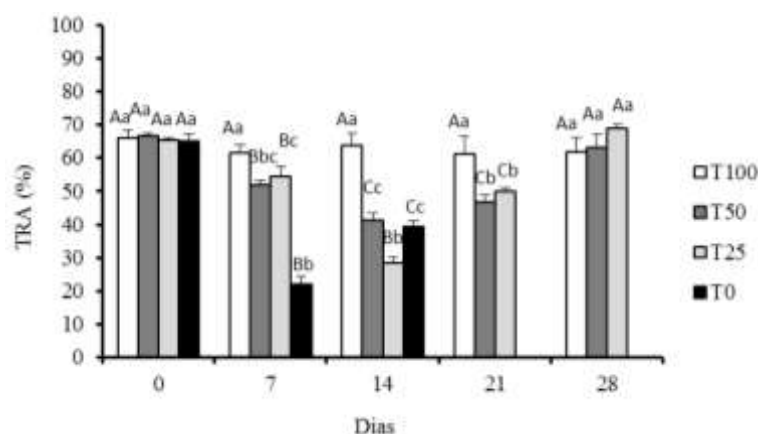


Figura 3. Valores médios de teor Relativo de água (TRA)  $\pm$  erro padrão em plantas jovens de *Triplaris gardneriana* submetidas à quatro regimes de reposição de água perdida por evapotranspiração. Médias seguidas de letras iguais maiúsculas não diferiram entre os dias de avaliação e iguais minúsculas entre os tratamentos dentro do mesmo dia pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores de TRA variaram de 21,96% a 69% durante os 28 dias de avaliação. Diferenças significativas entre os tratamentos foram observadas no sétimo dia de avaliação, com valores médios de 51,86%, 54,30% e 21,96%, para os T50, T25 e T0, respectivamente (Figura 3).

Por meio destes dados foi possível observar que o pajeú não conseguiu manter a turgescência de seus tecidos em situações de déficit hídrico, sofrendo intensa dessecação. Quando a planta não consegue manter seu status hídrico acima do CRAC (conteúdo relativo de água crítico) é observada a queda das folhas de forma progressiva, com o objetivo de diminuir as perdas de água por transpiração (Fioreze et al., 2011), conforme observado para a *T. gardneriana*.

O teor relativo de água apresentou discreto aumento após a reidratação das plantas tratadas, reestabelecendo seus valores aos do grupo controle somente na última semana de avaliação, com TRA médio de 64,71%. A recuperação das plantas sob déficit hídrico demonstra que não foram causados danos irreversíveis à capacidade de absorção de água pelas raízes e ao seu transporte para a parte aérea (Albuquerque et al., 2013).

Em plantas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) foi observada redução significativa no teor relativo de água para o grupo com suspensão de rega com valores de 70%, quando comparados ao controle que estava entre 82% e 91% (Costa et al., 2015). Esses mesmos autores verificaram que o teor relativo de água é bastante variável de acordo com a espécie vegetal e o nível de estresse imposto. Além disto, em experimentos realizados com plantas acondicionadas em vasos, o déficit hídrico se desenvolve de maneira mais intensificada e rápida devido à redução da área efetiva para a expansão radicular (Fernandes et al., 2014).

As reduções significativas observadas para o TRA sugerem que a *T. gardneriana* não utiliza o ajustamento osmótico como um mecanismo para manter o equilíbrio hídrico mediante situações de déficit de água.

Os resultados de tolerância protoplasmática foliar demonstraram que o déficit hídrico severo ocasionou danos nas estruturas membranares (Tabela 2).

O PIA apresentou seus valores entre 40,8% e 76,8%, sendo o menor valor correspondente ao do T0 no sétimo dia de avaliação, o que representa uma redução de aproximadamente 37% em relação ao T100. O T25 também reduziu significativamente o valor da PIA (redução de ~19% comparado ao controle) a partir do 14º dia, com média de 50,9%. Padrão semelhante foi observado também para PIR, com reduções significativas para o T0 e T25, no 7º dia (PIR=66,3) e 14º dia (PIR =81,6), respectivamente.

Quanto ao PD, os dados mostraram um dano significativo causado no T0 com valor de 33,65% seguido pelo valor de 18,41% do T25. A reposição de 50% de água perdida

por evapotranspiração não ocasionou danos membranares, pois apresentaram valores médios de PIA de 72%, PIR de 108,6% e PD de -8,58%.

Tabela 2. Valores médios de percentual de integridade absoluta (PIA); percentual de integridade relativa (PIR) e percentual de danos (PD)  $\pm$  erro padrão em plantas jovens de *Triplaris gardneriana* submetida à quatro regimes de reposição de água perdida por evapotranspiração. Médias seguidas de letras iguais maiúsculas não diferiram entre os dias de avaliação e iguais minúsculas entre os tratamentos dentro do mesmo dia pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. N=24.

| PIA (%)    |                     |                       |                      |                     |                       |
|------------|---------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|
| Tratamento | Dias de avaliação   |                       |                      |                     |                       |
|            | 0                   | 7                     | 14                   | 21                  | 28                    |
| T100       | 70,5 $\pm$ 1,73 Aa  | 64,6 $\pm$ 4,75 Aa    | 62,7 $\pm$ 1,10 Aab  | 72,7 $\pm$ 1,23 Aa  | 68,8 $\pm$ 5,26 Aa    |
| T50        | 71,7 $\pm$ 1,96 Aa  | 71,9 $\pm$ 1,85 Aa    | 66,5 $\pm$ 1,56 Aa   | 74,8 $\pm$ 1,06 Aa  | 75,0 $\pm$ 0,91 Aa    |
| T25        | 71,5 $\pm$ 1,61 Aa  | 71,8 $\pm$ 2,53 Aa    | 50,9 $\pm$ 5,67 Bb   | 76,8 $\pm$ 1,42 Aa  | 76,1 $\pm$ 1,25 Aa    |
| T0         | 70,7 $\pm$ 1,01 Aa  | 40,8 $\pm$ 4,93 Bb    | 59,1 $\pm$ 6,81 Cab  | -                   | -                     |
| PIR (%)    |                     |                       |                      |                     |                       |
| T50        | 102,0 $\pm$ 3,71 Aa | 116,0 $\pm$ 12,85 Aa  | 106,2 $\pm$ 3,30 Aa  | 103,2 $\pm$ 2,46 Aa | 115,6 $\pm$ 11,07 Aa  |
| T25        | 101,5 $\pm$ 1,98 Aa | 114,6 $\pm$ 10,35 Aa  | 81,6 $\pm$ 9,94 Bb   | 106,1 $\pm$ 2,08 Aa | 115,7 $\pm$ 10,61 Aa  |
| T0         | 100,7 $\pm$ 3,26 Aa | 66,3 $\pm$ 10,87 Bb   | 93,5 $\pm$ 10,00 Aab | -                   | -                     |
| PD (%)     |                     |                       |                      |                     |                       |
| T50        | -2,00 $\pm$ 3,71 Aa | -15,96 $\pm$ 12,85 Aa | -6,15 $\pm$ 3,30 Aa  | -3,16 $\pm$ 2,46 Aa | -15,61 $\pm$ 11,07 Aa |
| T25        | -1,52 $\pm$ 1,98 Aa | -14,64 $\pm$ 10,35 Aa | 18,41 $\pm$ 9,94 Bb  | -6,14 $\pm$ 2,08 Aa | -15,73 $\pm$ 10,61 Aa |
| T0         | -0,68 $\pm$ 3,26 Aa | 33,65 $\pm$ 10,87 Bb  | 6,45 $\pm$ 10,00 Aab | -                   | -                     |

A provável justificativa para a ocorrência de reduções significativas dos valores de PIA, PIR e aumento do PD dos tratamentos T25 e T0 é que, segundo a classificação de Sinclair e Ludlow (1986), eles já estariam no estágio III de desidratação, o de seca severa, pois reduziram significativamente o teor relativo de água em seus tecidos. Apesar do T50 também ter reduzido seu conteúdo relativo de água, ainda estava no chamado estágio II, o de seca moderada, em que alterações nas membranas ainda não são acentuadas (Pimentel et al., 2002).

Em condições de déficit hídrico, altos valores de PD (com baixos valores de PIA e PIR) indicam uma alteração na composição e estrutura das membranas da célula vegetal, ocasionada, principalmente, pelo aumento na atividade de lipases, proteases, formas ativas de oxigênio (superóxidos) e radicais livres (Roy-Macauley et al., 1992; Zoz et al., 2013). Neste caso, há ruptura e aumento da permeabilidade das membranas, ocasionando a liberação de eletrólitos da célula (Roy-Macauley et al., 1992).

Em um trabalho realizado com aroeira-do-sertão, Mariano e colaboradores (2009) verificaram que no tratamento sob déficit hídrico e sob temperatura elevada de 100°C, as células apresentaram um maior PD. Pimentel e colaboradores (2000) também verificaram que o déficit hídrico induz a liberação de eletrólitos por alteração na

estrutura das membranas, pois verificaram uma maior PD (menor PIA e PIR) para os genótipos de feijão A320, Carioca e BAT 477 após seis dias de déficit hídrico.

Em relação ao acúmulo de solutos orgânicos, as plantas de *T. gardneriana* submetidas à deficiência hídrica apresentaram acréscimos significativos nos teores de proteínas solúveis e prolina livre entre os tratamentos para cada dia de avaliação, enquanto o mesmo não ocorreu para carboidratos solúveis (Tabela 3).

Tabela 3. Valores médios de teor de proteínas solúveis, carboidratos solúveis e prolina livre  $\pm$  erro padrão em plantas jovens de *Triplaris gardneriana* submetidas à quatro regimes de reposição de água perdida por evapotranspiração. Médias seguidas de letras iguais maiúsculas não diferiram entre os dias de avaliação e iguais minúsculas entre os tratamentos dentro do mesmo dia pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. N=24.

| Proteínas Solúveis (mg/g MF)    |                     |                      |                     |                      |                      |
|---------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| Tratamento                      | Dias de avaliação   |                      |                     |                      |                      |
|                                 | 0                   | 7                    | 14                  | 21                   | 28                   |
| T100                            | 4,18 $\pm$ 0,24 BCa | 3,38 $\pm$ 0,25 Bb   | 3,60 $\pm$ 0,33 BCb | 6,10 $\pm$ 0,61 Aa   | 4,82 $\pm$ 0,34 ACa  |
| T50                             | 4,04 $\pm$ 0,25 Ba  | 3,54 $\pm$ 0,34 Bb   | 3,75 $\pm$ 0,57 Bb  | 6,19 $\pm$ 0,31Aa    | 4,86 $\pm$ 0,36 ABa  |
| T25                             | 3,40 $\pm$ 0,27 Ba  | 3,39 $\pm$ 0,28 Bb   | 5,79 $\pm$ 0,25 ACa | 6,50 $\pm$ 0,14 Aa   | 4,58 $\pm$ 0,20 BCa  |
| T0                              | 4,12 $\pm$ 0,18 Ba  | 5,83 $\pm$ 0,49 Aa   | 3,30 $\pm$ 0,37 Bb  | -                    | -                    |
| Carboidratos Solúveis (mg/g MS) |                     |                      |                     |                      |                      |
| T100                            | 25,64 $\pm$ 1,84 Ba | 29,81 $\pm$ 3,40 BCa | 42,42 $\pm$ 3,69 Aa | 37,01 $\pm$ 1,73 ACa | 42,98 $\pm$ 2,80 Aa  |
| T50                             | 25,87 $\pm$ 0,88 Ba | 32,03 $\pm$ 1,34 BCa | 51,26 $\pm$ 1,91 Aa | 40,74 $\pm$ 1,71 ACa | 45,09 $\pm$ 2,31 ADa |
| T25                             | 24,75 $\pm$ 0,52 Ba | 36,19 $\pm$ 2,05 Ca  | 48,11 $\pm$ 4,81 Aa | 41,11 $\pm$ 1,46 CDa | 45,84 $\pm$ 2,99 ACa |
| T0                              | 26,00 $\pm$ 1,59 Ba | 35,74 $\pm$ 2,30 Ca  | 48,98 $\pm$ 2,11 Aa | -                    | -                    |
| Prolina Livre ( $\mu$ mol/g MF) |                     |                      |                     |                      |                      |
| T100                            | 0,22 $\pm$ 0,53 Aa  | 0,63 $\pm$ 0,12 Ab   | -1,51 $\pm$ 0,13 Ab | -1,20 $\pm$ 0,16 Ab  | 2,85 $\pm$ 1,46 Aa   |
| T50                             | 0,97 $\pm$ 0,55 Ba  | 1,00 $\pm$ 0,30 Bb   | 26,17 $\pm$ 3,32 Ac | 29,23 $\pm$ 2,59 Aa  | 3,89 $\pm$ 1,13 Ba   |
| T25                             | 2,96 $\pm$ 0,77 Ba  | 1,10 $\pm$ 0,20 Bb   | 53,42 $\pm$ 3,53 Aa | 31,48 $\pm$ 3,51 Ca  | 7,68 $\pm$ 1,49 Ba   |
| T0                              | 1,46 $\pm$ 0,67 Ba  | 82,55 $\pm$ 9,34 Aa  | 19,63 $\pm$ 3,73 Cc | -                    | -                    |

Segundo Costa et al. (2015), o déficit hídrico pode provocar o acúmulo de solutos osmoticamente ativos, porém, a quantidade e o tipo de soluto depende da espécie vegetal e da duração do período de déficit. No caso do Pajeu, a estratégia de ajustamento osmótico não pôde ser afirmada, pois o acúmulo de solutos osmoticamente ativos provavelmente ocorreu em virtude da dessecação decorrente da perda de turgescência por redução significativa no teor relativo da água.

Em relação à concentração de proteínas solúveis nas folhas de *T. gardneriana* (Tabela 3), observou-se que o déficit hídrico ocasionou aumento significativo para os tratamentos T0 (5,83 mg/g MF) no 7º dia e T25 (5,79 mg/g MF) no 14º dia em relação ao grupo controle (3,38 mg/g MF e 3,60 mg/g MF, respectivamente), enquanto o T50 não apresentou diferenças estatísticas significativas em relação ao controle.

Segundo Taiz et al. (2017), plantas submetidas ao déficit hídrico normalmente apresentam redução na concentração de proteínas solúveis, o que provavelmente

decorre do aumento da atividade enzimática das proteases, enzima que executa a quebra de proteínas.

Embora não tenha ocorrido diferença estatística significativa entre os tratamentos dentro de cada dia de avaliação, foi verificado que para carboidratos, os teores foram um pouco superiores nos tratamentos sob déficit hídrico em relação ao grupo controle. O T0 obteve acréscimos entre 15% e 20% em relação ao controle a partir do sétimo dia, enquanto no T25 os acréscimos foram de 21%, 13% e 11% para os dias 7, 14 e 21. Para o T50 esses acréscimos foram de 20% e 10% nos dias 14 e 21. Aos 28 dias de avaliação, os tratamentos encontravam-se próximos ao controle (Tabela 3).

Segundo Chaves Filho e Stacciarini-Seraphin (2001), esse acúmulo é proveniente da degradação das reservas de amido realizada pela enzima amilase. Em adição, Moura e colaboradores (2016) afirmam que o déficit hídrico pode modificar a concentração de carboidratos devido a mudanças na eficiência de conversão dos fotoassimilados destinados ao desenvolvimentos de partes novas na planta.

Em um estudo realizado com mudas de mangabeira, Silva e colaboradores (2016) verificaram discreto acúmulo de proteínas solúveis e carboidratos nos tratamentos com 40% da CC e, 60% e 20%, respectivamente, mesmo não tendo ocorrido diferenças estatística significativa em relação os tratamento com 80% CC. Moura e colaboradores (2016) também evidenciaram aumento no teor de proteínas e carboidratos em plantas jovens de pinhão-manso para os tratamentos com 60% CC e 40% CC aos 120 dias de avaliação. Ao analisar a concentração de solutos em plantas de aroeira, Costa e colaboradores (2015) não verificou diferença significativa na concentração de proteínas, mas sim na de aminoácidos totais. Além disso, verificou que o déficit hídrico provocou aumento na concentração de açúcares solúveis após o 8º dia após a suspensão da irrigação.

O teor de prolina livre presente nas folhas de pajeú apresentou aumento significativo nos tratamentos submetidos ao déficit hídrico (Tabela 3). Observou-se que o T0 aumentou em cerca de 130 vezes (82,55  $\mu\text{mol/g}$  MF) o teor de prolina livre em relação ao controle (0,63  $\mu\text{mol/g}$  MF) no sétimo dia de avaliação, enquanto que no T25 e T50 esse aumento foi de aproximadamente 34% e 18% e de 26% e 25% nos dias 14 e 21, respectivamente.

De acordo com Hanson (1980), o teor de prolina em plantas submetidas à deficiência hídrica pode aumentar de 20 a 100 vezes em relação às plantas bem irrigadas. Para a *T. gardneriana* foi possível observar que nos tratamentos sob déficit

hídrico, principalmente o severo, essa faixa foi atingida. Mesmo não podendo afirmar que o Pajeu utilizou a estratégia de ajustamento osmótico devido ao decréscimo no teor relativo de água, solutos como a prolina podem também desempenhar outras funções além da osmorregulação. Tal soluto pode funcionar, inclusive, na osmoproteção, mantendo a integridade de membranas, a fim de evitar a desnaturação protéica, e macromoléculas, através da remoção de espécies reativas a oxigênio (Larcher, 2006; Morando et al., 2014).

Em um estudo realizado com 10 espécies da Caatinga no início da estação seca, Silva e colaboradores (2004) verificou aumento significativo nos teores de prolina livre em *Caesalpinia pyramidalis*, *Bauhinia cheilantha* e *Croton campestris*. Os autores afirmam que esse acúmulo pode representar um mecanismo de sobrevivência ao período de estresse, em função de um melhor ajustamento osmótico. Resultados semelhantes foram observados por Silva e colaboradores (2016) em plantas de mangabeira, tendo sido observado o acúmulo significativo de prolina livre para os tratamentos com 60% e 40% da capacidade de campo. Moura e colaboradores (2016) também observaram acréscimo no teor de prolina livre em plantas jovens de *Jatropha curcas* aos 60, 90 e 120 dias de avaliação, mesmo não tendo sido detectadas diferenças significativas entre os tratamentos testados (100% CP, 80% CP, 60% CP e 40% CP).

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem inferir que plantas de pajeú submetidas ao déficit hídrico, ao reduzirem rapidamente o potencial hídrico foliar e o teor relativo de água em seus tecidos, provocam uma maior desestabilização das membranas, ocasionando um elevado percentual de danos membranares nos tratamentos com irrigação deficitária severa (T0 e T25). Além disso, foi possível verificar acúmulo significativo de proteínas solúveis e prolina livre à medida que o déficit hídrico se intensificava. Tendo em vista que o teor de carboidratos, muito embora tenha apresentado aumento em sua concentração, não foi suficiente para demonstrar significância entre tratamentos para cada dia de avaliação. Não foi possível constatar que o Pajeu utilizou o ajustamento osmótico como mecanismo de resistência à seca em virtude da redução significativa no teor relativo de água nos tecidos.



## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Sergipe, por todo o apoio logístico e estrutural, à CAPES pela concessão da bolsa, ao Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação (PPEC) pelo apoio acadêmico e administrativo e ao Laboratório de Botânica Aplicada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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, n.1, p. 9-16, 2013.

Ashwell, G. Colorimetric analysis of sugar In: **Methods in Enzymology**, volume III. Eds. S.P. Colowick and N.O. Kaplan. Academic Press, 1957.

Barrs, H. D.; Weatherley, P. E. A re-Examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. **Australian Journal of Biological Sciences**, Melbourne, v. 15, p. 413-428, 1962.

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

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

Chaves Filho, J. T.; Stacciarini-Seraphin, E. Alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos solúveis em plantas de lobeira (*Solanum lycocarpum* St.Hil.) em resposta ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 24, n. 2, p.199-204, 2001.

Costa, A. S.; Freire, A. L. de O.; Bakke, I. A.; Pereira, F. H. F. Respostas fisiológicas e bioquímicas de plantas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) ao déficit hídrico e posterior recuperação. **Irriga**. Botucatu. v. 20, n. 4, p. 705-717, 2015.

Fernandes, E. T.; Cairo, P. A. R.; Novaes, A. B. Respostas fisiológicas de clones de eucalipto cultivados em casa de vegetação sob deficiência hídrica. **Ciência Rural**. Santa Maria. v. 45, n. 1, p. 29-34, 2015.

Fioreze, S. L.; Pivetta, L. G.; Fano, A.; Machado, F. R.; Guimarães, V. F. Comportamento de genótipos de soja submetidos a déficit hídrico intenso em casa de vegetação. **Revista Ceres**. Viçosa. V. 58, n. 3, p. 342-349, 2011.

Hanson, A. D. Interpreting the metabolic responses of plants to water stress. **HortScience**, Alexandrina, v. 5, p. 623-629, 1980.

Kerbaudy, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012.

Larcher, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos, SP: Rima Artes e Textos, 2006. 531 p.

Mariano, K. R.; 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. submetida ao déficit hídrico. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 1, p. 72-77, 2009.

Marques, R. P.; Freire, C. S.; Nascimento, H. H. C.; Nogueira, R. J. M. C. Relações hídricas e produção de pigmentos fotossintéticos em mudas de *Eugenia Uniflora* I. sob condições de salinidade. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, p. 497-509, 2011.

Matos, F. S.; Torres Junior, H. D.; Rosa, V. do R.; Santos, P. G. de F.; Borges, L. F. de O.; Ribeiro, R. P.; Neves, T. G.; Cruvinel, C. K. L. Estratégia morfofisiológica de tolerância ao déficit hídrico de mudas de pinhão manso. **Magistra**, v. 26, n. 1, p. 19-27, mar. 2014.

Morando, R.; Silva, A. O. da; Carvalho, L. C.; Pinheiro, M. P. M. A. Déficit hídrico: efeito sobre a cultura da soja. **Journal of Agronomic Sciences**. Umuarama. v. 3, n. especial, p. 114-129, 2014.

Moura, A. R. de; Nogueira, R. J. M. C.; Silva, J. A. A. da; Lima, T. V. de. Relações hídricas e solutos orgânicos em plantas jovens de *Jatropha curcas* L. sob diferentes regimes hídricos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 345-354, 2016.

Pimentel, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: EDUR, 2004. 192p.

Pimentel, C.; Benoit, S.; Diouf, O.; Abboud, A. C. de S.; Roy-Macauley, H. Tolerância protoplasmática foliar à seca em dois genótipos de caupi cultivados em campo. **Revista Universidade Rural**, Série Ciências da Vida. v. 22, n. 1, p.07-14, 2002.

Pimentel, C. et al. Leaf protoplasmatic tolerance to water stress in bean genotypes. **Physiology and Molecular Biology of Plants**. v. 6, p. 15-20, 2000.

Roy-Macauley, H.; Zuily-Fodil, Y.; Kidric, M.; Pham Thi, A. T.; Vieira da Silva, J. Effect of drought stress on proteolytic activities in Phaseolus and Vigna leaves from sensitive and resistant plants. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 85, p. 90-96, 1992.

Scholander P.F.; Hammel, H. T.; Hemmingsen, E. A.; Bradstreet, E. D. Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of mangroves and some other plants. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, USA, v.52, p.119–125, 1964.

Seixas, A. A.; Gomes, V. M.; Serafim, V. F.; Viana, W. de A. Déficit hídrico em plantas forrageiras–revisão de literatura. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, v. 24, p. 1–14, 2015.

Silva, E. C. da; Prado, T. B.; Alcântara, R. N. de; Silva Junior, C. D. da; Nogueira, L. C. Different levels of water deficit induces changes in growth pattern but not in

chlorophyll fluorescence and water relations of *Hancornia speciosa* seedlings. **Scientia Plena**. v. 12. n. 2, 2016.

Silva, E. C. da; Nogueira, R. J. M. C.; Azevedo Neto, A. D. de; Brito, J. Z. de; Cabral, E. L. Aspectos ecofisiológicos de dez espécies em uma área de caatinga no município de Cabaceiras, Paraíba, Brasil. **Iheringia**. Série Botânica., v. 59, n. 2, p. 201–205, jul. 2004.

Sinclair, T. R.; Ludlow, M. M. Influence of soil water supply on the plant water balance of four tropical grain legumes. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 13, p. 329-341, 1986.

Sousa, 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**, Campina Grande, v.4, p. 338-342, 2000.

Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I. M.; Murphy, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6ª edição. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

Vasquez-Tello, A.; Zuily-Fodil, Y.; Pham-Thi, A. T.; Vieira da Silva, J. B. Electrolyte and Pi leakages and soluble sugar content as physiological tests for screening resistance to water stress in *Phaseolus* and *Vigna* species. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 41, p. 827-32, 1990.

Zoz, T.; Steiner, F.; Guimarães, V. F.; Castagnara, D. D.; Meinerz, C. C.; Fey, R. Peroxidase activity as an indicator of water deficit tolerance in soybean cultivars. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v.29, suplemento 1, p.1664-1671, 2013.