



Respostas fisiológicas de mudas de *Aspidosperma pyrifolium* (Apocynaceae) à ciclos de suspensão de rega

Physiological responses of *Aspydosperma pyrifolium* (Apocynaceae) seedlings to withholding water cycles

R. S. Freitas¹; E. C. Silva^{1*}

¹Departamento de Biologia/Laboratório de Fisiologia e Ecofisiologia Vegetal/, Universidade Federal de Sergipe, 49100000, São Cristóvão-SE, Brasil

*elizaciriaco@gmail.com

(Recebido em 16 de novembro de 2017; aceito em 05 de maio de 2018)

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o crescimento e desenvolvimento inicial de plantas jovens de *Aspidosperma pyrifolium* Mart. quando submetidas a déficit hídrico em casa de vegetação. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três tratamentos hídricos [rega diária como controle (C) e intervalos de sete (E-7) e quatorze dias (E-14) entre regas], com onze repetições por tratamento, durante 98 dias. Foram avaliados altura, diâmetro do caule, número de folhas, teor relativo de água (TRA), tolerância protoplasmática, clorofila, área foliar e produção de matéria seca. Houve diferença significativa entre os tratamentos. As plantas estressadas se desenvolveram melhor que o tratamento controle em praticamente todas as variáveis observadas. Não houve diferença significativa para o TRA e índice de clorofila. Os resultados demonstram que *A. pyrifolium* não sofre alterações morfofisiológicas significativas quando submetidas a seca intermitente. Na verdade, o estresse parece atuar como um promotor de crescimento e desenvolvimento para a espécie na fase inicial.

Palavras-chave: déficit hídrico, pereiro, crescimento e desenvolvimento

The aim of this work was to evaluate the initial growth and development of young plants of *Aspidosperma pyrifolium* Mart. submitted to water deficit in green house conditions. A completely randomized design was used with three water treatments (daily irrigation as control near to field capacity and cycles of withholding water with seven and fourteen-days intervals as E7 and E14, respectively), with 11 replication. The experiment lasted 98 days. Plant height, stem diameter, number of leaves, relative water content (RWC), protoplasmic drought-tolerance, chlorophyll content, leaf area and dry matter production were evaluated. Significant differences were found between treatments. Stressed plants had a better performance than control ones in almost all parameters. About RWC and chlorophyll content there were not significant differences among treatments. These results suggest that *A. pyrifolium* is a drought-tolerant species. In true, to this species, the stress seems acting as a growth promoter agent, for stimulating a better development in the intial phase.

Keywords: drought stress, pereiro, growth and development

1. INTRODUÇÃO

Projeções futuras que utilizam modelos climáticos apontam que regiões áridas e semiáridas tenderão a se tornar cada vez mais quentes e secas pelos próximos anos [1]. Variabilidades das chuvas, degradação do solo e desertificação são alguns dos fatores que, em conjunto, podem posicionar essas regiões como as mais vulneráveis com as mudanças climáticas [2, 1].

Uma baixa disponibilidade hídrica no solo é um fator limitante para o crescimento e desenvolvimento das espécies em todo o mundo. Essa condição limitante para a sobrevivência parece atuar como um filtro ambiental, principalmente em florestas tropicais secas, ocasionando morte das espécies e mudança na paisagem local [3].

Diante de tal cenário cada espécie tem suas estratégias para retardar e tolerar a desidratação nos seus tecidos. De um modo geral, os organismos respondem à seca por meio de mudanças na sua forma, estrutura, metabolismo e processos bioquímicos que, em conjunto, podem conferir tolerância à seca [4].

A seca é um fator de estresse que pode atuar diretamente na inibição da fotossíntese e transpiração, fechamento estomático, redução de matéria seca e conseqüente declínio na taxa de

crescimento [5, 6]. Por outro lado, pode induzir mudanças na estrutura e fisiologia das plantas, capacitando-as a se desenvolverem em ambientes com reduzida disponibilidade de água no solo.

Alguns trabalhos destacam a inversão no padrão de crescimento das plantas como uma característica marcante de espécies xerófilas para tolerarem períodos de seca [6, 7]. Porém, nem todas as espécies que ocorrem em áreas semiáridas apresentam essa característica de xeromorfismo [8, 9], apresentando outras estratégias que permitam sua permanência nestes ambientes.

Aspidosperma pyrifolium Mart. é uma espécie de ampla distribuição geográfica, com maior ocorrência no bioma Caatinga. No entanto, estudos envolvendo a fisiologia e crescimento inicial da *A. pyrifolium* são escassos, destacando-se trabalhos referentes a aspectos morfológicos [10, 3], eficiência quântica [11] e germinação [12]. Embora os efeitos negativos do déficit hídrico sobre as plantas sejam bastante conhecidos [13, 14, 15, 16], acredita-se que os mecanismos utilizados por muitas espécies ocorrentes na Caatinga ocorrem com intensidades variáveis e ainda são pouco estudados.

Uma vez que os efeitos da seca na fase inicial do crescimento de *A. pyrifolium* ainda são escassos, pergunta-se se a espécie tolera períodos de seca na fase inicial do desenvolvimento modificando o padrão de crescimento, e se as mudanças provocadas pela seca são consideradas deletérias ou positivas. Sendo assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o crescimento e alguns aspectos fisiológicos de mudas de *A. pyrifolium* na fase inicial do desenvolvimento, quando submetidas a déficit hídrico por diferentes ciclos de suspensão da rega.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação e Laboratório de Fisiologia e Ecofisiologia Vegetal da Universidade Federal de Sergipe (UFS). As sementes foram cedidas pela Rede de Sementes da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), localizada em Petrolina-PE. As sementes foram colocadas para germinar em bandejas contendo areia lavada e, após a emergência, foram transferidas para vasos com capacidade para 3L contendo terra vegetal, sendo regadas diariamente próximas à capacidade de campo durante um período de aclimação de aproximadamente 15 dias. Após este período, deu-se início a diferenciação dos tratamentos com déficit hídrico por ciclos de suspensão da irrigação. O período experimental durou 98 dias.

O delineamento experimental constituiu-se de um desenho inteiramente casualizado, com três tratamentos hídricos [rega diária como controle (C), próxima a capacidade de campo] e intervalos de sete (E-7) e quatorze dias (E-14) entre regas, com onze repetições por tratamento.

O crescimento foi avaliado semanalmente mensurando-se os seguintes parâmetros: altura das plantas (cm), o número de folhas e o diâmetro basal do caule (mm). Ao final do período experimental foi determinada a área foliar, determinada a produção de matéria seca e calculada a partição de biomassa para os diversos órgãos.

A área foliar foi determinada utilizando-se o método dos contornos foliares [17]. O método consiste na impressão dos contornos das folhas em papel de densidade bastante homogênea, os quais são recortados e pesados, e comparado com o peso de contornos de área conhecida com o mesmo papel. Utilizando-se balança de precisão se obtém o peso dos contornos foliares (P_{cf}), e o peso da área conhecida (P_{ac}) e a área conhecida do papel (a_{cp}). Por meio de regra de três, estima-se a área real dos contornos foliares (A_{cf}), como segue:

$$A_{cf} = (P_{cf} \times a_{cp}) / P_{ac}. [17].$$

Para a determinação da massa seca (PMS), as plantas foram coletadas, acondicionadas em sacos de papel e levadas a estufa (70 °C) até atingirem peso constante. Após a secagem o material foi pesado e determinado o peso da matéria seca da raiz (MSR), caule (MSC) e folhas (MSF). Com esses dados foi possível calcular a partição de biomassa para os diferentes órgãos da planta (expresso em porcentagem), a razão parte aérea/raiz (Pa/R), a área foliar específica (AFE) e razão de área foliar (RAF) [17].

Os índices de clorofila *a*, *b* e total foram determinados quinzenalmente, utilizando-se um clorofilômetro da Falker. Foram realizadas cerca de 10 medidas por planta e o resultado expresso em ICF (índice de clorofila Falker) [18].

O teor relativo de água (TRA) foi determinado de acordo com a metodologia descrita por Cairo (1995) [19], através da determinação do peso da matéria fresca (PMF), túrgida (PMT) e seca (PMC) de discos do limbo foliar. O TRA foi calculado utilizando-se a seguinte equação:

$$\text{TRA} = \text{PMF-PMS/PMT-PMS} \times 100 \text{ (Weatherley et al., 1950) [20]}$$

O percentual de danos nas membranas foi avaliado através da liberação de eletrólitos de discos de folhas. Foram retirados seis discos de 1 cm de diâmetro da região do limbo foliar de cinco plantas de cada tratamento, os quais foram imersos em 10 ml de água destilada por 24 h. Após este período foi medida a condutividade livre (CL) com um condutivímetro portátil da PHTECH CD203. Após a medição da condutividade livre os tubos de ensaio contendo os discos foliares foram colocados em banho-maria a 100°C por 1 hora. Em seguida foi feito o resfriamento dos tubos e mediu-se novamente a condutividade elétrica, sendo essa a condutividade total (CT). A partir destes dados foi calculada a porcentagem de integridade absoluta (PIA=1-CL/CT), a porcentagem de integridade relativa (PIR=PIA de plantas estressadas/PIA de plantas irrigadas X 100) e a porcentagem de danos na membrana (PD=100-PIR) (Vasquez-Telli *et al.*, 1990) [21].

Os dados obtidos foram tabulados, testados quanto à normalidade e submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a um nível de significância de 5%. Regressão linear foi utilizada para os parâmetros de crescimento ao longo do tempo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme equação de regressão observou-se resposta linear na altura das plantas, diâmetro do caule e número de folhas, com melhor desenvolvimento nas plantas estressadas (Figura 1). De maneira geral, os regimes de restrição hídrica não afetaram o crescimento inicial de *A. pyrifolium*. Ao contrário, as plantas estressadas apresentaram um melhor crescimento do que as plantas controle (Figura 1).

A área foliar (AF), matéria seca da folha (MSF), matéria seca do caule (MSC), matéria seca da raiz (MSR) e matéria seca total (MST) também aumentaram nas plantas estressadas (Figuras 2 e 3). No entanto, a área foliar específica (AFE) não diferiu significativamente entre os tratamentos e a razão de área foliar (RAF) foi maior nas plantas E-14 (Figura 2), mostrando que um estresse periódico, que ocorre em níveis não letais, pode atuar como um promotor de crescimento e desenvolvimento para *A. pyrifolium* [5].

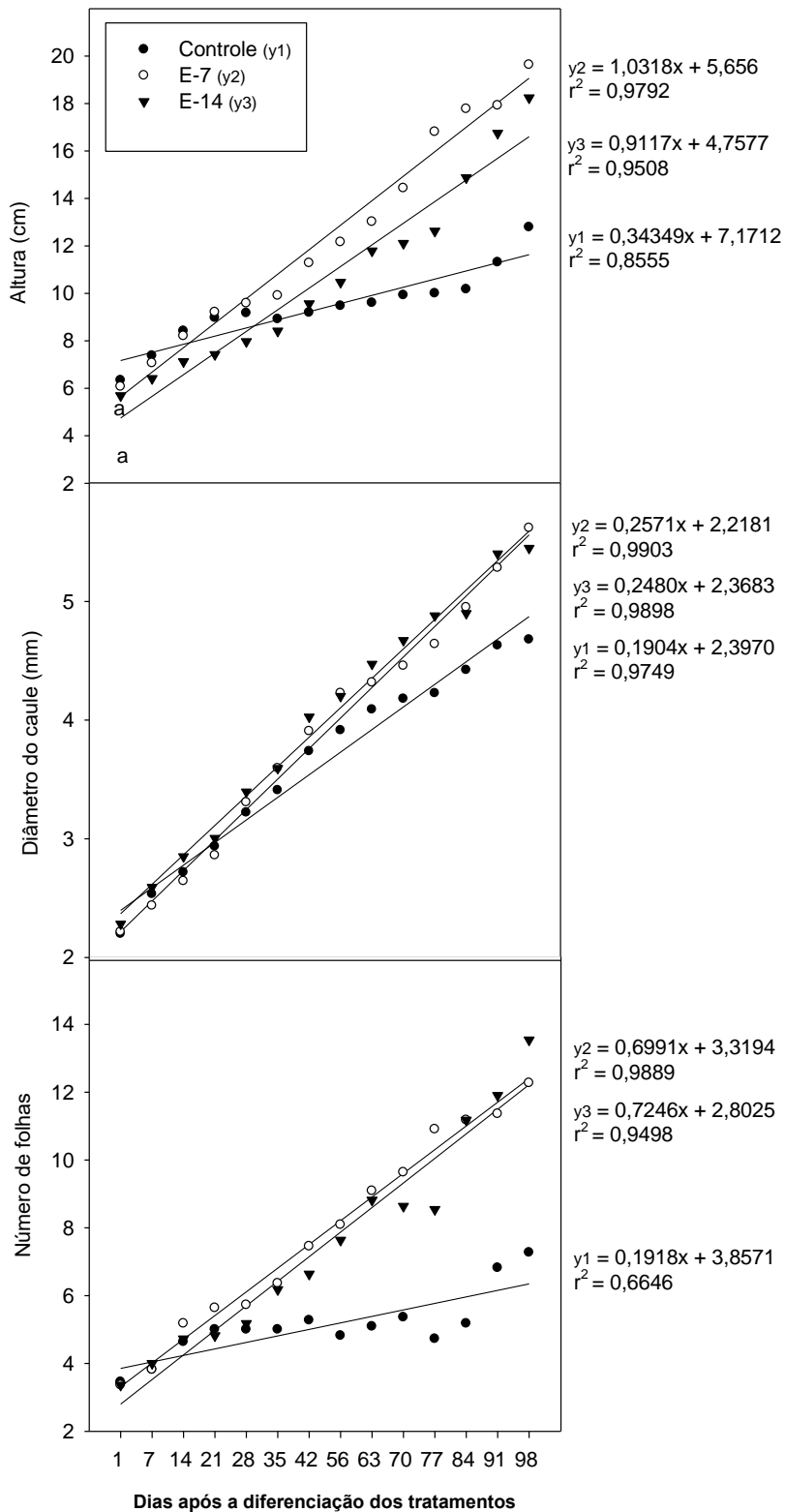


Figura 1: Altura, diâmetro do caule e número de folhas de mudas de *Aspidosperma pyrifolium* Mart. cultivadas em casa de vegetação sob diferentes ciclos de rega (C, rega diária, E7 e E14, intervalos de sete e quatorze dias entre regas, respectivamente).

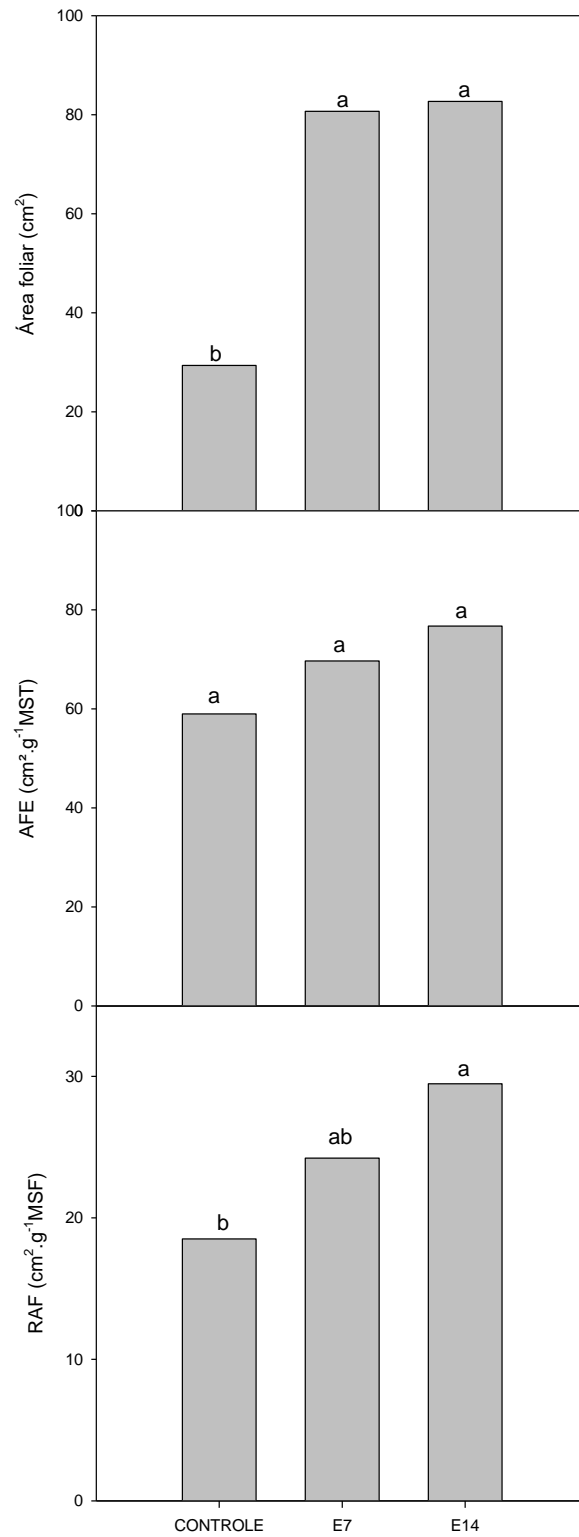


Figura 2: Área foliar (AF), Área foliar específica (AFE) e razão de área foliar (RAF) em mudas de *Aspidosperma pyrifolium* Mart. cultivadas sob diferentes níveis de restrição hídrica em casa de vegetação. Letras iguais entre os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey a probabilidade de 5%.

Os parâmetros de crescimento avaliados no presente trabalho mostram que o estresse hídrico imposto não afetou de forma negativa o crescimento de *A. pyrifolium*. Em todas as variáveis observadas o déficit hídrico induzido parece ter promovido um melhor crescimento, emissão de novas folhas e desenvolvimento das plântulas em relação ao controle (Figura 1). Essa capacidade de crescimento, mesmo sob condição de privação hídrica, pode estar intimamente ligada com uma maior eficiência no uso da água pela espécie, embora esse parâmetro não tenha sido avaliado. No entanto, os resultados levam a crer que *A. pyrifolium* lança mão dessa estratégia para manter o crescimento e garantir a sua permanência no ambiente sob um regime de privação hídrica.

A emissão de novas folhas (Figura 1) sob estresse pode garantir uma maior área fotossintetizante que supra as necessidades da planta. Aliado a isso, a espécie ainda consegue manter a turgescência dos seus tecidos, o que, em conjunto, podem ter conferido um incremento no seu crescimento, mesmo sob estresse. Comparando estes resultados com outras espécies ocorrentes na Caatinga, mas não endêmicas, verificamos que algumas não apresentam esse tipo de comportamento em relação à seca, havendo redução no crescimento em situação de déficit hídrico no solo, como observado para *Erythrina velutina* [8] e *Enterolobium contortisiliquum* [22]. Esses resultados demonstram a variação de respostas para espécies que habitam regiões semiáridas.

Como visto anteriormente, as plantas estressadas apresentaram maior área foliar (AF) quando comparadas ao controle (Figura 2). A área foliar é um fator intimamente associado com a disponibilidade hídrica, devido à dependência da pressão de turgor para o alongamento celular. Logo, esta tende a ser primariamente inibida em condições de déficit hídrico [23]. Quanto maior a disponibilidade hídrica no solo, maior tende a ser a área foliar [8, 6].

No entanto, as plântulas de *A. pyrifolium* não reduziram sua área foliar em condição de restrição hídrica (Figura 2), possivelmente porque a espécie mantém a turgescência de suas células, garantindo a expansão. O aumento da razão de área foliar (RAF) (Figura 2) nas plântulas estressadas de *A. pyrifolium* indicam uma redução na eficiência foliar da espécie sob condição mais severa (E14), sendo necessário aumentar a área foliar para continuar produzindo a mesma quantidade de massa seca, o que pode ser notado no presente estudo (Figura 2).

Segundo Benincasa (2003) [17], a área foliar específica (AFE) é o componente morfológico e anatômico da razão de área foliar (RAF), uma vez que esta relaciona a área de superfície com o peso da própria folha (matéria seca). Sendo assim, uma menor AFE implicaria maior exportação de fotoassimilados da folha para outros órgãos, representando um caráter de xeromorfismo [8]. Esse comportamento, no entanto, não foi observado nas plântulas estressadas de *A. pyrifolium* (Figura 2).

A produção de matéria seca e a relação parte aérea/raiz também não foram afetadas pelo estresse (Figura 3). Ao contrário, o estresse induziu uma melhor produção de matéria seca para as plantas. No entanto, houve diferença na partição de fotoassimilados entre as plantas controle e as mais estressadas (Figura 3), onde as plantas E-14 aumentaram a partição para as folhas, enquanto que a partição para a raiz não diferiu entre os tratamentos. Esse comportamento em *A. pyrifolium* não é considerado uma característica xeromórfica. O esperado seria um crescimento radicular mais acentuado em condição de baixa disponibilidade hídrica, para garantir uma melhor exploração da umidade do solo [24].

A partição de recursos para os diversos órgãos na planta é uma análise que permite ter uma visão da translocação de fotoassimilados, como também da absorção de CO₂ usado na construção de esqueleto de carbono, e sua análise facilita bastante a compreensão do comportamento vegetal em termos de produtividade [9, 17].

Nascimento (2011) [9], Martins et al. (2010) [25], Villagra & Cavagnaro (2006) [26] e Singn & Singn (2003) [27] encontraram reduções na matéria seca para diversos órgãos nas plantas quando submetidas a déficit hídrico, divergindo com os resultados aqui encontrados.

A. pyrifolium não apresentou diferença na relação parte aérea/raiz (Pa/R) entre plantas controle e estressada. Esse comportamento diferenciado em *A. pyrifolium* em relação a outras espécies sob déficit hídrico, nos dá indício de que a espécie não lança mão da estratégia de inversão no padrão de crescimento em seu desenvolvimento inicial, onde garantir um sistema radicular profundo é essencial para manter o influxo de água em condições mais severas.

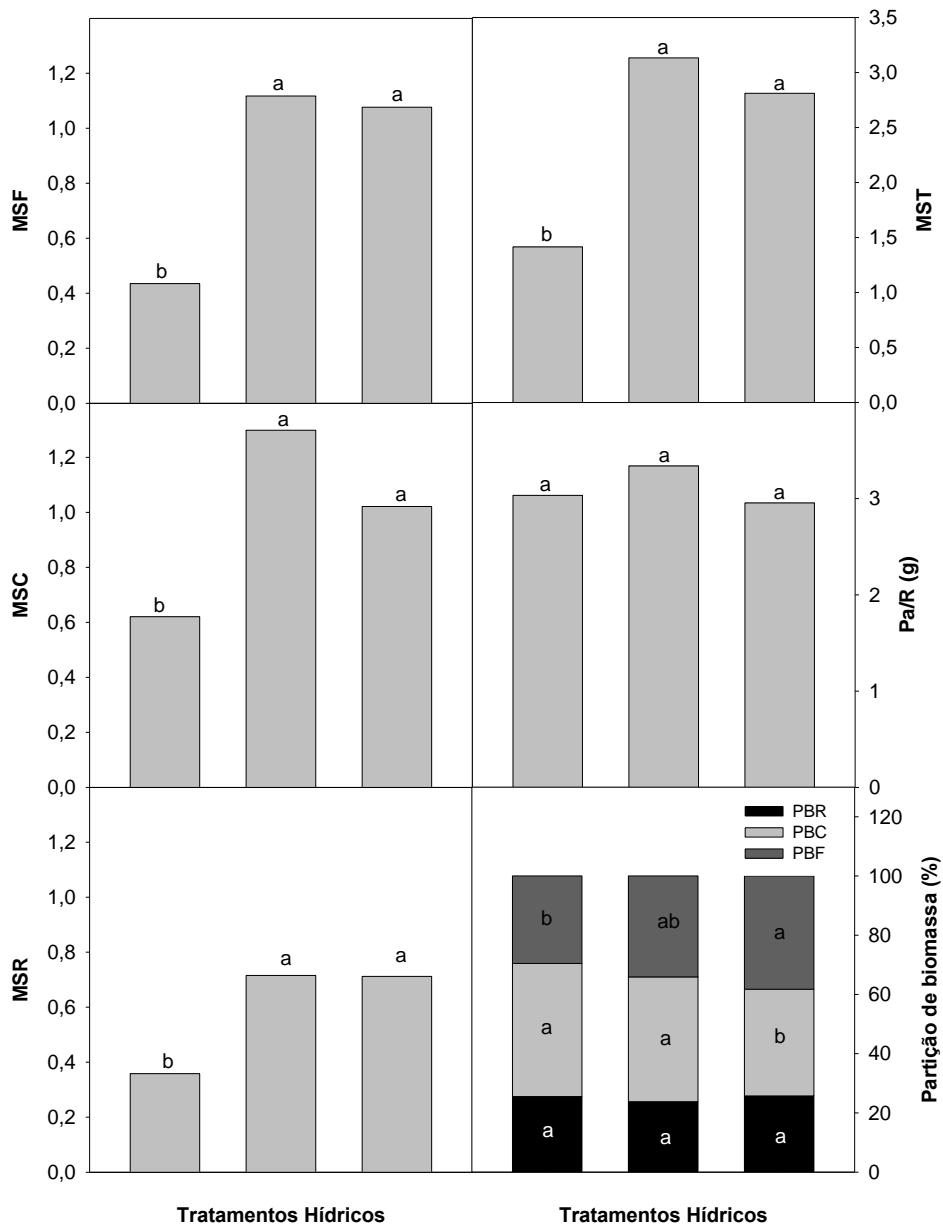


Figura 3: Matéria seca das folhas (MSF), Matéria seca do caule (MSC), Matéria seca da raiz (MSR), e Matéria seca total (MST) de mudas de *Aspidosperma pyrifolium* Mart. submetidas a diferentes níveis de água no solo. Letras iguais entre os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey a probabilidade de 5%

O resultado da tolerância protoplasmática foliar à seca nos mostra que aos 70 dias após a diferenciação dos tratamentos (DAD) as plantas estressadas apresentaram danos em suas membranas em relação ao controle (Tabela 1). No entanto, aos 98 DAD as plantas estressadas apresentaram valores negativos de percentagem de danos nas membranas (PD) em relação ao controle (Tabela 1), o que nos dá indício de uma maior estabilidade em suas membranas, mesmo sob déficit hídrico mais severo.

De forma semelhante, o déficit hídrico imposto exerceu pouco efeito sobre o teor relativo de água (TRA) nas folhas, não havendo diferenças significativas entre os tratamentos hídricos aos 70 e 98 DAD (Figura 4). Os valores do TRA ao meio-dia nas plantas de *A. pyrifolium* variaram de 60,77 a 76,32% (Figura 4).

Esses resultados indicam que, em intervalos de até quatorze dias sem água, *A. pyrifolium* consegue manter um nível adequado de hidratação dos seus tecidos. A manutenção do conteúdo hídrico dos tecidos favorece a continuidade dos ritmos de crescimento, divisão e alongação celular [5] e de processos vitais, como fotossíntese [13]. Em situação de seca, a manutenção do TRA pode se dar através do fechamento dos estômatos, como observado em mudas de *Erythrina velutina* [8], ou devido ao acúmulo de solutos orgânicos osmoticamente ativos [28].

Tabela 1: Porcentagem de integridade absoluta (PIA), porcentagem de integridade relativa (PIR) e porcentagem de dano (PD) em mudas de *Aspidosperma pyrifolium* Mart. cultivadas em casa de vegetação sob condição de estresse hídrico aos 70 e 98 dias após a diferenciação dos tratamentos.

Treatmento	CL	CT	PIA (%)	PIR (%)	PD (%)
70 DAD					
Controle	51,6 a	198,6 a	73,6 a	-	-
E7	69,2 a	225,4 a	68,3 a	92,8	7,1
E14	83,6 a	233,6 a	64,2 a	87,2	12,7
98 DAD					
Controle	94 a	277,6 a	66,2 a	-	-
E7	82,6 a	239,6 a	66,3 a	100,1	-0,13
E14	63 a	214,4 a	69,9 a	105,5	-5,55

Letras iguais entre os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey a probabilidade de 5%.

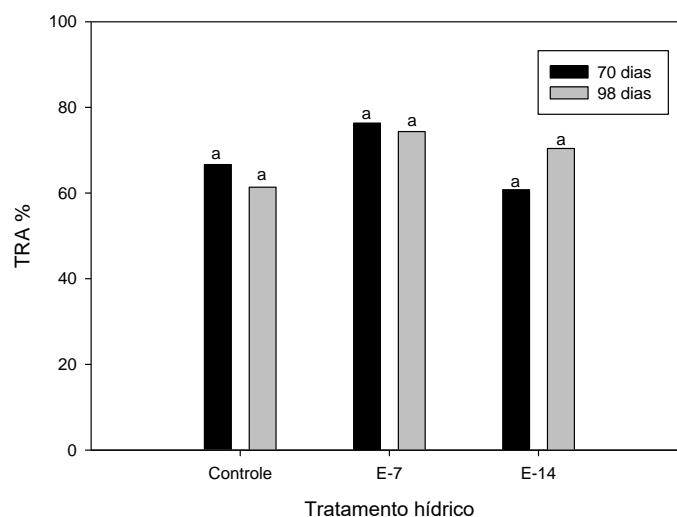


Figura 4: Teor relativo de água (TRA) em mudas de *Aspidosperma pyrifolium* Mart. submetidas a estresse hídrico em casa de vegetação 70 e 98 dias respectivamente após a diferenciação dos tratamentos. Letras iguais entre os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey a probabilidade de 5%

Observações de campo com a espécie *A. pyrifolium* em área semiárida mostram a estrita relação que a espécie tem com as flutuações da precipitação, demonstrando que a mesma apresenta um caráter anisotrófico, reduzindo seu potencial hídrico e seu TRA (próximo a 40%) no período mais seco (dados não publicados). Sendo assim, em vaso, embora a umidade do solo tenha sido reduzida com os intervalos na irrigação, o pequeno porte das plantas pode prover um melhor manejo da água disponível, ainda que em percentuais baixos.

A manutenção dos valores de TRA pode estar associada a um rígido controle estomático, ou ao acúmulo de substâncias osmorreguladoras, como açúcares, proteínas solúveis, aminoácidos, prolina, entre outros [29, 30, 31]. Embora os parâmetros relacionados ao comportamento estomático não tenham sido analisados no presente trabalho, Silva et al. (2004) [32] demonstraram a elevação da resistência estomática em *A. pyrifolium* no horário mais quente do dia, no início da

estação seca, o que certamente contribui para a estabilidade do teor relativo de água e consequentemente a manutenção do crescimento nestas condições.

Em adição, a avaliação da tolerância protoplasmática foliar à seca mostra que as plantas estressadas aos 70 DAD apresentaram danos em suas membranas em consequência do estresse (Tabela 1). No entanto, aos 98 DAD as plantas estressadas apresentaram valores negativos de percentagem de danos (PD), mostrando-se mais integras que as plantas controle. Maiores valores de PD são indícios de danos membranares e que provavelmente a membrana pode ter perdido a sua alta seletividade e permitido o extravasamento de íons para o meio extracelular, ficando isso evidenciado pelos altos valores de CL nas plantas estressadas por 14 dias (Tabela 1).

Entretanto, esse sensível comportamento de altos valores de CL nas plantas estressadas não foi notado aos 98 (DAD), evidenciando que, com o prolongamento do período sob estresse, as plantas se apropriaram de mecanismos que as permitissem melhor tolerar o estresse, como por exemplo, a produção de substâncias orgânicas protetoras.

Um possível acúmulo de prolina livre nas folhas, como observado em campo para *A. pyriformium* por Aragão (2017) [28], poderia explicar a recuperação das plantas estressadas, ajudando na remoção de radicais livres nas células [31], uma vez que as espécies reativas de oxigênio (ERO), em contato com a natureza lipídica da membrana, podem ocasionar danos. Da mesma forma, a síntese de proteínas e carboidratos poderiam ajudar na reconstrução dos componentes membranares, uma vez que as plantas sob estresse hídrico mais severo mostraram-se recuperadas aos 90 (DAD). Esse acúmulo de carboidratos também foi observado por Aragão (2017) em campo na estação seca [28].

Com relação ao índice de clorofila (ICF) nas folhas, não foram verificadas diferenças significadas para clorofila *a* e total em nenhum dos tratamentos durante o período experimental analisado (Tabelas 2). Para o índice de clorofila *b*, as plantas E14 apresentaram maiores índices aos 42 (DAD) em relação ao controle (Tabela 2). Posteriormente aos 55 dias de tratamento, houve uma redução no índice de clorofila *b* (30%), com recuperação aos 79 dias, mantendo-se semelhante às plantas do tratamento controle até o final do período experimental (Tabela 2). Esses resultados demonstram que, no período avaliado, não houve degradação de clorofila como resposta ao estresse hídrico.

Sendo assim, pode-se sugerir que a espécie manteve a integridade do seu aparato fotossintético, o que contribuiria para aumentar a sua taxa de fotossíntese e, por conseguinte, aumentar o carbono fixado, refletido aqui, neste trabalho, no incremento de matéria seca produzida.

4. CONCLUSÃO

A seca intermitente propicia um melhor crescimento nas mudas de *A. pyriformium* e mantém os ritmos de crescimento. Por outro lado, um aporte diário de água na capacidade de campo atua como um interceptador negativo de crescimento e desenvolvimento para a espécie. *A. pyriformium* não apresenta como mecanismo de tolerância à seca a inversão no padrão de crescimento entre a parte aérea e a raiz. No entanto, a manutenção da hidratação dos tecidos em situação de estresse contribui para a integridade das membranas, demonstrando o caráter xeromórfico da espécie em relação as condições do ambiente onde a mesma habita.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Rede de Sementes da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) pela concessão das sementes para realização do presente trabalho.

Tabela 2: Concentração de clorofila a, b e total em mudas de *Aspidosperma pyrifolium* Mart. submetidas a diferentes ciclos de suspensão de rega. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Letras iguais, minúsculas entre os tratamentos e maiúsculas entre as épocas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a probabilidade de 5%.

	Controle	E-7	E-14
Dias após o estresse	Clorofila a		
42	25.58727 aB	27.10818 aAB	29.16455 aA
55	28.46909 aA	28.99091 aA	25.72909 aA
79	31.52818 aA	31.59455 aA	31.92636 aA
92	30.85818 aA	31.23636 aA	32.10091 aA
98	30.25000 aA	30.79545 aA	31.20727 aA
Dias após o estresse	Clorofila b		
42	5.21727 bB	5.79273 abAB	7.03364 aA
55	6.46636 aA	5.69364 abAB	4.71091 bB
79	6.33364 aA	6.70909 aA	6.59636 aA
92	6.07455 aA	5.95455 aA	6.02636 aA
98	6.39727 aA	6.57000 aA	6.48182 aA
Dias após o estresse	Clorofila total		
42	30.56636 aB	32.79818 aAB	36.19182 aA
55	34.22727 aA	34.73545 aA	30.51182 aA
79	37.88091 aA	38.30091 aA	38.50636 aA
92	37.02909 aA	37.17091 aA	38.19818 aA
98	36.66909 aA	37.36636 aA	37.68546 aA

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Marengo JA, Torres RR, Alves LM. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. *Theor Appl Climatol*. 2016 Aug;129(3):1189-1200, doi:10.1007/s00704-016-1840-8
- IPCC (2014) Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir TE, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Genova RC, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR, White LL (eds). Cambridge University Press, Cambridge, pp 1132
- Medeiros CD, Falcão HM, Almeida-Cortez J, Santos DYAC, Oliveira AFM, Santos MG. Leaf epicuticular wax content changes under different rainfall regimes, and its removal affects the leaf chlorophyll content and gas exchanges of *Aspidosperma pyrifolium* in a seasonally dry tropical forest. *South African Journal of Botany*. 2017 July;111(1):267–274, <http://dx.doi.org/10.1016/j.sajb.2017.03.033>
- Costa RR. Tolerância ao déficit hídrico após ciclos recorrentes de seca em *Moringa Oleifera* [dissertação]. Recife (PE): Universidade Federal de Pernambuco; 2012. 80 p.
- Larcher W. *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos: RIMA; 2006. 194 p.
- Scalon SPQ, Mussury RM, Euzébio VLM, Kodama FM, Kissmann C. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.). *Ciência Florestal*. 2011 Out;21(4):655-662

7. Dantas SG. Crescimento inicial e morfologia foliar em plantas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. E *Erythrina velutina* Mart. ex Benth, sob estresse hídrico [dissertação]. Natal (RN): Universidade Federal do Rio Grande do Norte; 2014
8. Silva EC, Silva MFA, Nogueira RJMC, Albuquerque MB. Growth evaluation and water relations of *Erythrina velutina* seedlings in response to drought stress. *Braz J Plant Physiol.* 2010 Dec;22(4):225-233, <http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202010000400002>
9. Nascimento HHC, Nogueira RJMC, Silva EC, Silva MA. Análise do crescimento de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em diferentes níveis de água no solo. *Rev Árvore.* 2011;35(3):617-626, <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622011000400005>.
10. Lustosa BM. Alocação de recursos e razão raiz: parte aérea em duas espécies arbóreas de uma Floresta Tropical Sazonal Seca [dissertação]. Recife (PE): Universidade Federal de Pernambuco; 2015. 56 p.
11. Costa Júnior EO, Silva-Oliveira EC, Moura JCM, Melo THL. Photochemical quantum efficiency of *Aspidosperma pyrifolium* (Mart) and *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L. P. Queiroz in an area of semiarid tropics (Soledade City, Paraíba, Northeast Brazil), *Brazilian Journal of Biological Sciences.* 2014 Dec;1(2):59-65.
12. Guollo K, Felippi M, Possenti JC. Seed germination of *Aspidosperma parvifolium* A. DC. In different function forms of collecting. *Ciênc. Florest.* 2016 Jul/Sep;26(3):979-984, <http://dx.doi.org/10.5902/1980509824226>
13. Silva EC, Albuquerque MB, Azevedo Neto AD, Silva Junior CD. Drought and Its Consequences to Plants – From Individual to Ecosystem. 2nd ed. São Cristóvão (Brasil): AKINCI, S. (Ed.); 2013. Chapter 2, Responses of Organisms to Water Stress; p. 17-47, <http://dx.doi.org/10.5772/53833>
14. Nogueira RJMC, Santos RC. Alterações fisiológicas no amendoim submetido ao estresse hídrico. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental.* 2000;4(1):41-45, <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662000000100008>.
15. Nascimento JT, Pedrosa MB, Sobrinho JT. Effect of different levels of available water in the soil on the growth and production of cowpea bean pods and green grains. *Horticultura Brasileira.* 2004 Apr/Jun;22(2):174-177, <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362004000200002>
16. Silva MBR, Fernandes PD, Neto JD, Nery AR, Rodrigues LN, Viégas RA. Crescimento e produção do pinhão-mansão irrigado com água residuária sob condições de estresse hídrico. 2011;15(6):621-629.
17. Benincasa MMP. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. Jaboticabal: FUNEP; 2003. 41 p.
18. Barbieri Junior E, Rossiello ROP, Silva RVMM, Ribeiro RC, Morenz MJF. Um novo clorofilômetro para estimar os teores de clorofila em folhas do capim Tifton 85. *Ciência Rural.* 2012 Sep;42(12):2242-2245
19. Cairo PAE. Curso básico de relações hídricas de plantas. Vitória da Conquista: UESB; 1995.
20. Weatherley PE. Studies in the water relations of the cotton plant I: the field measurements of water deficits in leaves. *New Phytologist.* 1950 Mar;49(1):81-97, doi:10.1111/j.1469-8137.1950.tb05146.
21. Vasquez-Tello A, Zuily-Fodil Y, Pham Thi AT, Silva JBV. 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.* 1990 Jul;41(7):827-832, <https://doi.org/10.1093/jxb/41.7.827>
22. Lúcio DM, Dantas SG, Santos JRM, Praxedes SC. Differences in water deficit adaptation during early growth of Brazilian dry forest Caatinga trees. *Agriculture and Forestry.* 2017;63(2):59-68, doi:10.17707/AgricultForest.63.2.05
23. Taiz L, Zeiger E. *Plant Physiology.* California: The Benjamin/ Cummings Publishing Company; 2002.
24. Medeiros DB, Silva EC, Santos HRB, Pacheco CM, Musser RS, Nogueira RJMC. Physiological and biochemical responses to drought stress in Barbados cherry. *Brazilian Journal of Plant Physiology.* 2012 Jul/Sep;24(3):181-192, doi:<http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202012000300005>
25. Martins MO, Nogueira RJMC, Azevedo Neto AD, Santos MG. Crescimento de plantas jovens de Nim-Indiano (*Azadirachta indica* a. juss. - Meliaceae) sob diferentes regimes hídricos. *Rev Árvore.* 2010 Set/Out;34(5):771-779, <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622010000500002>
26. Villagra PE, Cavagnaro JB. Water stress effects on the seedling growth of *Prosopis argentina* and *Prosopis alata*. *Journal of Arid Environments.* 2006 Feb;64(3):390-400, <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.06.008>
27. Singh B, Singh G. Biomass Partitioning and Gas Exchange in *Dalbergia sissoo* seedlings under water stress. *Photosynthetica.* 2003 Sep;41(3):407-414

28. Aragão JRV. Ecologia da madeira e aspectos ecofisiológicos foliares de quatro espécies de florestas tropicais secas no estado de Sergipe [dissertação]. São Cristóvão (SE). Universidade Federal de Sergipe; 2017. 82 p.
29. Moura AR, Nogueira RJMC, Silva JAA, Lima TV. Water relations and organic solutes in young plants of *Jatropha curcas* L. under diferente water regimes. *Ciênc Florest*. 2016 Abr/Jun;26(2):345-354. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509822735>
30. Ollas C, Arbona V, Gómez-Cadenas A. Jasmonic acid interacts with abscisic acid to regulate plant responses to water stress conditions. *Plant Signal Behav*. 2015 Sep;10(12):e1078953, doi:10.1080/15592324.2015.1078953.
31. Alvarenga ICA, Queiroz GA, Honório ICG, Valadares RV, Martins ER. Prolina livre em alecrim-pimenta sob estresse hídrico antes da colheita. *Rev Bras Plantas Med*. 2011 Dez;13:539-541, <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-05722011000500006>
32. Silva EC, Nogueira RJMC, Azevedo Neto AD, Brito JZ, Cabral EL. Aspectos ecofisiológicos de dez espécies em uma área de caatinga no município de Cabaceiras, Paraíba, Brasil. *Iheringia, Sér Bot*. 2004 Jul/Dez;59(2):201-205.